

**EEEN 213 ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİNİN TEMELLERİ
DERS NOTU**

2010-2011

BÖLÜM 1

DİRENÇ, OHM KANUNU, İŞ VE GÜÇ

1. ELEKTRİK ENERJİSİ ve ÖZELLİKLERİ

Bugün elektrik çağında yaşamaktayız. Kullandığımız enerjinin büyük bir bölümü elektrik enerjisidir. Evlerde ve iş yerlerinde elektrik enerjisini ışık enerjisine çevirerek, aydınlatma amacıyla kullanmaktayız. Yine elektrik enerjisini ısı enerjisine kolayca çevirebilen, elektrik ocakları ve sobaları, kullanılmasının basit ve temizliği nedeniyle vazgeçilmez duruma gelmiştir. Ülkemizin çoğu bölgesinde buna ilaveten kullanılması kolay ve elektrik ocaklarına oranla elektrik tüketimi daha az olan elektrik enerjisinden yararlanılarak klimalar son yıllarda yerlerini almıştır.

En ileri düzeydeki haberleşme cihazlarının çalıştırılmasında elektrik enerjisinden yararlanılır. Radyo, televizyon, telefon, hesap makineleri ve bilgisayar gibi bir çok cihaz, elektrik enerjisinden başka bir enerji çeşidi ile çalışmazlar. Yine evlerde kullanılan süpürge, çamaşır, bulaşık makinesi ve diğer birçok küçük cihazlarda mekanik enerjinin elde edilmesinde, elektrik motorlarının kullanılması kaçınılmazdır. Elektrik motorlarının diğer motorlara göre daha küçük boyutta yapılabilmesi çalıştırılıp durdurulmasının basit bir anahtarla mümkün olması, özel bir bakım gerektirmemesi ve sessiz çalışmaları, ev cihazlarında elektrik enerjisinin kullanılmasının en önemli nedenlerindendir.

Elektriğin sanayide kullanılma yerleri de sayılmayacak kadar fazladır. Elektrik makinelerinin verimlerin yüksek olması, yani kaybın minimum olması, kumandalarının kolaylığı ve yapılarının basit olması, diğer enerji makineleri yanında ön sırayı almalarına neden olmuştur. Elektrik enerjisinin ısı etkisinin diğer bir uygulama alanı da endüksiyon fırınlarıdır. Bu fırınlarda ısı enerjisi, ısıtılacak olan maddenin her yerinde aynı ölçüde meydana getirildiğinden, her yeri aynı anda pişer veya ergir. Örneğin bir endüksiyon fırınında pişen ekmeğin, her tarafı aynı anda ısınıp pişeceğinden kabuk oluşmaz. Bunlara evlerde kullandığımız mikrodalga fırınlarını da örnek gösterebiliriz.

Kullanılacağı yere kadar en az kayıp götürülebilen en uygun enerji, elektrik enerjisi, yine diğer çeşitlerine en kolay çevrilebilen bir enerjidir. Elektrik santrallerinde üretilen elektrik enerjisi, binlerce kilometre uzaklıktaki yerleşme merkezlerine, iletim hatları ile kolayca iletilebilir. Kullanma amacına uygun olarak mekanik, ısı veya ışık ve kimyasal enerjilere kolaylıkla çevrilir.

Elektrik enerjisi, akümülatörlerde kimyasal enerjiye dönüştürülerek depo etme olanağı bulunduğu gibi, küçük de olsa, elektrik enerjisi kondansatörlerde de doğrudan depo edilebilir.

Elektrik enerjisinin kimyasal etkisinden yaralanılarak, madenler üzerindeki yağlar gibi istenmeyen maddeler temizlenir. Maddelerin kaplanması ile ilgili bir dal olan galvanoteknik ve son zamanlarda gelişen galvanoplastik ile elektroliz yoluyla saf maden elde etme sanayileri, elektriğin kimyasal alandaki uygulamalarının başlıcalarıdır.

Elektrik enerjisinin özelliklerini yukarıda kısaca açıklamaya çalıştık. Elektrik enerjisi gelişen teknolojiye görüldüğü kadarı ile her zaman yerini alacak ve biz bu özelliklerini açıklamaya devam etmek zorunda kalacağız.

2. İLETKENLER, YALITKANLAR ve YARI İLETKENLER

Atomun dış yörüngesinde değişik sayıda elektron bulunabilir. Fakat bu elektronlar sayısı sekizden fazla olamaz. Dış yörüngede sekiz elektronu bulunan atomlar bir nevi kararlılık kazanmıştır. sekiz elektronlu dış yörüngelere “doymuş yörünge” denir. Doymuş yörüngenin elektronları çekirdeğe daha sıkı olarak bağlıdırlar. Şu halde dış yörüngeleri doymuş olan atomlar, elektronlarını kolay kolay bırakmazlar ve dışarıdan elektron alamazlar. Bu bilgileri verdikten sonra serbest elektronları fazla olan maddelere, elektrik akımını iyi ileten anlamına gelen “**iletken**” denir. Bunlara örneklendirmek gerekirse bakır, alüminyum ve demir gibi. Bütün metaller iletkenlerdir.

Serbest elektronları çok az olan maddeler, elektrik akımını iyi iletmezler veya hiç iletmezler. Böyle serbest elektronu az olan maddelere, elektrik akımını iletmeyen anlamına gelen “**yalıtkan**” sözcüğü kullanılır. Yalıtkanlara örnek olarak cam, kauçuk, pamuk, yağ ve hava gösterilebilir.

İyi bir iletken madde ile iyi bir yalıtkan madde arasındaki fark, bir sıvı ile bir katı arasındaki mekaniksel fark kadar büyüktür. Her iki özellikle, maddenin atom yapısı ile ilişkilendirilir. Akışkanlığı katılar ile sıvılar arasında bulunan maddeler olduğu gibi, elektrikte de iletken ve yalıtkan olan maddelerde vardır. Böyle maddelere “yarı iletken” denir. Bu maddelerin bulunması ve kullanılmaya başlamasıyla bugün elektroniğin hızlı gelişimini sağlamıştır. Bu maddeler germanyum, silisyum ve karbon gibi.

3. DİRENCİN FİZİKSEL BOYUTU

Direnci elektrik akımına gösterilen zorluk olarak tanımlamıştık. Bir iletkenin elektrik akımına gösterdiği zorluk (yani o iletkenin direnci), iletken içinde hareket eden elektronlarla, o iletken içindeki atom ve diğer parçacıklar arasındaki sürtünmelerden meydana gelir. Bu konuda, bir borudan akan suyun karşılaştığı zorluğu örnek olarak gösterebiliriz. Boru dar ve iç yüzeyi fazla girintili çıkıntılı ise suyun akışına karşı belli bir zorluk ortaya çıkaracaktır. Aynı şekilde borunun uzunluğu arttıkça, içinden geçen suya gösterdiği direnç artacaktır.

Bir iletkenin direnci de, o iletkenin boyuna, çapına cinsine göre değişir. Örneğin bir iletkenin uzunluğu ile direnci doğru orantılıdır. İletkenin uzunluğu arttıkça direnç de artar. Buna karşılık iletkenin kesiti ile direnç ters orantılıdır. Buna göre iletkenin kesiti arttıkça direnç azalır, kesiti azaldıkça direnç artar. Bunlardan başka, direnç, iletkenin cinsine göre de değişir. Örneğin aynı uzunlukta ve aynı kesitte bakır ile alüminyum iletkenin dirençleri birbirinden farklıdır. Burada z direnç kavramı karşımıza çıkar. Özdirenç, 1 metre uzunluğunda ve 1 mm² kesitindeki bir iletkenin direncidir ve bütün iletkenin özdirençleri birbirinden farklıdır. Özdirenç ρ sembolü ile gösterelim ve ro olarak okunur.

Bütün bunlardan başka, ortamın sıcaklığı da iletkenin direncini etkileyen faktördür. Bu konu, ileride ayrı bir başlık altında incelenecektir.

Aşağıdaki tabloda, bazı iletkenlerin özdirençleri gösterilmektedir.

İLETKEN	ÖZDİRENÇ(ρ)
Gümüş	0.016
Bakır	0.017
Altın	0.023
Alüminyum	0.028
Demir	0.012

İletkenlerin özdirençleri

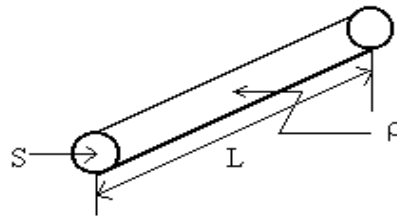
Bu tablodaki değerler, iletkenlerin oda sıcaklığındaki (20 C) zdirenleridir.

Bir iletkenin direnci aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$R = \frac{L}{S} \cdot \rho$$

Bu formüldeki harflerin anlamı ve birimleri;

- R:** İletkenin direnci (ohm)
L: İletkenin uzunluğu (metre)
 ρ : İletkenin özdirenci (ohm)
S: İletkenin kesiti (mm²)



Bir iletkenin direncini etkileyen faktörler

Örnek:

Uzunluğu 20 metre, kesiti 2 mm² olan bakır telin direncini hesaplayınız.

Çözüm:

Bakırın öz direnci $\rho=0.017$ ohm

$$R = \frac{L}{S} \cdot \rho = \frac{20}{2} \cdot 0.017 = 0.17 \Omega$$

Örnek:

Uzunluğu 50 metre, kesiti 3mm² olan alüminyum telin direncini hesaplayınız.

Çözüm:

Alüminyumun öz direnci 0.028 ohm dur.

$$R = \frac{L}{S} \cdot \rho = \frac{50}{3} \cdot 0.028 = 0,575 \Omega$$

bulunur.

Örnek:

Çapı 3 mm ve uzunluğu 50 km olan bakırdan yapılmış hattın direncini hesaplayınız. Bakırın öz direnci=0.017 dir.

Çözüm:

Önce iletkenin kesitini bulalım daha sonra direnç formülünde yerine koyup bakır iletkenin direncini bulalım.

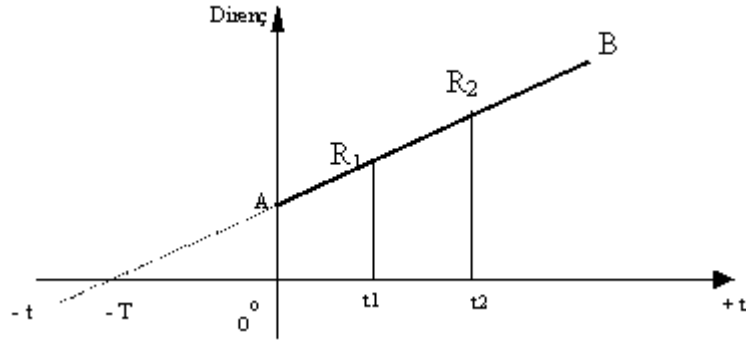
$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} = 7,065 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{L}{S} \cdot \rho = \frac{50,000}{7,065} \cdot 0,017 \cong 126,0 \Omega$$

3.1 DİRENCİN SICAKLIKLA DEĞİŞİMİ

İletkenin direnci, sıcaklıkla doğru orantılıdır. Buna göre sıcaklık arttıkça iletkenin direnci de artar. Devre dizaynlarında, dirençler bir bir hesaplanır öyle seçilir. Bu nedenle direnç çok hassas bir noktada bağlı ise ve içinden geçen akım sonucu ısınarak değeri değişmiş ise, devrenin çalışması etkilenebilir. Dirençlerin üzerinde belirtilen omik değer, oda sıcaklığındaki (20 C°) direnç değeridir.

Metallerin direnci, 0(sıfır) derece ile 100(yüz) derece arasında doğrusal olarak değişir. Aşağıdaki şekilde metallerin direncinin sıcaklıkla değişmesi görülmektedir.



Metalin direncinin sıcaklıkla değişimi

Yukarıdaki şekilde R_1 bir direncin t_1 sıcaklığındaki değeri, R_2 ise aynı direncin t_2 sıcaklığındaki değeridir. Görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça direncin omik değeri artmıştır. Her metalin bir T katsayısı vardır. Bu, teorik olarak o direncin değerinin sıfır ohm olduğu sıcaklık değeri demektir. Aşağıdaki tabloda çeşitli iletkenlerin T katsayıları verilmektedir.

METAL	T, KATSAYISI
Kurşun	218
Gümüş	243
Bakır	235
Alüminyum	236
Çinko	250
Pirinç	650

Bir direncin değişik sıcaklık da ki değeri aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{T + t_1}{T + t_2}$$

Bu formülde ki harflerin anlamları;

T: Metalin katsayısı

t₁: Birinci sıcaklık

R₁: Direncin t₁ sıcaklığındaki değeri

t₂: İkinci sıcaklık

R₂: Direncin t₂ sıcaklığındaki değeri

Örnek:

Bir bakır iletkeninin 20 derecedeki direnci 5 ohm dur. Bu iletkenin 50 derecedeki direncini bulunuz.

Çözüm:

Bakırın T katsayısı 235 tir. Bu değerler formülde yerine konulursa;

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{235 + t_1}{235 + t_2} \quad \text{formülünde } R_2 \text{ yi çekersek}$$

$$R_2 = \frac{R_1(235 + t_2)}{235 + t_1} = \frac{5(235 + 50)}{235 + 20} = \frac{5.285}{255} = 5,58\Omega$$

bulunur.

Örnek:

Bir alüminyum iletkenin 30 derecedeki direnci 10 ohm olduğuna göre bu iletkenin 100 derecedeki direncini hesaplayınız.

Çözüm:

Alüminyumun T katsayısı 236 dır. Bu değerleri formülde yerine konulursa;

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{T + t_1}{T + t_2} \quad \text{formülünde } R_2 \text{ yi çekersek}$$

$$R_2 = \frac{R_1(236 + t_2)}{236 + t_1} = \frac{10(236 + 100)}{236 + 30} = \frac{5.236}{266} = \frac{1160}{266} = 4,36\Omega$$

bulunur.

4. DİRENÇ RENK KODLARI

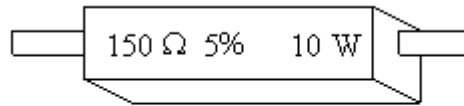
Dirençlerin iki önemli karakteristiği olduğunu biliyoruz. Bu karakteristikler;

- a-** Direncin omik değeri
- b-** Direncin gücü

Olarak tanımlanır ve devrede kullanılacak dirençlerin seçiminde bu büyüklükler dikkate alınır. Şimdi sırayla bu büyüklükleri inceleyelim.

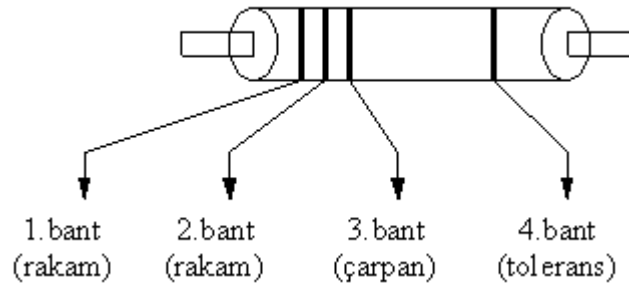
4.1 DİRENCİN OMİK DEĞERİ

Dirençlerin omik değerleri ya üzerinde doğrudan doğruya rakamla yazılır. Yada renk kodları aracılığı ile belirtilir. Aşağıdaki örneklerde dirençlerin omik değerleri ve toleransları doğrudan doğruya rakamla yazılmıştır.



Şekil3.28 Değerleri üzerinde rakam yazılı dirençler

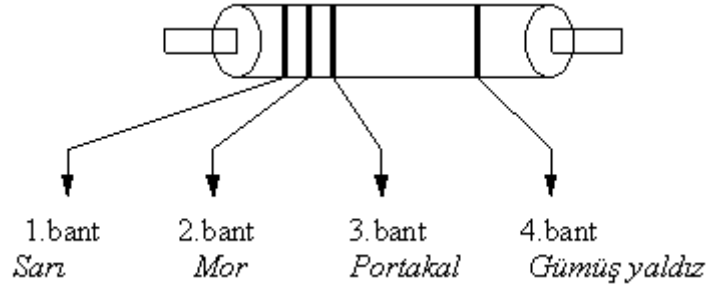
Diğer grup dirençler ise (genellikle 0,125 ve 0,25 wattlık dirençlerde) omik değer, direncin üzerindeki renk bantlarıyla ifade edilir. Genellikle, dirençlerin üzerinde dört (4) tane renk bandı bulunur. Bu bantların soldan üç tanesi direncin omik değerini; en sağdaki bant ise direncin toleransını verir. Aşağıdaki şekilde direncin üzerindeki bulunan renk bantları görülmektedir.



Direnç üzerindeki renk bantları

Örnek:

Bir direnç üzerindeki renk bantlarının, soldan itibaren sarı, mor, portakal ve gümüş yıldız renginde olduklarını kabul edelim.



Buna göre en soldaki sarı 4 sayısını temsil ettiği için direnç değerinin rakamı 4 olur. Soldan 2.renk mor ve direnç değerinin 2. rakamı 7 olur. Böylece 47 rakamı bulunur. Soldan 3. renk portakaldır ve portakal rengi 3 rakamına karşılık geldiği için, 47 sayısının yanına üç tane 0(sıfır) konulur ve direncin omik değeri olarak 47,000 Ω veya 47 k Ω bulunmuş olur. Soldan 4. rengin toleransı gösterdiğini biliyoruz. Bu dirençte soldan 4. renk gümüş yıldız olduğundan, toleransı %10 olarak bulunur. Buna göre bu direncin omik değeri;

$$R = 47 \text{ k}\Omega \pm \%10$$

Toleransın %10 olması demek, bu direncin değeri, çevre şartlarına göre (örneğin ısı) %10 artabilir veya azalabilir demektir.

Aşağıdaki tabloda, direnç renk bantlarının karşılıkları olan sayılar görülmektedir.

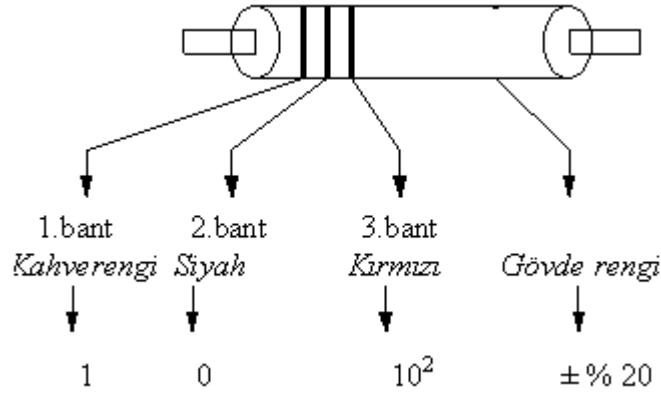
RENK	SAYI	TOLERANS
Siyah	0	
Kahverengi	1	%1
Kırmızı	2	%0,1
Portakal	3	%0,01
Sarı	4	%0,001
Yeşil	5	
Mavi	6	
Menekşe(Mor)	7	
Gri	8	
Beyaz	9	
Gümüş Yıldız	-	% 10

Altın Yıldız	-	% 5
Renk Bandı Yok (Gövde Rengi)	-	% 20

Direnç Renk Kodları

Örnek:

Üzerindeki renk bantları, soldan itibaren kahve, siyah ve kırmızı olan direncin omik değerini ve toleransını hesaplayınız



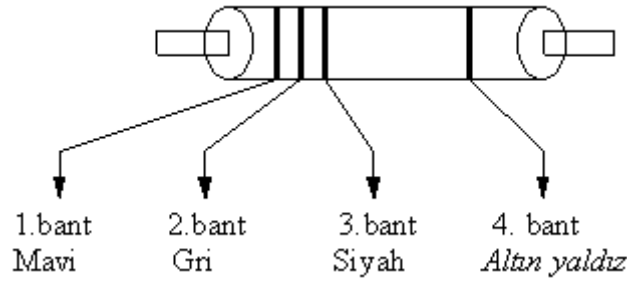
Renk bantlarını ve renklerin sayı karşılıklarını şekilde gösterdik. Burada dikkat edilirse 4.bant yok bunun anlamı toleransın % 20 olduğunu anlamamız gerekir. Buna göre verilen renk bantlarına göre direncin omik değerini bulursak;

$$\begin{aligned}
 &10 \cdot 10^2 \pm \% 20 \\
 &= 10^3 \Omega \pm 0,2 \cdot 10^3 \\
 &= 1 \text{ k}\Omega \pm 200
 \end{aligned}$$

veya 800 ile 1.2 k Ω değerini gösterir.

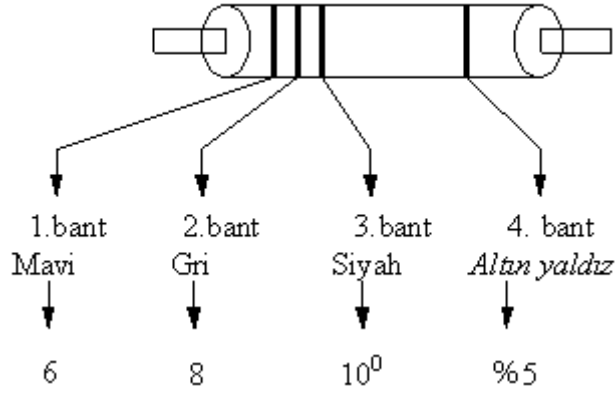
Örnek:

Şekilde bant renkleri verilen direncin omik ve toleransını bulunuz.



Çözüm:

Direncin renk bantları verildiğine göre bu renklerin sayı değerlerini yazarsak;



$$= 68 \, \Omega \pm \% 5$$

$$= 68 \, \Omega \pm 0.05 (68)$$

$$= 68 \, \Omega \pm 3,4 \, \Omega$$

omik değeri 64,6 ile 71,4Ω arasında değişir.

4.2 STANDART DİRENÇ DEĞERLERİ

Standart direnç değerleri ve % 5, % 10 tolerans değerlerinin verildiği bir tablo oluşturalım. Yukarda verilen örneklerde gördüğümüz gibi direncin üzerinde yazan değeri verdiği gibi tolerans değerleri aralığındaki değeri de alabilmektedir. Örneğin $1k\Omega \pm \% 10$ direncin değeri $1k\Omega$ olabildiği gibi minimum $900 \, \Omega$ veya maxmum $1.1 k\Omega$ da olabilir. Aşağıdaki tabloda koyu renkler standart renkleri açık renk deki değerler ise tolerans değerlerini vermektedir.

Direnç Değerleri (Ω)					Kilo ohm (k Ω)		Mega ohm (M Ω)	
0.01	1.0	10	100	1000	10	100	1.0	10.0
0.11	1.1	11	110	1100	11	110	1.1	11.0
0.12	1.2	12	120	1200	12	120	1.2	12.0
0.13	1.3	13	130	1300	13	130	1.3	13.0
0.15	1.5	15	150	1500	15	150	1.5	15.0
0.16	1.6	16	160	1600	16	160	1.6	16.0
0.18	1.8	18	180	1800	18	180	1.8	18.0
0.20	2.0	20	200	2000	20	200	2.0	20.0
0.22	2.2	22	220	2200	22	220	2.2	22.0
0.24	2.4	24	240	2400	24	240	2.4	
0.27	2.7	27	270	2700	27	270	2.7	
0.30	3.0	30	300	3000	30	300	3.0	
0.33	3.3	33	330	3300	33	330	3.3	
0.36	3.6	36	360	3600	36	360	3.6	

0.39	3.9	39	390	3900	39	390	3.9	
0.43	4.3	43	430	4300	43	430	4.3	
0.47	4.7	47	470	4700	47	470	4.7	
0.51	5.1	51	510	5100	51	510	5.1	
0.56	5.6	56	560	5600	56	560	5.6	
0.62	6.2	62	620	6200	62	620	6.2	
0.68	6.8	68	680	6800	68	680	6.8	
0.75	7.5	75	750	7500	75	750	7.5	
0.82	8.2	82	820	8200	82	820	8.2	

% 5 ve % 10 toleranslı ve standart direnç tablosu

Yapacağınız devrede kullanacağınız dirençleri bu tablodan seçerek standart dirençler kullanabilirsiniz. Aksi takdirde standart olmayan dirençleri piyasadan bulmanız imkansızdır.

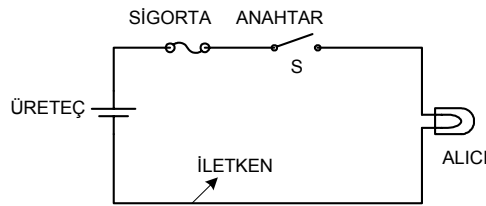
5. ELEKTRİK DEVRESİ ve KANUNU

GİRİŞ

Elektrik devresi, elektrik akımının yoludur diye tanımlanabilir. Elektrik akımını oluşturan elektrik yükleri, elektrik devresinden geçerek, üretcin elektrik enerjisinin alıcısı da başka bir enerjiye dönüşümünü sağlar. Bu bölümde elektrik devresi, özellikleri , çeşitleri, elektrik devrelerine uygulanan prensip ve uygulama örnekleri verilecektir.

5.1 ELEKTRİK DEVRESİ VE ELEMANLARI

Elektrik enerjisi ile çalışan herhangi bir aygıtın çalıştırılabilmesi için içinden sürekli elektrik akımı geçmesi gereklidir. Bu da ancak aygıtın devresine bağlanan elektrik enerjisi kaynağı ile temin edilebilir. Enerji kaynağının bir ucundan çıkan elektrik yükleri, bir yol takip ederek, diğer ucuna ulaşırlar. İşte bir elektrik enerjisi kaynağı yardımı ile, bir elektrik aygıtının çalıştırılabilmesi için sürekli elektrik akımının geçtiği yola “elektrik devresi” denir.



Şekil3.1

Üreteç: Her hangi bir enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştüren aygıtta elektrik enerji kaynağı veya üreteç denir. Pil, akümülatör, dinamo, alternatör v.b.gibi;

Anahtar (Devre Kesici): İstenildiği zaman elektrik akımının geçmesini veya elektrik akımını keserek alıcının çalışmasını durduran devre elemanına denir.

Alıcı: Elektrik enerjisini istenilen başka bir enerjiye dönüştüren aygıtlara almaç veya alıcı denir. Elektrik sobası, elektrik motoru, elektrik ocağı gibi

Sigorta (Devre koruyucu): Elektrik devresinden geçen akım şiddeti bazen istenilmeyen değerlere yükselebilir. Bu gibi durumlarda devre elemanları zarar görür. Akım şiddetinin belli bir değerinin üstüne çıkmasını önlemek için elektrik devresini sigorta ile korunur.

İletken: Elektrik devre elemanlarının birbirine bağlantıları metal tellerle yapılır. Bu tellere uygulamada iletken denir. İletkenler, elektrik akımına karşı çok az zorluk gösteren bakır, alüminyum gibi metallerden, genellikle daire kesiti olarak yapılırlar.

Elektrik devrelerinin özelliklerine ve amaçlarına göre değişik devre elemanları ve ölçü aletleri de aynı devreye ilave edilebilir. Bu elemanları ve ölçü aletleri olan Ampermetre, Voltmetre Wattmetre gibi; ileriki konularımızda ve sorularımızda sıkça kullanacağız.,

5.2 ELEKTRİK DEVRE ÇEŞİTLERİ

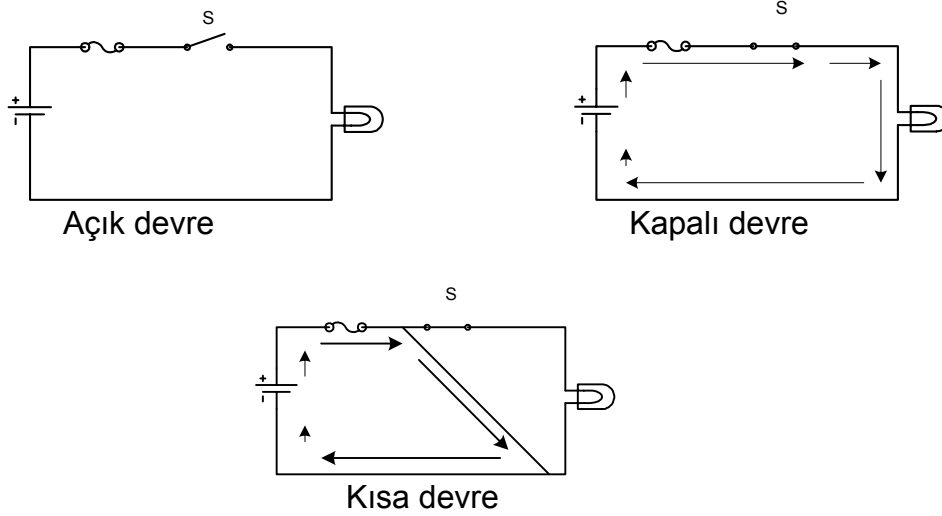
Elektrik devreleri, çalıştıkları alıcılara göre adlandırılırlar. Zil devresi, aydınlatma devresi, motor devresi, radyo devresi gibi

Elektrik devreleri, uygulanan gerilim büyüklüklerine göre de adlandırılırlar. Alçak gerilim devresi, orta gerilim devresi, yüksek gerilim devresi v.b. gibi

Elektrik devresi, devreden geçen akımın şiddetine göre de adlandırılırlar. Hafif akım devresi, kuvvetli akım devresi v.b. gibi...

Elektrik devreleri, devreden geçen akımın, almaçtan geçmesine göre; açık devre, kapalı devre ve kısa devre olarak da adlandırılırlar.

Açık devre: Devre akımının, isteyerek veya istemeden devreden geçmesini önlediği, devrenin bir noktadan açıldığı almaçın çalışmadığı devrelerdir. Diğer bir tarifile direncin sonsuz olduğu durumdur. Bu durum karşımıza sıkça rastladığımız devrelerde araştırma yaparken çok dikkat etmemiz gereken durumdur. Bu durumu net bir şekilde tarif etmek gerekirse akımın 0 gerilimin olduğu durumdur.



Şekil3.2

Kapalı Devre: Devre akımının normal olarak geçtiği, alıcının, normal çalıştığı devredir.

Kısa Devre: Devre akımının, almaca ulaşmadan kısa yollardan devresinin tamamlanmasıdır. Genellikle istenmeyen bir devre çeşidi olup, yapacağı hasardan devre elemanlarının korunması için, mutlaka bir sigorta ile korunması gerekir. Diğer bir tarifile direncin sıfır olduğu duruma kısa devre denir.

6. ELEKTRİK AKIMI

Elektrik akımı, elektronların bir noktadan diğer bir noktaya akışıdır. Elektrik akımı birimi, iletkenin kesitinden bir saniyede geçen elektron miktarı olarak tanımlanır. Buna göre bir kesitten, bir saniyede $6,25 \cdot 10^{18}$ elektron geçiyorsa bu akımın şiddeti 1 AMPER'dir. Formülle gösterirsek;

$$I = \frac{Q}{t}$$

Q:Elektrik yükü(kulon)

I=Akım(amper)

t=Zaman(saniye)

Örnek:

Bir iletkenin kesitinden bir saniyede 12 kulonluk elektron akmaktadır. Geçen akımın şiddetini bulunuz.

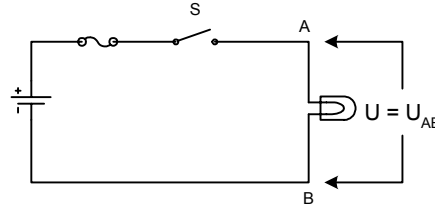
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{12\text{Culon}}{1\text{sn}} = 12\text{A}$$

6.2 DOĞRU AKIM

Zamanın fonksiyonu olarak yönü ve şiddeti değişmeyen akıma doğru akım denir. Doğru akım, D.C gerilim kaynağı tarafından beslenen devrelerde oluşur. Doğru akım iletken içinde daima tek yönde ve aynı şiddette akan akımdır.

7. POTANSİYEL, GERİLİM, ELEKTROMOTOR KUVVET

Şekildeki elektrik devresinde elektrik akımı A noktasından B noktasına akmasının nedeni, bu iki noktanın zıt cins elektrik yüklere sahip olmasıdır. Dolayısıyla bu iki nokta arasında bir gerilim vardır. A ve B noktasının potansiyelleri U_A ve U_B ise, bu iki nokta arasındaki gerilim(potansiyel fark),



Şekil3.3

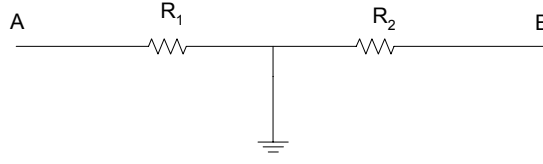
$U = U_{AB} = U_A - U_B$
Olur. Burada;

U_A = A noktasının potansiyeli (Volt)
 U_B = B Noktasının potansiyeli (Volt)
 $U = U_{AB}$ = A ve B noktaları arasındaki gerilim (Volt)

A noktasının potansiyeli (U_A), A noktasını ile toprak arasındaki ölçülen gerilimdir. B noktasının potansiyeli (U_B) ise, B noktası ile toprak arasındaki ölçülen gerilimdir. Toprağın potansiyeli sıfır kabul edilir.

Üretecin sürekli olarak elektrik enerjisi veren ve bir kutbu elektron fazlalığı(negatif kutup), diğer kutbu da elektron azlığı(pozitif kutup) olan kaynaklardır. Üreteçler bir elektrik devresine bağlandıklarında, üretecin negatif(-) kutbundan çıkan elektronlar, elektrik devresi elemanlarından geçerek üretecin pozitif(+) kutbundan devresini tamamlarlar. Elektrik devresine akımın sürülmediği açık devre durumuna, üretecin uçlarındaki potansiyel farkına “Elektromotor kuvvet (EMK)” denir ve kısaca E ile gösterilir. Elektromotor kuvvet, elektrik yüklerini harekete geçiren kuvvet demektir. Gerçekte de EMK, devrede elektrik akımının doğmasına sebep olan kuvvettir. Fakat bu terimdeki kuvvet doğrudan, bu büyüklüğün fiziksel kuvvet cinsinden bir büyüklük olduğunun anlamı çıkarılmamalıdır. EMK birimi de VOLT’dur.

Şekildeki anahtar kapalı iken alıcı üreteç uçlarına bağlanmıştır. Bu durumda alıcının uçlarındaki potansiyel farkına “Gerilim düşümü” veya kısaca “Gerilim” denir üreteç uçlarına bir alıcı bağlı iken, üretecin iki ucu arasındaki potansiyel farkı da E olmayıp, U olur. Çünkü yukarıdaki belirtildiği gibi E, üretecin uçlarına alıcı bağlı değilken olan potansiyel farkıdır. Gerilimin üst katları Kilo,Mega volt askatları mili,mikro voltur. Birim dönüşümleri 1000’er 1000’er büyür ve küçülür.



Şekil3.4

Örnek:

Şekildeki A noktasının potansiyeli 40 V, B noktasının potansiyeli 25V tur. A ve B noktaları arasındaki gerilim(potansiyel fark)'i bulalım.

Çözüm:

A noktasının potansiyeli

$U_A = 40$ Volt ve B noktasının potansiyeli,

$U_B = 25$ Volt

Değerler toprağa (0 noktasına) göre olan gerilimlerdir. A ve B noktaları arasındaki gerilim,

$$U_{AB} = U_A - U_B = 40 - 25 = 15 \text{ Volt}$$

Bulunur.

8. DİRENÇ ve OHM KANUNU

Bir elektrik devresinde, elektrik enerjisi başka bir enerjiye dönüştüren alıcı uçlarına uygulanan gerilimle, alıcı üzerinden geçen akım arasında şu bağıntı U/I oranı daima sabittir. Bir devrenin gerilimi hangi oranda artarsa, akımda o oranda artacaktır. Bu sabit sayıya “Elektrik Direnci” veya kısaca “DİRENÇ” denir. Direnç R harfi ile ifade edilir. Diğer bir tanımla akımın akışına zorluk gösteren elemandır. Bu tanımlardan yola çıkarak;

$$R = \frac{U}{I}$$

formülü yazılabilir. Bu formüldeki harflerin anlamları ve birimleri,

R: Alıcının direnci (OHM)

I: Alıcının üzerinden geçen akım şiddeti (AMPER)

U: Alıcı uçlarına uygulanan gerilim (VOLT)

Burada ohm direncin birimidir. Ohm Ω (omega) sembolü ile gösterilir.

OHM: Bir iletkenin uçlarına bir voltluk bir gerilim uygulanır ve bu iletkenin üzerinden bir amperlik akım akıyorsa bu iletkenin direnci bir ohm denir. Ohm küçük bir birim olduğundan ast katları mevcut değildir. Bundan dolayıdır ki üst katarı vardır.

$$1 \text{ ohm} = 1.10^{-6} \text{ Mega ohm (M}\Omega\text{)}$$
$$1 \text{ ohm} = 1.10^{-3} \text{ Kilo ohm (K}\Omega\text{) dur.}$$

Örnek: 100 ohm'luk direnci kohm'a dönüştürelim.

Çözüm: $100\text{ohm} = 100.10^{-3} = 1.10^{-1} = 0.1 \text{ Kohm}$

Örnek: 1.2 kohm değerindeki direnci ohm değerine dönüştürelim

Çözüm: $1.2 \text{ kohm} = 1.2.10^{+3} = 1200 \text{ ohm}$ bulunur.

Direncin tersine eşit olan,

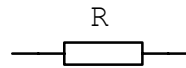
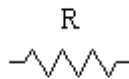
$$G = \frac{1}{R}$$

değerine iletkenlik denir. Formülde kullanılan harflerin anlamları ve birimleri;

G: İletkenlik (Siemens)

R: Direnç (Ohm)

İletkenliğin birimi direncin tersi olup $1/\Omega$ 'a eşittir. Bu durumda Ω 'un tersi olan mho olarak adlandırılır. Fakat uygulamada pek kullanılmaz. Direncin sembolü karşımıza aşağıdaki şekillerde çıkmaktadır.



Direnç sembolleri

Formül $R=U/I$ dan $I=U/R$ ye dönüştürürsek burada alıcının içinden geçen akım şiddetinin alıcının uçlarına uygulanan gerilimle doğru, alıcının direnci ile ters orantılı olduğu görülür. Bu tanıma “OHM KANUNU” denir. Formülde görüleceği üzere elektrik devresinden geçen akım, gerilim büyüdükçe artar direnç büyüdükçe azalır.

Ohm kanunu formülünü incelemeye alırsak;

Direnç sabitken,

$$I = \frac{U}{R}$$

Gerilim, büyüdükçe akım artar. Gerim küçüldükçe akım azalır.

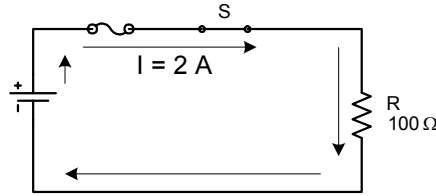
Gerilim sabitken;

$$I = \frac{U}{R}$$

Direnç büyüdükçe akım azalır. Direnç küçüldükçe akım artar

8.1 OHM KANUNU İLE GERİLİMİN BULUNMASI

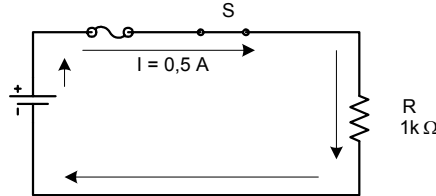
Örnek: $U = I.R$ formülünden yararlanarak şekildeki devrede gerilim kaynağının değerini bulalım.



Şekil3.5

Çözüm: $U = I.R = 2.100 = 200$ Volt bulunur.

Örnek: Şekildeki devrede bilinmeyen kaynak gerilimini ohm kanunundan yararlanarak bulalım.



Şekil3.6

Çözüm: $U = I.R$ formülünde verilen değerler yerine konulursa;

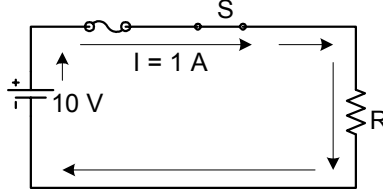
$1k\Omega = 1.10^3 = 1000 \Omega$ birim dönüşümünden sonra,

$U = 0,5A.1000\Omega = 500$ Volt bulunur.

Ohm kanunu ile kapalı bir devrede gerilim değerlerini bu şekillerde bulunabilir. Bu bir direnç üzerinde düşen gerilim düşümü de olabilirdi. Bu tür soruları kitabın ilerleyen sayfalarında bulabilirsiniz.

8.2 OHM KANUNU İLE DİRENCİN BULUNMASI

Örnek: Aşağıdaki şekildeki devrede verilen değerler yardımı ile bilinmeyen direnç değerini bulalım.

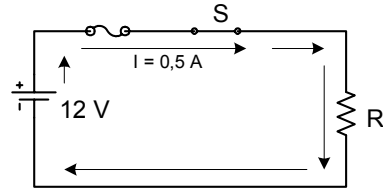


Şekil3.7

Çözüm: Ohm kanunu formülünde verilen değerler yerine konulursa, devreye bağlı olan üzerinden 1 Amperlik akım akıtan direnç değeri;

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 10 \Omega \text{ değeri bulunur.}$$

Örnek: Aşağıdaki şekildeki devrede verilen değerler yardımı ile bilinmeyen direnç değerini bulalım.

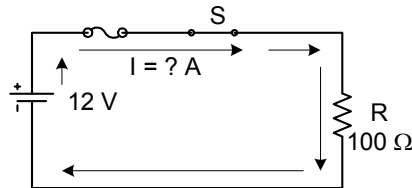


Şekil3.8

Çözüm: Değerler yerine konularak,

8.3 OHM KANUNU İLE AKIMIN BULUNMASI

Örnek: Aşağıdaki şekilde verilen değerler yardımı ile kaynaktan çekilen akımı bulalım.



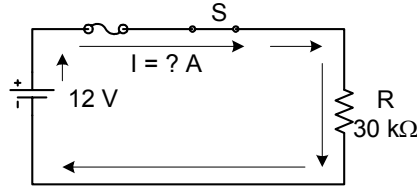
Şekil3.9

Çözüm: Şekilde de görüldüğü gibi bilinmeyen I değeri, bu değeri de bulmak için, formülde yerine konulduğu taktirde kaynaktan çekilen akım bulunur.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ V}}{100 \Omega} = 0,12 \text{ Amper veya } I = 120 \text{ mA}$$

bulunur.

Örnek: Aşağıdaki şekilde verilen değerler yardımı ile kaynaktan çekilen akımı bulalım.



Şekil.3.10

Çözüm: Formülde yerine konmadan önce birim dönüşümü olup olmadığına bakmak gerekir. Dikkat edilirse R değeri $k\Omega$ cinsinden verilmiş. Bunu formülde yerine koymadan Ω 'a dönüştürürsek;

$$R = 30 \text{ k}\Omega = 30 \cdot 10^{+3} = 30.000 \Omega$$

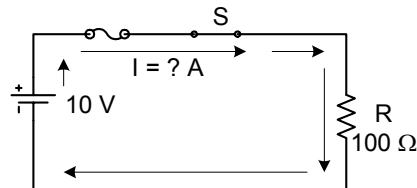
$$I = \frac{U}{R} = \frac{120 \text{ V}}{30 \text{ k}\Omega} = \frac{120 \text{ V}}{30000 \Omega} = 0,004 \text{ A veya } I = 4 \text{ mA bulunur.}$$

Örnek: Bir elektrik motoru 220 Voltluk bir gerilimle çalışmakta ve direnci ise 10Ω dur. Bu elektrik motoru hattan ne kadar'lık bir akım çektiğini bulalım.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220 \text{ V}}{10 \Omega} = 22 \text{ Amper}$$

bulunur.

Örnek: Şekildeki devrede 100 ohm üzerinden geçen akımı ohm kanunundan yararlanarak bulalım.



Şekil3.11

Çözüm: Kaynak gerilimi 10 V aynı zamanda direnç uçlarında da görüleceğinden, direncin üzerinden geçen akım,

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10V}{100\Omega} = 0,1 \text{ Amper}$$

Eğer kaynak gerilimi 30 Volt olmuş olsaydı direncin üzerinden geçen akım ise,

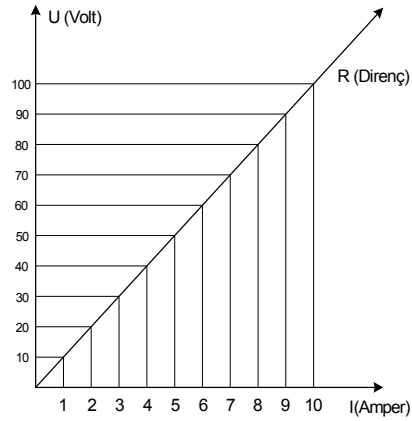
$$I = \frac{30}{100} = 0,3 \text{ Amper olurdu.}$$

8.4 GRAFİKLE OHM KANUNUNUN GÖSTERİLMESİ

10 ohm'luk bir direnç elemanı gerilim değeri 10 volttan 10'ar volt yükseltilecek 100 volt direnç uçlarına uygulandığında bu değerler ışığında bu direnç üzerinden geçen akım değerleri not edilir ve I (akım), U(gerilim) eksenleri doğrultusunda 10 ohm'luk direncin grafiği çıkartılır. Bu durumu laboratuvar da deneysel olarak kanıtlayabiliriz.

R=10 OHM için U ve I değerleri $I = U/R$ den I değeri bulunur ve tabloda yerine yazılır. Bu tablodaki değerleri grafiğe dökersek 10 ohm luk direncin grafiğini çıkarmış oluruz.

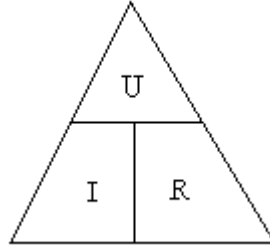
U	I
10 V	1 A
20 V	2 A
30 V	3 A
40 V	4 A
50 V	5 A
60 V	6 A
70 V	7 A
80 V	8 A
90 V	9 A
100 V	10 A



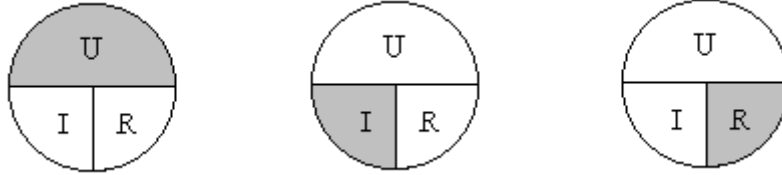
Şekil3.12 Direncin I-U grafiği

Dikkat edilirse ohm kanunu formülü nedenli doğru olduğu görülmektedir.

Ohm kanunu formüllerini bir üçgen yardımıyla pratik olarak birlikte yazabiliriz.



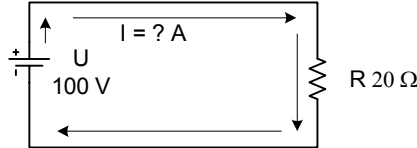
Burada hangi büyüklük hesaplanmak isteniyorsa o karakterin üzerini şekilde görüldüğü gibi kapatıyoruz. Aşağıdaki şekillerde, bu metotla akım, gerilim ve direnç değerini bulabiliriz.



Şekil3.13 Gerilim, akım ve direnç veren formüller

9. OHM KANUNU İLE İLGİLİ SORU VE ÇÖZÜMLERİ

Soru: Şekildeki devrede eleman üzerinden geçen akımı bulunuz.



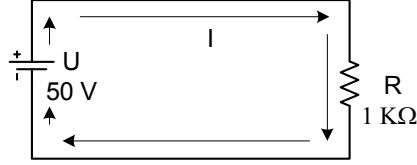
Şekil3.14

Çözüm: $I = U/R$ formülünde değerleri yerine yazarak 20 ohm' luk direnç üzerinden geçen akım bulunur.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100V}{20\Omega} = 5 \text{ Amper bulunur.}$$

Sizlerde aynı şekildeki devrede voltaj değeri 50 volt olduğundaki akımı bulunuz

Soru: Şekildeki devrede $1\text{k}\Omega$ üzerinden geçen akımı bulunuz.



Şekil3.15

Çözüm: Şekilde verilen devrede gerilim değeri 50 V ve direnç değeri $1\text{ k}\Omega$ bu değerleri ohm dönüştürerek $I=U/R$ formülünde yerine koyarak,

$$I = \frac{U}{R} = \frac{50\text{V}}{1\text{k}\Omega} = \frac{50\text{V}}{1.10^3\Omega} = 50.10^{-3}\text{ A} = 50\text{mA}$$

bulunur.

Problem: Şekil3.16daki devrede $1\text{k}\Omega$ üzerinden geçen akımı bulunuz.



Şekil3.16

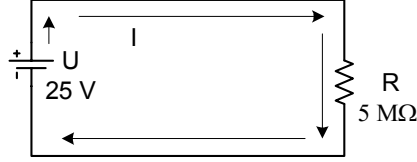
Çözüm: Dikkat edilirse verilen direnç değeri $\text{k}\Omega$ cinsinden bu verilen değeri ohm değerine dönüştürelim. $R=1\text{k}\Omega = 1000\Omega = 1.10^{-3}\Omega$ dönüşümü yapılır.

Ohm kanunu formülünde $U=50\text{ V}$, $R= 1.10^{-3}\Omega$ yerlerine konularak;

$$I = \frac{U}{R} = \frac{50\text{V}}{1\text{k}\Omega} = \frac{50\text{V}}{1.10^3} = 50.10^{-3}\text{ Amper} = 50\text{mA}$$

Bulunur. Sizlerde aynı devre de $1\text{k}\Omega$ yerine $10\text{k}\Omega$ bağlayarak üzerinden geçen akımı bulunuz.

Problem: Şekildeki devrede $5\text{ M}\Omega$ üzerinden geçen akımı bulunuz.



Şekil3.17

Çözüm: Burada yapmamız gereken birim dönüşümü olup olmadığına bakıp varsa dönüşümü yapmak;

$5\text{ M}\Omega = 5 \cdot 10^6\ \Omega$ dönüşümü yapılır. Formülde yerine konulursa;

$$I = \frac{U}{R} = \frac{25\text{V}}{5\text{M}\Omega} = \frac{25\text{V}}{5 \cdot 10^6\ \Omega} = 5 \cdot 10^{-6}\text{ A} = 5\mu\text{A} \text{ bulunur.}$$

Sizlerde aynı devrede $5\text{ M}\Omega$ yerine $1\text{ M}\Omega$ bağlayarak üzerinden geçen akımı bulunuz.

Problem: Bir devreye $100\text{ M}\Omega$ ve uçlarına 50 KV bağlandığı taktirde bu eleman üzerinden geçen veya 50 kV 'luk kaynaktan çekilen akımı bulunuz.

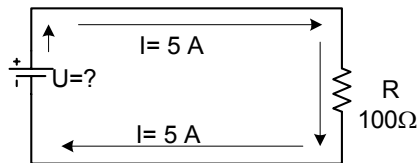
Çözüm: Burada gerilim kaynağı 50 KV ve direnç değeri $100\text{ M}\Omega$ verilmiştir. Bu değerlerin dönüşümü yapılması gerekir.

$$50\text{kV} = 50 \cdot 10^3\text{ V}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{50\text{kV}}{100\text{M}\Omega} = 0,5 \cdot 10^{-3}\text{ A} = 0,5\text{mA} \quad \text{Akımı bulunur}$$

Sizlerde $10\text{ M}\Omega$ ve 2kV olduğu durumda direnç üzerinden geçen akımı bulunuz.

Problem: Şekildeki devrede $100\ \Omega$ üzerinden geçen akım 5 Amper ise bu 5 Amperi süren gerilim değerini bulunuz.



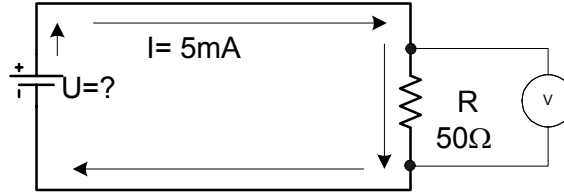
Şekil3.18

Çözüm: Eleman üzerinden geçen akım $I=5\text{ A}$, elemanın değeri $R=100\ \Omega$ bu değerler ohm kanunu formülünde yerine konulduğu takdirde kaynak gerilimi;

$$U = I.R = 5\text{A}.100\Omega = 500\text{Volt Bulunur.}$$

Sizlerde eleman üzerinden 8 Amper geçtiği takdirde kaynağın geriliminin ne olacağını bulunuz.

Problem: Şekildeki devrede $50\ \Omega$ üzerinden 5 mA geçtiğine göre kaynağın gerilimi ve voltmetrorenin gösterdiği değeri bulunuz.



Şekil3.19

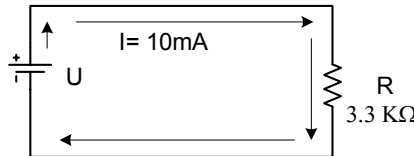
Çözüm: Burada dikkat edilirse akım değeri Amperin askatı olarak verilmiştir. Bu değeri amper olarak dönüştürmek gerekir.

$5\text{ mA}=5.10^{-3}\text{ Amper}$ olur. Bu değeri ohm kanunu formülünde yerine koyarsak kaynak gerilimi;

$$U = I.R = (5\text{mA}).(50\Omega) = (5.10^{-3}\text{ A}).(50\Omega) = 0,25\text{V} = 250\text{mV}$$

bulunur. Bu değer aynı zamanda voltmetrorenin gösterdiği değerdir. Sizlerde şekildeki devrede 22Ω üzerinden 10mA geçtiğine göre voltmetrorenin gösterdiği değeri bulunuz.

Problem: Şekildeki devrede akım 10 mA olduğuna göre gerilim değerini bulunuz.



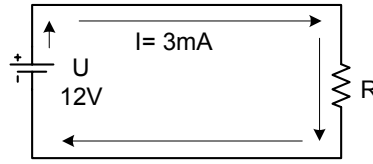
Şekil3.20

Çözüm: $3.3\text{ k}\Omega$ direncin çektiği akım 10 mA olduğuna göre yine faydalanacağımız formül ohm kanunu formülü olacaktır. Verilenler yerine konulursa,

$$U = I.R = (10\text{mA}).(3.3\text{k}\Omega) = (10.10^{-3} \text{ A}).(3.3.10^3 \Omega) = 33\text{V}$$

bulunur. Burada yine dikkat edilmesi gereken birim dönüşümleri yapılması gerekir. Sizlerde aynı devre için kaynaktan 5 mA çekildiği zamanki gerilim kaynağının değerini bulunuz.

Problem: Şekildeki devrede kaynaktan 3 A çekildiğine göre bu kaynaktan 3A çekilmesine sebep olan direnç değerini bulunuz.



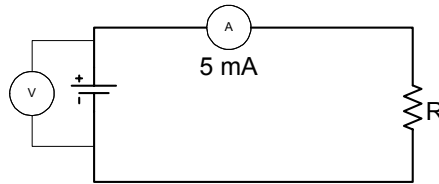
Şekil3.21

Çözüm: Kaynak gerilimi 12 V ve kaynaktan çekilen akım 3 mA formülde yerine konulursa;

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12\text{V}}{3\text{mA}} = \frac{12\text{V}}{3.10^{-3}} = 4.10^3 \Omega = 4\text{k}\Omega$$

bulunur. Aynı devre için 3 A çekildiği durumdaki direnç değerini bulunuz.

Problem: Şekildeki devrede kaynak uçlarına bağlanan voltmetre 150 V ve devreye ampermetre ise 5 mA gösterdiğine göre ölçü aletlerinin verdiği değerler ışığında direncin değerini bulunuz.



Şekil3.22

Çözüm:Dikkat edilirse Ampermetrenin gösterdiği değer direnç üzerinden geçen akımı ve voltmetredeki gerilim değeri ise direnç uçlarındaki gerilim değerini vermektedir. Gerekli birim dönüşümlerini yaptıktan sonra formülde yerine konularak direnç değeri;

$$R = \frac{U}{I} = \frac{150\text{V}}{5\text{mA}} = \frac{150\text{V}}{5.10^{-3}} = 30.10^3 \Omega = 30\text{k}\Omega$$

bulunur. Sizlerde aynı devre için voltmetrenin gösterdiği değer 50 V, ampermetrenin gösterdiği değer ise 500 mA için direnç değerini bulunuz.

U (Gerilim Değeri)	I (Akım Değeri)	R (Direnç Değeri)
64 V		16 Ω
	1,5 A	23 Ω
9 V	0,36 A	
36 V		25 k Ω
120 V		1,5 M Ω
	8 mA	4,7 k Ω
38 V	76 μ A	
450 mV		0,03 k Ω
0,2 kV	800 mA	
	5200 pA	1,85 M Ω

Tablo 1

Problem:Tablo1 de eksik yerleri ohm kanunundan yararlanarak doldurunuz. Bu problemde şimdiye kadar ohm kanunu ile ilgili çözmüş olduğumuz problemleri tablo 1 üzerinde direnç, akım ve gerilim değerlerini dolduracak şekilde verilmiştir.

Problem: Aşağıdaki boşlukları ohm kanunundan yararlanarak doldurunuz.

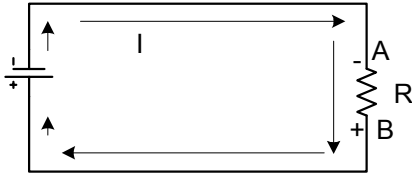
U (Gerilim Değeri)	I (Akım Değeri)	R (Direnç Değeri)
	0,42 A	200 Ω
48 V		25 Ω
160 V	6,4 A	
	3 mA	15 k Ω
24 V		1,2 M Ω
110 V	550 μ A	
	33,3 mA	0,5 k Ω
90 MV	3,6 mA	
	1000 pA	0,44 M Ω
1,41 kV		470 k Ω
100 V		22 k Ω

Tablo 2

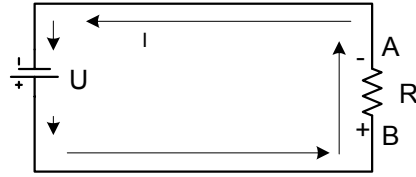
10. AKIMIN ve GERİLİMİN YÖNÜ

Elektrik akım ve yönünün negatif (-) kutuptan, pozitif (+) kutba doğru olarak kabul edilir. Günümüzde özellikle elektronik alanında yazılmış kitaplarda kabul edilen akım yönüdür. Ancak devre şemalarında akım yönünün sembolik olarak gösterilmesini etkiler, teorik hesaplamalarda ve pratik uygulamalarda sonuçları etkilemez. Bu sebeple alınan sembolik yön pratikte negatife veya negatiften pozitif akması hiçbir değer değişikliğine sebebiyet vermez.

Bir dirençten akım geçtiği zaman, bu direnç uçlarında bir gerilim düşümü meydana gelir. Direnç uçlarında düşen gerilim yönü, akım yönüne göre bakılır. Akım negatif kutuptan pozitif kutba doğru aktığı kabul edildiğinde, (bu teoride kabul edilebilir) akımın dirence giriş yaptığı taraf, direnç üzerinde düşen gerilimin negatif kutbu, akım dirençten çıkış yaptığı taraf ise direnç üzerinde düşen gerilimin pozitif kutbudur. Aşağıdaki şekilde bir elektrik devresinde, direnç üzerinde düşen gerilimin yönü görülmektedir.



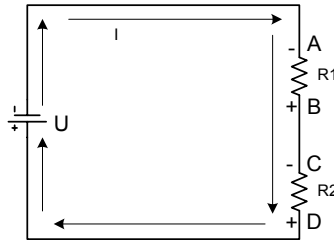
Bir direnç üzerinde gerilimin yönü
Şekil3.23(a)



Bir direnç üzerinde gerilimin yönü
Şekil3.23(b)

Yukarıdaki görülen şekil3.23(a)daki devrede akım, gerilim kaynağının (-) kutbundan çıkarak R direncinin A ucundan giriş yapmakta ve B ucundan çıkış yapmaktadır. Böylece, direncin A ucu (-), B ucu ise (+) olur. Direnç uçlarında düşen gerilim ölçülmek istenirse D.C Voltmetrenin (-) ucu direncin A ucuna, (+) ucu ise direncin B ucuna paralel bağlanmalıdır

Bir elektrik devresinde iki direncin seri olarak bağlandığını düşünelim. Bu durumda da her direnç ayrı ayrı ele alınır ve akımın giriş ve çıkış yönlerine göre o direnç uçlarında düşen gerilimin kutupları belirlenir. Aşağıdaki şekilde seri bağlı direnç üzerinde düşen gerilimlerin yönleri görülmektedir. Devreyi iyi bir şekilde incelersek akımın ve gerilimin uçlarında nasıl bir durum oluşuyor onu net bir şekilde görebiliriz.

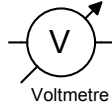


Şekil3.24 Seri bağlı direnç üzerinde düşen gerilimlerin yönü

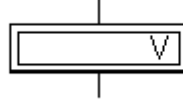
Yukarıdaki şekil3.24de akım R_1 direncinin A ucundan giriş B ucundan çıkış yapmaktadır. Bu direncin A ucu (-), B ucu (+) olur. R_2 direncinin C ucundan giren akım D ucundan çıkmaktadır. Buna göre R_2 direncinin C ucu (-), D ucu (+) olur.

R_1 direnç uçlarında düşen gerilim bir D:C voltmetre ile ölçülmek istendiğinde, voltmetrenin (-) ucu R_1 direncinin A ucuna, (+) ucu ise direncin B ucuna bağlanmalıdır. R_2 direnci uçlarında düşen gerilimi ölçmek istendiğinde ise voltmetrenin (-) ucu R_2 direncinin C ucuna, (+) ucu ise D ucuna bağlanmalıdır.

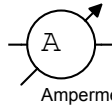
D.C akım devrelerinde akım D:C ampermetrelerle, gerilim ise D:C voltmetrelerle ölçülür. Bunların bir arada olan aletlere multimetre veya AVO (AMPER, VOLT ve OHM) denir. Aşağıdaki şekillerde D.C Ampermetre ve D.C Voltmetre şekilleri görülmektedir.



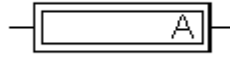
Voltmetre



Voltmetre sembolleri

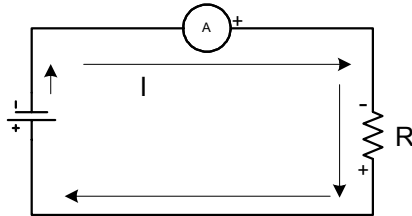


Ampermetre



Şekil3.25 Ampermetre sembolleri

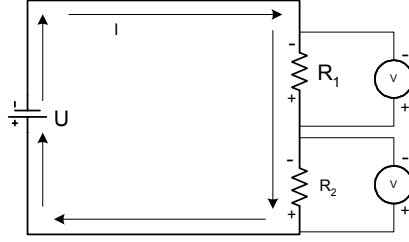
D:C ampermetreler devreden geçen D:C akımı ölçer ve devreye seri bağlanır. D:C ampermetrelerin (+) ve (-) uçları vardır. Devreye bağlanırken ampermetrenin (-) ucunun akımın giriş yaptığı noktaya, (+) ucunun ise akımın çıkış yaptığı noktaya bağlanması gerekir. Aşağıdaki şekilde D.C ampermetrenin devreye bağlanması görülmektedir.



Şekil3.26 D.C. ampermetrenin devreye bağlanması

D.C. Voltmetreler iki nokta arasında D.C. gerilim ölçer. D.C. Voltmetreler, gerilimi ölçülecek elemana paralel olarak bağlanır. D.C voltmetrenin bir ucu (-) diğer ucu ise (+) dır. Gerilim ölçerken, voltmetrenin (-) ucu gerilimin (-) ucuna, voltmetrenin(+) ucu ise gerilimin (+) ucuna bağlanır. Aşağıdaki şekilde D.C voltmetre kullanılarak direnç uçlarında düşen gerilimlerin ölçülmesi görülmektedir.

Burada R_1 direncinin uçlarındaki gerilim düşümünü bir voltmetre, R_2 uçlarındaki gerilim düşümünü ise diğer voltmetre ölçmektedir.



Şekil3.27 D.C voltmetrenin devreye bağlanması

11. ENERJİ ve GÜÇ

Giriş: Günlük yaşamda kullanılan enerji üreten sistemler ve bu enerjiyi kullanan cihazlarda istenen en büyük özellik herhangi bir enerjinin diğer enerjilere kolaylıkla dönüştürülebilmesi ve bu dönüşüm sırasında kayıpların en az olmasıdır. Elektrik enerjisi ve elektrikli cihazlarda bu özellik diğer enerji şekillerine ve cihazlarına oranla daha üstün özellikler gösterir. Bu bölümde, elektrik işi, gücü ve uygulamaları anlatılacaktır.

11.1 İŞ VE ENERJİ

Etrafımızda oluşan değişimleri iş, bu işi oluşturan yetenekleri de enerji olarak tanımlamıştık. Örneğin bir elektrik motorunun dönmesi ile bir iş yapılır, ve bu işi yaparken de motor bir enerji kullanır.

Mekanik İş : bir cismin, F kuvveti etkisi altında L uzunluğuna gitmesi ile yapılan iş olup,

$$W = F \cdot L$$

formülü ile hesaplanır. Bu formülde;

F = Kuvvet

L = Alınan yol

W = İş 'tir

MKS birim sisteminde, uzunluk metre (m), kuvvet newton (N) alındığından iş birimi de newton metre (Nm) veya kısaca joule (jull) olur. Ve (J) ile gösterilir.

Uçlarındaki gerilim U volt ve içerisinde t saniye süresince Q kulonluk enerji miktarı geçen bir alanda görülen iş ;

$$W = U \cdot Q$$

$Q = I \cdot t$ yerine kullanılırsa;

$$W = U \cdot I \cdot t \text{ formülü bulunur.}$$

W = elektrik işi (enerji) (joule)
U = alıcı gerilim (volt)
I = alıcı akım (amper)
't = alıcının çalışma süresi (saniye) dir.

Bu üretecin verdiği iş ise aynı yoldan

$$W = E \cdot I \cdot t \quad \text{formülü ile bulunur.}$$

W = Üretecin verdiği iş (joule)
E = Üretecin EMK sı (Volt)
I = Üretecin verdiği akım (amper)
t = üretecin çalışma süresi (saniye)
Elektriksel iş birimi Volt Amper saniye (kısaca V .A s) dir. Doğru akımda 1 VA= 1 Watt alındığında elektrikteki iş birimi de Watt .saniye (Ws) veya joule olur.

$$3600 \text{ Ws} = 1 \text{ Watt saat (1 Wh)}$$

3600000 Ws = 1000 Wh = 1 kiloWatt saat (1kWh) uygulamada çok kullanılır.

Örnek: 110 voltluk bir doğru akım şebekesinden 2A çeken bir cihazın bir günde sarf ettiği işi(enerji) bulalım

$$\begin{aligned} W &= U \cdot I \cdot t \\ &= 110 \cdot 2 \cdot 24 = 5280 = 5,28 \text{ kWh} \quad \text{bulunur.} \end{aligned}$$

11.2 DİRENCİN GÜCÜ

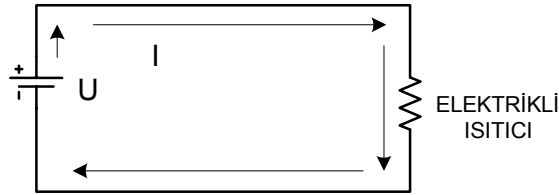
Direncin gücü, üzerinde ısı olarak harcayabileceği güç demektir. Dirençlerin gücü, boyutları ile doğru orantılıdır. Buna göre direncin boyutları büyükse gücü yüksek, boyutları küçükse gücü düşük demektir. Direnç üzerinde harcanan güç, dirençten geçen akımla, üzerinde düşen gerilimin çarpımına eşittir. O noktaya bağlanacak direncin gücü buna göre seçilmelidir. Direncin gücü, üzerinde ısı olarak harcanacak güçten daha küçük direnç seçilirse o direnç aşırı ısıdan dolayı yanar.

Piyasada, 0.125(1/8)Watt, 0.25(1/4) Watt, 0.5(1/2) Watt, 1 Watt, 5 Watt ve daha yukarı güçte dirençler bulunabilmektedir. Dirençlerin gücünün omik değerle bir ilişkisi yoktur. Buna göre omik değeri düşük fakat gücü yüksek dirençler bulunduğu gibi bunun tersi, omik değeri yüksek, gücü düşük dirençlerde vardır.

Bir cihaz veya malzemenin büyüklüğü hakkındaki bilgi verebilmek, yapabileceği işi ne kadar sürede yapabileceğini söyleyebilmek için, birim zamanda yaptığı işin bilinmesi gerekir. İşte birim zamanda yapılan işe güç denir. (P) ile gösterilir ve

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{veya} \quad P = \frac{U.I.t}{t} = U.I$$

Buradan ;



Şekil3.30

Dikkat edilirse gerilim $U = I \cdot R$ den güç formülünde yerine konulursa

$$P = U \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R \quad \text{Watt bulunur.}$$

Eğer gerilim belli ise $I = U/R$ formülünden güç formülünde yerine konulursa;

$$P = U \cdot (U / R) = U^2 / R \quad \text{Watt}$$

olarak ta bir direnç üzerinde harcanan gücü bulabiliriz. Buradaki formülde;

P = cihazın gücü veya alınan güç (Watt)

U = uygulanan gerilim (Volt)

I = çekilen akım veya elemanın üzerinden geçen akım (Amper)

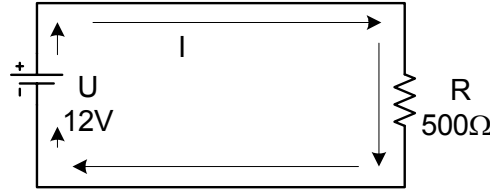
MKS birim sistemine göre (J/s) dir. Buna kısaca “Watt” denir W ile gösterilir. Bu birim as ve üst katları mevcuttur. Bunlar kendi aralarında biner biner büyür biner biner küçülür.

$$1W = 1000 \text{ mW}$$

$$1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$$

$$10^6 \text{ W} = 1 \text{ kW} \quad \text{dır.}$$

Örnek: Şekildeki devrede yukarıda anlatılan formülle devredeki direnç üzerinde harcanan gücü bulunuz.



Şekil3.31

Çözüm: $I = \frac{U}{R} = \frac{12V}{500\Omega} = 24mA$

$$P = U.I = (12V).(24 mA) = (12V).(0,024A) = 0,288W = 288 mW$$

Gerilim değeri kullanılmadan çözüm yapılabilir.

$$P = I^2.R = (24.10^{-3} A)^2 .500 \Omega = 0,288 W = 288 mW$$

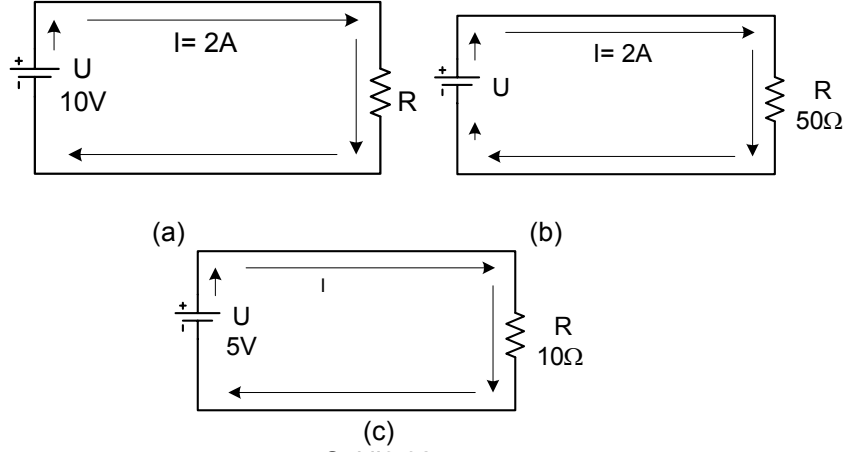
Akım değeri kullanılmadan çözüm yapılabilir.

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{12V^2}{500\Omega} = 0,288W = 288mW \text{ bulunur.}$$

Örnek: Mersinde elektriğin kWh 100TL dir Bir evde kullanılan televizyonun gücü 500W ve 2 saat, müzik seti 75W 4saat, Klimanın gücü 1500W 30 dakika, elektrik ocağının gücü 2kW 45 dakika, çalıştığına göre harcanan toplam enerjiyi ve kaç liralık s arfiyat olduğunu bulunuz.

Televizyon	:	(0.5kW).(2 saat)	=	1 kWh
Müzik seti	:	(0.075kw).(4saat)	=	1.5kWh
Klima	:	(1.5kw).(0.5saat)	=	0.75kWh
Elektrik ocağı	:	(2kw).(0.75saat)	=	1.5kWh
Toplam yapılan iş	:		=	5.05kWh
Harcanan elektrik enerjisi	:	(5.05kWh) .(100 TL)	=	505TL

Örnek: Aşağıdaki şekillerdeki gücü her devre için bulunuz.



Şekil3.32

Çözüm: Şekil3.32(a) Devrede harcanan güç, bu devre direnç değeri bilinmediği için

$$P = U \cdot I = 10V \cdot 2A = 20W$$

Şekil3.32(b) Devrede harcanan güç, bu devrede kaynağın değeri bilinmediği için şekil3.32(a) da kullanıla formül işimize yaramayacaktır. O zaman akım ve devresinin olduğu formül kullanılacaktır.

$$P = I^2 \cdot R = 2^2 A \cdot 50\Omega = 200 W$$

(c) Devrede harcanan güç; Akım bilinmediğine göre (a) ve (b) de kullanılan formülleri kullanılamayacağından diğer bir güç formülü olan;

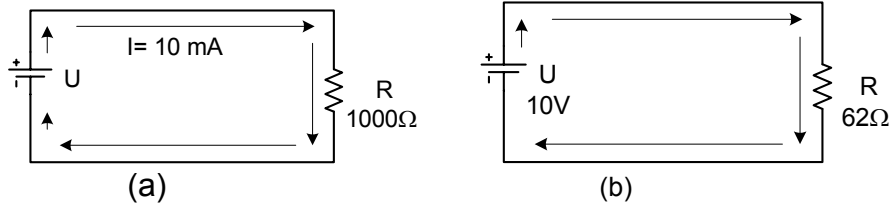
$$P = U^2 / R = 5^2 V / 10\Omega = 25V / 10\Omega = 2.5 W \text{ bulunur.}$$

Örnek: Bir direncin harcadığı güç 100 W üzerinden düşen gerilim düşümü ise 120V dur. Buna göre direnç üzerinden geçen akımı bulunuz.

Çözüm : $P = U \cdot I$ güç formülünden $U \cdot I / U = P / U$ eşitliğin her iki tarafını U ya bölersek $I = P / U$ formülü bulunur. Değerler yerine konulursa

$$I = \frac{100W}{120V} = 0,833A = 833mA \text{ bulunur.}$$

Örnek: Aşağıdaki şekillerdeki devrelerde kullanılan karbon direncin üzerinden geçen akıma göre kaç watt'lık direnç kullanılması gerekir bulunuz.



Şekil3.28

Şekil3.28 (a) daki direnç üzerinde harcanan güç;

$$10\text{mA} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$P = I^2 \cdot R = (10\text{mA})^2 \cdot (1000\Omega) = (10 \cdot 10^{-3} \text{ A})^2 \cdot (1000\Omega)$$

$$P = 0,1 \text{ Watt veya } P = 100 \text{ mW}$$

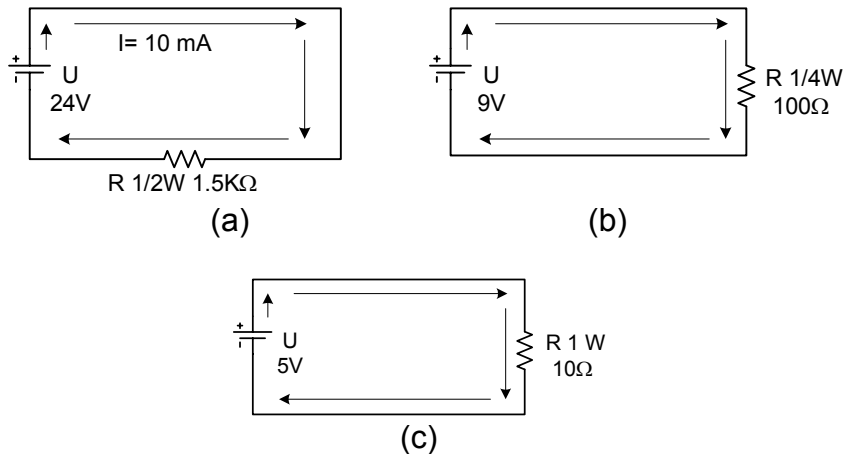
Bu devrede direncin üzerinden geçen akıma dayanabilmesi ve yanmaması için 1/8W(0.125W) lık direnç seçilmesi yeterlidir.

Şekil (b) deki direnç üzerindeki harcanan güç;

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(10\text{V})^2}{62\Omega} = 1.6\text{Watt}$$

Bu devrede kullanılacak direncin gücü 2 W'lık seçilmesi gerekir. Aksi taktirde bu devre için daha küçük wattlı direnç seçilirse ısıdan dolayı yanar.

Örnek: Aşağıdaki devrelerde kullanılan dirençlerin omik ve güç değerleri üzerlerinde verilmiştir. Acaba bu devreler için uygun güç değerleri seçilmişmidir? Bulalım.



Şekil3.29

Çözüm: Şekil3.29(a) için 24Vluk kaynaktan çekilen ve 1.5 kohm direnç üzerinde harcanan güç;

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(24V)^2}{1,5k\Omega} = \frac{(24V)^2}{1500\Omega} = 0,384W$$

bu devre için $\frac{1}{2}(0.5)W$ lık direnç seçilmiş direnç üzerinde harcanan güç $P=0,384 W$, $0.384W < 0.5W$ olduğundan bu devre için seçilen direncin güç değeri uygundur.

Şekil3.29(b) deki devredeki direncin harcadığı güç;

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(9V)^2}{100\Omega} = \frac{81V^2}{100\Omega} = 0,81Watt$$

Direnç en az 0,81 W'lık olması gereklidir. Dikkat edilirse seçilen direncin gücü $\frac{1}{4}W(0.25W)$ uygun değildir. Çünkü direncin üzerinde harcanan güç $P=0,81W > 0,25W$ bundan dolayı bu devre için güç değeri uygun değildir. Bu devreye 1W'lık direnç bağlanması gerekir.

Şekil3.29(c) deki devrede direnç üzerindeki harcanan gücü bulursak;

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(5V)^2}{10\Omega} = 2,5W$$

direnç üzerinde harcanan güç bulunur. Devreye bağlanan direncin gücü 1W'lık seçildiğinden ve $2,5W > 1W$ olacağından seçilen direncin güç değeri uygun değildir. 2,5 W veya 3 W'lık direnç seçilmelidir.

Örnek: Bir 200 Ω 'luk ve 2 W'lık bir direncin üzerinden max. Geçen akımı bulunuz.

Çözüm:

$$P = I^2 R \leq 2W$$

$$I^2 \cdot (200\Omega) \leq 2W$$

$$I^2 \leq 0,01$$

$$I \leq 0,1A = 100mA$$

bulunur. Bu direnç max. 100 mA'lık akıma dayanır. Bunun üzerindeki bir akım uygulandığı taktirde direnç aşırı ısıdan dolayı yanar. Bunun için direncin sadece omik değeri yeterli değil direnç seçilirken o direncin o devreye dayanıp dayanmayacağı da göz önünde tutulmalıdır.

BÖLÜM 2

SERİ DEVRELER VE KİRŞOFUN GERİLİM KANUNU

ELEKTRİK DEVRELERİNİN HESAPLANMASI

SERİ DEVRELER

2.1 DİRENÇLERİN SERİ BAĞLAMASI

2.2 SERİ DEVREDE AKIM

2-3 TOPLAM (EŞDEĞER) DİRENÇ

2-4 SERİ DEVREDE OHM KANUNU

2-5 GERİLİM KAYNAKLARININ SERİ BAĞLANMASI

2-6 KIRCHHOFF'UN GERİLİMLER KANUNU

2-7 GERİLİM BÖLÜCÜLER

2-8 SERİ DEVREDE GÜÇ

2-1 DİRENÇLERİN SERİ BAĞLANMASI

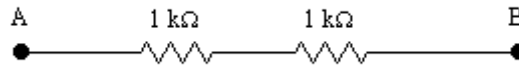
Devrelerde direnç sembolleri karşımıza aşağıdaki şekil 2.1 (a) ve (b) deki gibi karşımıza çıkmaktadır. Bu semboller devreler sıkça karşımıza çıkacak ve birimi ohm (Ω) olarak bilinecektir. Bu birimi önceki konularda açıklamasını yapmıştık. Tekrar bir hatırlatma yaparsak ohm küçük bir birim olduğu için askatları mevcut olmayıp üst katları vardır. Bunlar kilo ohm ($k\Omega$) ve mega ohm ($M\Omega$) dur. Bu birimler arası dönüşümler 1000'er 1000'er büyür 1000'er 1000'er küçülürler. Bu birim dönüşümlerini örneklersek;

$$1\Omega = 10^{-6} M\Omega \quad 1\Omega = 10^{-3} k\Omega$$

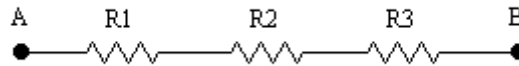
$$100\Omega = \dots\dots\dots k\Omega? \quad 520 k\Omega = \dots\dots\dots \Omega ?$$

bunları çözersek; $100\Omega = 0,1 k\Omega$, $520 k\Omega = 520.000 \Omega$ olduğunu görürüz.

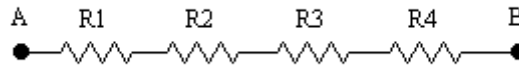
Bu direnç değerlerini teorik olarak bu şekilde yapıldığı gibi ölçü aleti ile de direncin değerinin kaç olduğunu da ölçerek bulabiliriz. Direncin değerini ölçmede kullanılan ölçü aletinin ismi ise OHMMETRE'dir. Bu açıklamalar ve hatırlatmalardan sonra dirençler tek bir şekilde devrede kullanıldığı gibi birden fazlası da aynı devrede kullanılabilir. Bu dirençlerin kendi aralarındaki biri birinin ucuna bağlantı şekillerine göre isimlendirilirler. Dirençlerin birinin çıkış ucunun diğerinin giriş ucuna o direncinde çıkış ucunun diğerinin giriş ucuna bağlanma şekline dirençlerin seri bağlanması denir. Kısaca akımın değişmediği aynı akımın tüm elemanların üzerinden geçtiği durumdur. Bu bağlantı şekline örnek verirsek daha iyi anlaşılır.



(a)



(b)

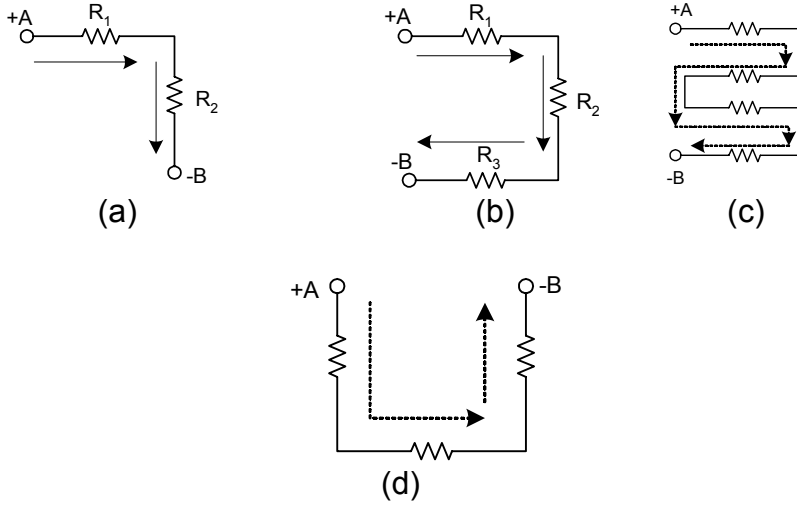


(c)

Şekil 2.1 Dirençlerin seri bağlantı şekli

Çeşitli Seri Direnç Bağlantısı

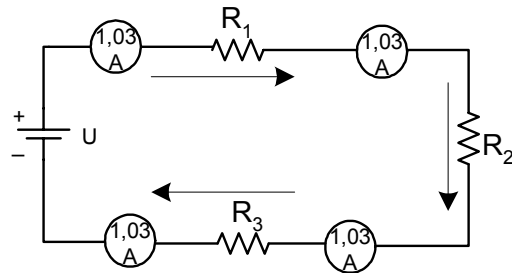
Direnç elemanı devrede şekil 2.1 deki gibi bağlandıkları gibi şekil 2.2 deki gibi de bağlanır. Üzerlerinden dikkat edilirse aynı akım takip ettiği görülür. Seri bağlantıda elemanlar üzerinden geçen akım aynıdır.



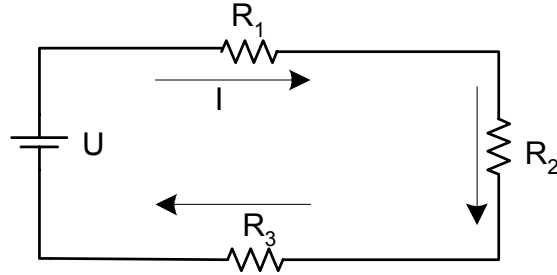
Şekil 2.2 Dirençlerin seri bağlanması ve akımın üzerlerinden geçişi

2.2 SERİ DEVREDE AKIM

Devreden akımın akması için direnç uçlarına bir gerilim kaynağı bağlanması gerekir. Şimdi dirençleri seri bağlayıp uçlarına bir gerim uygulayıp üzerlerinden geçen akımı inceleyelim.



Şekil 2.3 (a) Seri bağlı dirençlerin üzerinden geçen akım

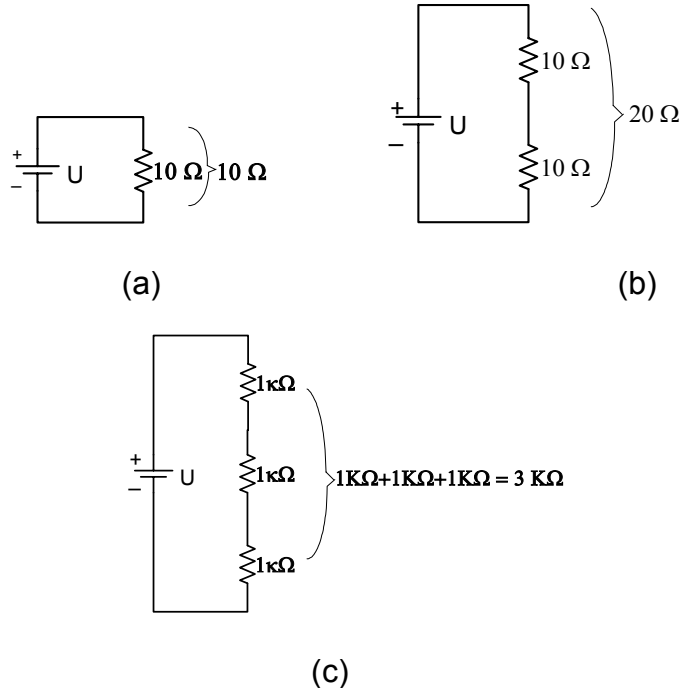


Şekil2.3 (b)

Dikkat edilirse dirençler seri bağlanıp ve bu dirençlerin uçlarına bir güç kaynağına bağlanmış bu elemanlar üzerinden bir akım şeklinde görüldüğü gibi geçmekte. Bu akımda devreye seri bağlanan ampermetre ile kaynaktan ve dirençlerden geçen akımları şekil 2.3 (a) da görüldüğü gibi ölçülür. Bu ölçülen akıma bakarsak kaynaktan çekilen akım devrede bağlı olan direnç üzerlerindeki ile aynı değeri göstermektedir. Seri bağlamada kaynaktan çekilen akımla elemanlar üzerinden geçen akım aynıdır. Bu seri devre özelliklerinden bir tanesidir.

2-3 TOPLAM (EŞDEĞER) DİRENÇ

Dirençler (pasif eleman) bir veya n tanesini seri bağlayabiliriz. Bu bağladığımız seri bağlı dirençlerin tek bir direnç haline getirme işlemlerine toplam veya eşdeğer direnç bulma denir. Dirençlerin seri bağlanması ve toplam direnç değerlerini üzerinde gösteren şekiller gösterelim.



Şekil 2.4 Dirençlerin seri bağlanması ve Eşdeğeri

Şekil 2.4 de dirençler bir, iki, ve üç tanesi kendi aralarında seri bağlanmış yanlarında ise bu dirençlerin toplam değerleri bulunmuştur. Görüldüğü üzere n tane direnç de olsa şekil 2.4 (a)deki devrede olduğu gibi tek bir direnç şekline getirilir. Bu hale getirmek için dirençler seri bağlı ise bu dirençlerin omik değerleri kendi aralarında tek tek toplanır. Bunu formül haline getirsek;

$$R_T \text{ veya } R_{eş} = R_1 + R_2 + R_3 + + R_n$$

$$R_T \text{ veya } R_{eş} = R_1 + R_2 + R_3 + + R_n$$

genel formülü ortaya çıkar. Bir devrede 4 tane direnç seri bağlanmışlarsa;

$$R_T = R_{EŞ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

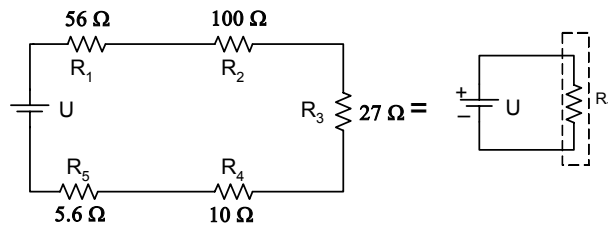
Eğer devrede 6 tane direnç seri bağlanmış ise;

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$

gibi direnç değerleri kendi aralarında skalar olarak toplanır. Bu formüllerin hepsi genel formülden çıkmaktadır. Eğer dirençler birbirleri ile seri bir şekilde bağlanmışsa bu değerler toplanacak tek bir direnç haline getirilecektir.

Örnek 2.1:

Şekil 2.5 deki devrede verilen dirençlerin eşdeğerini bulunuz.



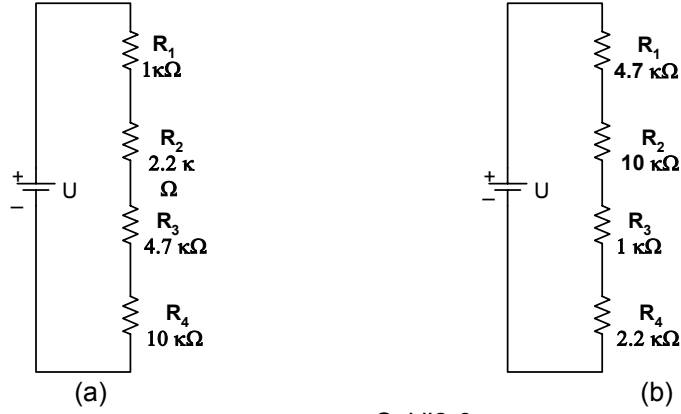
Şekil 2.5

$$\begin{aligned} R_T = R_{EŞ} &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \\ &= 56 + 100 + 27 + 10 + 5,6 \\ &= 198,6 \Omega \end{aligned}$$

bulunur. 5 tane direnç yerine aynı işi yapan R_T bağlamamız yeterli olur.

Örnek 2.2:

Aşağıdaki şekil 2.6 da ki devrelerin toplam direncini bulunuz.



Şekil2-6

Çözüm 2.2:

Şekil 2.6 (a) da ki devre için;

$$R_T = 1k\Omega + 2,2k\Omega + 4,7k\Omega + 10k\Omega = 17,9k\Omega$$

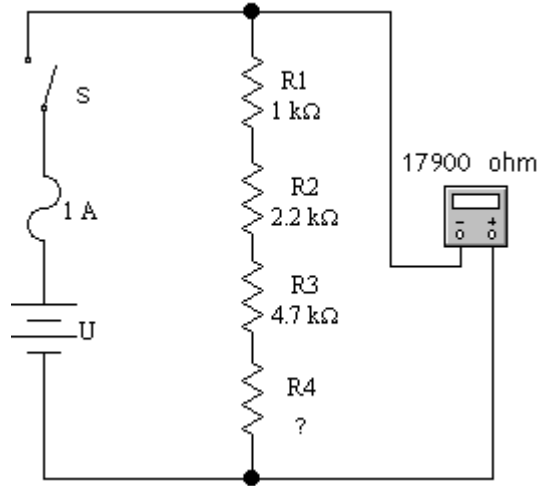
Şekil 2.6 (b) deki devre için;

$$R_T = 4,7k\Omega + 10k\Omega + 1k\Omega + 2,2k\Omega = 17,9k\Omega$$

bulunur. Şekil 2.6 (a) ve (b) deki dirençler aynı değerli olması nedeniyle toplam direnç değerleri eşit çıkmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken durum değerleri aynı bağlantı yerleri farklı da olsa toplam direnç değeri aynı çıkar.

Örnek 2.3:

Aşağıdaki şekil 2.7 deki devrede ohm metrenin gösterdiği değer 17900 Ω olduğuna göre R_4 direncinin değeri kaç $k\Omega$ dur.



Şekil 2.7

Devrede görüldüğü gibi dirençler üzerinden herhangi bir akım akmadığı ve direnç uçlarında gerimin olmadığı gözüküyor. Devredeki S anahtarı devreyi kesmektedir. Eğer S anahtarı devreyi kesmemiş olsa bu bağlantı ve ölçülen değer yanlış olurdu. Direnç ölçerken direncin uçlarında ve üzerinden herhangi bir akım akmaması gerekir. Dirençlerin tam değerinin görülebilmesi için direnç uçlarında dirençlere seri veya başka tür bir bağlantı olmaması gerekir. Şekil 2.7 de olduğu gibi. Devre de ölçüm hatası olmadığı tespitini yaptıktan sonra R_4 direncini bulalım. Ohmmetrenin gösterdiği bağlantı şekline göre toplam direnci vermektedir. Buna göre;

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \\ 17,9k\Omega &= 1k\Omega + 2,2k\Omega + 4,7k\Omega + R_4 \quad R_4 \text{ 'ü çekersek;} \\ R_4 &= 17,9 - (1k\Omega + 2,2k\Omega + 4,7k\Omega) \\ R_4 &= 10 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

bulunur.

Aynı Değerli Dirençlerin Seri Bağlanması

Dirençler farklı değerlerde seri bağlanabildikleri gibi aynı değerli dirençlerde birbirleri ile seri bağlanabilirler. Bunlarda tek bir direnç haline aldırılabilir. Bu gibi durumda aşağıdaki formülü kullandığımız taktirde eşdeğer direnç değerini bulabiliriz.

$$R_{E\text{ş}} = R_T = nR$$

$$R_{E\text{ş}} = R_T = nR$$

Bu konuyu örnek vermek gerekirse; $22\ \Omega$ 'luk sekiz adet direnci seri bağladığımızda eşdeğer direncin değerini bulalım.

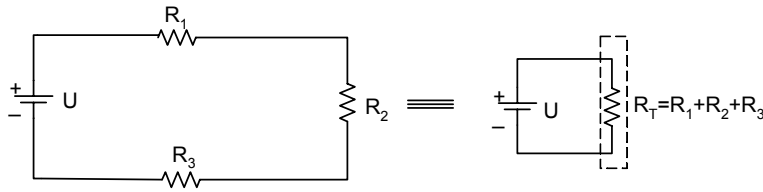
$$R_T = nR = 8.22\Omega = 176\Omega$$

bulunur. Bu örneğimizi dirençlerin seri bağlama formülü ile bulmuş olsaydık, işlem kalabalığı daha fazla olacaktı.

2-4 SERİ DEVREDE OHM KANUNU

Ohm kanunu tek bir dirençte uygulanabildiği gibi n tane direncin seri bağlanmasında da kullanılabilir. Şimdiye kadar seri bağlanan dirençlerin eşdeğerini bulduk, fakat bu dirençler gerilim kaynağı bağlayıp bu dirençler üzerlerinden geçen akımları, direnç uçlarındaki gerilim düşümlerini bulmadır. Ohm kanununda görmüş olduklarımızı seri devrede kullanalım ve devrenin analizini yapalım. Aşağıdaki devre üzerinde ohm kanunu tekrar hatırlayalım. Şekil 2.8 de dirençlerin seri ve o dirençlerin eşdeğerini göstermekte ve eşdeğer direnç değeri $R_T = R_1 + R_2 + R_3$ olduğunu şekil üzerinde nasıl bulunduğunu gördük. devreden geçen toplam akım ise;

$$I_T = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U}{R_T} \text{ aynı sonucu verecektir.}$$



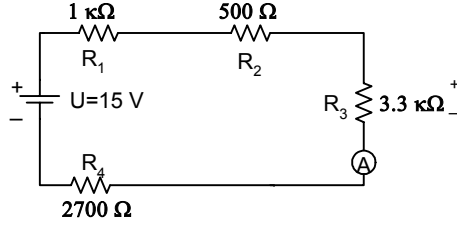
Şekil 2.8

Örnek 2.4:

15 Voltluk bir gerilim kaynağının uçlarına $1\text{ k}\Omega$, 500Ω , $3,3\text{ k}\Omega$ ve 2700Ω dirençleri seri bağlanıyor. $3,3\text{ k}\Omega$ direncin üzerinden geçen akımı bulunuz.

Çözüm 2.4:

Soruyu bir devre üzerinde gösterirsek sorunun basit olduğu ortaya çıkacaktır.



Şekil 2.9

Devrede elemanlar seri bağlandıkları için toplam direnç formülünü kullanırsak;

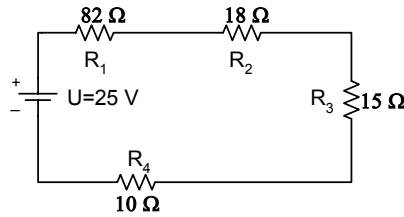
$$R_T = R_{EŞ} = 1k\Omega + 0,5k\Omega + 3,3k\Omega + 2,7k\Omega = 7,5k\Omega$$

Kaynaktan çekilen akım, aynı zamanda 3,3 kΩ dan da geçen akımdır. Bunu bulmak için ohm kanununu kullanırsak;

$$I_T = I_{3,3\Omega} = \frac{15V}{7,5k\Omega} = \frac{15V}{7500\Omega} = 2 \cdot 10^{-3} A = 2mA \text{ bulunur.}$$

Örnek 2.5:

Şekil 2.10 deki devrede 25 V'luk kaynaktan çekilen akım ve elemanlar üzerinden geçen akımı bulunuz.



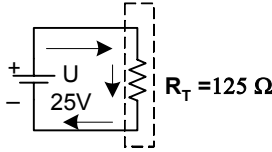
Şekil 2.10

Çözüm 2.5:

Devrede görüldüğü gibi dirençler birbirleri ile seri bağlı eşdeğer formülünü kullanarak bu dirençleri tek bir direnç haline getirelim.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 82\Omega + 18\Omega + 15\Omega + 10\Omega = 125\Omega$$

bulunur. Devre şekil 2.11 deki halini alır.



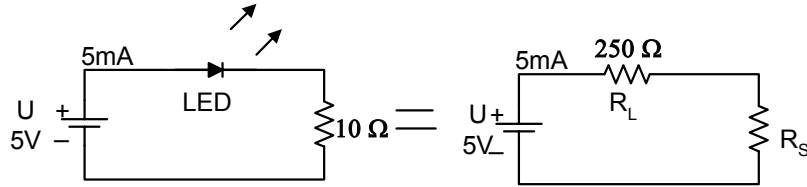
$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{25V}{125\Omega} = 0,2A$$
$$I = 200mA$$

Şekil 2.11

Kaynaktan çekilen akım bulunur. Aynı zamanda elemanlar üzerinden geçen akımda bulunmuş olur. Çünkü tüm elemanlar devreye seri bağlı.

Örnek 2.6:

Aşağıda şekil 2.12 de LED (ışık veren elektronik eleman) 5V'lık bir kaynağa seri bir dirençle bağlanıyor. Led üzerinden 5mA'lık bir akıma ve 250 Ω'luk bir direnç özelliği gösteren bir elemandır. Buna göre led'e seri bağlanacak direncin değerini bulunuz.



Şekil 2.12

Çözüm 2.6:

İlk yapmamız gereken toplam direnci bulmak.

$$R_T = R_S + R_L = R_S + 250\Omega$$

$$R_S = R_T - 250\Omega$$

Burada R_S ve R_T değerleri belli değil R_T 'yi akım ve gerilim değerleri belli olduğu için o değerlerden faydalananarak bulabiliriz.

$$R_T = \frac{U}{I_T} = \frac{5V}{5mA} = 1k\Omega = 1000\Omega$$

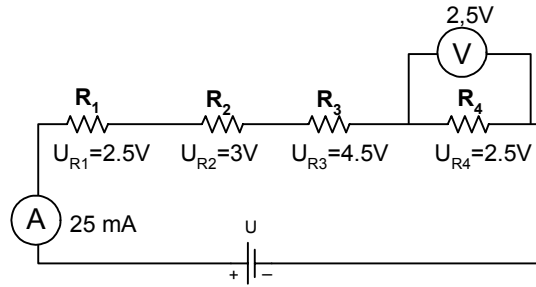
bu değer toplam direnç yerine yazılırsa led'e seri bağlanacak direnç değeri bulunur.

$$R_S = R_T - 250\Omega$$

$$R_S = 1000 - 250 = 750\Omega \text{ direnç lede seri bağlanması gerekir}$$

Örnek 2.7:

Şekil 2.13 deki devrede bağlı olan voltmetre 2.5V'tu devredeki ampermetre ise 25mA'i gösterdiğine göre; direnç değerlerini bulunuz.



Şekil 2.13

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = \frac{2,5V}{25mA} = \frac{2,5V}{25 \cdot 10^{-3} A} = 100 \Omega$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{3V}{25mA} = \frac{3V}{25 \cdot 10^{-3} A} = 120 \Omega$$

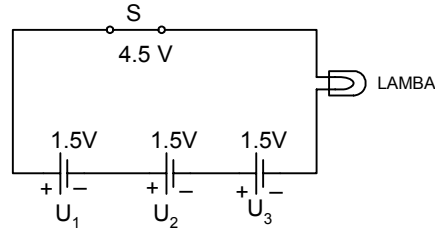
$$R_3 = \frac{U_3}{I} = \frac{4,5V}{25mA} = \frac{4,5V}{25 \cdot 10^{-3} A} = 180 \Omega$$

$$R_4 = \frac{U_4}{I} = \frac{2,5V}{25mA} = \frac{2,5V}{25 \cdot 10^{-3} A} = 80 \Omega$$

direnç değerleri bulunur. Bu devreyi **Electronics Workbench** programı ile deneyip görebilirsiniz. Dikkat edilirse dirençler seri bağlanma durumunda kaynaktan çekilen (ampermetrenin gösterdiği değer) akım elemanlar üzerinden aynen geçmektedir. İlerleyen konularda seri devrede akımın aynı gerilim değerlerinin değiştiiğini göreceğiz.

2-5 GERİLİM KAYNAKLARININ SERİ BAĞLANMASI

Dirençlerde olduğu gibi gerilim kaynakları da seri bağlanabilir. Gerilim değerlerini yükseltmek için veya gerilim değerini düşürmek istendiğinde kaynakları seri bağlayabiliriz. Aşağıdaki şekil 2.14 de üç adet pil birbirleri ile bağlanmış ve uçlarına bir lamba bağlanmıştır. Bu gerilimin eşdeğerini inceleyelim bu lambanın uçlarına kaç volt gerilim gelmektedir görelim.

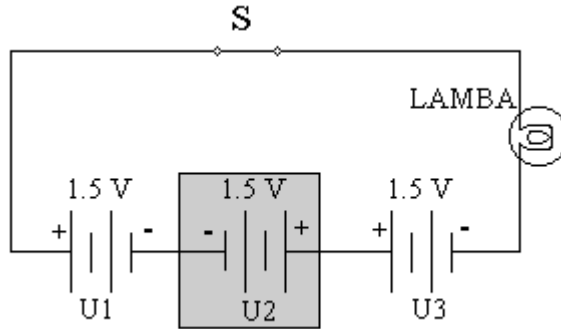


Şekil 2.14

Dikkat edilirse seri bağlamada kaynaklar (+) çıkan diğer kaynağın (-) ucuna bağlanmıştır. Kaynakları seri bağlamak için bu şekilde yapmak gerekir. Şekildeki gibi bağlantı yapıldığı takdirde lambanın uçlarındaki gerilim;

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 1,5V + 1,5V + 1,5V = 4,5V \text{olt}$$

gerilim değeri bulunur. Şekil 2.15 daki devrede bağlantı şekline göre lambanın uçlarındaki gerilim kaç volt olduğunu görelim.



Şekil 2.15

$$U = U_1 - U_2 + U_3 = 1,5V - 1,5V + 1,5V = 1,5V \text{olt}$$

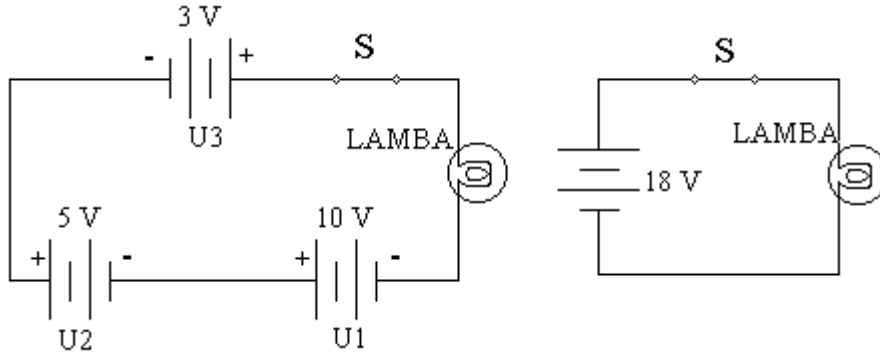
değeri bulunur.

Örnek 2.8:

Aşağıda şekil 2.16 de verilen elektrik devresine bağlı gerilim kaynaklarının toplam değerini ve bu kaynak yerine kaç voltluk tek bir kaynak bağlasak aynı işi yapar bulunuz.

Çözüm 2.8:

Şekil 2.16 deki devre incelenirse kaynaklar birbirlerine seri olarak bağlanmış bu durumda kaynakların değerlerinin toplamı bize lambanın uçlarındaki gerilim değerini ve eşdeğer kaynağın değerini verecektir.



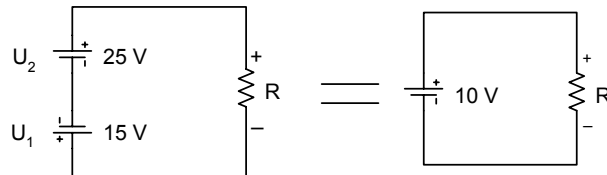
Şekil 2.16

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 10V + 5V + 3V = 18V\text{olt}$$

bulunur. Bu üç kaynağın yerine tek bir 18 Voltluk kaynak şekil 2.16 deki gibi bağlayabiliriz. Tabi ki vereceği gücü de uygun olması şartıyla.

Örnek 2.9:

Şekil 2.17 deki devrede gerilim veya direnç uçlarındaki gerilim değerini bulalım ve aynı görevi yapacak eşdeğer kaynağı direnç uçlarına bağlayalım.



Şekil 2.17

Çözüm 2.9:

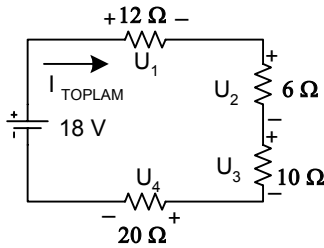
Şekil 2.17 deki kaynaklar birbirlerine bağlanmış bağlantıda elemanlar (-) uçları birbirine (+) uçları birbirlerine bağlanmış bu durumda büyük değerli olan kaynaktan küçük değerlikli kaynağın değerini çıkarıp büyük değerlikli kaynağın yönü alınır. Bu direnç uçlarında (+), (-) olarak belirtilmiştir. Direnç uçlarındaki gerilimi bulursak;

$$U = U_2 - U_1 = 25V - 15V = 10V$$

bulunur. Bu kaynağın aynı görevini yapacak şekil 2.17 de gösterilmiştir.

Örnek 2.10:

Şekil 2.18 da verilen devrede direnç uçlarında gerilim düşümlerini bulunuz.



$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_T = 12 + 6 + 10 + 20$$

$$= 48\Omega$$

$$I_T = \frac{U}{R_T} = \frac{24V}{48\Omega} = 0,5A$$

Şekil2.18

Direnç uçlarındaki gerilim düşümlerini bulursak;

$$U_1 = I.R_1 = 0,5A.12\Omega = 6V$$

$$U_2 = I.R_2 = 0,5A.6\Omega = 3V$$

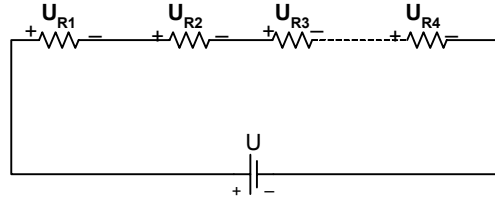
$$U_3 = I.R_3 = 0,5A.10\Omega = 5V$$

$$U_4 = I.R_4 = 0,5A.20\Omega = 10V$$

direnç uçlarındaki gerilim düşümleri bulunur. Bu gerilim düşümleri toplamı dikkat edilirse kaynak gerilimine eşittir. Bu ileriki konuda bir kanun adı altında incelenecektir.

2.6 KIRCHHOFF'UN GERİLİMLER KANUNU

Kapalı bir elektrik devresinde, seri bağlı dirençlerin üzerinde düşen gerilim düşümlerinin toplamı devreye bağlanan gerilim kaynağının uçlarındaki gerilime eşittir. Bu ifade ettiğimiz tanımı bir devre üzerinde gösterirsek;



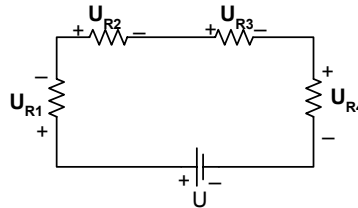
Şekil 2.19

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots U_n$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots U_n$$

Kirchhoff'un gerilimler kanunu formülünü genellenmiş olarak ortaya çıkar

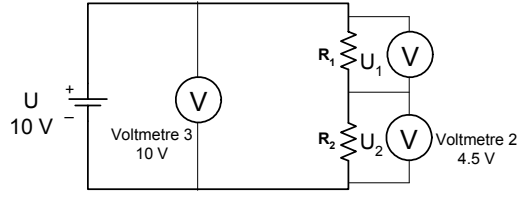
Kirchhoff'un gerilimler kanunun başka bir tanımı, kapalı bir elektrik devresinde gerilimlerin toplamı sıfıra eşittir.



Şekil 2.20

$$U - U_1 - U_2 - U_3 - U_4 = 0$$

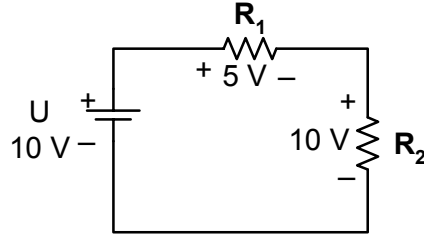
Kirchhoff'un ikinci tanımı göre formülü ortaya çıkar bu formülü ilerleyen konularımızda sıkça kullanılacaktır. Kanunun laboratuvar ortamın da kanıtlanması için şekil 2.21 deki gibi bağlantı yapılırsa voltmetrelerin gösterdiği değerlere bakarak kanunun nedenli doğru olduğu gözükür.



Şekil 2.21

Örnek 2.11:

Şekil 2.22 de verilen devrede direnç uçlarındaki gerilim düşümleri verildiğine göre kaynak gerilimini bulunuz.



Şekil2-22

Çözüm 2.11:

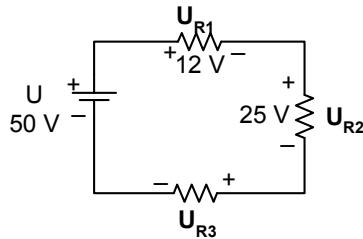
Kirchhoff gerilim kanunundan yararlanarak kaynak gerilimini bulabiliriz.

$$U = 5V + 10V = 15 V$$

Bulunur.

Örnek 2.12:

Şekil 2.23 deki devrede U_3 gerilim değerini kirchhoff gerilimler kanunundan yararlanarak bulunuz.



Şekil-2.23

Çözüm 2.12:

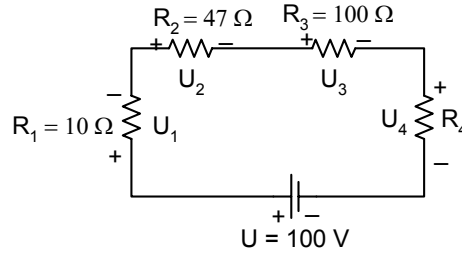
Kirchhoff'un gerilimler kanunun ikinci bir tanımlanmasını yapmıştık. Kapalı bir devrede gerilimlerin toplamının sıfıra eşit olduğunu söylemiştik. Buna göre R_3 direncinin uçlarındaki gerilim düşümünü bulursa;

$$\begin{aligned}U - U_1 - U_2 - U_3 &= 0 \\50V - 12V - 25V - U_3 &= 0V \\50V - 37V - U_3 &= 0V \\U_3 &= 13V\end{aligned}$$

bulunur.

Örnek 2.13:

Şekil2.24 deki devrede R_4 direncinin değerini kanunlardan yararlanarak bulunuz



Şekil 2.24

Çözüm 2.13:

Ohm kanunundan yararlanarak direnç uçlarındaki gerilim düşümlerini bulalım.

$$\begin{aligned}U_1 &= I.R_1 = (200mA).(10\Omega) = 2V \\U_2 &= I.R_2 = (200mA).(47\Omega) = 9,4V \\U_3 &= I.R_3 = (200mA).(100\Omega) = 20V\end{aligned}$$

direnç uçlarında ki gerilim düşümü bulunur. Daha sonra kirchhoffun gerilimler kanunundan yararlanarak R_4 direnci uçlarındaki gerim düşümünü bulalım.

$$\begin{aligned}U - U_1 - U_2 - U_3 - U_4 &= 0 \\100V - 2V - 9,4V - 20V - U_4 &= 0 \\68,6V - U_4 &= 0V \text{ dan } U_4 = 68,4V \text{ bulunur.}\end{aligned}$$

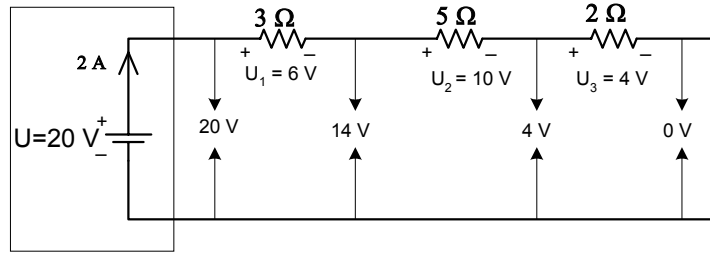
R_4 direnci uçlarındaki gerilim düşümünü ve üzerinden geçen akım seri olduğu için aynı akım R_4 üzerinden de geçtiğinden ohm kanununu bu direnç için uygularsak;

$$R_4 = \frac{U_4}{I} = \frac{68,6V}{200mA} = 343\Omega \quad \text{bulunur.}$$

bu direnç değeri standart direnç değeri değildir. Bu direnç değerine en yakın %5 toleranslı 330 ohm'luk direnç bağlayabiliriz.

Örnek 2.14:

Şekil 2.24 deki devreyi ele alalım. ohm kanunu ve kirchhoffun gerilimler kanunundan yararlanarak bu devreyi inceleyelim.



Şekil 2-25

Çözüm 2.14:

Şekil 2.25 deki devre seri bir devre olduğu için toplam direnç formülünden;

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 3\Omega + 5\Omega + 2\Omega = 10\Omega$$

toplam direnç bulunur. Kaynaktan çekilen akım;(kaynağın gerilim değeri verilmiş)

$$I = \frac{U}{R_4} = \frac{20V}{10\Omega} = 2 \text{ Amper kaynaktan çekilen akım bulunur.}$$

Bu bulunan akım elemanlar seri olduklarından tüm direnç üzerinden aynı akım geçeceğinden, direnç uçlarındaki gerilim düşümleri;

$$U_1 = 3\Omega \cdot 2A = 6V$$

$$U_2 = 5\Omega \cdot 2A = 10V$$

$$U_3 = 2\Omega \cdot 2A = 4V$$

direnç uçlarındaki gerilim değerleri bulunur. Şekil üzerinde de gösterildiği gibi 3 ohm'luk direnç üzerinde 6 V'luk gerilim düşümü olmuş diğer dirençlere kalan gerilim ise;

$$U - U_1 = 20V - 6V = 14V \text{ kalmıştır.}$$

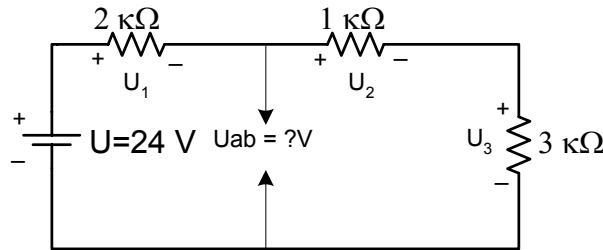
İkinci direnç olan 5 ohm'luk direnç 10 V'luk gerilim düşümüne sebebiyet vermiş geriye R_3 direncine kalan gerilim ise;

$$U - U_1 - U_2 = 20V - (6V + 10V) = 4V$$

üçüncü(2 ohm) dirence kalan gerilim değeridir. Dikkat edilirse kapalı bir devrede gerilimlerin düşümü kaynak gerilimine eşitliği görülmektedir. Kirchhoffun kanunu tekrar bu devrede de kanıtlanmış oldu.

Örnek 2.15:

Şekil2.26 deki devrede ab uçlarındaki gerilimi kirchhoffun gerilimler kanunundan faydalanarak bulunuz.



Şekil 2-2 6

Çözüm 2.15:

ab uçlarındaki gerilimi bulmak için önce eşdeğer direnci ve kaynaktan çekilen akımı bulmamız gerekir.

$$R_{EŞ} = R_1 + R_2 + R_3 = 2k\Omega + 1k\Omega + 3k\Omega = 6k\Omega = 6.000\Omega$$

kaynaktan çekilen akım;

$$I = \frac{U}{R_{EŞ}} = \frac{24V}{6k\Omega} = 4mA$$

bulunur. Bu akım seri devrede tüm elemanlardan akacağından R_1 elemanı üzerindeki gerilim düşümü;

$$U_1 = R_1 \cdot I = 2\text{k}\Omega \cdot 4\text{mA} = 2 \cdot 10^3 \Omega \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{A} = 8\text{V}$$

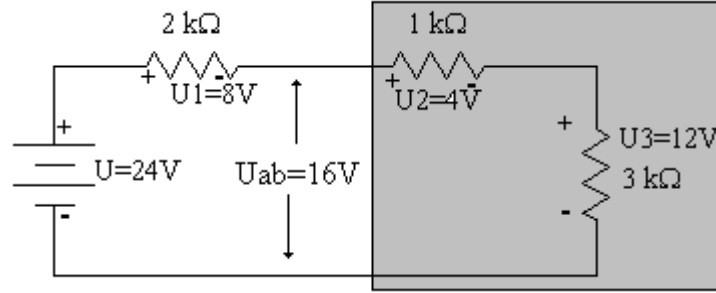
bulunur. Bu değeri kaynak geriliminden çıkartırsak ab uçlarındaki gerilimi buluruz. Veya ab uçlarındaki gerilim ve R_1 elemanı üzerindeki gerilimin toplamı kaynak gerilimini vereceğinden;

$$U = U_1 + U_{ab}$$

$$24\text{V} = 8\text{V} + U_{ab} \text{ den;}$$

$$U_{ab} = 24\text{V} - 8\text{V} = 16\text{V}$$

bulunur. Bu bulduğumuz gerilim değeri aşağıdaki şekil 2.27 de gösterildiği gibi bir kısmı R_2 direnci diğer kalan kısmı ise R_3 direnci üzerinde gerilim düşümü olarak görünecektir.



Şekil 2.27

2-7 GERİLİM BÖLÜCÜLER

Seri dirençlerden oluşan bir devrede akım sabittir. Yine seri bağlı dirençlerin uçlarında düşen gerilim, sabit olan bu akım ile her bir direncin çarpımına eşittir. Buna göre her direncin uçlarında düşen gerilim o direncin değeri ile doğru orantılıdır. Seri bağlı dirençlerden omik değeri yüksek olanın üzerinde $I \cdot R$ formülünden dolayı, omik değeri düşük olan direncine göre daha fazla gerilim düşer. Seri bağlı dirençler eşit ise üzerlerinde düşen gerilim de eşit olur.

Bir gerilim kaynağı ve seri bağlı dirençlerden oluşan devreye gerilim bölücü olarak düşünülebilir. Her direncin üzerine düşen gerilim $I \cdot R_x$ formülü ile hesaplandığını biliyoruz. Aynı şekilde devre akımı $I = U/R_{E\text{ş}}$ formülü ile bulunduğunu biliyoruz. Burada akım değerini $U = I \cdot R_x$ formülünde yerine yazarak seri bağlı herhangi bir direncin uçlarındaki gerilim düşümünü bulabiliriz.

Bu açıklamalardan sonra gerilim bölücü formülünü çıkartırsak;

$$U_X = I R_X \text{ (1.Formül)} \quad \text{kaynaktan çekilen akım} \quad I = \frac{U}{R_{E\text{Ş}}}$$

I akımı formül bir(1) de yerine konulursa;

$$U_X = \frac{U}{R_{E\text{Ş}}} \cdot R_X \quad \text{düzenlenir ise}$$

$$U_X = \frac{R_X}{R_{E\text{Ş}}} \cdot U$$

Gerilim bölücü formülü çıkar.

x: 1,2,3.....n , direnç sayılarıdır.

Bu formül doğrudan direncin üzerinde düşen gerilimi verir. Bu formülde kullanılan karakterlerin anlamı ve birimini açıklayalım.

U : Kaynak gerilimi (Volt)

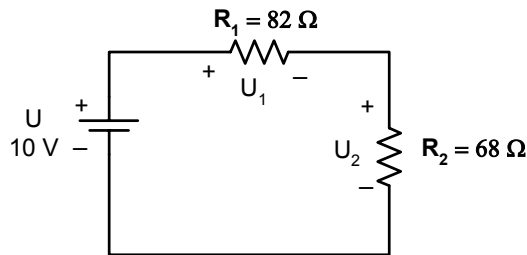
R_{EŞ} : Eşdeğer(toplam) direnç (ohm)

R_X : Üzerinde düşen gerilimi hesaplanacak direnç (ohm)

U_X : R_X direnci üzerinde düşen gerilim (Volt)

Örnek 2.16:

Şekil 2.28 deki elektrik devresinde kaynak gerilimi ve pasif elemanın omik değeri verilmiş, R₁ direnci uçlarındaki gerilim U₁, R₂ direncinin uçlarındaki gerilim(U₂) değerini gerilim bölücü formülünü kullanarak dirençlerin uçlarındaki gerilimi bulunuz.



Şekil 2.28

Çözüm 2.16:

Gerilim bölücü formülümüzde devrede verilen değerleri yerine koyarsak;

$$R_{E\text{Ş}} = R_1 + R_2 = 82\Omega + 68\Omega = 150\Omega$$

$$U_1 = \left(\frac{R_1}{R_{E\text{Ş}}}\right).U = \left(\frac{82\Omega}{150\Omega}\right).10V = 5,47 \text{ Volt}$$

bulunur. R_2 uçlarındaki gerilimi şimdi önceki görmüş olduğumuz kirchhoffun gerilim kanunundan yararlanarak bulalım, daha sonra gerilim bölücü formülünden bulduğumuz değerle karşılaştıralım.

$$U = U_1 + U_2 \text{ den } U_2\text{'yi çekersek}$$

$$U_2 = U - U_1 = 10V - 5,47V = 4,53V$$

Bulunur. Gerilim bölücü formülünü kullanarak çözersek;

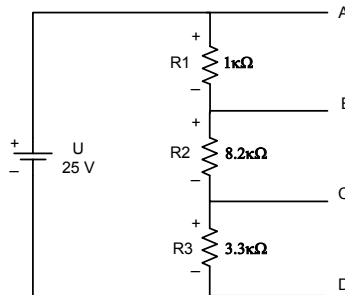
$$U_2 = \left(\frac{R_2}{R_{E\text{Ş}}}\right).U = \left(\frac{68\Omega}{150\Omega}\right).10V = 4,53V \quad \text{bulunur.}$$

Dikkat edilirse her iki yöntemle de aynı sonucu verir. Bu da olması gereken bir durum.

Örnek 2.17:

Aşağıda şekil 2.29 da verilen devrede gerilim bölücü formülünü kullanarak aşağıdaki şıklarda belirtilen gerilim değerlerini bulunuz.

(a) AB arası (b) AC arası (b) BC arası (c) BD arası (d) BD arası (e) CD arası



Şekil-2.29

Çözüm 2.17:

Seri bağlı direnç elemanlarının eşdeğer direnç değerini bulursak;

$$R_{E\dot{S}} = R_1 + R_2 + R_3 = 1k\Omega + 8,2k\Omega + 3,3k\Omega$$

$$R_{E\dot{S}} = 12,5k\Omega = 12,5 \cdot 10^3 = 12500\Omega$$

gerilim bölücü formülünde $R_{E\dot{S}}$ değeri yerine konularak örnekteki şıkları cevaplandırabiliriz

(a)
$$U_{AB} = \left(\frac{R_1}{R_{(E\dot{S}=T)}} \right) \cdot U = \left(\frac{1k\Omega}{12,5k\Omega} \right) \cdot 25V = 2V$$

(b) Gerilim değeri AC arası istendiği, AC arasında R_1 ile R_2 seri bağlı olduğundan bu uçların gerilimi;

$$U_{AC} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_{E\dot{S}}} \right) \cdot U = \left(\frac{9,2k\Omega}{12,5} \right) \cdot 25V = 18,4V \text{ dur.}$$

© BC uçlarında gerilim değeri sadece R_2 uçlarındaki gerilim, bu uçlardaki gerilim;

$$U_{BC} = \left(\frac{R_2}{R_{E\dot{S}}} \right) \cdot U = \left(\frac{8,2k\Omega}{12,5k\Omega} \right) \cdot 25V = 16,4V$$

(d) BD değeri arasındaki gerilim değeri R_2 ve R_3 dirençleri uçlarındaki gerilim düşümleri burada R_x değeri R_2 ile R_3 dirençlerinin toplamı olacaktır. Bu açıklamadan sonra U_{BD} ;

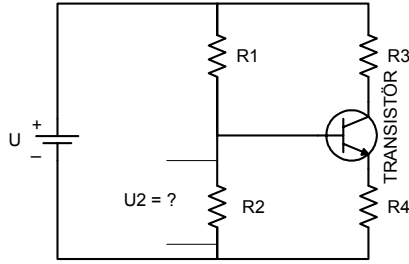
$$U_{BD} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_{E\dot{S}}} \right) \cdot U = \left(\frac{11,5k\Omega}{12,5} \right) \cdot 25V = 23V \text{ dur.}$$

(e) Son olarak CD arasındaki gerilim ise sadece R_3 uçlarındaki gerilim düşümüdür. Bu açıklamadan sonra U_{CD} ;

$$U_{CD} = \left(\frac{R_3}{R_{E\dot{S}}} \right) \cdot U = \left(\frac{3,3k\Omega}{12,5k\Omega} \right) \cdot 25V = 6,6V \text{ dur.}$$

Potansiyometre ile Gerilimin Bölünmesi

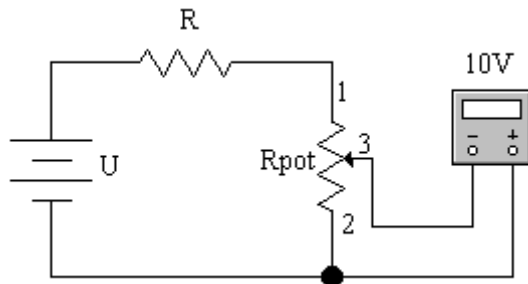
Şimdiye kadar sabit değerli dirençlerle kaynak gerilimini istediğimiz veya istemediğimiz değerlere böldük bu değerleri çeşitli elektronik devrelerde kullanıp çeşitli elemanları veya devreleri bölmüş olduğumuz gerilimle çalıştırabiliriz. En basitinden elektronik bir eleman olan transistörün Beyz-Emiter gerilimi gerim bölücü dirençlerle sürülmekte. Bu en basit örneklerden biri. Bu sabit direnç değerleri ile yapılmakta fakat düşünmek gerekirse bir güç kaynağının 0-30V arasında ayarlanması ve 1(bir) voltluk aralıkla gerilimin ihtiyaç olduğu durumda sabit değerli direnç bağlamak mantıklı olmasa gerek, bu işi yapacak olan potansiyometre kısaca pot dediğimiz elektronik elemanı kullanırız. Bu eleman üç bacaklı bir eleman olup elektronik devrelerde çok sık karşımıza çıkan bir elemandır. Görüldüğü gibi bu elemanda bir gerilim bölücü bir elemandır. Bu elemanın gerilimi nasıl böldüğü şekil2.31 de üç durumunda incelenmiştir.



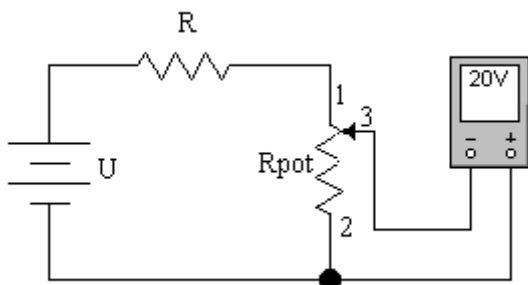
şekil 2.30

Şekil 4-30 şimdiye kadar anlatmaya çalıştığımız gerilim bölme işleminin elektronik devrede kullanıldığı en basit devre bu devredeki U_2 gerilimi;

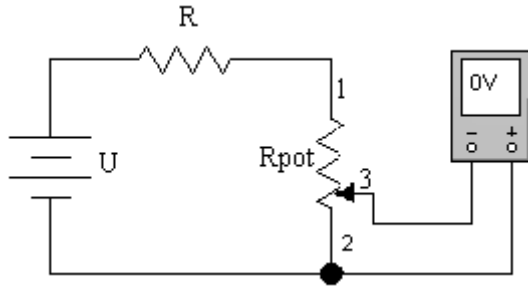
$$U_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U$$



Yandaki şekilde üç bacaklı eleman olan potansiyometre (pot) orta noktasında iken voltmetrenin gösterdiği gerilim değerini görün.



Potun 3 nolu bacağı 1 nolu bacak tarafına getirilmiş halde voltmetrenin bu eleman üzerinde ölçtüğü değeri görün.



Potun hareketli ucu 2 nolu tarafa getirilmiş vaziyette iken voltmetrenin gösterdiği değeri görün

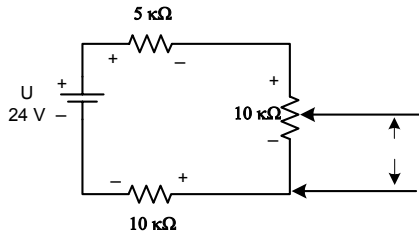
Şekil 2-31

Potansiyometre ile uçlarına uygulanan gerilimi istediğimiz değerde lineer bir pot taktığımızda üç nolu bacadan alma imkanımız yani istediğimiz gerilim değerini elde etme(gerilimi bölme) imkanına sahip oluruz. Bunu pratik olarak yapma imkanı olduğu gibi sabit dirençlerde teorik olarak yaptığımız gibi potla da teorik olarak yapabiliriz. Potla ilgili örnek, örnek 2.18 de verilmiştir.

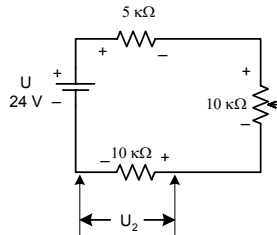
Örnek 2.18:

Şekil 2.32 deki lineer dirençlerin bağlı olduğu kapalı bir devrede $5k\Omega$ ve $10k\Omega$ sabit direnç ve $10k\Omega$ 'luk bir potansiyometre seri bağlanmış bu elemanlar $24V$ 'luk kaynaka beslenmiştir. Potansiyometrenin uçlarındaki gerilimi potansiyometre'nin 0 ve $10k\Omega$ (min.-max) değere ayarlandığı durumdaki şekilde gösterilen;

(a) U_1 'in (min-max) gerilim değerlerini (b) U_2 '(min-max.) gerilim değerlerini



(a)



(b)

Şekil 2.32

Çözüm2.18 (a):

Potansiyometrenin ayarının $10k\Omega$ da iken ki gerilim değerine E diyelim ve potansiyometre uçlarındaki bu devre için gerilim değerini bulalım.

$$E = \left(\frac{10k\Omega}{5k\Omega + 10k\Omega + 10k\Omega} \right) \cdot 24V = 9,6V$$

Potun max. Değerinde iken Bu devrede potansiyometrenin uçlarındaki gerilim düşümü

Pot değeri 10 kΩ da iken U₁ geriliminin alacağı değeri;

$$U_1 = \left(\frac{10k\Omega}{10k\Omega}\right) \cdot E = \left(\frac{10k\Omega}{10k\Omega}\right) \cdot 9,6V = 9,6V$$

Pot değeri 0(sıfır)'a ayarlandığı zamanki U₁ değeri;

$$U_1 = \left(\frac{0\Omega}{10k\Omega}\right) \cdot 9,6V = 0V$$

bu sonuçlara göre bu devre için U₁'in alacağı değer aralığı;
 $0 \leq U_1 \leq 9,6V$ aralığında istediğimiz gerilim değerini elde edebiliriz.

(b) Şekil 2.32(b) deki devrede istenen U₂ gerilimini bulmak için aşağıdaki işlemlerin sırayla yapılması gerekir;

10 kΩ 'luk pot değeri 10 kΩ 'a ayarlandığında potun uçlarındaki gerilim;

$$U_2 = \left(\frac{10k\Omega}{5k\Omega + 10k\Omega + 10k\Omega}\right) \cdot 24V = 9,6V$$

10 kΩ 'luk pot değeri 0'a ayarlandıysa;

$$U_2 = \left(\frac{10k\Omega}{5k\Omega + 10k\Omega + 0\Omega}\right) \cdot 24V = 16V$$

U₂ gerilimi bulunan değerlere göre alacağı sınırlar $9,6V \leq U_2 \leq 16V$ arasında olacaktır.

2-8 SERİ DEVREDE GÜÇ

Seri devrede elemanlar üzerinde harcanan güçlerin toplamı devredeki kaynakların harcadığı güce eşittir. Bu ifadeleri formül haline getirir ve genelleştirsek aşağıdaki seri devre için güç formülümüz ortaya çıkar.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n$$

Seri devrede güç formülü

P_T :Kaynaktan çekilen güç (Watt)

$P_1, P_2, \dots, P_n$:Seri bağılı dirençler üzerinde harcanan güçler(Watt)

N tane direnç elemanı seri devreye bağlansalar bunların üzerlerinde bir güç harcaması olacaktır bu harcanan güçlerin toplamı devredeki kaynakların verdiği güce eşit olacaktır. Güç formülü güç konusunda verilmişti. Bu formülü akım, gerilim ve direnç değerlerinin belli olduğu duruma göre inceleyelim.

$$P_T = U \cdot I$$

Kaynaktan çekilen akım ve Kaynağın uçlarındaki gerilim değeri belli ise bu formülden.

$$P_T = I^2 \cdot R_{EŞ}$$

Akım ve Eşdeğer(toplam) direnç biliniyorsa kaynaktan çekilen güç

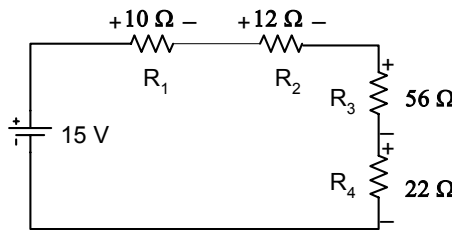
$$P_T = \frac{U^2}{R_{EŞ}}$$

Kaynak uçlarındaki gerilim değeri ve kaynağın bağlı olduğu dirençlerin değerleri biliniyorsa;

Bu bulduğumuz ve incelediğimiz kaynağın gücü, aynı formüllerden faydalanılarak eleman üzerlerinde harcanan $P_1, P_2, \dots, P_n$ güçlerini de bulmamıza yarar. Örneğin bir direncin uçlarındaki gerilimi ve üzerinden geçen akım biliniyorsa $P_1 = I_1 \cdot U_1$ gibi değerleri yazılıp o direncin harcadığı güç bulunabilir. Konunun daha iyi anlaşabilmesi için örnekler yapalım.

Örnek 2.19:

Şekil 2.33 deki devrede kaynağın ve elemanların harcadığı güçleri bularak, dirençler üzerinde harcanan güçlerin toplamının kaynaktan çekilen güce eşit olduğunu gösterelim.



Şekil 2.33

Çözüm 2.19:

Kaynaktan çekilen gücü bulmak için hangi formülü kullanacağımızın seçimini verilere bakarak karar vermeliyiz. Bu örnekte kaynak gerilimi verildiğine göre $P_T = U^2 / R_{EŞ}$ formülünü kullanmamız çözümün daha hızlı bir şekilde yapılmasına olanak sağlayacaktır.

$$R_{EŞ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 10\Omega + 12\Omega + 56\Omega + 22\Omega = 100\Omega$$

$$P_T = \frac{U^2}{R_{EŞ}} = \frac{15V^2}{100\Omega} = \frac{225V^2}{100\Omega} = 2,25Watt$$

bulunur. Elemanlar üzerinde harcanan güçleri bulmak için aynı güç formüllerini kullanmamız çözüme ulaştıracaktır. Burada elemanların değeri belli; ya akımı veya bu eleman uçlarındaki gerilime ihtiyaç var. En mantıklısı elemanlar seri bağlı oldukları için akımı bulmak, akımı bulduktan sonra güç formülü olan $P_x = I_x^2 \cdot R_x$ formülünden yararlanarak elemanlar üzerindeki güçleri bulabiliriz.

$$I = \frac{U}{R_{EŞ}} = \frac{15V}{100\Omega} = 0,15A = 150mA$$

Eleman üzerinden geçen akım, eleman değeri belli bu değeri güç formülünde yerine koyarak bulabiliriz.

$$P_1 = (0,15A)^2 \cdot (10\Omega) = 0,225W \quad P_2 = (0,15A)^2 \cdot (12\Omega) = 0,270W$$

$$P_3 = (0,15)^2 \cdot (56\Omega) = 1,260W \quad P_4 = (0,15)^2 \cdot (22\Omega) = 0,495W$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0,225W + 0,270W + 1,260W + 0,495W = 2,25W$$

eşit olduğu görülür.

BÖLÜM 3

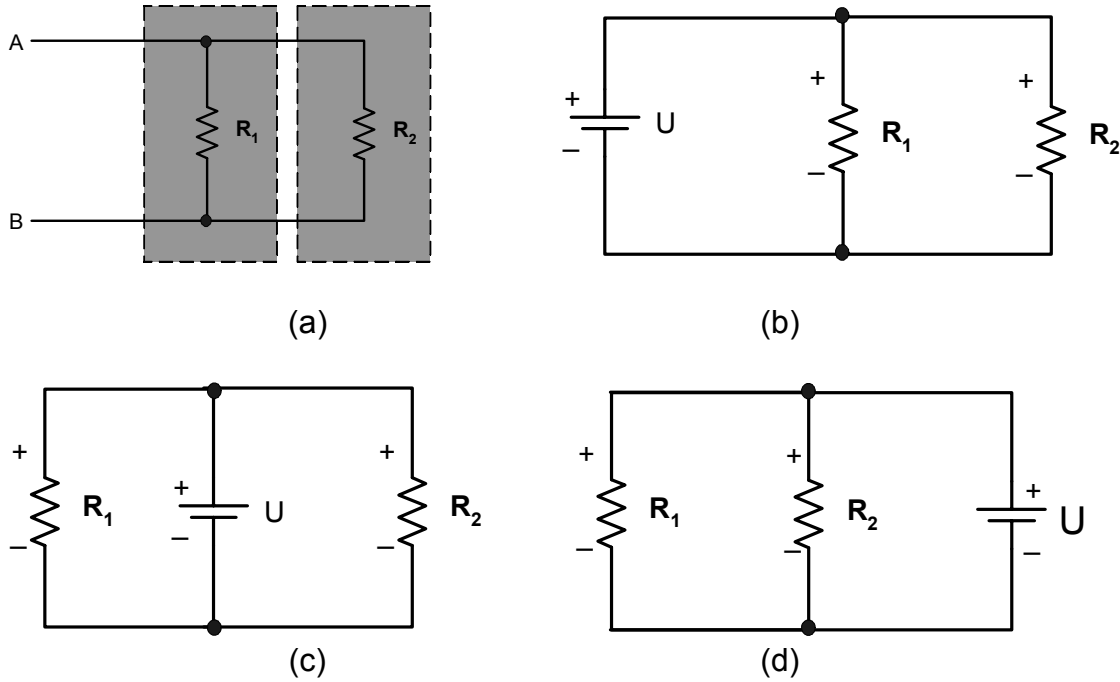
PARALEL DEVRELER VE KİRŞOFUN AKIMLAR KANUNU

PARALEL DEVRELER

- 3.1 DİRENÇLERİN KENDİ ARALARINDA PARALEL BAĞLANMA
- 3.2 DİRENÇLERİN GERİLİM KAYNAĞINA PARALEL BAĞLAMA
- 3.3 KIRCHHOFF'UN AKIMLAR KANUNU
- 3.4 PARALEL DEVREDE EŞDEĞER(TOPLAM) DİRENÇ
- 3.5 PARALEL DEVREDE OHM KANUNU
- 3.6 AKIM BÖLME KAİDESİ
- 3.7 PARALEL DEVREDE GÜÇ

3.1 DİRENÇLERİN KENDİ ARALARINDA PARALEL BAĞLANMASI

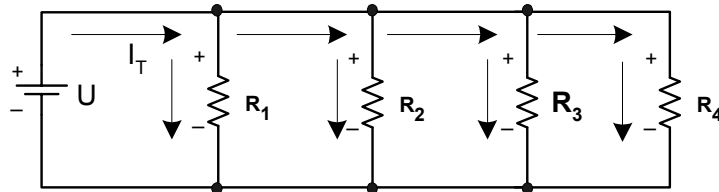
Birden fazla direncin uçlarına aynı gerilim uygulanıp, her birinden ayrı ayrı akım geçebilecek şekilde bağlanmalarına “Paralel Bağlama” denir. Paralel bağlantı; dirençlerin birer uçlarının birbirleri ile birleştirilmesi ile elde edilir. Bu bağlantı şekline akımın bu elemanlar üzerinden geçişleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.1

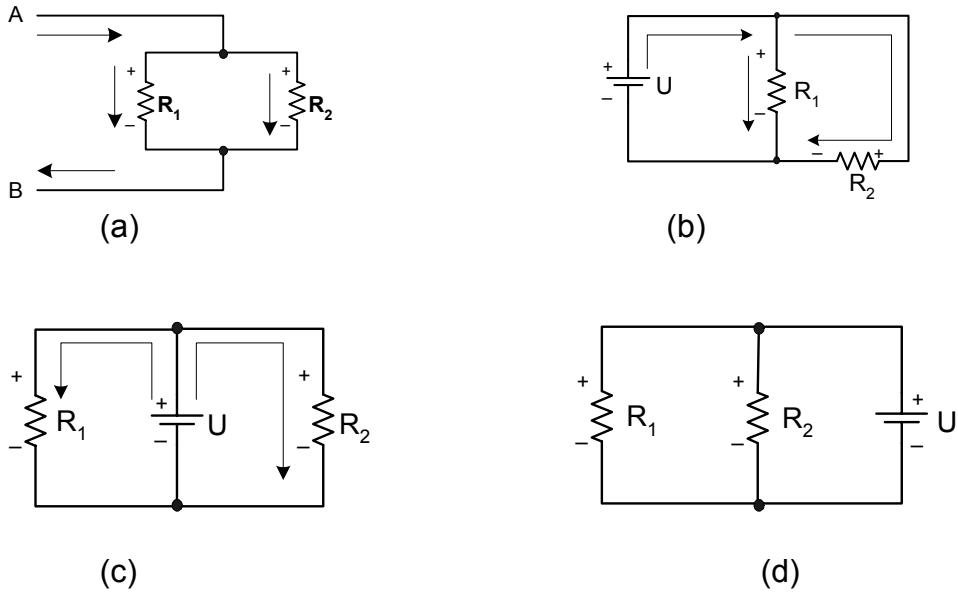
Şekil3.1 (a) deki devrede iki direnç uçları birbirine bağlanarak bir paralellik oluşturmuşlardır. Şekil5-1(b,c,d) ise bu paralel direnç uçlarına bir gerilim bağlanmış ve bu bağlantı şekillerinin değişik bağlama şekilleri gösterilmiştir.

Bu dirençler n tanesi birbirleri ile paralel bağlanabilir. Bunu şekil olarak bunu kağıt üzerinde göstermek zor olacağından n tene değil biz dört dirençli bir paralel bağlama yapalım ve akım yollarını da şekil üzerinde gösterelim.



Şekil3.2

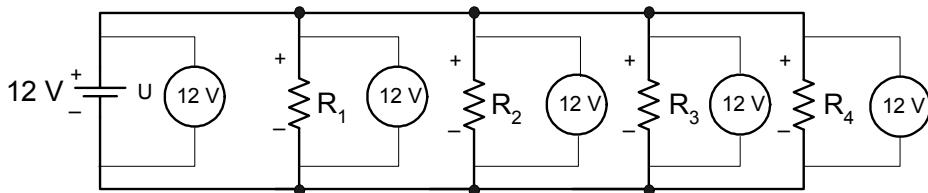
Şekil3.2 deki devre incelenirse kaynaktan çekilen akım direnç elemanlarının üzerlerinden nasıl bir yol takip ettiği daha iyi görülecektir. Şekil3.3 de de çeşitli paralel bağlama ve akımın bu elemanlar üzerinden akış şekilleri görülmektedir.



Şekil3.3

3.2 DİRENÇLERİN GERİLİM KAYNAĞINA PARALEL BAĞLAMA

Paralel bağlamada kaynak gerilimine bağlanan bir direnç o bağlanan kaynağın gerilimine eşit olacaktır. Eğer n tane direnç bir gerilim kaynağına paralel bağlandığı takdirde kaynak uçlarındaki gerilim direnç uçlarında aynen görülecektir. Buradan anlaşılacağı üzere paralel bağlı dirençlerin uçlarındaki gerilim değerleri birbirlerine eşit fakat üzerinden geçen akımlar farklı olacaktır. Bu gerilimin eşitliğini Şekil3.4 üzerindeki devrede bağlı olan voltmetrelerin gösterdiği değerlere dikkatli bakıldığında ifade edilen konu daha iyi anlaşılır.

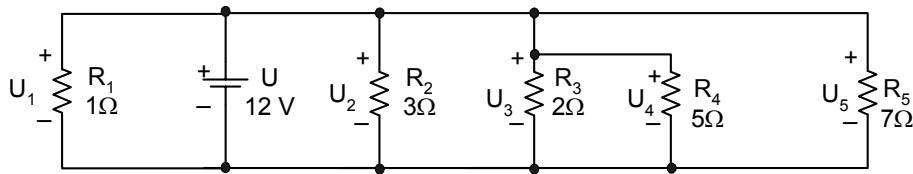


Şekil3.4

Dirençlerin uçlarına bağlanan gerilim kaynağının değeri 12 V ölçülürken R_1 , R_2 , R_3 ve R_4 direnç uçlarında voltmetrenin gösterdiği gerilimde 12V dur. Bu durum paralel devre özelliklerinden bir tanesidir. Bununla ilgili sayısal bir örnek konunun daha iyi anlaşılmasını sağlar.

Örnek3.1:

Şekil3.5 : R_4 direnci uçlarındaki gerilimi bulunuz.



Şekil3.5

Çözüm3.1:

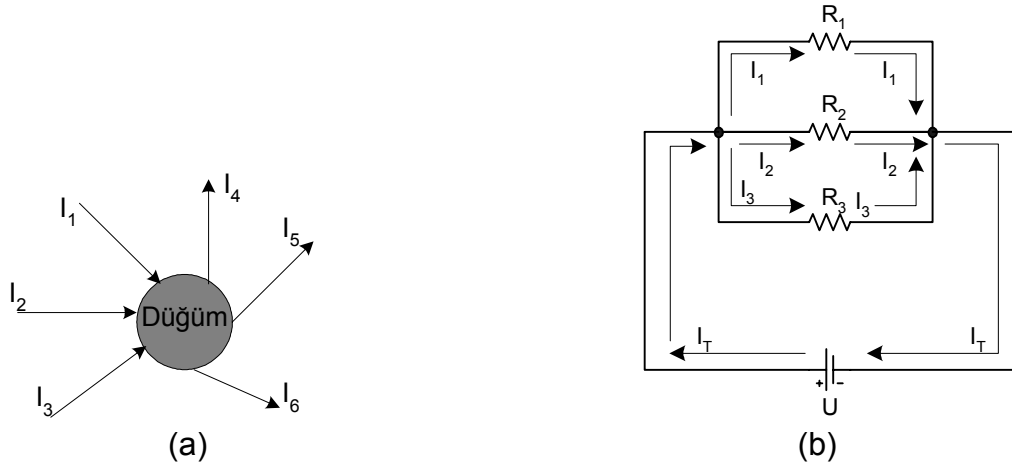
Şekil3.5'e baktığımız da dirençlerin hepsi birbirlerine paralel bağlı olduğunu görüyoruz. Bu devrede sanki R_4 direnci paralel bağlı değil gibi görünse de o direnç de paralel bağlı bu durumda paralel devre özelliğinden kaynak gerilimi 12 V olduğuna göre R_4 elemanları uçlarında aynı gerilim görülür. Sadece bu direnç uçlarında değil tüm direnç uçlarında 12V görülür.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 = 12 \text{ V}$$

3.3 KIRCHHOFF'UN AKIMLAR KANUNU

Elektrik devrelerinin çözümlerinde, özellikle karışık devrelerde ohm kanunun kullanılması yeterli olmaz. Bu tip devrelerde , devredeki çeşitli akım ve gerilimlerin hesaplanmasında kirchhoffun ikinci kanunu olan akımlar kanunu kullanılır. Kirchhoffun gerilimler kanununu seri devrelerde incelemiştik. Akımlar kanununu da şimdi inceleyelim.

Kirchhoffun akımlar kanunu *bir elektrik devresinde bir noktaya giren akımların toplamı, o noktayı terk eden yani çıkan akımların toplamına eşittir*. Bu tanımını diğer bir tarifle *giren akımların toplamı ile çıkan akımların cebirsel toplamı o(sıfır)'a eşittir*. Paralel bağlı devrelerde sıkça başvuracağımız bu tanımlama (akımlar kanunu) bize devrelerin çözümünde faydalı olacaktır. Bu tanımlamaları şekil3.6 da gösterilmiştir.



Şekil 3.6

Şekil 3.6 deki devrede gerilim kaynağından çekilen I_T akım paralel bağlı direnç üzerinden geçerek tekrar I_T olarak gerilim kaynağına değeri değişmeden girmektedir. Bu devrede nasıl giren akım çıkan akıma eşitse tüm paralel devrelerde aynıdır. Bu örneğimizden bu durumu formül haline aldırır ve bu formülü genelleştirirsek aşağıdaki formül oraya çıkar;

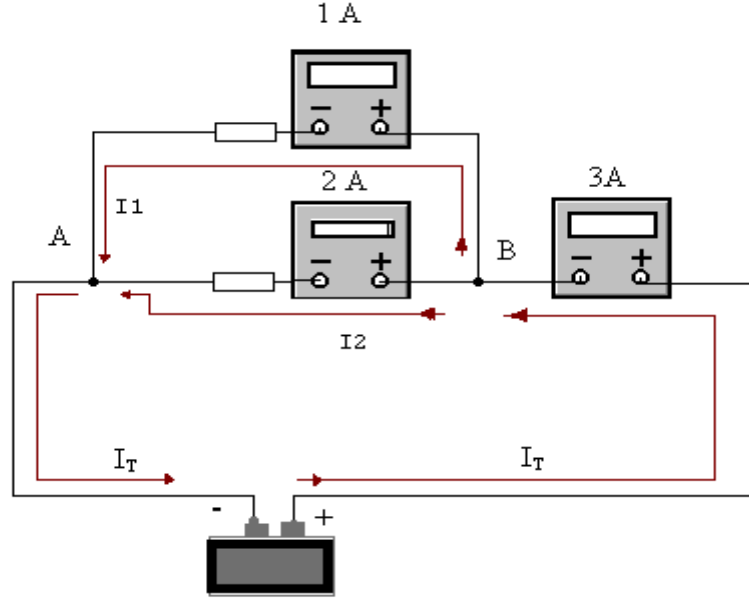
$$I_{G1} + I_{G2} + I_{G3} + \dots + I_{G(n)} = I_{Ç1} + I_{Ç2} + I_{Ç3} + \dots + I_{Ç(n)}$$

bu formüle kirchhoffun akımlar kanunu denir. Formüldeki harflerin anlamı;

I_G =Düğümüne giren akım (Amper)

$I_Ç$ =Düğümünden çıkan akım (Amper)

Kirchhoffun akımlar kanununu bir devrede ölçü aletlerinin bağlanmış şekliyle bir devrede formülün doğruluğunu sayısal değer olarak şekil üzerinde gösterelim. (Şekil3.7)



Şekil3.7

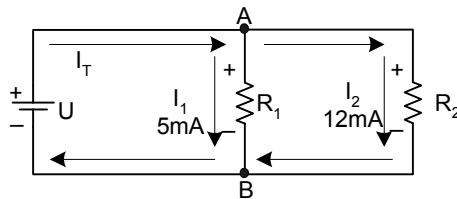
Şekil3.7 de kaynaktan çekilen akım I_T devreye seri bağlı ampermetre (akımı ölçen alet), 3A'i göstermekte bu akımın 1A'i direncin birinden diğer kısmı(2A) diğer direnç üzerinden geçmektedir. Bu akımlar elemanlar üzerinden geçtikten sonra tekrar 3A olarak kaynağa varmaktadır. Bu genel formülde yerlerine konularak formülün doğruluğu kanıtlanmış olur.

$$I_T = I_1 + I_2 \text{ den } 3A = 1A + 2A = 3A$$

Paralel bağlı devrede kirchhoffun akımlar kanunu ile ilgili örnekler çözüp kanunun daha iyi anlaşılmasını sağlayalım.

Örnek3.2:

Aşağıdaki şekil3.8 de verilen elektrik devresine A ve B noktalarındaki(düğümlelerdeki) akımları kirchhoffun akımlar kanunundan faydalanarak bulunuz.



Şekil3.8

Çözüm3.2:

A noktasına giren akım I_T çıkan akımlar ise I_1 ve I_2 dir. Buna göre A noktasına giren I_T akımını;

$$I_T = I_1 + I_2 = 5\text{mA} + 12\text{mA} = 17\text{ mA}$$

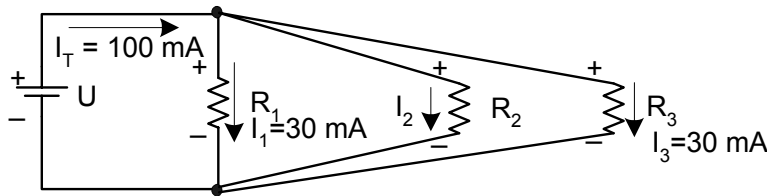
bulunur. B noktasına ise giren akımlar I_1 , I_2 ve çıkan akımlar ise I_T durumuna gelmiştir. Buradan şunu gözden kaçırmamak durumundayız. Bir düğümden çıkan durumunda iken diğer düğüme(noktaya) giren durumuna geçiyor. Bu açıklamayı yaptıktan sonra;

$$I_T = I_1 + I_2 = 5\text{mA} + 12\text{mA} = 17\text{ mA}$$

Aynı akım değeri bulunur.

Örnek3.3:

Şekil3.9 deki devrede R_2 direnci üzerinden geçen akımı kirchhoffun akımlar kanunundan yararlanarak bulunuz.



Şekil3.9

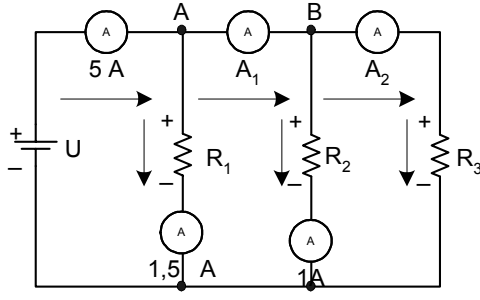
Şekil3.9 da görülen A noktasına 100 mA giriş yapıyor ve A noktasından çıkanlar ise 30mA, 20mA ve I_2 dir.

Kirchhoffun (kirşof) akımlar kanununu formülünü uygularsak;

$$\begin{aligned} 100\text{mA} &= 30\text{mA} + I_2 + 20\text{mA} & I_2 \text{ 'yi çekersek} \\ I_2 &= 100\text{mA} - 30\text{mA} - 20\text{mA} & \text{den, } I_2 = 50\text{mA} & \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

Örnek3.4:

Kirchhoffun akımlar kanununu uygulayarak A_1 ve A_2 ampermetresinin göstermesi gereken değeri bulunuz.



Şekilde görülen A noktasına kaynaktan çekilen ve ampermetrenin gösterdiği değer 5A girmekte ve bu akımın 1,5A'ı R_1 elemanı üzerinden,

Şekil3.10

geçmekte diğer kalan akım ise A_1 ampermetresi üzerinde görülecektir. Bu değeri bulursak;

$$5A = 1,5A - I_{A1} \Rightarrow I_{A1} = 5A - 1,5A = 3,5A$$

A_1 ampermetresi gösterir.

B noktasına giren akım A_1 ampermetresindeki değer olacaktır. B noktasından çıkan A_2 ve R_2 elemanı üzerinden geçen 1A görüldüğüne göre kirchhoffun akımlar kanunundan faydalanarak A_2 ampermetresinin gösterdiği;

$$3,5A = 1A + I_{A2} \quad B \text{ noktasında(düğüm) akımlar}$$

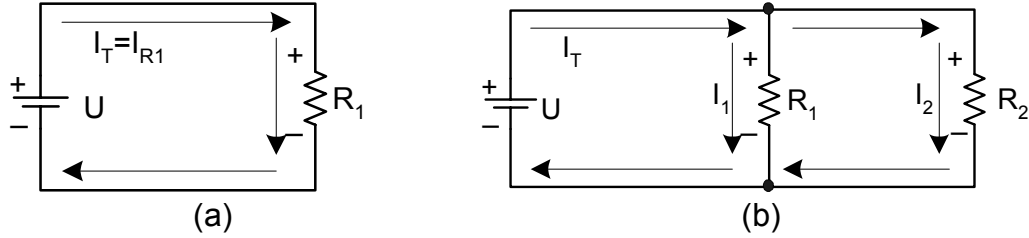
$$I_{A2} = 3,5A - 1A = 2,5A \quad A_2 \text{ ampermetresinin göstermesi gereken değer.}$$

Bulunur.

A_2 ampermetresinin gösterdiği bu değerde R_3 elemanı üzerinden geçen akımdır.

3.4 PARALEL DEVREDE TOPLAM(EŞDEĞER) BU DİRENÇLERE GERİLİMİN UYGULANMASI

Bu noktaya gelene kadar dirençleri tek ve birbirleri ile seri bağladık ve bu dirençlerin uçlarına bir gerilim uygulandığındaki durumlarını inceledik. Bu dirençler seri bağlanabildikleri gibi paralel bağlanabildiklerini şekillerle bağlantılarını yaptık. Bu bağladığımız paralel direnç uçlarına bir gerilim uygulandığında ne gibi durumların oluştuğunu şekillerle devreler üzerinde inceleyelim ve formülleştirelim.



Şekil3.11

Şekil3.11 (a) da tek bir dirence gerilim kaynağı bağlandığında bu direnç üzerinden kaynaktan çekilen (I_T) akımı aynı değeri R_1 direnci üzerinden geçmekte iken Şekil3.11(b) de ise iki direnç paralel bağlandığında kaynaktan çekilen (I_T) akımı dirençlerin değerleri oranında bir kısmı (I_1) R_1 üzerinden diğer kısmı (I_2), R_2 direnci üzerinden geçmektedir. Anlaşılacağı üzere kaynaktan çekilen akım (I_T) kollara ayrılmaktadır. Bu akımların teoremi olarak bulmak istediğimizde şimdiye kadar görmüş olduğumuz Ohm ve Kirchhoff'un akımlar kanunundan faydalanarak bulalım.

$$I_T = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad \text{Kirchhoff akımlar kanunu formülüydü}$$

Kaynak gerilimi U , paralel direnç uçlarında aynen görüleceğinden kaynaktan çekilen toplam akımı ve eleman üzerlerinden geçen akımları,

$$I_T = \frac{U}{R_{EŞ=T}} \quad I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad \dots \dots \dots n \text{ tane yazabiliriz.}$$

Ohm kanunundan bulup Kirchhoff'un akımlar kanunu formülünde yerine koyarsak;

$$\frac{U}{R_{EŞ=T}} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n} \quad \text{eşitliğin her iki tarafını } U \text{'ya bölersek}$$

$$\frac{1}{R_{EŞ=T}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \text{bu formül düzenlendiğinde;}$$

$$R_{EŞ=T} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right) + \dots + \left(\frac{1}{R_n}\right)}$$

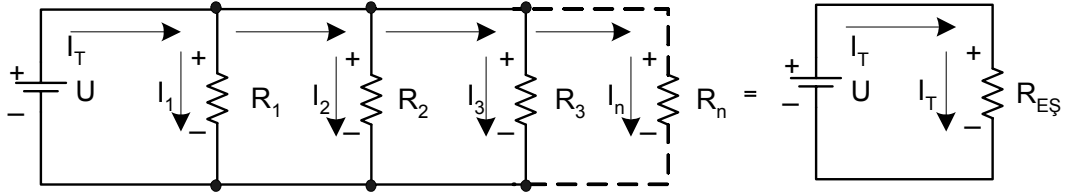
$$R_{EŞ=T} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right) + \dots + \left(\frac{1}{R_n}\right)}$$

formül bu hale gelir. Bu formül n tane paralel bağlı dirençlerin eşdeğer(toplam) direncin bulunmasındaki genel formüldür.

Direncin tersinin iletkenlik olduğunu önceki konularda öğrenmiştik. İletkenlik $1/R_x$ olduğuna göre; iletkenlik cinsinden eşdeğer direnç formülümüz iletkenlik belli ise aşağıdaki şekli alır. ($x=1,2,\dots,n$)

$$R_{E\dot{S}=T} = \frac{1}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} \quad (\text{iletkenlik biliniyorsa})$$

bu formülden de paralel bağlı dirençlerin eşdeğeri bulunabilir. Bu anlattıklarımızı bir devre üzerin de şekilsel olarak göstereyim.

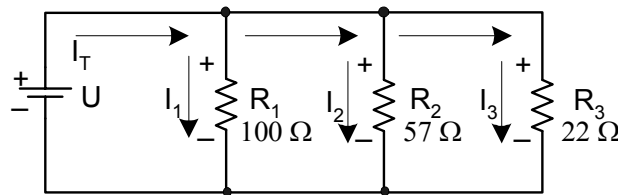


Şekil3.12

Şekil3.12 deki devrede kaynaktan çekilen akımın direnç elemanları üzerinde nasıl bölündüğünü ve n tane direncin tek bir direnç haline getirilebildiği görülüyor. Bu eşdeğer direnç haline getirilmesine sayısal bir örnekle devam edelim.

Örnek3.5:

Şekil3.13 deki devrede paralel bağlı dirençlerin yerine bunun eşdeğeri olan direnci bulunuz.



Şekil3.13

Çözüm3.5:

Eşdeğer formülünü kullanarak;

$$R_{E\text{Ş}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right) + \left(\frac{1}{R_3}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{100\Omega}\right) + \left(\frac{1}{47\Omega}\right) + \left(\frac{1}{22\Omega}\right)}$$

$$= \frac{1}{10 + 21,3 + 45,5} = \frac{1}{76,8} = 13,0\Omega \quad \text{eşdeğer(toplam) direnç bulunur.}$$

Eğer devrede ikiden fazla direnç paralel bağlı değilse pratiklik açısından (genel formülden çıkarttığımız) iki direnç paralel bağlandığındaki formül;

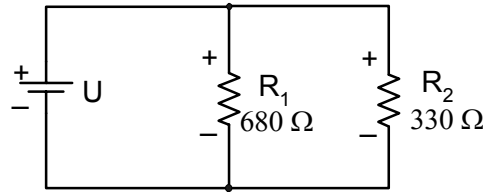
$$R_{E\text{Ş}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{E\text{Ş}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Bu formülü kullanarak bir örnek yapalım.

Örnek3.6:

Şekil3.14deki devrede paralel bağlı dirençlerin eşdeğerini bulunuz.



Şekil 3.14

Çözüm3.6:

İki direnç paralel bağlı durumundaki formülünde direnç değerlerini yerine koyarak;

$$R_{E\text{Ş}=T} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(680\Omega) \cdot (330\Omega)}{680\Omega + 330\Omega} = \frac{224.000\Omega^2}{1.010\Omega} = 222\Omega$$

bulunur. Bu çözümü dirençlerin n tane bağlama durumundaki formülden yararlanarak sizler çözüp ırdeleyiniz.

Eşit değerli dirençlerin paralel bağlanması durumunda;

Eğer n tane aynı değeri direnç paralel bağlandı ise kısa yoldan;

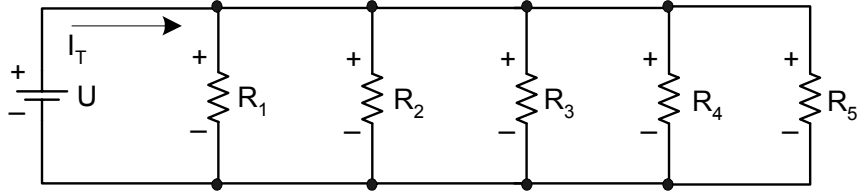
$$R_{E\text{Ş-T}} = \frac{R}{n}$$

$$R_{E\text{Ş-T}} = \frac{R}{n}$$

bu formülle bulabiliriz. Bu formülü kullanacağımız bir örnek yaparsak;

Örnek3.7:

Şekil3.15 deki devrenin toplam direncini eşit değerli direnç formülünü kullanarak bulunuz.



Şekil3.15

Çözüm3.7:

5 tane 100 ohm'luk direnç paralel bağlı olduğundan, bu değeri formülde yerine koyarak;

$$R_{E\text{Ş}} = \frac{R}{n} = \frac{100\Omega}{5} = 20\Omega$$

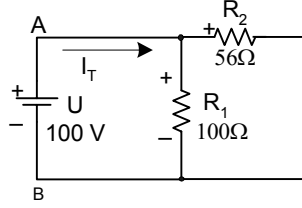
bulunur. Sizlerde genel direnç formülünü kullanarak çözümü tekrarlayıp bulduğunuz sonucu bu değerle irdeleyiniz.

3.5 PARALEL DEVREDE OHM KANUNU

Bu kanunu paralel devrede de kullanabiliriz. Devrelerin analizini(akım, gerim ve güç) yaparken, bize bu değerleri bulmamıza yardımcı olur. Paralel devrede ohm kanununu kullanarak çeşitli örnekler yaparak bu kanunun paralel devrede ne denli önemli olduğunu gösterelim.

Örnek3.8:

Şekil3.16 deki devrede kaynaktan çekilen akımı bulunuz.



Şekil3.16

Çözüm3.8:

Kaynaktan çekilen akıma sebebiyet veren R_1 ve R_2 dirençlerinin öncelikle eşdeğerini bulup, kaynağın gerilim değeri bilindiği için ohm kanunu formülünde değerler yerine konularak bulunur.

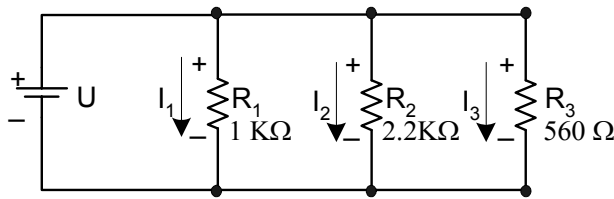
$$R_{EŞ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(100\Omega) \cdot (56\Omega)}{(100\Omega) + (56\Omega)} = \frac{5600\Omega^2}{156\Omega} = 35,9\Omega$$

Bu direnç uçlarına 100V gerilim uygulandığına göre I_T akımı;

$$I_T = \frac{100V}{35,9\Omega} = 2,79A \text{ bulunur.}$$

Örnek3.9:

Şekil3.17 de verilen elektrik devresinde elemanlar üzerinden geçen kol akımlarını bulunuz.



Şekil3.17

Çözüm3.9:

Elemanlar paralel bağlı olduğu için kaynak gerilimi aynı zamanda R_1 , R_2 ve R_3 direnç uçlarında da görünecektir. (Paralel devre özelliğinden dolayı) Eleman değerleri de belli olduğundan ohm kanunu formülünde bu değerler konularak;

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{20V}{1k\Omega} = \frac{20V}{1.10^3\Omega} = 20.10^{-3} A = 20mA$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{20V}{2,2k\Omega} = \frac{20V}{2,2.10^3\Omega} = 9,1.10^{-3} A = 9,1mA$$

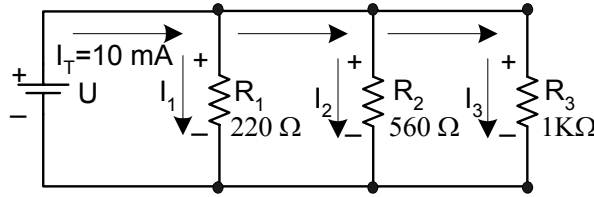
$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{20V}{560\Omega} = 35,7mA \text{ bulunur. Eğer kaynaktan çekilen akım da istenmiş olsaydı,}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 20mA + 9,1mA + 35,7mA = 64,8mA \text{ bulunurdu.}$$

Sizlerde; kaynaktan çekilen akımı, kirchhoff kanunu ile bulduğumuz toplam akımı ohm kanunundan faydalanarak bulunuz.

Örnek3.10:

Şekil3.18 de verilen değerler yardımı ile elemanlar üzerinden geçen akımları bulunuz.



Şekil3.18

Çözüm3.10:

Şekil3.18 baktığımızda, direnç değerleri ve bu dirençlerin kaynaktan çektiği toplam akım verilmiş. Bu akımdan yararlanarak kaynağın gerilimini daha sonrada bu bulduğumuz gerilim aynı zamanda direnç uçlarındaki gerilim olacağından, eleman üzerlerinden geçen akım;

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{EŞ}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{ den, } R_{EŞ} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right) + \left(\frac{1}{R_3}\right)} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{1}{220\Omega}\right) + \left(\frac{1}{560\Omega}\right) + \left(\frac{1}{1k\Omega}\right)} = \frac{1}{4,55mS + 1,79mS + 1mS} = 136\Omega \end{aligned}$$

(mS: $G=1/R$ iletkenlik, biriminin Siemens(S) olduğunu önceki konularda öğrenmiştik. mS ise Siemens ise as katıdır. (1S=1000 mS))

$$U = I_T \cdot R_{EŞ} = (10\text{mA}) \cdot (136\Omega) = (10 \cdot 10^{-3} \text{ A}) \cdot (136\Omega) = 1,36\text{V}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{1,36\text{V}}{220\Omega} = 0,00618\text{A} = 6,18\text{mA}$$

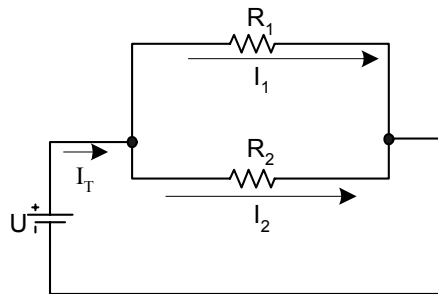
$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{1,36\text{V}}{560\Omega} = 0,0024\text{A} = 2,4\text{mA}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{1,36\text{V}}{1\text{k}\Omega} = \frac{1,36\text{V}}{1 \cdot 10^3} = 0,00136\text{A} = 1,36\text{mA}$$

3.6 AKIM BÖLME KAİDESİ

Çoğu zaman paralel bağlı iki dirençten herhangi birisinden geçen akımın bulunması gerekebilir. Akım bölme kaidesi formülü, paralel uçlarda düşen gerilimin hesaplanmasına gerek olmaksızın paralel bağlı eleman üzerinden geçen akımları bulmamızı sağlar.

Paralel bağlı kollardan geçen akımlar, kollardaki dirençle ters orantılıdır. Buna göre küçük direnç üzerinden büyük akım, büyük direnç üzerinden ise küçük akım geçecektir. Bu ifade ettiklerimiz ışığında bir paralel bağlı devre üzerinde inceleyerek, gerilim bölme kaidesini nasıl formülleştirdiysek akım bölme kaidesinin de formülünü bu ana kadar öğrendiğimiz yöntemler ışığında çıkartalım.



Şekil3.19

Şekil3.19 de görüldüğü gibi paralel bağlı direnç uçlarında bu devreye bağlı U kaynağının gerilimi direnç uçlarında aynen görülmekte. Buna göre kaynaktan çekilen akım ve kol akımları formülleri;

$$I_T = \frac{U}{R_{E\mathcal{S}}}, \quad I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

bu formülleri önceki konularda görmüştük. bu hatırlatmadan sonra $R_{E\mathcal{S}}$ yerine

$$R_{E\mathcal{S}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow I_T \text{ yerine koyarsak } I_T = \frac{U}{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \Rightarrow I_T = \frac{(R_1 + R_2) \cdot U}{R_1 \cdot R_2}$$

U değerini çekersek; $U = \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot I_T$ bu bulduğumuz gerilim değerini

I_1 ve I_2 formülünde yerine koyarsak;

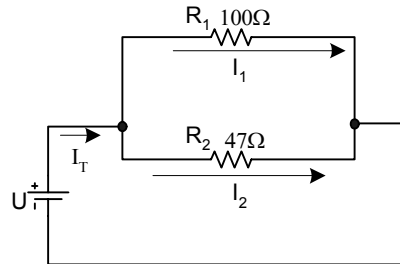
$$I_1 = \frac{\left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot I_T}{R_1} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot I_T \mapsto R_1 \text{ direnci üzerinden geçen akım.}$$

$$I_2 = \frac{\left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot I_T}{R_2} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \cdot I_T \mapsto R_2 \text{ direnci üzerinden geçen akım}$$

formüller bulunur. Bulmuş olduğumuz formüller akım bölme kaidesi formülüdür. Bu formülleri kullanabileceğimiz bir örnek yapalım.

Örnek3.11:

Şekil3.20deki verilerden yararlanarak I_1 ve I_2 akımını bulunuz.



Şekil3.20

Çözüm3.11:

Verile baktığımızda kaynaktan çekilen toplam akım ve direnç elemanlarının değeri verilmiş. Burada düğüme gelen akım iki kola ayrılacaktır. Ayrılma değerlerini akım bölme kaidesinden bulalım.

$$I_1 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot I_T = \left(\frac{47\Omega}{147\Omega} \right) \cdot 100\text{mA} = 32,0\text{mA}$$

bulunur. Akımlar kanunundan bu değerlerin doğruluğunu gösterirsek;

$$100\text{mA} = I_T = I_1 + I_2 = 32,0\text{mA} + 68,0\text{mA} = 100\text{mA} \text{ aynı değer görülür.}$$

3.7 PARALEL DEVREDE GÜÇ

Paralel devrede kaynaktan çekilen güç elemanlar üzerinde harcanan güce eşittir. Bu seri devrede, paralel devre ve karışık devrede de aynıdır.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

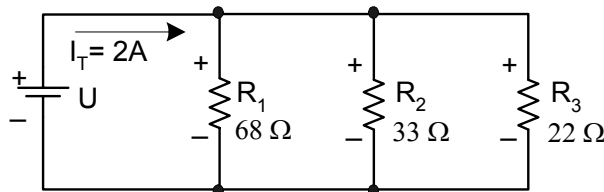
P_T :Kaynağın devreye verdiği güç (Watt)

$P_1, P_2, \dots, P_n$:Devredeki pasif elemanların harcadığı güç (Watt)

Güç formülleri seri devrede açıklamıştı. Bu formüller aynen paralel devre içinde geçerlidir. Bu konuyla ilgili örnekler yapalım ve konun anlaşılmasına yardımcı olsun.

Örnek3.12:

Şekil3.21deki devrede kaynaktan çekilen güç ve dirençler üzerindeki güçleri bulunuz.



Şekil3.21

Çözüm3.12:

Toplam kaynaktan çekilen akım 2A, bu akımın geçtiği eleman değerleri devrede görülüyor. Gücü bu iki değerden faydalanarak bulabiliriz.

$$R_{E\mathcal{S}} = R_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{68\Omega}\right) + \left(\frac{1}{33\Omega}\right) + \left(\frac{1}{22\Omega}\right)} = 11,1\Omega \quad \text{devrenin eşdeğer direncini bulduğumuza}$$

göre kaynağın bu elemanlara verdiği toplam gücü eşdeğer direnç ve toplam akımdan bulabiliriz.

$P_T = I_T^2 \cdot R_T = (2A)^2 \cdot (11,1\Omega) = 44,4\text{Watt}$ Kaynağın gerilim değerini bulup elemanlar paralel bağlı olduklarından eleman uçlarındaki gerilim kaynak gerilimine eşittir. Gerilim değerini bulduktan sonra $P_n = U^2/R_n$ formülünde değerler yerine konularak direnç uçlarındaki harcanan güçler bulunur.

$$U = I_T \cdot R_{E\mathcal{S}} = 2A \cdot 11,1\Omega = 22,2V$$

$$P_1 = \frac{(22,2)^2}{68\Omega} = 7,25W, \quad P_2 = \frac{(22,2)^2}{33\Omega} = 14,9W$$

$$P_3 = \frac{(22,2)^2}{22\Omega} = 22,4W, \quad P_T = 7,25W + 14,9W + 22,4W = 44,6W$$

BÖLÜM 4

SERİ-PARALEL (KARIŞIK) DEVRELER

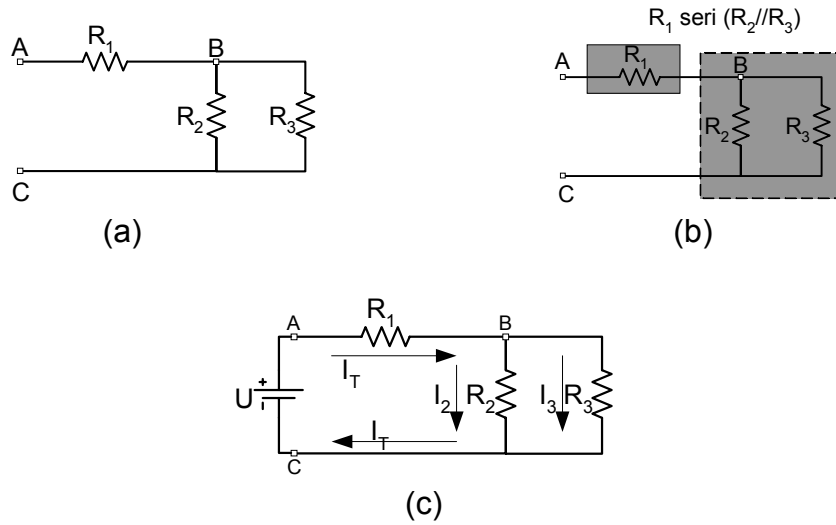
SERİ-PARALEL DEVRELER

4.1 DİRENÇLERİN SERİ-PARALEL BAĞLANMASI

4.2 SERİ-PARALEL DEVRELERİN ANALİZİ

4.1 DİRENÇLERİN SERİ-PARALEL BAĞLANMASI

Dirençler seri, paralel ve tek bağlanabildikleri gibi bu bağlama şekillerinin bir arada bulunmasına seri-paralel(karışık) bağlama denir. Şekil4.1de bu bağlamaları şekilsel olarak inceleyelim. Sonra bu bağlamalara dirençler bağlayarak karışıklık durumunu artıralım.



Şekil4.1

Şekil4.1(a) da üç direnç birbirleri ile karışık bağlanmıştır. Şekil4.1(b)deki şekilde bu dirençlerin nasıl birbirleri ile bağlantı durumunu şekil üzerinde gösterilmiştir. Devre üzerinde gösterildiği gibi R_1 direnci R_2 ve R_3 direncinin paralelliğine ($R_1 + R_2 // R_3$) seridir. Bu devreye bir gerilim kaynağı bağlandığında kaynaktan geçen akım seri eleman ve paralel bağlı eleman üzerinde akımın seri eleman üzerinden kaynaktan çekilen akımın aynen geçtiğini, paralel dirençler üzerinden nasıl kollara ayrıldığını Şekil4.1(c) de gösterilmektedir. Bu bağlantı şeklini ne kadar şekilsel devre üzerinde inceler ve karışık hale getirirsek karışık bağlamayı baktığımız anda hangi direnç hangisi ile seri hangisi ile paralel olduğunu görmemiz daha hızlı olur. Şekil4.1deki devreye Şekil4.2de gösterildiği gibi dirençler ekleyerek bu eklediğimiz dirençlerin bağlanma durumunu inceleyelim.

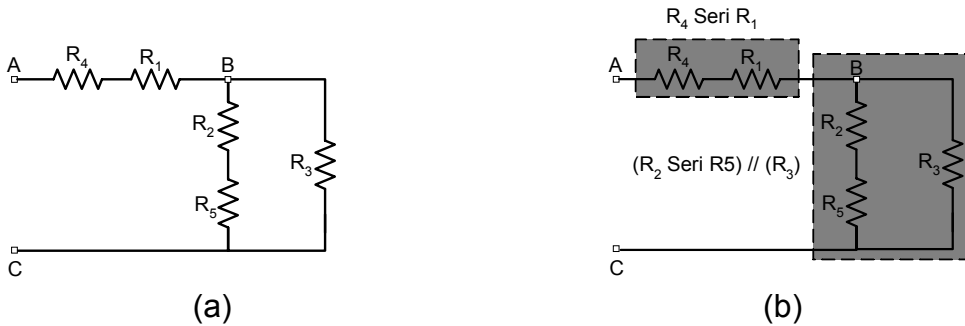
Şekil4.2deki devrede şekil4.1(a)deki devreye R_4 direnci bağlanarak devre tekrar çizilmiş. Şekil4.2(b) deki şekilde ise bu bağlanan R_4 direncinin önceki dirençlere bağlantı şekli gösterilmiştir. Bu bağlanan direnç R_1



Şekil4.2

direncine seri (R_2, R_3) dirençlerine ise paraleldir. Bu devreye bir direnç daha bağlayalım ve bu bağlanan direncin önceki dirençlere bağlantı şeklini açıklayalım.

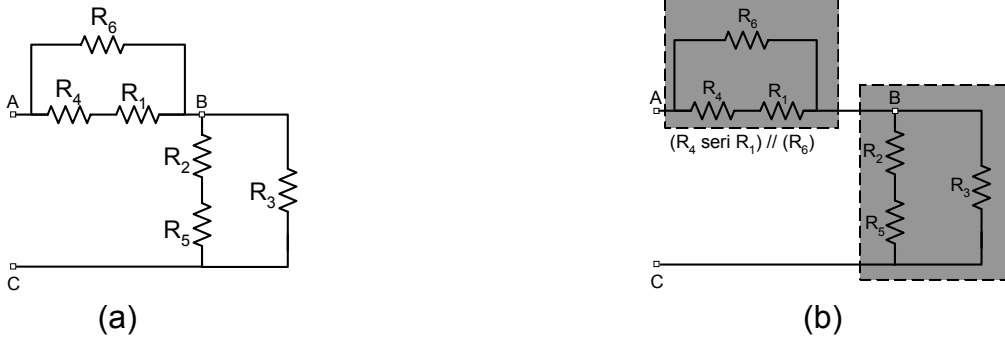
Devreye şekil4.3(a)da görüldüğü gibi R_5 direnci eklenmiş bu direnç R_2 ye seri R_3 direncine paralel, bu paralel blok R_4 ve R_1 direncine seri bağlı durumdadır.



Şekil4.3

Bu devreye R_6 direnci ekleyelim. Bu eklediğimiz direncin diğer dirençlere bağlantı şekli açıklayalım.

Şekil4.4(a) de gösterildiği gibi R_6 direnci, (R_4, R_1) dirençlerine paralel bu paralel blok, şekil4.4(b)de gösterildiği gibi (R_2 ile R_5 seri bu serilik R_3 'e paralel) bu gruba seridir. Bu devreleri daha da karışık hale getirebiliriz bunun sonu yoktur. Önemli olan serimi, paralel mi anlamamız için akımın kollara ayrılıp ayrılmadığına bakmak gerekir bir devrede akım kollara ayrılmıyorsa bu elemanlar birbirleri ile seri kollara ayrılıyorsa bu dirençler birbirleri ile paralel bağlıdır.

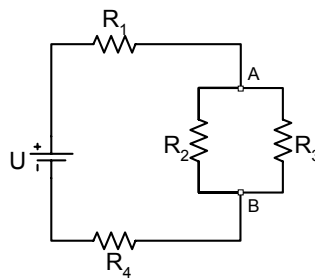


Şekil4.-4

Bu konu ile örnekler yaparsak anlaşılması birazda artacaktır. Bu konu ilerleyen zamanlarda sürekli kullanılacağı için biraz daha anlamak için örnekleri çok yapmamız gerekir. Çünkü devrede elemanların birbirleri ile bağlantılarının durumunu göremezsek bulacağımız değerler baştan yanlış olacaktır. Teknik elemanın hatası ölümle sonuçlanacağından hatanın minimuma çekilmesi ölümcül hatalar yapılmaması gerekir. Bulacağınız gerilim 22V iken hata üzerine 220 V bulunduğunuzu düşünün bu değerler üzerine yapacağınız aletin ve bu kullanıcın düşeceği durumu sizler taktir edin. Bunun için ilerleyen konularda bu devrelere bakıldığı an bağlantı şeklini görmemiz gerekir.

Örnek4.1:

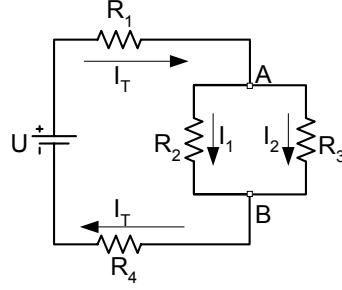
Şekil4.5 de devreye bağlı dirençlerin bağlantı şekillerini ve kaynaktan çekilen akımın takip edeceği yolları açıklayınız.



Şekil4.5

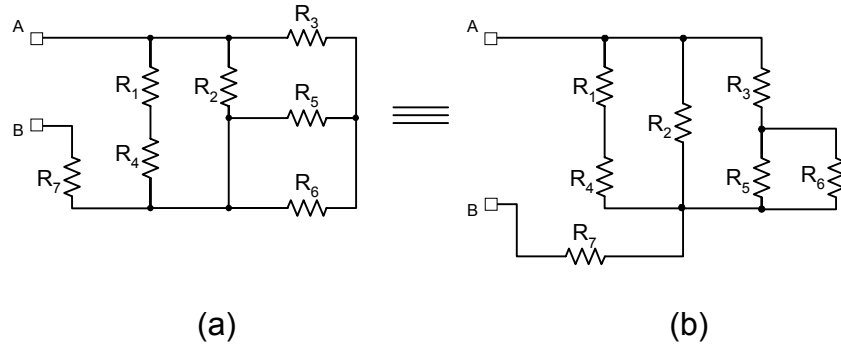
Çözüm4.1:

R_1 direnci kaynağa seri bağlanmış ve kaynaktan çekilen akım aynı değeri değişmeden bu eleman üzerinden akar. R_2 ve R_3 dirençleri birbirleri ile paralel bağlanmış bu paralellik R_1 elemanına seridir. Kaynaktan çekilen akım R_1 elemanından aynen geçerek R_1 ve R_2 dirençlerinin oranları dahilinde bu elemanların üzerlerinden geçip kaynağa aynı değerde varmaktadır.



Şekil4.6

Örnek4.2: Şekil4.7deki devrede elemanların bağlantı durumlarını inceleyiniz.



Şekil4.7

Açıklama: Şekil4.7(a) deki devre karışık görünmekle birlikte son derece bağlantı şekilleri açıktır. Bu devreyi tekrar anlamamız için şekil4.7(b)deki gibi tekrar çizdiğimizde görüldüğü gibi R_1, R_4 seri bu serilik R_2 'ye ve $(R_3$ seri R_5, R_6 paralellğine) parantez içindeki gruba paraleldir.

4.2 SERİ-PARALEL DEVRELERİN ANALİZİ

Bu konu başlığı altında

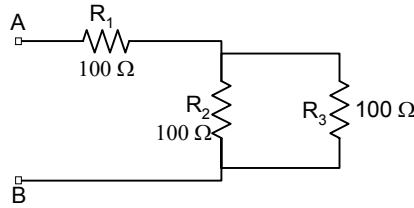
- Toplam(eşdeğer) Direnç
- Toplam Akım ve Kol akımları
- Eleman Üzerindeki Gerilim Düşümleri incelenecektir.

4.2.1 TOPLAM(EŞDEĞER) DİRENÇ

Dirençlerin karışık bağlandıklarında bu direnç topluluğunun tek bir direnç haline aldirtmak gerekir.bu eşdeğer direnç haline getirmek için seri, paralel devrelerde görmüş olduğumuz formüllerden faydalanmak gerekir. Eşdeğer haline getirilirken hangi noktalar arasında eşdeğer bulunacaksa; (her noktaya göre eşdeğerlik değişir.) Bunu da unutmamak gerekir. Önce paralel kollarda seri direnç bağlantısı varsa bu seri devrede görmüş olduğumuz eşdeğer direnç formülü kullanılarak o koldaki direnç tek bir direnç haline getirilir daha sonra bu paralel kol, paralel devredeki eşdeğer direnç formülü kullanılarak tek bir direnç haline getirilir. Son olarak bu elemana seri eleman varsa seri devre olduğu gibi eşdeğer direnç bulunur.

Örnek4.3:

Şekil4.8 deki verilen dirençler karışık bağlanmış, bu dirençlerin A-B uçlarındaki eşdeğer(toplam) direnç değerini bulunuz.



Şekil4.8

Çözüm4.3:

Şekil4.8deki devrede R₂ ve R₃ dirençleri paralel bağlanmış ve bu dirençlerin omik değerleri eşit, R₂//R₃ paralelliği R₁ direncine seri olarak bağlıdır. R₂//R₃ paralel ve değeri eşit olduğu için, formülde değerler yerine konulursa paralelliğin eşdeğeri bulunur daha sonrada bu değer R₁'e seri olduğu için toplanır ve AB uçlarının eşdeğeri bulunur.

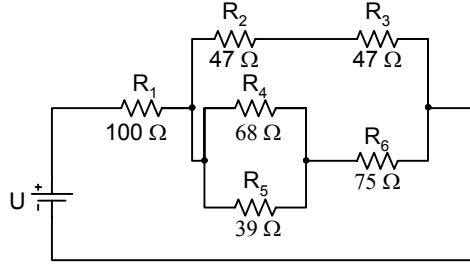
$$R_{2-3} = \frac{R}{n} = \frac{100}{2} = 50\Omega \text{ veya } R_{2-3} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100\Omega \cdot 100\Omega}{100\Omega + 100\Omega} = 50\Omega$$

bulunur. Şimdi R₂₋₃ ve R₁ seri

$$R_{AB} = R_{EŞ} = R_1 + R_{2-3} = 100\Omega + 50\Omega = 150\Omega \text{ bulunur.}$$

Örnek4.4:

Şekil4.9daki elektrik devresinin eşdeğer direncini bulunuz.



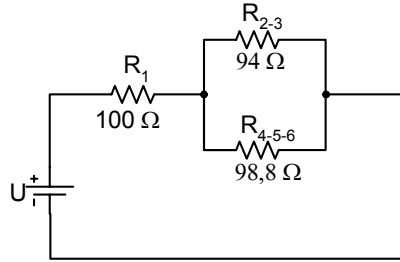
Şekil4.9

Çözüm4.4:

Bu devrede R_2 , R_3 seri, bu seriye $R_4//R_5+R_6$ grubu paraleldir. Bu paralellik R_1 direncine seridir. Bu açıklama ışığında eşdeğer direnç;

$$R_{2-3} = R_2 + R_3 = 47\Omega + 47\Omega = 94\Omega, R_{4-5} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} = \frac{(68\Omega) \cdot (39\Omega)}{68\Omega + 39\Omega} = 48,4\Omega$$

$$R_{4-5-6} = R_6 + R_{4-5} = 75\Omega + 24,8\Omega = 99,8\Omega$$



Şekil4.10

$$R_{AB} = \frac{(R_{2-3}) \cdot (R_{4-5-6})}{(R_{2-3}) + (R_{4-5-6})} = \frac{94\Omega \cdot 99,8\Omega}{94\Omega + 98,8\Omega} = 48,4\Omega \text{ devrenin eşdeğer direnci}$$

$$R_{EŞ} = R_1 + R_{AB} = 100\Omega + 48,4\Omega = 148,4\Omega \text{ bulunur.}$$

4.2.2 TOPLAM AKIM VE KOL AKIMLARI:

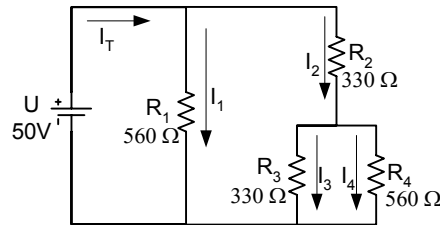
Toplam akımın buluna bilmesi için eşdeğer direnç ve kaynağın gerilim değeri verilmiş olması gerekir. Kol akımları seri devrede ve paralel devrede görmüş olduğumuz kanununlar dan çıkarılan formülleri kullanarak kol akımlarını ve kaynağın akımını bulabiliriz. Şekil4.19 daki devrede kaynağın gerilim değeri verilmiş olsaydı; $I_T = U/R_{EŞ}$ formülünden bulunurdu. Bu devre için kaynak gerilimi 30V olmuş olsa idi toplam akım;

$$I_T = \frac{U}{R_{EŞ}} = \frac{30V}{148,4\Omega} = 202mA$$

bulunurdu. Kol akımlarını akım bölme kaidesinden ve kirchhoffun gerilim kanunlarından yararlanarak bu değerlerle devredeki tüm dirençlerin üzerinden geçen akımları bulabilirdik. Bu işlemleri yapabileceğimiz bir örnek yapalım.

Örnek4.5:

Şekil4.11deki karışık bağlı dirençlerin uçlarına bir 50V'lık bir kaynak bağlandığında R_4 direnci üzerinden geçen akımı bulalım.



Şekil4.11

Çözüm4.5:

R_4 direnci üzerinden geçen akımı bulmak için bu elemanın üzerindeki gerilimi veya I_2 akımının bulunması gerekir. Her iki değerden de bulabiliriz. Şimdi I_2 değerini bularak çözüm yapılacaktır. I_2 akımını bulmak için R_2, R_3 ve R_4 dirençlerinin eşdeğerini bulup, kaynak bu kola paralel bağlandığından I_2 akımını buluruz. Sonra akım bölme kaidesi formülünden I_4 akımını buluruz. Bu ifadeler ışığında çözüm;

$$R_{(2-3-4)} = R_2 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = 330\Omega + \frac{(330\Omega) \cdot (560\Omega)}{890\Omega} = 538\Omega$$

$$I_2 = \frac{U}{R_{(2-3-4)}} = \frac{50V}{538\Omega} = 93mA \quad \text{o, koldaki toplam akım bulunur.}$$

Akım bölme kaidelerinden, R_4 direncinden geçen akım;

$$I_4 = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \cdot I_2 = \left(\frac{330\Omega}{890\Omega} \right) \cdot 93mA = 34,5mA \text{ bulunur.}$$

Örnekte istenmemiş ama R_3 direnci ve R_1 direncinin üzerinden geçen akımların da bulunması istenmiş olsaydı; o zaman R_3 direnci üzerinden geçen I_3 akımını akımlar kanunundan, I_1 'i ohm kanunundan aşağıdaki gibi çözüldü.

$$I_2 = I_3 + I_4 \text{ burdan } I_3 = I_2 - I_4 = 93mA - 34,5mA = 58,5mA$$

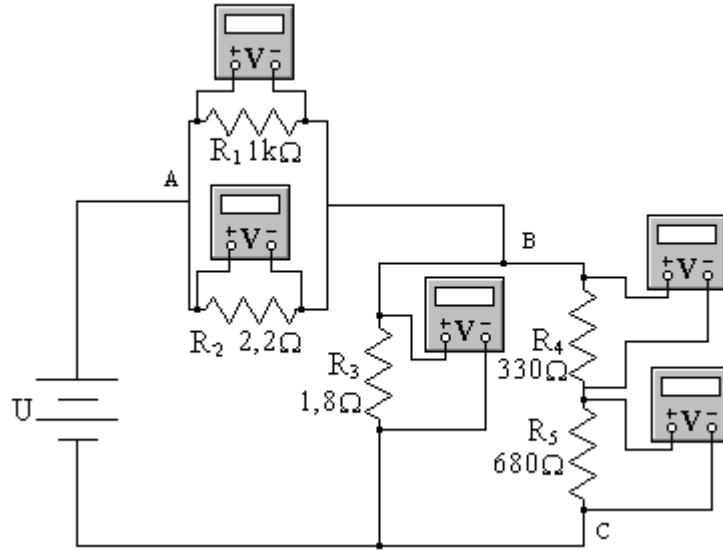
$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{50V}{560\Omega} \cong 0,09mA$$

Sizlerde bu örneği şimdiye kadarki görmüş olduğumuz konulardan yararlanarak farklı yönden çözünüz.

4.2.3 ELEMAN ÜZERİNDEKİ GERİLİM DÜŞÜMLERİ

Dirençlerin karışık bağlantılarında gerilim düşümlerini bulmak için elemanların bağlantı şekillerini iyi görebilmek gerekir. Bu bağlantı şekillerini doğru gördükten sonra seri-paralel devreleri incelerken kullandığımız formülleri kullanarak karışık devrede bağlı direnç uçlarındaki gerilim düşümlerini doğru bir şekilde bulmuş oluruz. Bu konu ile ilgili şekil4.12 deki elektrik devresini inceleyelim.

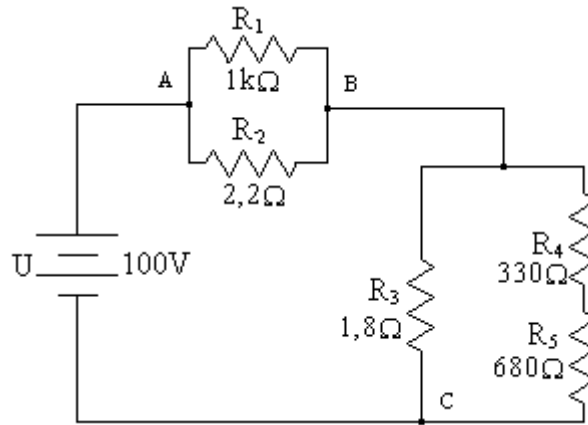
- 1) V_1 ve V_2 voltmetresinin gösterdiği gerilim değerleri eşittir. Eşit olmasının nedeni R_1 , R_2 dirençleri paralel bağlı.
- 2) V_3 voltmetresinin gösterdiği değer ise V_4+V_5 voltmetrelerinin gösterdiği değerlerin toplamına eşittir. Çünkü R_3 direnci R_4 ve R_5 direncine paralel bağlı, V_3 voltmetresinin gösterdiği gerilim aynı zamanda B-C uçlarının gerilimidir.
- 3) V_4 gerilimi ve V_5 gerilimini gösteren voltmetrelerin değerlerini gerilim bölme kaidelerinden bulabiliriz.
- 4) V_1 ve V_3 voltmetrelerinin toplamı kaynak gerilimi U 'ya eşit olacağını kirchhoffun gerilim kanununu hatırlarsak nedenli doğru olacağını görmemiz gerekir.



Şekil4.12

Örnek4.6:

Şekil4.12deki devreyi şematik olarak çizelim ve bu voltmetrelerin gösterdikleri değerleri teorik olarak çözelim.



Şekil4.12

Çözüm4.6:

A ve B uçlarındaki paralel dirençler R_1 ve R_2 dirençlerinin eşdeğeri(R_{AB});

$$R_{AB} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(1k\Omega) \cdot (2,2k\Omega)}{3,2k\Omega} = 688\Omega$$

B-C uçlarındaki R_3 direnci R_4 ve R_5 dirençlerine paralel $(R_4+R_5)//R_3$;

$$R_4 + R_5 = 330\Omega + 680\Omega = 1010\Omega = 1,01k\Omega$$

$$R_{BC} = \frac{R_3 \cdot (R_4 + R_5)}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{(1,8k\Omega) \cdot (1,01k\Omega)}{2,81k\Omega} = 647\Omega$$

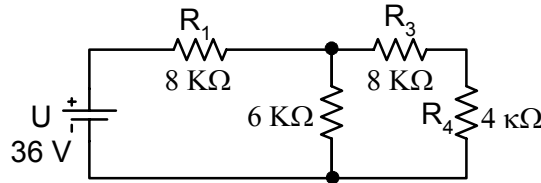
$R_{(T=E\ddot{S}\ddot{S})} = R_{AB} + R_{BC} = 688\Omega + 647\Omega = 1335\Omega$ bulunur. Gerilim bölme kaidesini kullanarak

$$U_{AB} = \left(\frac{R_{AB}}{R_T}\right)U = \left(\frac{688\Omega}{1335\Omega}\right) \cdot 100V = 51,5V, \quad U_{BC} = \left(\frac{R_{BC}}{R_T}\right) \cdot U = \left(\frac{647\Omega}{1335\Omega}\right) \cdot 100V$$

$$U_1=U_2=U_{AB}=51,5V \quad \text{ve} \quad U_3=U_{BC}=48,5V \quad (\text{Paralel olduklarından})$$

Örnek4.7:

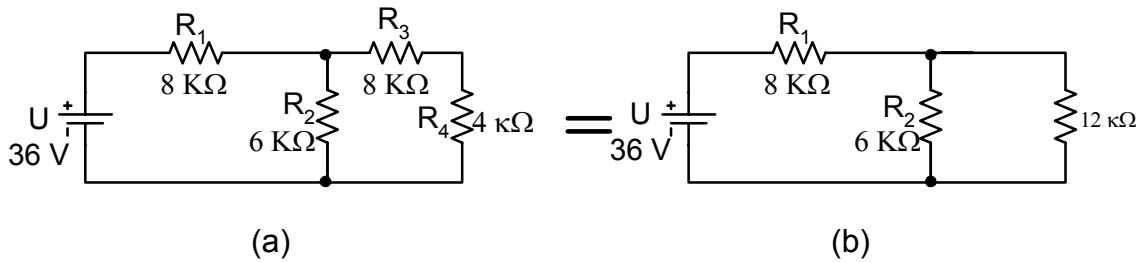
Şekil4.13deki devrenin analizini yapınız.

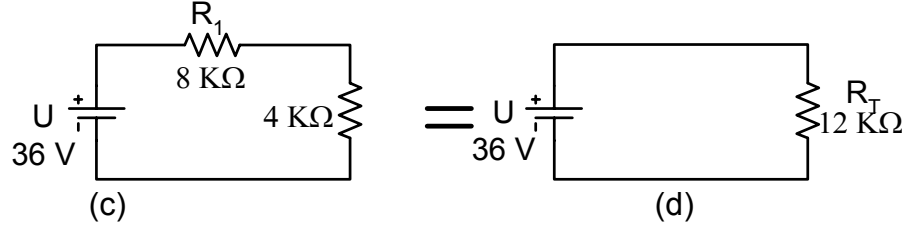


Şekil4.13

Çözüm4.7:

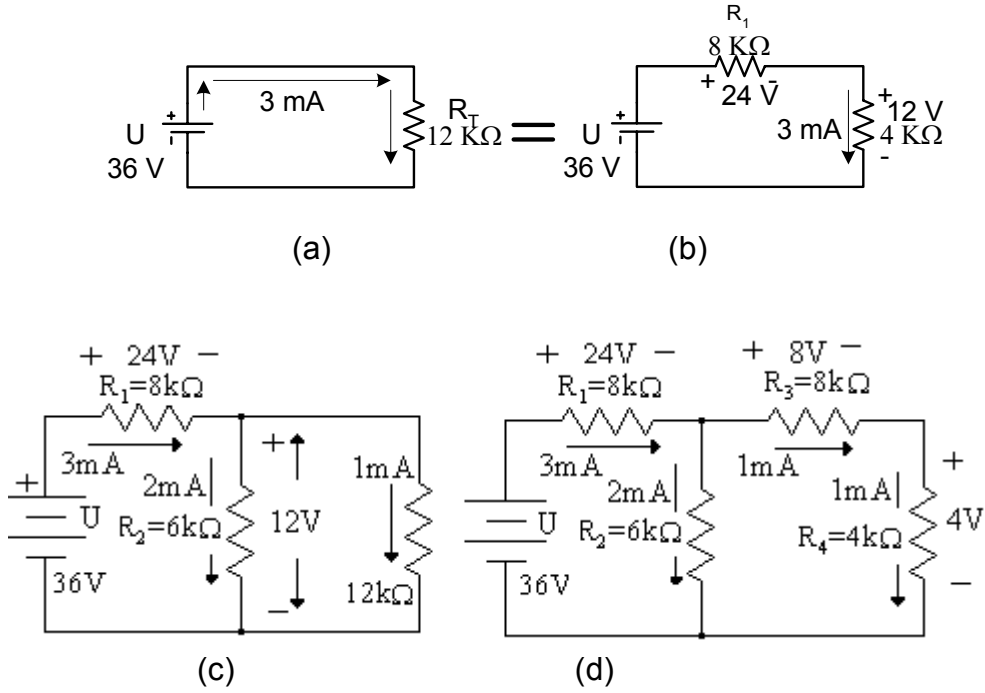
Devrenin analizi akım, gerilim ve güçlerin bulunmasıdır. Bu analize devrenin eşdeğer direncini bularak başlayalım. Şekil4.13 deki devrede $R_1+(R_2//((R_3+R_4)))$ bağlanmıştır. Bu devrenin eşdeğerini şekil4.14de ayrıntılı olarak şekiller üzerinde eşdeğer bulunmuştur.





Şekil4.14

Şekil4.15de ise eşdeğer dirençte olduğu gibi şekillerle kademeli olarak kaynaktan çekilen ve elemanlar üzerindeki akımlar bulunmuştur.



Şekil4.15

Şekil4.14(d)deki devrede eşdeğer direnç ve şekil4.15(a)da toplam akımı göstermektedir. Toplam akımı teorik olarak aşağıdaki şekilde;

$$R_{E\check{s}} = R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} = 8k\Omega + \frac{6k\Omega \cdot (8k\Omega + 4k\Omega)}{6k\Omega + 8k\Omega + 4k\Omega} = 8k\Omega + 4k\Omega = 12k\Omega$$

$$R_{E\check{s}} = R_1 + \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} = 8k\Omega + \frac{6k\Omega \cdot (8k\Omega + 4k\Omega)}{6k\Omega + 8k\Omega + 4k\Omega} = 8k\Omega + 4k\Omega = 12k\Omega$$

$$I_T = \frac{U}{R_{E\check{s}}} = \frac{36V}{12k\Omega} = 3mA$$

bulunur. Şekil4.15(b)deki devrede gerilim kaynağına seri bağlı olan $8k\Omega$ ve $4k\Omega$ üzerinden bu toplam akım bu elemanlar üzerinden geçmekte ve bu akımın bu eleman uçlarında oluşturduğu gerilim düşümü;

$$U_{(8k\Omega)} = (3mA).(8k\Omega) = 24V \quad U_{(4k\Omega)} = (3mA).(4k\Omega) = 12V$$

Şekil4.15©deki devrede görüldüğü gibi $U_{4k\Omega}$ uçlarındaki gerilim aynı zamanda $6k\Omega$ ile $12k\Omega$ direnç uçlarında paralel olmalarından dolayı görülecektir. Bu elemanların üzerinden geçen akım;

$$I_{(6k\Omega)} = \frac{12V}{6k\Omega} = 2mA \quad I_{12k\Omega} = \frac{12V}{12k\Omega} = 1mA$$

Dikkat edilirse kirchhoffun akımlar kanunu yine bu devrede de kanıtlanmış oldu. $I_{(8k\Omega)} = 3mA = I_{(6k\Omega)} + I_{(12k\Omega)} = 2mA + 1mA = 3mA$ ile devrenin analizi yapılmış olur.

BÖLÜM 5

ELEKTRİK KAYNAKLARI

GERİLİM ve AKIM KAYNAĞI

5.1 BAĞIMSIZ GERİLİM KAYNAĞI

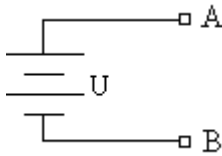
5.2 BAĞIMSIZ AKIM KAYNAĞI

5.3 GERİLİM KAYNAĞINDAN AKIM KAYNAĞINA DÖNÜŞÜM

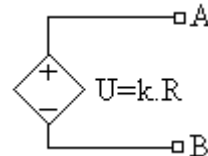
5.1 GERİLİM ve AKIM KAYNAĞI

5.1.1 BAĞIMSIZ GERİLİM KAYNAĞI

Gerilim kaynaklarını şimdiye kadar çeşitli devrelerde bağlama ve sembol olarak çok sık kullanılır. Kullandığımız kaynakların hepsi bağımsız gerilim kaynağı ve sembolleriydi. Bağımsız gerilim kaynağını anlatmaya başlamadan bağımlı gerilim kaynağına biraz açıklık getirelim. Bağımlı gerilim kaynağı devrede herhangi bir parametreden etkilenen kaynaktır. Bu parametreye göre artar veya azalır. Örneğin $U_1=k.R$ gibi; bağımsız gerilim kaynakları ise hiçbir şeyden etkilenmeyen devreye sürekli enerji pompalayan kaynaklardır. Aktif bir elemandır enerji verir. Üzerinden ne kadar akım çekilirse çekilsin uçlarındaki gerilim değeri değişmeyen kaynaklardır. Bu kabul ettiğimiz gerilim kaynağı ideal gerilim kaynağıdır. Gerçekte bu imkansızdır. Nedenine gelince sonsuz akım verecek bir kaynak şu anda üretilmemektedir. Bunun nedenine gelecek olursak; bir kuru pilin gerilimi devresine verdiği akım arttıkça uçlarındaki gerilim değeri azalır. Bu sebeple bu bağımsız gerilim kaynağımız ideal bir kaynak değildir. Devrelerde kullanacağımız kaynakları ideal kaynak olarak düşünecek bu kaynakların U değeri değişmeden sonsuz akım ve sonsuz güce sahip olduğu kaynağa DC gerilim kaynağı olarak isimlendireceğiz. Pratikte bu ideal gerilim kaynağına en yakın üreteç, iç direnci çok küçük olan akümülatörlerdir. Çekilen akım küçük olduğunda da bağımsız DC gerilim kaynağı gibi çalıştıklarını yaklaşık olarak kabul edebiliriz. Şekil5.1de sembolleri görülmektedir.



(a)İdeal Bağımsız DC Gerilim Kaynağı

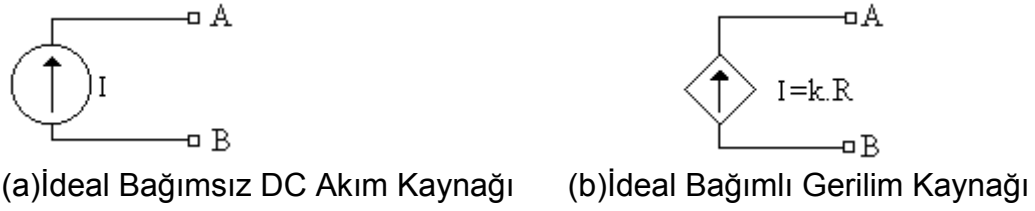


(b) İdeal Bağımlı DC Gerilim kaynağı

Şekil5.1

5.1.2 BAĞIMSIZ AKIM KAYNAĞI

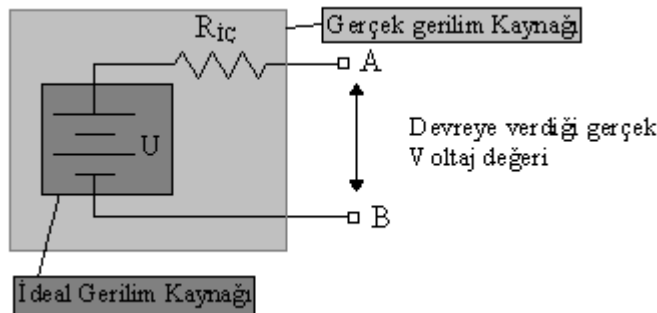
Uçları arasından geçen akım kendi uçları arasındaki gerilimden etkilenmeyen bir akım kaynağıdır. Aktif bir elemandır. Akım pompalayarak enerji üretir. Gücü sonsuzdur. I akımı sabit olan tiplerine bağımsız DC akım kaynağı, devrenin herhangi bir parametresinden etkilenen akım kaynağına ise bağımlı akım kaynağı denmektedir. Bu kaynakların sembolleri şekil5.2 de gösterilmektedir.



Şekil5.2

Bu kaynakların devrede bağlı olduğu durumlar için üç ana özellik vardır.

- 1- Bir gerilim kaynağını kendisine seri bağlı bir dirençle bir akım kaynağını da kaynağa paralel bir dirençle düşünülür.
- 2- İdeal bir gerilim kaynağına paralel bağlı dirençler ve akım kaynakları devre dışı
- 3- İdeal akım kaynağına seri bağlı direnç ve gerilim kaynakları devre dışı bırakılır.

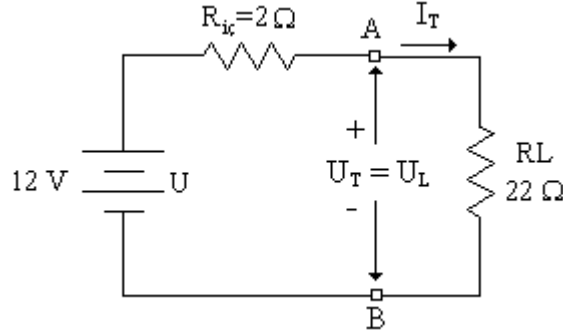


Şekil5.3

Şekil5.3 de ideal ve gerçek gerilim kaynağının durumunu gösteriyor. Laboratuvarınızdaki 12V'luk gerilim kaynağınızın iç dirençsiz hali ideal gerilim kaynağı ile isimlendirdiğimiz durum, iç dirençli hali ise gerçek de kullandığımız gerilim kaynağı halidir. Çünkü gerçekte kullanılan kaynakların azda olsa bir iç dirençleri mevcuttur. Genelde bu devre çözümlerinde ihmal edilir, sanki kaynağımız ideal kaynakmış gibi düşünerek devrelerin analizi yapılır. Aşağıda bu konu ile ilgili örnek5.1 verilmiştir.

Örnek5.1:

Laboratuvarınızda şekil5.4deki 12V'luk gerilim kaynağınızın iç direnci 2Ω olduğuna göre gerçek gerilim değerini(devreye verdiği gerilim) bularak bu gerilime 22Ω 'luk bir yük direnci bağlayıp üzerinden geçen akımı bulunuz.



Şekil5.4

Çözüm5.1:

Önce kaynağın dış devreye verdiği geçek gerilim değerini, daha sonra bu değerle R_L yük direncinin üzerinden geçirdiği akımı bulalım. Kaynağın iç direnci kaynağa seri ve aynı zamanda R_L direncine de seridir. Buna göre kaynağın dış devreye verdiği gerilim değeri;

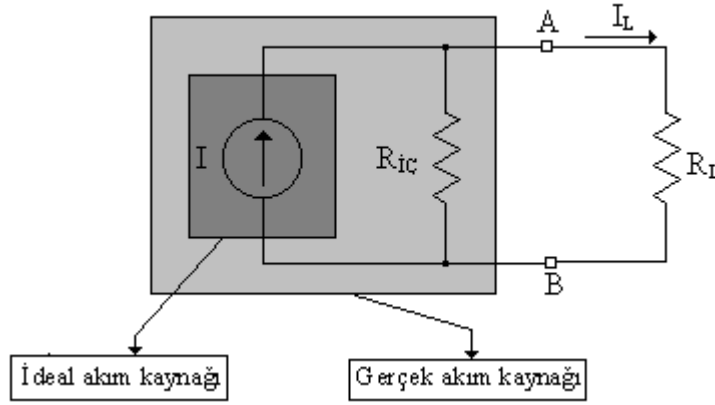
$$U_T = \left(\frac{22\Omega}{22\Omega + 2\Omega} \right) \cdot 12V = 11V \quad I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{11V}{22\Omega} = 0,5A$$

bulunur. İdeal bir gerilim kaynağı olduğunu varsaymış olsaydık o zaman yük direnci R_L elemanı üzerinden geçen akım;

$$I_L = \frac{U}{R_L} = \frac{12V}{22\Omega} = 0,545A$$

değer sapması olacaktır. Küçük dirençler bağlandığında ölçülen değerle teorik olarak çözülen sonuçlarda küçükte olsa sapmalar olacaktır. Çünkü çözümlerde kaynağın iç direnci ihmal ediliyor. Kaynağa bağlanan direnç değerleri $k\Omega$ 'lar ve daha yüksek değerlerde bu sapmalar biraz daha az olacaktır. *Burada bir gerilim kaynağı denildiği anda ona seri bir dirençle düşünmemiz gerekiyor.*

İdeal ve gerçek akım kaynağını da şekilsel olarak inceleyip bu konu ile de bir örnek yaparak bu konunun da anlaşılmasını sağlayalım.

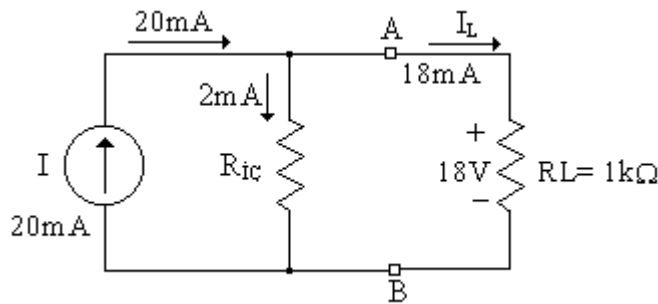


Şekil5.5 Gerçek akım kaynağı

İdeal akım kaynağı durumu ve gerçek de kullandığımız akım kaynağının şeklini5.5de görmektesiniz. *Gördüğünüz üzere gerçek akım kaynağı ona paralel bir iç dirençle düşünmemiz gerekir.* Çünkü kaynağın azda olsa mutlak ve mutlak direnci vardır. Nedeni ise bu kaynaklarda iletkenler kullanılmakta, iletkenlerinde biz biliyoruz ki küçükte olsa bir direnç özelliği gösterir. Kaynağın iç direnci ideal kaynağa paralel bağlı olduğundan devreye bağlanan elemanlara paralel durumunda olacaktır. Akım kaynağı ile de bir örnek yaparak konun daha iyi anlaşılmasını ağılayalım.

Örnek5.2:

Şekil5.6 deki devrede ideal akım kaynağının değeri 20mA yük direnci $1k\Omega$, kaynağın iç direncinin üzerinden geçen akım 2mA olduğuna göre akım kaynağının iç direncini bulunuz.



Şekil5.6

Çözüm5.2:

Bu değerlere göre yükün üzerindeki gerilimi bulabiliriz

$$U_L = I_L \cdot R_L = 18mA \cdot 1k\Omega = (18 \cdot 10^{-3} A) \cdot (1 \cdot 10^3 \Omega) = 18V$$

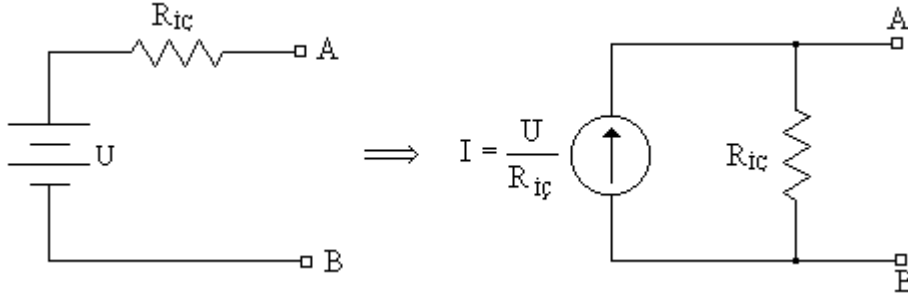
$$I_{i\zeta} = 20mA - 18mA = 2mA$$

$$R_{i\zeta} = \frac{U_L}{I_{i\zeta}} = \frac{18V}{2mA} = \frac{18V}{2 \cdot 10^{-3} A} = 9k\Omega$$

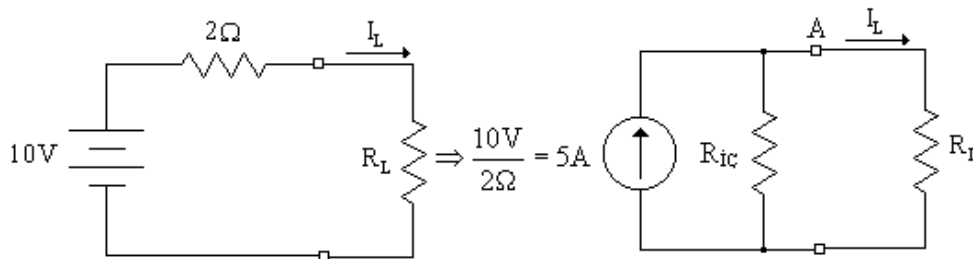
Şekli tekrar çizilmemesi için U_L ve $I_{i\zeta}$ değerleri şekil5.6 üzerinde gösterilmiştir.

5.1.3: GERİLİM KAYNAĞINDAN AKIM KAYNAĞINA DÖNÜŞÜM

Gerilim kaynağını akım kaynağına dönüşüm yapılabilir. Bu dönüşüm esnasında kaynağın iç direncinin omik değeri değişmeden iç direnç gerilim kaynağına seri bağlı durumdayken akım kaynağına paralel bağlanır. Akım kaynağının akım değeri ohm kanunundan $I = U/R_{i\zeta}$ formülünde değerler yerine konularak bulunur. Bu ifadelerimizi şekilsel olarak şekil5.7 de gösterilmiştir.



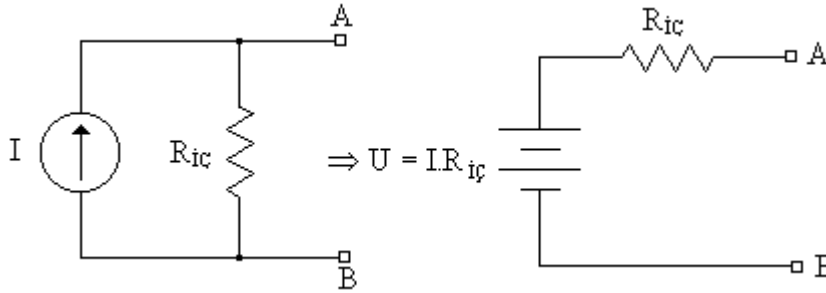
Şekil5.7 Gerilim kaynağından Akım kaynağına dönüşüm



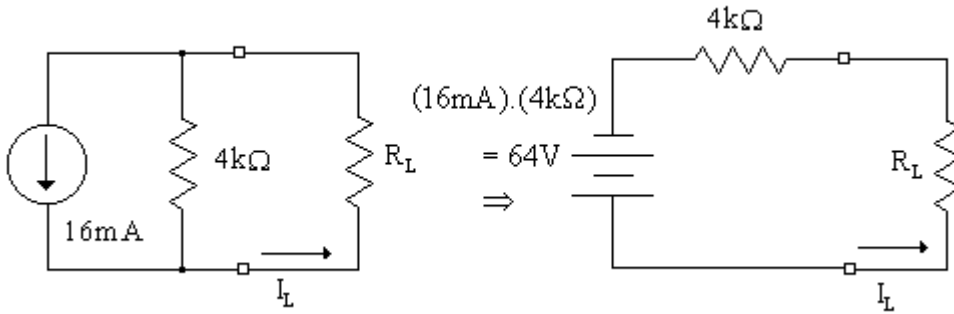
Şekil5.8 Gerilim kaynağından akım kaynağına dönüşüm değerinin bulunması ve yük direncinin kaynaklara bağlantı durumu

5.1.4: AKIM KAYNAĞINDAN GERİLİM KAYNAĞINA DÖNÜŞÜM

Akım kaynağından gerilim kaynağına dönüştürülürken gerilim kaynağının değeri ohm kanunundan yararlanarak bulunur. Gerilim kaynağının iç direnci ise akım kaynağının iç direncine eşit olduğundan değeri aynı fakat bağlantı şekli seri olacaktır. Şekil5.9 da görüldüğü gibi;



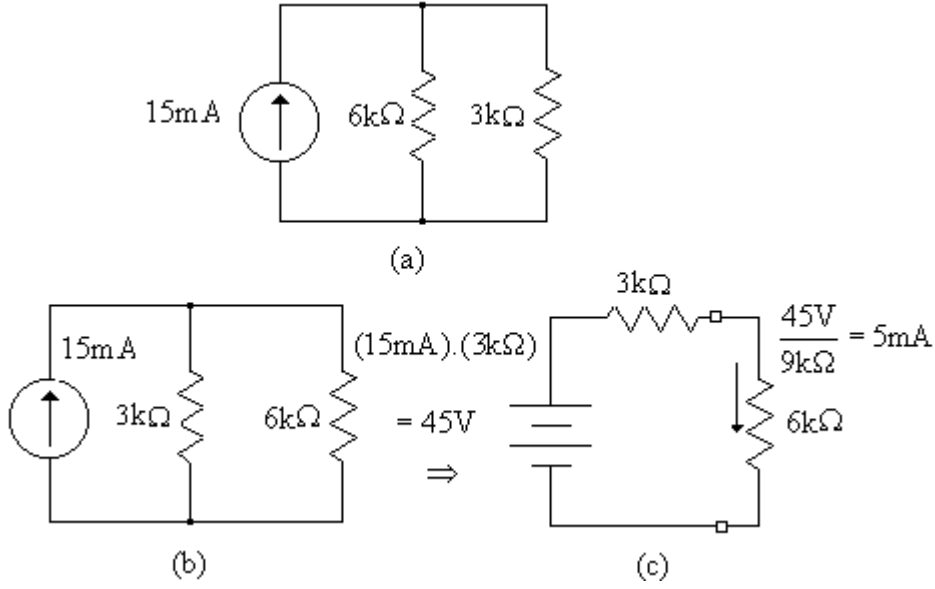
Şekil5.9 Akım kaynağından gerilim kaynağına dönüşüm ve ohm kanunundan gerilimin değerinin bulunması



Şekil5.10 Akım kaynağının gerilim kaynağına dönüşümü ve akım kaynağının yönü ile dönüşüm yapılırkenki gerilim kaynağının aynı yönde olması ve yük dirençlerinin üzerlerinden aynı şekilde akımın akışı

Örnek5.3:

Şekil5.11 (a)deki devrede $6k\Omega$ üzerinden geçen akım, akım kaynağını gerilim kaynağına dönüştürmek suretiyle bulunuz.



Şekil5.11

Şekil5.11 (a)daki devrede dirençler paralel bağlı olduğundan (b) deki gibi devreyi tekrar çizebiliriz. Buradaki $3k\Omega$ 'luk direnç kaynağın iç direnci olarak alıp bu akım kaynağımızı ohm kanunundan yararlanarak şekil5.11(c) de görüldüğü gibi;

$$U = (15mA).(3k\Omega) = 45V$$

bulunur. Şekil5.11 (c)deki devrede görüldüğü gibi gerilim kaynağı haline dönüştürdükten sonra elemanlar birbirine seri halini aldığından $6k\Omega$ 'luk direncin üzerinden geçen akım;

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{45}{9k\Omega} = 5mA$$

Örnek7-4:

Şekil5.12(a)deki devre gerçek bir gerilim kaynağı ve akım kaynağı dönüşümü verildiğine göre, bu gerilim kaynağının;

- (a) Gerilim kaynağının uçları kısa devre yapılması durumunda,
- (b) Gerilim kaynağının uçları açık devre durumunda,
- (c) Gerilim kaynağına 500Ω bağlandığı durumda şıklara göre gerilim kaynağının ve akım kaynaklarının şekillerini çizerek değerlerini bulunuz.

Çözüm5.4: (a)

Şekil 5.12(b) deki devrede görüldüğü gibi gerilim kaynağının uçları kısa devre edildiğinden dış devreye verdiği gerilim sıfır, gerilim kaynağından çekilen akım ise şekil üzerinde bulunan değer kadardır. Bu değer aynı zamanda gerilim kaynağından akım kaynağına dönüşümde akım değeridir. ($I=15V/500\Omega=30mA$)

(b) Şekil5.12(c) deki devrede gösterildiği gibi dış devreye vereceği gerilim uçları açık devre durumunda, bu gerilim kaynağının olması gereken bir durumudur. Gerilim kaynağı boştaki iken uçları açık devre durumundadır. Bu kaynaktan 0 akım çekilmektedir. Bu kaynağı akım kaynağına dönüştürdükten sonraki uçlarındaki gerilim değerini ohm kanunundan $U = (30mA).(500\Omega) = 15V$ ve akım kaynağının uçları açık devre durumundadır.

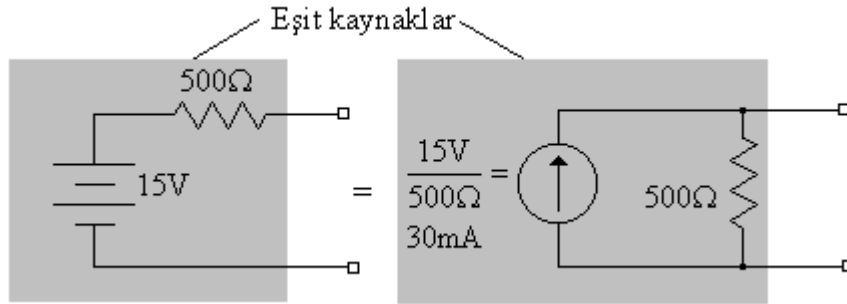
© Şekil5.12(d) de görüldüğü gibi gerilim kaynağına ve dönüşüm yapılan akım kaynağına bir 500Ω değerinde bir direnç bağlandığı şekli görülmektedir. Bu elemanın üzerinden geçen akımı bulmak için önce bu direncin uçlarındaki gerilimi daha sonra üzerinden geçen akımı bulabiliriz.

$$U_L = \frac{(500\Omega)}{(1000\Omega)} . 15V = 7,5V \quad \text{yük direnci üzerindeki gerilim}$$
$$I_L = \frac{7,5V}{500\Omega} = 15mA$$

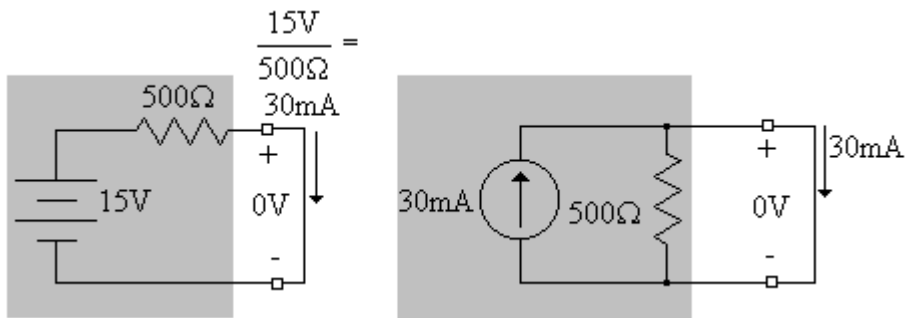
Gerilim kaynağını akım kaynağına dönüşüm yaptıralım ve bu yük direncini bu kaynağına bağlayıp üzerinden geçen akımı ve yük direnci uçlarındaki gerilimi tekrar bulalım. Direnç değerleri eşit ve dirençler paralel olduğundan akım kaynağının değerinin yarısı yük direnci üzerinden geçer, yük direncinin üzerinden geçen akımı bulduğumuza göre ohm kanunundan uçlarındaki gerilimi de aşağıdaki şekilde bulabiliriz.

$$I_L = \left(\frac{1}{2}\right).30mA = 15mA \Rightarrow U_L = I_L . R_L = 15mA.500\Omega = 7,5V$$

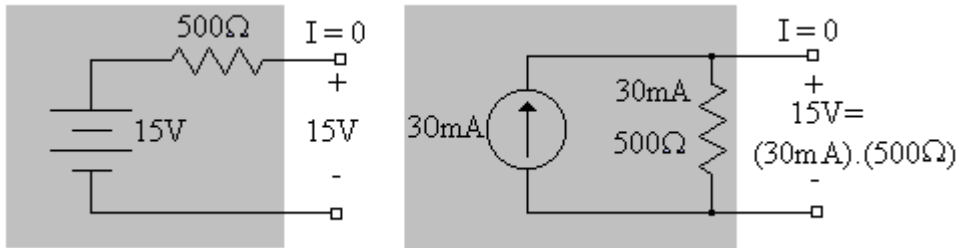
aynı değer bulunur. Bu beklediğimiz bir sonuç olması gerekir. Aksi takdirde farklı çıkmış olsaydı, bir yerlerde yanlışlık yapılmış olurdu.



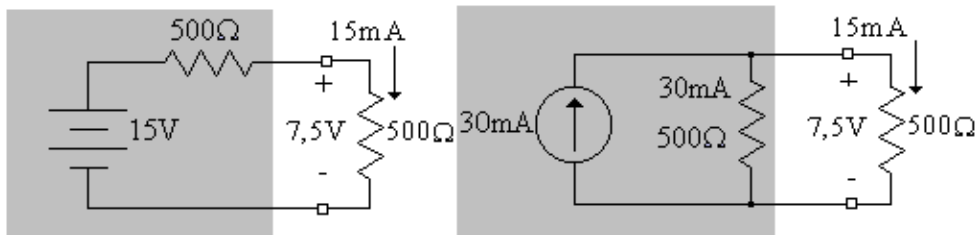
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil5.22

Sizlerde bu örnek için gerilim kaynağının direnci $1k\Omega$ ve kaynağın voltaj değeri $10V$ durumuna göre örnek5.4'nin şıklarını yapınız

BÖLÜM 6

DEVRE ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

6.1 ÇEVRE(İLMEK) AKIMLAR YÖNTEMİ

6.2 DÜĞÜM GERİLİMLERİ İLE DEVRE ANALİZİ

6.3 WHEATSTON(VESTON) KÖPRÜSÜ

DEVRE ANALİZİ YÖNTEMLERİ

Devre analizi yöntemlerini incelemeyen devrenin analizinin ne anlama geldiğini hatırlayalım. Devre analizi elektrik veya elektronik devrelerde akım, gerilim ve güç hesaplama işidir. Tanımlanması en kısa ve en doğrusudur. Devre analizine geçmeden bu konuda kullanacağımız bazı tanımlamalar yapalım.

Düğüm:Üç veya daha fazla elemanın müşterek olarak bağlandığı noktadır.

Yol:Devrenin bir noktasından diğer bir noktasına kadarki elemanlar dizisidir.

Kol:Üzerinde bir tek elemanın bulunduğu en kısa yoldur.

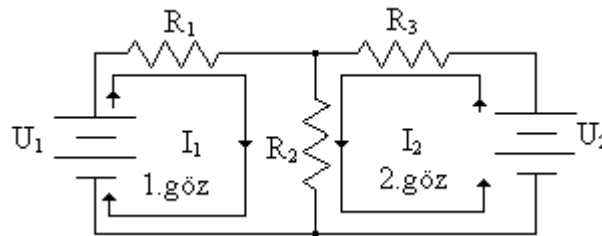
Çevre: Bitiş noktası ile başlangıç noktası aynı olan kapalı yol.

Göz: İçinde bir kol bulunan en küçük kapalı yol.

Devrelerin analizi yapılırken bazen şimdiye kadarki görmüş olduğumuz kanunlar yeterli olmaz. Devrede çift kaynakla besleniyor ve birden fazla göz olduğunda kanunlar yeteli olmaz. Bu bölümde bu durumlarda bize yardımcı olacak yöntem çeşitlerini bu yöntemlerle nasıl çözüm yapılacağı anlatılacaktır.

6.1 ÇEVRE(İLMEK) AKIMLAR YÖNTEMİ

Çevre akımlar yönteminde devrenin her bir gözü için bir çevre akımı seçilir. Gözlerden seçilen çevre akımlarına göre kirchhoff(kirşof)un gerilimler denklemi, her göz için yazılır.göz adedi kadar bilinmeyen çevre akımı ve denklem bulunur. Denklem çözülerek her bir gözün çevre akımları hesaplanır. Çevre akımlarından kol akımları kolaylıkla bulunabilir. Bu konuda göz sayısı kadar denklem çıkacağından bu denklem çözüm yöntemlerinden yok etme veya matris, determinant çözümlerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Bu konu matematik konusundan araştırılarak hatırlanması gerekir. Aksi taktirde çevre denklemlerinin bulunması bir işe yaramayacaktır. Şimdi şekil6.1 deki devreyi çevre akımlar yönteminin kurallarını uygulayarak ve anlatarak çevre akımlarını ve bu evredeki kol akımlarını bulalım. (Devrede bağlı akım kaynakları varsa bu kaynağın eşdeğeri gerilim kaynağına dönüşüm yapılarak devre Ç.Y. ile çözülür)



Şekil6.1

Şekil6.1 deki devrede iki göz vardır. Bu devre çözümü için iki adet denklem yazılacaktır. İlik yapmamız gereken her göz için kirşofun gerilimler kanunundan gözlerin denklemini oluşturmaktır. I_1 ve I_2 göz için seçtiğimiz göz akımlarıdır. Bu akımların dolaştığı yerleri şekilde gösterilmiştir. Bu akımların dolaştığı yerlere göre gerilimler denklemini;

$$I_1.R_1 + (I_1 + I_2).R_2 = U_2 \quad \text{1.gözün gerilim denklemini}$$

$$I_2.R_3 + (I_2 + I_1).R_2 = U_1 \quad \text{2.gözün gerilim denklemini}$$

Matematiksel düzenlemeler yapılarak bu devre için gözlerin gerilim denklemleri çıkar.

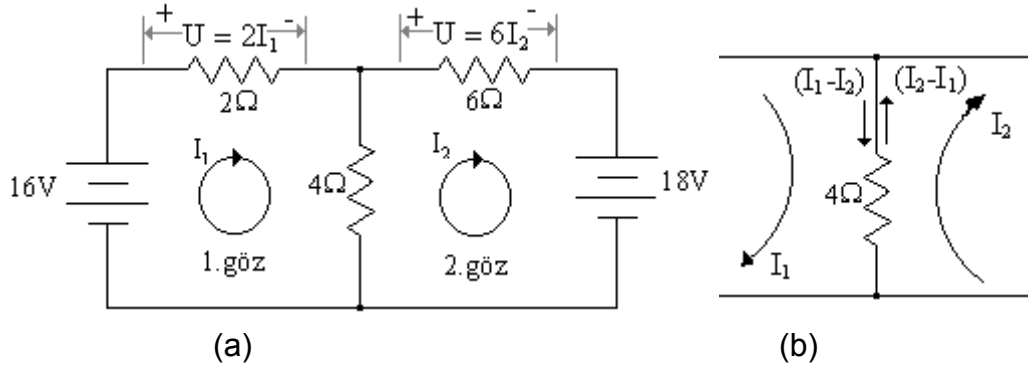
$$I_1.(R_1 + R_2) + I_2.R_3 = U_1$$

$$I_1.R_1 + (R_1 + R_2).I_2 = U_2$$

1.gözün ve 2.gözün denklemleri elde edilir. Bu devrede direnç ve gerilim değerlerinin verildiğini düşünerek göz akımları denklem çözümünden faydalanılarak I_1 ve I_2 akımları bulunur. Bu akımlar bizim için amaç değil sadece kol akımlarını bulmamız için araç görevini yaparlar. Göz akım değerleri bulunduktan sonra devreye baktığınızda 1.göz akımı R_1 üzerinden aynı değerde, R_3 üzerinden ise 2.göz akımı aynı değerde akmaktadır. Bu durumda R_1 elemanının akımı 1.göz akımına, R_3 elemanının akımı ise 2. göz akımına eşittir. Denklemi yazarken dikkat edilirse R_2 elemanının üzerinden 1.ve 2. göz akımlarının her ikisi de akmaktadır. Bu elemanın akımı, göz akımlarının yönleri aynı ise toplamı farklı ise göz akımlarının farkına, yönü sayısal değeri büyük olanın yönünü alması ile bulunur. Göz akımlarının yönlerini keyfi alabiliriz. Bu çözümü yapacak kişinin keyfine kalmış, fakat alınan yöne göre denklem doğru olarak oluşturulması gerekir. Denklem doğru bir şekilde oluşturulursa sonuçta hiçbir sayısal değişiklik olmaz sadece pozitif veya negatif değer çıkacaktır. Bu bulunan değerın mutlak değeri alınabilir. Çünkü akım sıkalor büyüklüktür. Değer negatif çıkmışsa sadece akım seçilen yönde değil tam tersi yönde akıyor anlamı çıkarılmalıdır. Bu açıklamalarımızı sayısal değerli bir örnek üzerinde göstererek anlaşılmasını sağlayalım.

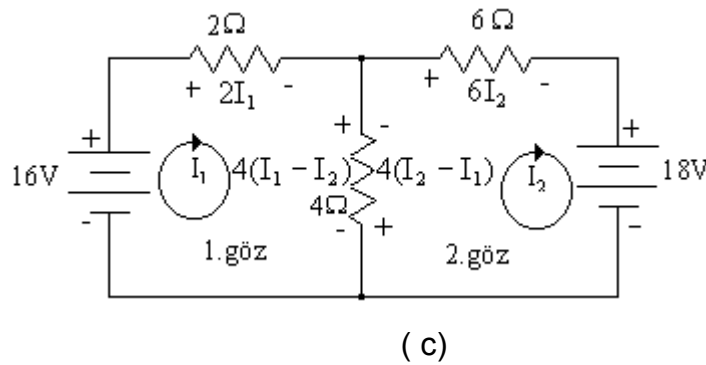
Örnek6.1:

Şekil6.2deki devrenin, çevre akımlar yönteminden yararlanarak göz, eleman(kol) üzerlerinden geçen akımları ve eleman uçlarındaki gerilim değerlerini bulunuz.



Şekil6.2

Şekil6.2 (a) deki devrede iki göz olduğundan bu gözün akımları I_1 ve I_2 olarak ve yönleri saat ibresi yönünde alınmıştır. Bu göz akımlarına göre 2Ω direnç üzerindeki gerilim $(2\Omega)(I_1)=2I_1$ ve kutupları şekil üzerindeki gibi olur. 6Ω direnç uçlarındaki gerilim de ohm kanununa göre $6I_2$ kutupları şekildeki gibidir. Bu dirençlerin göz akımlarının kol akımlarına eşit olduğunu görebilmeniz gerekir. 2Ω dirençten I_1 6Ω dirençten ise sadece I_2 akımları geçtiğinden göz akımı ile kol akımları eşittir. 4Ω direnç uçlarındaki gerilim bu eleman üzerindeki akım (I_1-I_2) dir. Çünkü 1.göz için bu eleman üzerinden devredeki kaynağın daha fazla akım akıttığı düşünülür. Bu göz için 4Ω üzerindeki gerilim $4(I_1-I_2)$, 2.göz için Şekil6.2(b)de gösterildiği gibi akım değeri (I_2-I_1) den $4(I_2-I_1)$ olur.



Şekil6.2

Eğer akım yönleri farklı olmasaydı, farkları değil toplamaları olurdu. Dikkat edilirse 4Ω üzerinden her iki göz akımı da akmakta ve bu akımların yönleri farklı olduğu için birbirlerinden çıkartılmıştır. Farklı olmasaydı (I_1+I_2) gibi bir durum oluşurdu. Şekil6.2(c)de kaynakların ve bu kaynakların direnç uçlarındaki gerilim

düşümlerinin kutuplarını bu şekil üzerinde gösterilmiştir. Bu açıklamalardan sonra her göz için gerilimler kanunu uygulayarak denklemlerini oluşturalım.

$$\begin{aligned} 1.\text{Göz} \quad 2I_1 + 4(I_1 - I_2) &= 16 \\ 2.\text{Göz} \quad 6I_2 + 4(I - I) + 18 &= 0 \end{aligned}$$

denklemi elde edilir. 1.gözdeki denklemde 16V'a eşitken 2.gözde gerilimlerin toplamı 0'a eşit gösterilmiştir. Bunun nedeni 2.gözün akım yönü kaynağın devreye sürdüğü akımla ters olduğundandır. Her iki durumu görmeniz açısından bu tip örnek verilmiştir. Bu denklemi düzenleyerek tekrar yazalım.

$$\begin{aligned} 6I_1 - 4I_2 &= 16 \\ -4I_1 + 10I_2 &= -18 \end{aligned}$$

denklem düzenlenir. Göz akımları bilinen bir matematiksel yöntemle çözülür. Burada çözüm matrisle yapılarak göz akımları aşağıdaki şekilde yapılacaktır.

Önce Δ 'a bulunur.

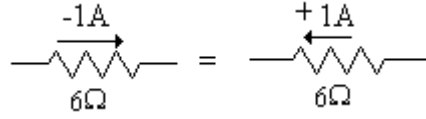
$$\Delta = \det \begin{vmatrix} 6 & -4 \\ -4 & 10 \end{vmatrix} = (6 \cdot 10) - (-4 \cdot -4) = 44$$

göz akımlarını da gerilim değerlerini yerlerine koyarak matrisle çözersek;

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} 16 & -4 \\ -18 & 10 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(16 \cdot 10) - (-18 \cdot -4)}{44} = 2A$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 6 & 16 \\ -4 & -18 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(6 \cdot -18) - (-4 \cdot 16)}{44} = -1A$$

Bulunan göz akımlarının sonuçlarını irdelersek 1.göz akımı 2A çıkmış, pozitif değer olarak görülmektedir. Bunun anlamı alınan göz akımı yönü doğrudur. Bu kaynak devreye alınan yönde akım akıttığı görülüyor. Gerilim kaynağı artıdan eksiye doğru akım akıttığı için pozitif çıkacağını çözüm yapmadan da görebilirdik. Alınan yönün tersi alınmış olsaydı ve denklem doğru oluşturulursa sonuç skaler olarak değeri değişmeyecek sadece negatif olacaktı. Bunu 2.gözde görmekteyiz bu sonucu sayısal hiç değiştirmez. Sadece değeri negatif çıkar. Alınan yönde değil tersi yönde akımın aktığı düşünülmesi gerekir. Bu sonuçlara göre 2Ω üzerinden alınan yönde 2A, 6Ω üzerinden (-1A) alınan yönün tam tersi yönde akım akmaktadır.



Devre üzerindeki 4Ω üzerindeki akım şekil6.2(b) deki şekil üzerinde gösterildiği her iki duruma göre bulursak;

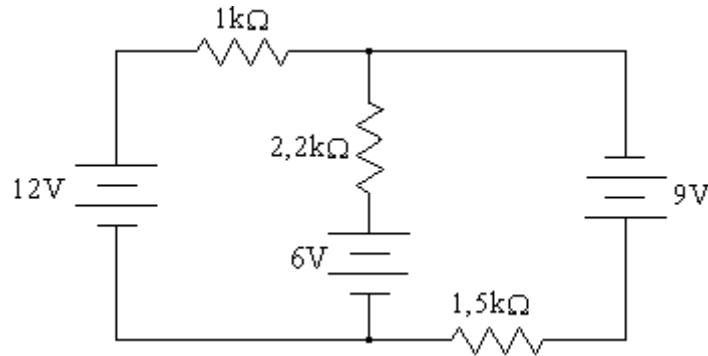
$$I_{4\Omega} = I_1 - I_2 = 2A - (-1A) = 3A \quad \text{veya}$$

$$I_{4\Omega} = I_2 - I_1 = (-1A) - (2A) = 3A$$

bulunur. Akım bu eleman üzerinden $\downarrow$ 1. göz akımı yönünde akmaktadır.

Örnek6.2:

Şekil6.3 deki verilen devrede eleman uçlarındaki gerilim düşümünü çevre akımlar yönteminden yararlanarak bulunuz.



Şekil6.3

İki gözlü, iki göz akımı olacaktır. Bu akımlara göre gözlerin gerilim denklemi;

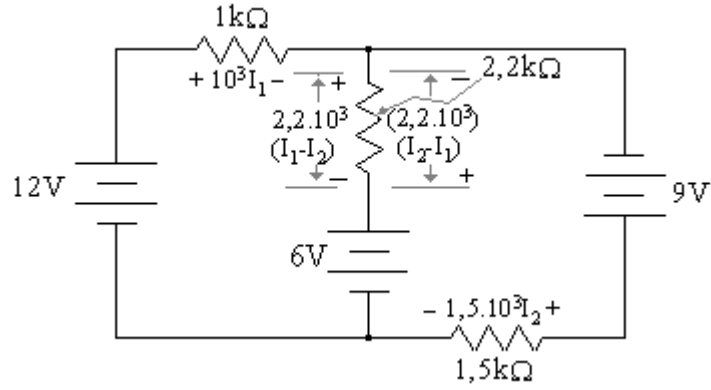
$$1.\text{göz} \quad 10^3 I_1 + 2,2 \cdot 10^3 (I_1 - I_2) + 6 = 12$$

$$2.\text{göz} \quad 1,5 \cdot 10^3 I_2 + 2,2 \cdot 10^3 (I_2 - I_1) = 6 + 9$$

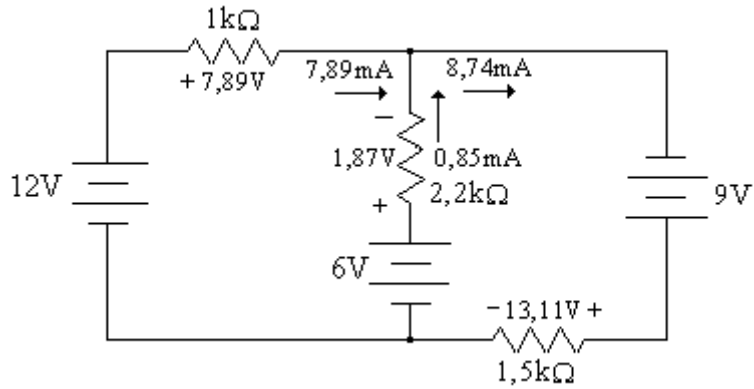
denklem düzenlenirse;

$$3,2 \cdot 10^3 I_1 - 2,2 \cdot 10^3 I_2 = 6$$

$$-2,2 \cdot 10^3 I_1 + 3,7 \cdot 10^3 I_2 = 15$$



(a)



(b)

Şekil6.4

Şekil üzerinde değerlerini ve kutupları gösterdiğimiz değerleri denklemi çözerek bulabiliriz.

$$\Delta = \det \begin{vmatrix} 3,2 \cdot 10^3 & -2,2 \cdot 10^3 \\ -2,2 \cdot 10^3 & 3,7 \cdot 10^3 \end{vmatrix} = (11,84 - 4,84) \cdot 10^6 = 7 \cdot 10^6$$

$$I_1 = \frac{\det \begin{vmatrix} 6 & -2,2 \cdot 10^3 \\ 15 & 3,7 \cdot 10^3 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(22,2 + 33) \cdot 10^3}{7 \cdot 10^6} = 7,89 \text{mA}$$

$$I_2 = \frac{\det \begin{vmatrix} 3,2 \cdot 10^3 & 6 \\ -2,2 \cdot 10^3 & 15 \end{vmatrix}}{7 \cdot 10^6} = \frac{(48 + 13,2) \cdot 10^3}{7 \cdot 10^6} = 8,74 \text{mA}$$

göz akımları bulunur.bu göz akımlarından faydalanılarak $I_{2,2k\Omega}$ değerini bulursak;

$$I_{2,2k\Omega} = I_1 - I_2 = 7,89mA - 8,74mA = -0,85mA$$

$$U_{2,2k\Omega} = (0,85mA).(2,2k\Omega) = 13,11V$$

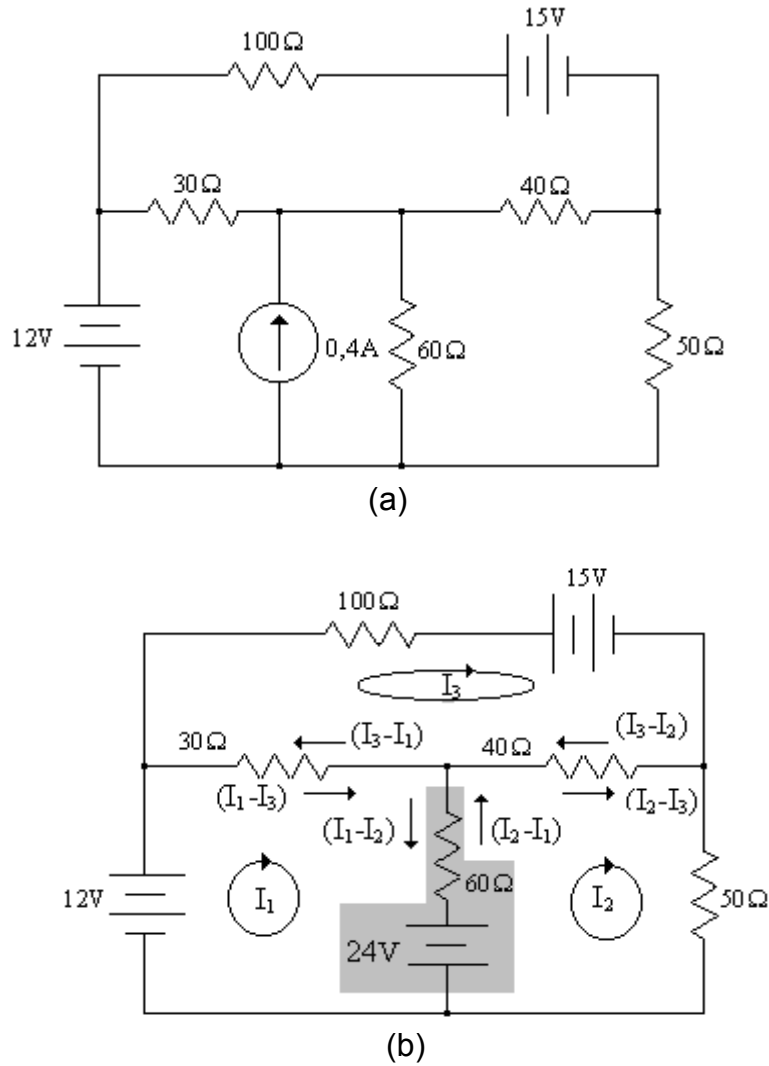
1k Ω üzerinden 1.göz 1,5k Ω üzerinden 2.göz akımı aktığından bu direnç uçlarındaki gerilim değerleri aşağıdaki şekilde bulunur.

$$U_{1k\Omega} = I_1.1k\Omega = (7,89mA).(1k\Omega) = 7,89V$$

$$U_{1,5k\Omega} = I_2.1,5k\Omega = (8,74mA).(1,5k\Omega) = 13,11V$$

Örnek6.3:

Şekil6.5(a)deki devrenin her göz için gerilimler denklemini oluşturarak matrisle çözülecek duruma getiriniz.



Şekil6.5

Şekil6.5(a)deki devrede akım kaynağı olduğundan bu akım kaynağını gerilim kaynağına dönüştürerek şekil6.5(b) deki haline aldırıldı. Verilen üç gözle devre ve üç göz akımı şekilde gösterildiği gibi yönler belirlenmiş kol akımlarının göz akımları karşılıkları şekil üzerinde gösterilmiştir. Bu gözlerin gerilim denklemini aşağıdaki şekilde oluşturabiliriz.

Akım kaynağı gerilim kaynağına dönüşüm yapılarak ohm kanunundan değeri bulunur.

$$U = (0,4A).(60\Omega) = 24V$$

Her gözün çevre denklemini kirşofun gerililer kanunundan oluşturulur.

$$\begin{aligned} 1.\text{göz} \quad & (I_1 - I_3)30 + (I_1 - I_2)60 + 24 = 12 \\ 2.\text{göz} \quad & (I_2 - I_1)60 + (I_2 - I_3)40 + 50I_2 = 24 \\ 3.\text{göz} \quad & 100I_3 + (I_3 - I_2)40 + (I_3 - I_2)30 + 15 = 0 \end{aligned}$$

bu denklem düzenlenirse;

$$\begin{aligned} 90I_1 - 60I_2 - 30I_3 &= -12 \\ -60I_1 + 150I_2 - 40I_3 &= 24 \\ -30I_1 - 40I_2 + 170I_3 &= -15 \end{aligned}$$

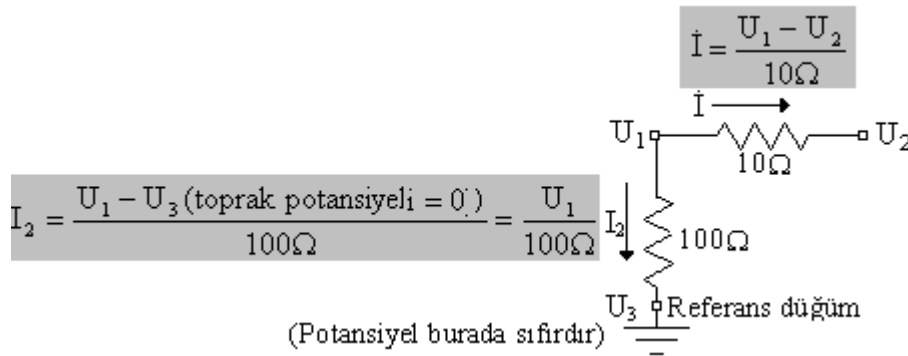
denklemleri 3x1 matrisle değerlerini yazarak bulabiliriz veya yok etme metoduyla da çözülebilir. 3x1 matrisin değerleri denklemden yazalım;

$$\begin{bmatrix} 90 & -60 & -30 \\ -60 & 150 & -40 \\ -30 & -40 & 170 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -12 \\ 24 \\ -15 \end{bmatrix}$$

bu matris çözümlerse göz akımları bulunur. Bu bulunan akımlarda yararlanarak kol akımlarının değeri de bulunmuş olur.

6.2 DÜĞÜM GERİLİMLERİ İLE DEVRE ANALİZİ

Düğüm gerilimleri ile devrelerin analizleri yapılabilir. Bu yöntemle devre analizi yapmak için analizi yapılacak devrede gerilim kaynakları bulunuyorsa bunun eşdeğeri olan akım kaynağına dönüşümü yapıp devre tekrar düzenlenmesi gerekir. Yeni oluşacak devrede düğümler belirlenip, en kalabalık düğüm noktası referans düğüm tayin edilerek o düğüm topraklanması gerekir. Aktif düğümlere bir isim verilerek (U_1 , U_2 veya U_A , U_B gibi) bu düğümlere kirşofun akımlar kanunu her düğüm için ayrı ayrı uygulanır. Düğüme giren akımları pozitif çıkan akımlara negatif mantığı düşünülürse; 1.düğümde çıkan akım diğer düğüme giren olduğunu unutmamak gerekir. 1.düğümde aynı akım negatif durumunda iken diğer düğüme girdiği için pozitif olacaktır. Düğümlere giren aktif elemanların yönleri giren, çıkan durumunda bağlı ise aynı yönü almak zorunluluğu vardır. Fakat bağımsız kol akımlarını istediğiniz yönde alabilirsiniz. O kollar için seçiminizi hangi yönlü kullanmış iseniz sürekli aynı yönü o devrede o kol için kullanmak zorundasınız. Kolların üzerinden geçen akımları düğüm gerilimleri eşitinden yazarak oluşturduğunuz denklemde yerine yazarak düğüm gerilimlerini matematik kuralları ile çözümü yaparsınız. Düğüm gerilimleri bulunduktan sonra kol akımları ve o kolun gerilimleri bu şekilde bulma imkanına sahip olursunuz. İki düğüm arasındaki bir direncin üzerinden geçen akım ile referans düğüm arasında kalan bir direncin üzerinden geçen akımı düğüm gerilimleri eşiti aşağıdaki şekilsel ve teorik olarak gösterilmiştir. ($U_1 > U_2 > \dots > 0$)



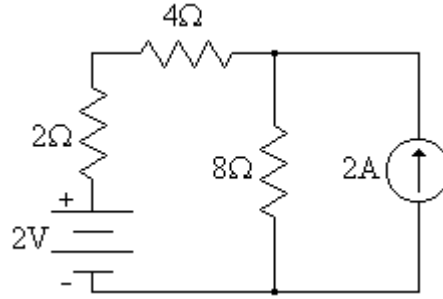
Şekil6.6

10Ω direncin bağlı olduğu düğümler U_1 ve U_2 düğümleri bu düğümlerin potansiyel farkı bu eleman üzerindeki gerilimi verir. Bu gerilimin direnç değerine bölümü (ohm kanunu) o kolun üzerinden geçen akımı verecektir. Burada dikkat edilirse 1.düğümün geriliminin yüksek potansiyelde olduğu kabul edilmiştir. Referans düğüm tayin ettiğiniz düğümü toprakladığınızdan o düğümün gerilimi sıfır olacaktır. Ondan dolayı 100Ω direncin uçlarındaki gerilim sadece 1.düğümün gerilimine eşittir.

Bu sözle ifade ettiklerimizi bir örnek üzerinde uygulamasını yapalım.

Örnek6.4:

Şekil6.7(a)de verilen elektrik devresinde kol akımlarını düğüm gerilimleri yöntemi ile bulunuz.

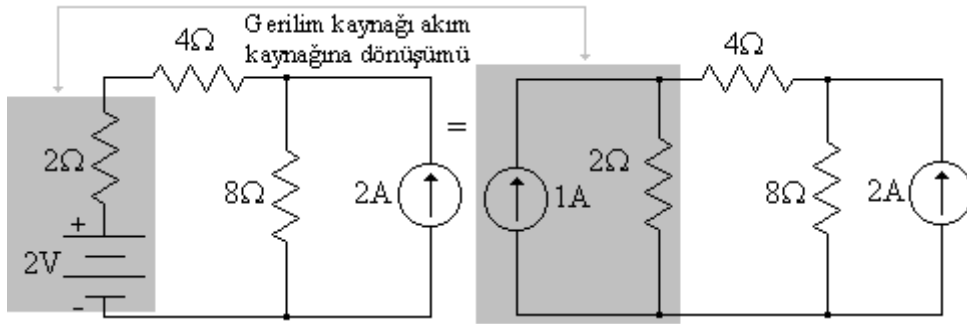


(a)

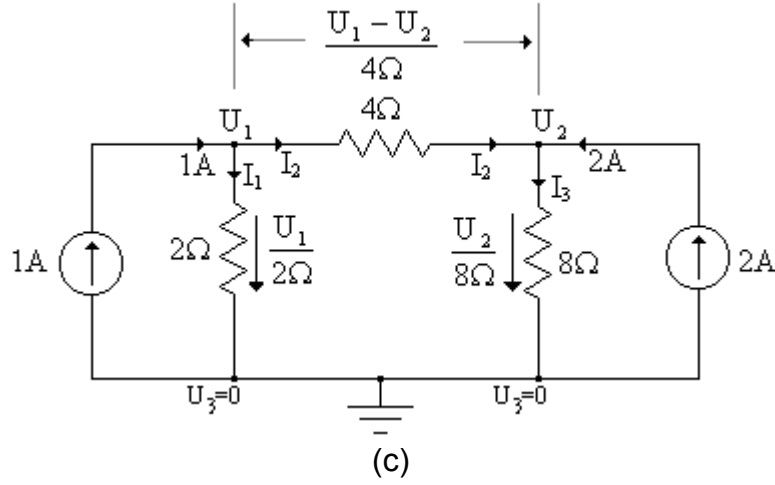
Şekil6.7

Çözüm6.4:

Şekil6.7(a)daki devreye baktığınızda devrede iki aktif kaynak mevcut. Bu kaynağın birisi gerilim kaynağı. Bu kaynağı, çözüm düğüm gerilimleri yöntemi ile yapılacağından akım kaynağı eşdeğerine dönüştürülmesi gerekecektir. Akım kaynağına dönüşüm yapıp şekli tekrar çizilirse şekil6.7(b)deki gibi olacaktır.



(b)



Şekil6.7

Şekil6.7(c)deki devrede akım kaynağına dönüşüm yapıldıktan sonra devre üç düğümlü devre haline gelmiştir. En kalabalık düğüm noktası referans düğüm tayin edilmiş bu düğüm topraklanmıştır.(U_3 gerilimi sıfıra çekilmiştir.) referans düğümü seçimi çözümü yapan kişiye göre de değişebilir. Ancak kalabalık düğümü seçmede fayda vardır, bu düğüm topraklandığında bu noktanın potansiyelinin sıfır olacağı bilinmelidir. Bu açıklamalardan sonra dirençlerin üzerlerinden geçen akımları düğüm gerilimleri eşitinden yazalım.

$$I_1 = I_{2\Omega} = \frac{U_1}{2\Omega} \quad I_2 = I_{4\Omega} = \frac{U_1 - U_2}{4\Omega} \quad I_3 = I_{8\Omega} = \frac{U_2}{8\Omega}$$

bu eşitliği yazdıktan sonra aktif düğümlere kirşofun akımlar kanununu uygulamadan şekil6.7(c)deki devrede akım kaynaklarının yönleri hiç değiştirilmeden diğer kol akımları keyfi alınışı görülmektedir. Buradaki keyfilik ilk düğümde seçilen yön eğer çıkan alındı ise bu kol aktif ikinci düğümle ortaklaşa bağlı durumunda ise bu kolun üzerinden geçen akımı çıkan alınamaz bu düğüme giren olarak işaretlemek zorunluluğu vardır. (I_2 akımı 1.düğümde çıkarken 2.düğüme giren durumunda) Çünkü akım aynı elemanı terk ediyorsa diğer tarafa giriyor durumundadır. Akım yönleri belirlendikten sonra aktif düğümlere kirşofun akımlar kanunu uygulanır. Bu devrede giren akımlar pozitif çıkan akımlar negatif kabul edilmiştir.

$$\begin{aligned} 1A - I_1 - I_2 &= 0 & \text{1.düğümün akımlar kanunu denklemi} \\ 2A + I_2 - I_3 &= 0 & \text{2.düğümün akımlar kanunu denklemi} \end{aligned}$$

denklem düzenlenirse;

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 &= 1A & \text{akımların düğüm ger.eşiti} & \frac{U_1}{2} + \left(\frac{U_1 - U_2}{4}\right) = 1A \\ I_2 - I_3 &= -2A & \text{"} & \frac{U_1 - U_2}{4} - \frac{U_2}{8} = -2A \end{aligned}$$

düğüm gerilimleri eşitini yazdığımız denklem düzenlenirse;

$$\begin{aligned} 3U_1 - U_2 &= 4A \\ 2U_1 - 3U_2 &= -16A \end{aligned}$$

aktif düğümün gerilimi V_i denklemleri oluşturulmuş olur. Bu denklemler matematiksel yöntemlerle çözülürse düğüm gerilimleri bulunur. Bu denklemleri matris halinde göstererek, determinantla çözümü yapalım.(yok etme metodu ile de yapılabilir)

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} 3 & -1 \\ 2 & -3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 4 \\ -16 \end{bmatrix} \Rightarrow \det \Delta = \begin{vmatrix} 3 & -1 \\ 2 & -3 \end{vmatrix} = (3 \cdot -3) - (2 \cdot -1) = -7 \\ U_1 &= \frac{\begin{vmatrix} 4 & -1 \\ -16 & -3 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(-3 \cdot 4) - (-16 \cdot -1)}{-7} = \frac{(-12) - 16}{-7} = \frac{-28}{-7} = 4\text{V} \\ U_2 &= \frac{\begin{vmatrix} 3 & 4 \\ 2 & -16 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(3 \cdot -16) - (2 \cdot 4)}{-7} = \frac{(-48) - 8}{-7} = \frac{-56}{-7} = 8\text{V} \end{aligned}$$

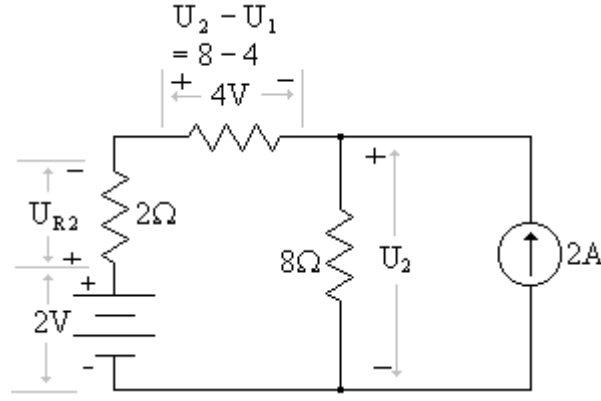
Düğüm gerilimleri bulunur. Bulunan gerilim değerleri $U_2 > U_1$ olduğuna göre 4Ω üzerinde 2.düğümünden 1.düğümüne doğru akmaktadır. Bu bulunan düğüm gerilimlerine göre kol akımları aşağıdaki gibi önceden yazmış olduğumuz kol akımlarını düğüm gerilimleri eşitinde değerleri yerine yazarak bulabiliriz.

$$I_1 = \frac{U_1 - 2V}{2\Omega} = \frac{4V - 2V}{2\Omega} = \frac{2V}{2\Omega} = 1A \quad I_2 = \frac{U_1 - U_2}{4\Omega} = \frac{4V - 8V}{4\Omega} = -1A$$

$$I_3 = \frac{U_2}{8\Omega} = \frac{8V}{8\Omega} = 1A$$

Bu değerler bulunur. Sonuçları irdelersek I_2 akımı (-1A) çıkmış olması neticeyi değiştirmez. Buradaki negatiflik akımın 1.düğünden 2.düğüne doğru değil tam tersi aktığını göstermektedir. Bunun olacağı $U_2 > U_1$ den görülmektedir. Çünkü U_2 potansiyeli U_1 'e göre daha yüksek çıkmıştı. Bilindiği üzere akım potansiyeli yüksekten alçağa doğru akım akıtmaktadır. Diğer bir durum ise I_1 akımı bulunurken 2V'luk

değerin gelmesi Örneğin şekli6.7(a)deki devrede gerilim kaynağının değeri 2V düğümün gerilimi ise 4V bulundu. Bunların farkı ise 2Ω direnç uçlarındaki gerilimi vereceğinden

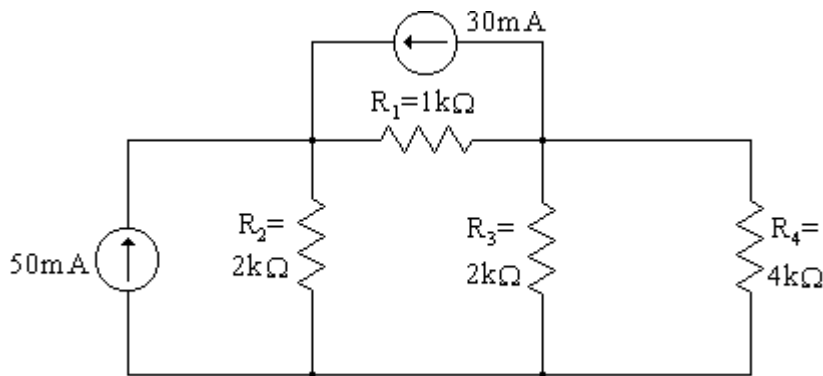


Şekil6.8

Şekil6.8de görüldüğü gibi $(-4V^+ - U_{R2}V^+ + 2V^-)$ 2Ω direnç uçlarındaki gerilim $-U_{R2}V^+ = +2V^- + 4V^+ = -2V^+$ değeridir. Bu direncin üzerinden geçen akım bulduğumuz şekildedir. 2V'luk gerilim kaynağının yönü tersi durumunda tabi ki çıkarılmayacak toplanacaktır. Düğüm yönteminde bu durumlarla sıkça karşılaşılacağı için detaylı şekilsel olarak gösterilmiştir.

Örnek6.5:

Şekil6.9(a)deki devrede $I_{4k\Omega}$ üzerinden geçen akımı düğüm gerilimleri yöntemi ile bulunuz.



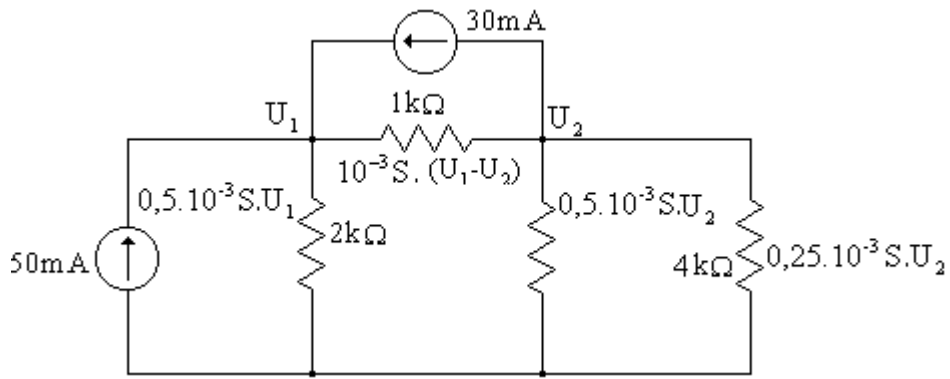
(a)
Şekil6.9

Çözüm6.5:

Bu örneğimizin çözümünü de direnç değerleri ile değil de iletkenlik değerleri cinsinden yazarak bulalım direnç değerlerinin iletkenlik eşitlerini bulalım.

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{1 \cdot 10^3 \Omega} = 10^{-3} \text{ S (siemens)} \quad G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2 \text{ k}\Omega} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{2 \text{ k}\Omega} = \frac{1}{2 \cdot 10^3 \Omega} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ S} \quad G_4 = \frac{1}{R_4} = \frac{1}{4 \text{ k}\Omega} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$



(b)

Şekil6.9

Her düğüm için kirşofun akımlar kanunu uygularsak; şekil6.9(b)deki devrede elemanların üzerlerinden geçen akım, iletkenlik ve düğüm gerilimleri çarpı olarak gösterilmiştir. Giren akım çıkan akıma eşit olacağından;

$$50 \cdot 10^{-3} + 30 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot U_1 + 10^{-3} (U_1 - U_2) \quad \text{1.düğüm denklemi}$$

$$10^{-3} (U_1 - U_2) = 30 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} U_2 \quad \text{2.düğüm denklemi}$$

denklemleri düzenleyerek matrise değerleri yazıp determinantla düğüm gerilimlerini bulalım.

$$\begin{aligned} 1,5U_1 - U_2 &= 80 \\ U_1 - 1,75U_2 &= 30 \\ \det \Delta &= \det \begin{vmatrix} 1,5 & -1 \\ 1 & -1,75 \end{vmatrix} = -2,625 + 1 = -1,625 \end{aligned}$$

bu örnek için U_1 düğüm gerilimini bulmaya gerek yok çünkü R_4 direnci sadece U_2 düğümü ve referans düğüme bağlı durumda, bu elemanın üzerinden geçen akımı aşağıdaki şekilde bulunabilir.

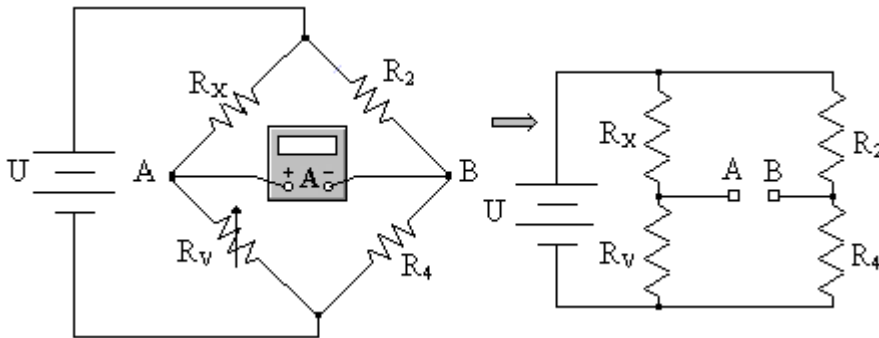
$$U_2 = \det \begin{vmatrix} 1,5 & 80 \\ 1 & 30 \end{vmatrix} = \frac{45 - 80}{-1,625} = 21,54V$$

$$I_{4k\Omega} = 0,25 \cdot 10^{-3} U_2 = (0,25 \cdot 10^{-3} S) \cdot (21,54V) = 5,39V$$

Sizlerde diğer kol akımlarını kol gerilimlerini ve bu elemanlarda harcanan güçleri bulunuz.

6-3 WHEATSTON(VESTON) KÖPRÜSÜ

Veston köprüsü uygulamada değeri bilinmeyen dirençlerin değerini ölçerek ve teorik olarak bulmada çok kullanılan bir yöntemdir. Şekil6.10 da görüldüğü gibi bağlantısı yapılır. Devre üzerindeki R_x değeri bilinmeyen R_v ise AB uçlarının gerilimlerinin eşit olmasını sağlayan dirençtir. Köprüde ayarlanabilen R_v direnci sayesinde AB uçlarının gerilimini eşit oluncaya kadar ayarlanır bu eşitlik çok küçük akım ve gerilimleri ölçebilen galvanometre sayesinde görülür. Galvanometre üzerinde o(sıfır) akım değeri görüldüğü anda bu durumdan AB uçlarının gerilimlerinin eşit olduğu anlamamız gerekir. Aksi taktirde bir akım değeri görülürse bu uçların henüz gerilim değerlerinin eşit olmadığı ve R_v direncinin değerini azaltmak veya artırmak gerekebilir. Bu açıklamalar ışığında ve önceki bilgilerimizi hatırlayarak aşağıdaki işlemleri gerçekleştirirsek değeri bilinmeyen direncin değerini bulma formülümüzü oluşturabiliriz.



Şekil6.10

$$U_A = U_B$$

$$I_1 \cdot R_x = I_2 \cdot R_2 \quad \text{AB uçlarının gerilimleri eşit olmasını } R_v \text{ direnci ile ayarlandı}$$

bu formülü yazdıktan sonra R_v ve R_4 eşitliğini bu dirençler le gösterilirse

$$I_1 \cdot R_v = I_2 \cdot R_4 \quad \text{bu iki formül taraf tarafa bölünürse ve } R_x \text{ çekilerek;}$$

$$\frac{R_x}{R_v} = \frac{R_2}{R_4} \Rightarrow R_x = R_v \cdot \left(\frac{R_2}{R_4}\right) \quad \text{bulunur.}$$

$$R_x = R_v \cdot \left(\frac{R_2}{R_4}\right)$$

Veston köprüsü ile değeri bilinmeyen direncin değerini veren formül. Bu formülde kullanılan harflerin anlamları;

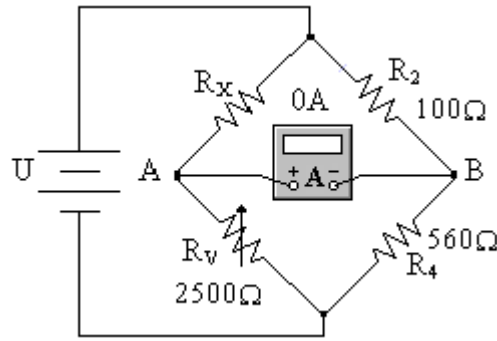
R_x :Omik değeri bilinmeyen direnç(ohm)

R_v .AB uçlarındaki gerilim değerini o volta ayarlamamızı sağlayan pot.

R_1 ve R_2 :Omik değeri belli olan dirençler(ohm)

Örnek6.6:

Şekil6.11deki devrede verilen değerler doğrultusunda R_x direncinin değerini bulunuz.



Şekil6.11

$$R_x = R_v \cdot \left(\frac{R_2}{R_4}\right) = 2500\Omega \cdot \left(\frac{100\Omega}{560\Omega}\right) = 446\Omega$$

BÖLÜM 7

DEVRE TEOREMLERİ

7.1 SÜPERPOZİSYON TEOREMİ

7.2 THEVENİN TEOREMİ

7.3 NORTON TEOREMİ

7.1 SÜPERPOZİSYON TEOREMİ

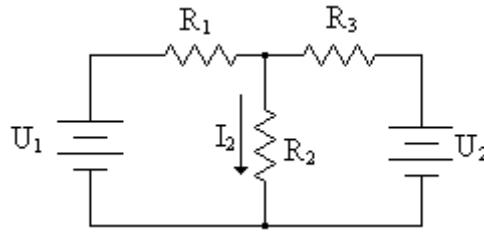
Birden fazla kaynak bulunan doğrusal ve çift yönlü bir elektrik devresinde herhangi bir koldan geçen akım veya kolun uçlarındaki gerilim süperpozisyon yöntemi ile bulunur.

Doğrusal ve çift yönü bir elektrik devresinde herhangi bir koldan geçen akım veya kolun uçlarındaki gerilim kaynaklardan her birinin ayrı ayrı bu koldan geçirdikleri akımların veya kolun uçlarında meydana getirdikleri gerilimlerin cebirsel toplamına eşittir.

Bu yöntem, devre çözümlerinde çok işe yarar. Gerilim veya akım kaynakları ile beslenen lineer devrelere uygulanır. Devrede kaç aktif kaynak varsa, sıra ile kaynaklardan yalnız bir tanesi devrede bırakılarak diğerleri, gerilim kaynakları ise kısa devre, akım kaynakları ise açık devre yapılır. Örnek vermek gerekirse; kaynaklar gerilim kaynağı ise devredeki herhangi bir kolun akımı bulunması isteniyorsa sıra ile her gerilim kaynağının o koldan geçirdiği akımlar bulunur. Bu bulunan akımların cebirsel toplamı kol üzerinden geçen akımı verir. (akımların yönleri dikkate alınır) Bu konu ile ilgili örnekler yaparak konunun anlaşılmasını sağlayalım.

Örnek7.1:

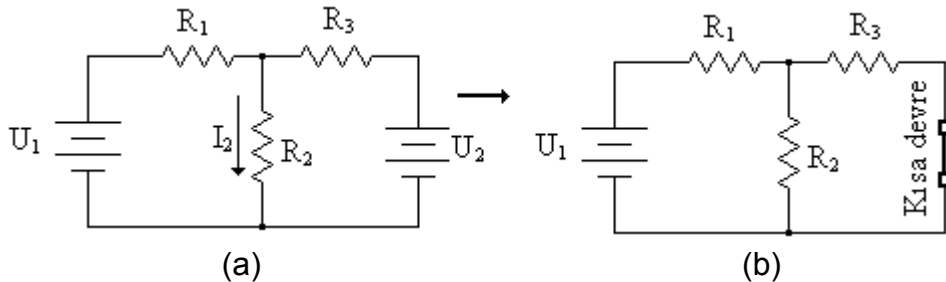
Şekil7.1 deki devrede gerilim kaynakları, dirençlerden oluşan devre için R_2 elemanının üzerinden geçen I_2 akımını süperpozisyon yöntemi ile bulunuz.

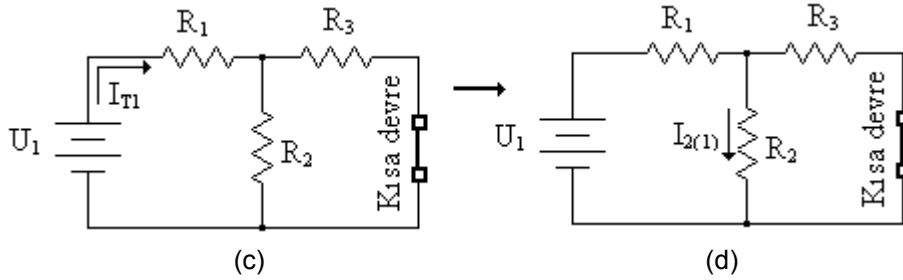


Şekil7.1

Çözüm7.1:

I_2 akımının bu yöntemle çözülebilmesi için yöntemin uygulanması gerekir. Burada ilk yapılacak devreyi tek kaynak kalacak şekilde tekrar çizmek gerekir.





Devredeki dirençlerin U_1 kaynağından çektiği toplam akım(c) deki devre için;

$$R_{T1} = R_1 + R_2 // R_3$$

$$I_{T1} = \frac{U_1}{R_{T1}}$$

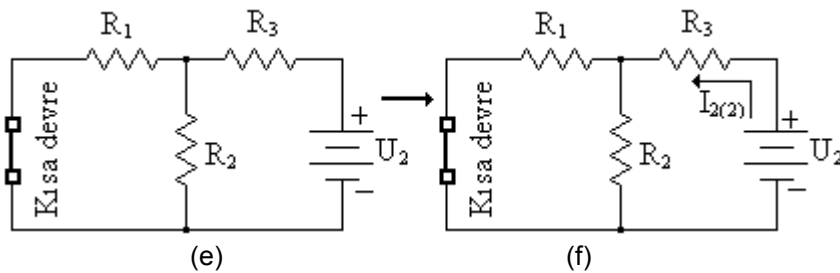
Şekil(d) deki devrede görüldüğü gibi U_1 geriliminin R_2 elemanı üzerinden geçirdiği akım, akım bölme kaidesinden;

$$I_{2(1)} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) I_{T1} \text{ bulunur..}$$

Şekil7.2

Şekil7.2 (b)deki devresinde, şekil7.1 devredeki verilen U_2 gerilimini devreden çıkartılmış o uçlar kısa devre edildiği şekil üzerinde görülmektedir. Eşdeğer(toplam) direnç ve kaynaktan çekilen toplam akımın bulunması şekil7.1de gösterilmiştir. Şekil7.1 şeklindeki devrede akım bölme kaidesinden faydalanılarak $I_{2(1)}$ akımının yönünü göstererek bulunması gösterilmiştir. U_1 kaynağı R_2 elemanı üzerinden akıttığı akım ve yönünü buluk devrede ikinci bir kaynak olduğundan bu elemanın üzerinden U_2 kaynağının akımını da şekillerle ve teorik olarak aşağıdaki şekilde bulunur.

Şekil7.2de aynı $I_{2(1)}$ deki işlemler tekrar edildiği takdirde bu akımı bulabiliriz. Yapacağımız şekillerde de görüldüğü gibi U_1 gerilim kaynağını devre dışı bırakıp, U_2 gerilim kaynağını devreye bağlamak olacaktır. İşlemleri yeni devreye göre çözmek olacaktır.

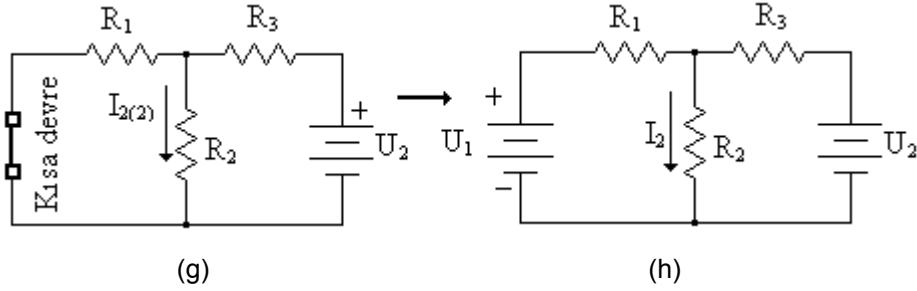


U_1 gerilim kaynağı kısa devre edilir ve U_2 tekrar devreye bağlanır.

Devrenin eşdeğer direnci ve U_2 'den çekilen I_{T2} akımı

$$R_{T2} = R_3 + R_1 // R_2$$

$$I_{T2} = \frac{U_2}{R_{T2}} \text{ bulunur.}$$



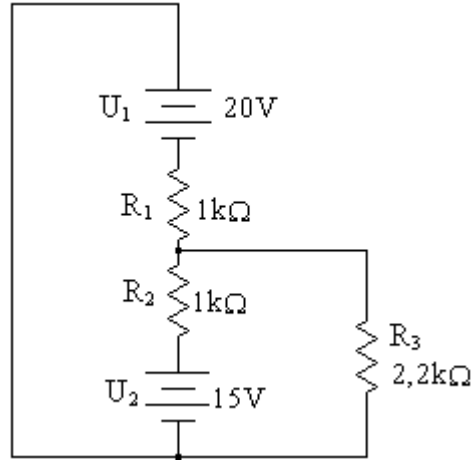
U_2 gerilimin kaynağından çekilen $I_{2(2)}$ akımı akım bölme kaidesinden faydalanılarak;

$$I_{2(2)} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) I_2 \text{ bulunur.}$$

R_2 direnci üzerinden U_1 ve U_2 gerilim kaynakları $I_{1(1)}$, $I_{2(2)}$ akımları akıtmaktadır. Burada yönlerine baktığımızda her iki kaynaktan çekilen akımların yönleri aynı olduğundan $I_2 = I_{1(1)} + I_{2(2)}$ bulunur.

Örnek7.2:

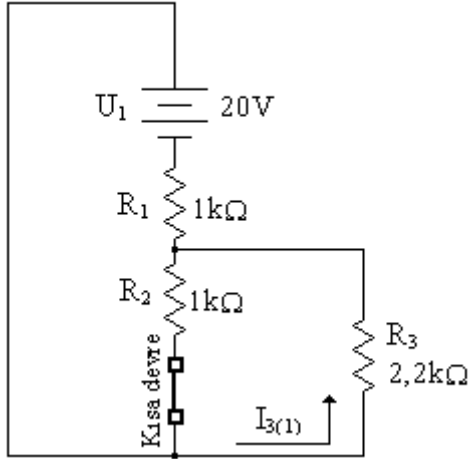
Şekil7.3(a)deki devrede R_3 elemanı üzerinden geçen akımı süperpozisyon yöntemi ile çözüünüz.



(a)
Şekil7.3

Şekil7.3(a) deki çözümü istenen devreyi Şekil7.3 (b) de olduğu gibi U_2 kaynağını devreden çıkarıp bu uçları kısa devre ettikten sonra U_1 geriliminin R_3 direnci üzerinden akıtacağı akımın değeri aşağıdaki gibi bulunur, yönü şekilde gösterildiği gibidir. Akımın yönü bilindiği üzere gerilim kaynağı dış devreye pozitiften negatife doğru akım akıttığı içindir. Bu açıklamalardan sonra (b) deki devrede gösterilen $I_{3(1)}$ değerini bulalım.

$$R_{T1} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 1k\Omega + \frac{1k\Omega \cdot 2,2k\Omega}{3,2k\Omega} = 1,69k\Omega$$



$$I_{T1} = \frac{U_1}{R_{T1}} = \frac{20V}{1,69k\Omega} = 11,8mA$$

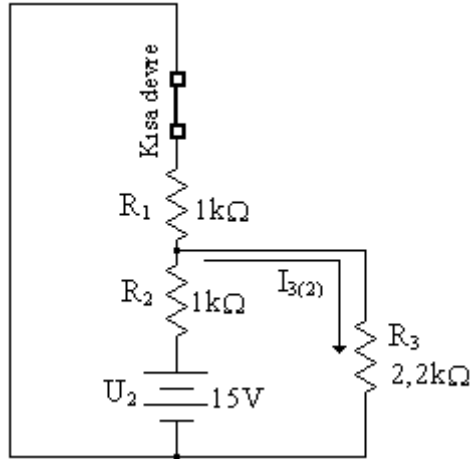
akım bölme kaidesinden R_3 üzerinden geçen akım;

$$I_{3(1)} = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3}\right) \cdot I_{T1} = \left(\frac{1k\Omega}{3,2k\Omega}\right) \cdot 11,8mA$$

$$I_{3(1)} = 3,69mA \text{ bulunur.}$$

Bu akım sadece U_1 gerilimi devrede iken R_3 direncinin üzerinden akan akımdır.

(b)



(c)

Şekil7.3(c) deki devreye U_1 çıkarılıp U_2 tekrar bağlanmış ve şekil tekrar çizilmiştir. Bu kaynağın R_3 elemanı üzerinden geçirdiği akımı U_1 kaynağının devrede bağlı durumda yaptığımız gibi çözersek;

$$\begin{aligned} R_{T2} &= R_2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}\right) \\ &= 1k\Omega + \frac{1k\Omega \cdot 2,2k\Omega}{3,2k\Omega} \\ &= 1,69k\Omega \end{aligned}$$

Şekil7.3

(c) deki devrenin eşdeğer direnci bulunur. R_{T1} direncine eşit çıkması verilen değerler doğrultusundadır. Bu her zaman aynı çıkmaz. U_2 kaynağının çekilen toplam akım, daha sonra akım bölme kaidesinden R_3 elemanı üzerinden geçen $I_{3(2)}$ akımının değerini;

$$I_{T2} = \frac{U_2}{R_{T2}} = \frac{15V}{1,69k\Omega} = 8,88mA$$

$$I_{3(2)} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) \cdot I_{T2} = \left(\frac{1k\Omega}{3,2k\Omega}\right) \cdot 8,88mA = 2,78mA$$

bulunur. Bu akımın yönü de şekil7.3(c) üzerinde gösterilmiştir. Dikkat edilirse kaynakların bu eleman üzerlerinden geçirdikleri akımların yönleri farklıdır.

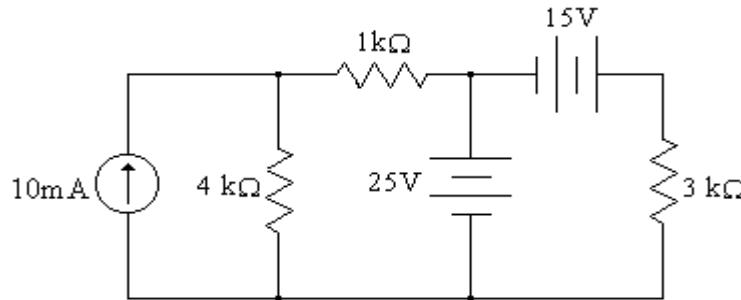
Bu bulunan değerlerin skaler toplamı R_3 üzerinden geçen akımı verecektir.

$$I_{3T} = I_{3(1)} - I_{3(2)} = 3,69mA - 2,78mA = 910\mu A(\text{mikro Amper})$$

değerin pozitif çıkması akımın yönünün U_1 kaynağının akıttığı akım yönünde olduğunu gösterir.

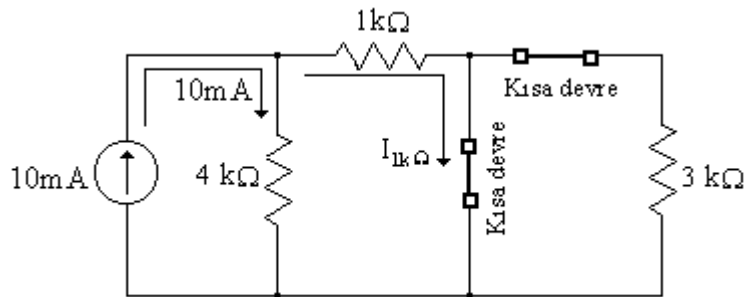
Örnek7.3:

Şekil7.4(a) görülen devrede $1k\Omega$ direnç uçlarındaki gerilimi süperpozisyon teoremi ile bulunuz.



Şekil7.4(a)

Devrede üç tane aktif kaynak olduğu görülüyor. Süperpozisyon teoreminde her kaynağın analizi yapılacak elemanın üzerinden geçirdikleri akımlar ayrı ayrı bulunduğuna göre devrede bir kaynak bırakacak şekilde devreyi tekrar çizip devrede bıraktığımız kaynağın $1k\Omega$ üzerindeki oluşturduğu gerilimi bulalım.

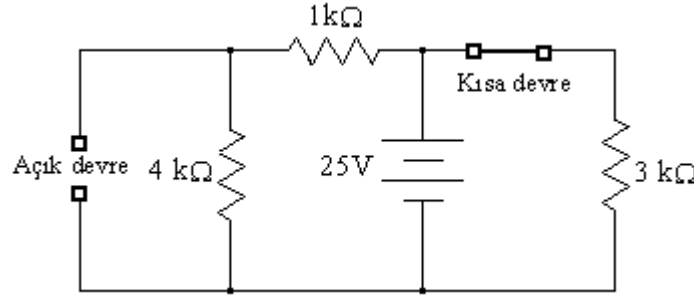


Şekil7.4 (b)

10mA'lık kaynak $4k\Omega$ ve $1k\Omega$ 'luk direnç üzerinden akar. Çünkü $3k\Omega$ direnç 25V'luk kaynağın kısa devre edildiğinden dolayı $3k\Omega$ üzerinden bu kaynak akım akıtmamaktadır. 10mA'lık akım kaynağının $1k\Omega$ direnç üzerinde oluşturduğu gerilimi bulmak için akım bölme kaidesinden $I_{1k\Omega}$ üzerinden geçen akım bulunur ohm kanunundan bu eleman üzerindeki 10mA'lık kaynağın oluşturduğu gerilim düşümü bulunur.

$$I_{1k\Omega} = \left(\frac{4k\Omega}{1k\Omega + 4k\Omega} \right) \cdot 10mA = 8mA \Rightarrow U_1 = (8mA) \cdot (1k\Omega) = + 8V$$

10mA'lık kaynağı devreden çıkartıp 25V'luk kaynağı devreye bağlayalım. Şeklini çizerek bu kaynağın $1k\Omega$ direnç uçlarındaki gerilim düşümünü bulalım.

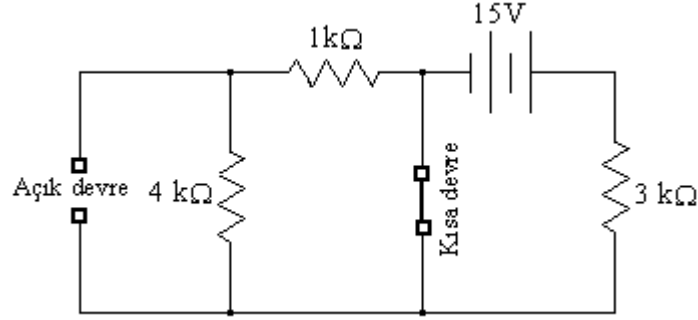


Şekil7.4 (c)

Akım kaynağını çıkarttığımız uçlar şekil7.4(c) de görüldüğü gibi açık devre halinde bırakılmıştır. Bunu önceki konularımızda açık devre olacağını ifade etmiştik. Bu hatırlatmadan sonra devrede bağlı olan 25V'luk aktif kaynağın $1k\Omega$ uçlarındaki oluşturduğu gerilim düşümünü bulalım. Devreye baktığımızda $1k\Omega$ ile $4k\Omega$ birbirleri ile seri bu serilik 25V ve $3k\Omega$ dirence paralel durumdadır. Gerilim bölme kaidesinden $1k\Omega$ direncin uçlarındaki U_2 gerilimini;

$$U_2 = \left(\frac{1k\Omega}{1k\Omega + 4k\Omega} \right) \cdot 25V = + 5V \text{ bulunur.}$$

iki aktif kaynağı devrede tek bırakıp $1k\Omega$ üzerinde oluşturdukları gerilim düşümlerini bulduk. Devreye tek bağlamamız gereken tek bir aktif kaynak oda 15V'luk gerilim kaynağıdır. Bu kaynak devrede kalacak şekilde diğer aktif kaynakları çıkarıp bu kaynağın $1k\Omega$ üzerinde oluşturduğu gerilim düşümünü bulalım.



Şekil 7.4(d)

Şekil 7.4(d)ki devreye dikkatli bakıldığında $1k\Omega$ üzerinden bu kaynağın akım akıtmadığı görülür. Nedenine gelince çıkardığımız $25V$ 'luk kaynağın uçlarındaki kısa devreden dolayıdır. $1k\Omega$ üzerinden akım geçmediği içinde gerilim düşümü; $U_3=0$ olur. Devredeki aktif kaynakların $1k\Omega$ direnç uçlarındaki oluşturdukları gerilim düşümü;

$$U_{1k\Omega} = U_1 + U_2 + U_3 = (+8V) + (-5V) + 0V = +3V$$

bulunur. Bu örnekte $1k\Omega$ üzerinde harcanan güç de istenmiş olsaydı. Süperpozisyon yöntemi ile bulunan gücün doğru olarak bulunup bulunamayacağını gösterelim. $1k\Omega$ üzerindeki gerilim $3V$ olarak bulmuştuk, güç formülünden elemanın harcadığı güç;

$$P_{1k\Omega} = \frac{U_{1k\Omega}^2}{R_{1k\Omega}} = \frac{3^2}{10^3 \Omega} = 9mW$$

bulunur. Bu yöntemle bulunan güç doğrumu? Onu görelim. Devredeki aktif kaynakların $1k\Omega$ dirence verdikleri güçleri ayrı ayrı bulup bu bulduğumuz güçle karşılaştıralım eğer sonuç birbirine eşit çıkarsa bu yöntemle bulunan güçler doğrudur aksi durumda bu yöntemle güç bulunmaz yorumu yapmak gerekir.

$$10mA'lık kaynağın $1k\Omega$ için harcadığı güç $P_1 = \frac{U_1^2}{R_{1k\Omega}} = \frac{8^2 V}{10^3 \Omega} = 64mW$$$

$$25V'luk kaynağın $1k\Omega$ için harcadığı güç $P_2 = \frac{U_2^2}{R_{1k\Omega}} = \frac{5^2 V}{10^3 \Omega} = 25mW$$$

$$15V'luk kaynağın $1k\Omega$ için harcadığı güç $P_3 = \frac{U_3^2}{R_{1k\Omega}} = \frac{0V}{10^3 \Omega} = 0mW$$$

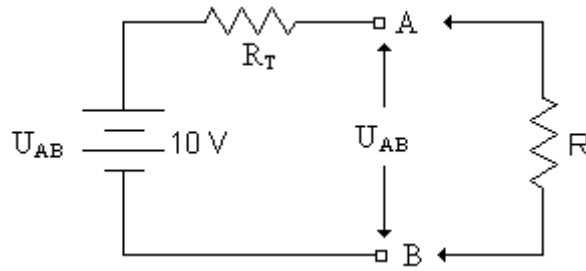
Bu kaynakların $1k\Omega$ için harcadıkları toplam güç;

$$P_1 + P_2 + P_3 = 64mW + 25mW + 0mW = 89mW$$

bulunur. Kaynakların harcadığı güçle $P_{1k\Omega}$ bulunan güç farklıdır. Bu yöntemle bulunan güç doğru değildir. Çünkü süperpozisyon teoremi lineer değerler için kullanılan bir teoremdir. Güç ise lineer değildir.

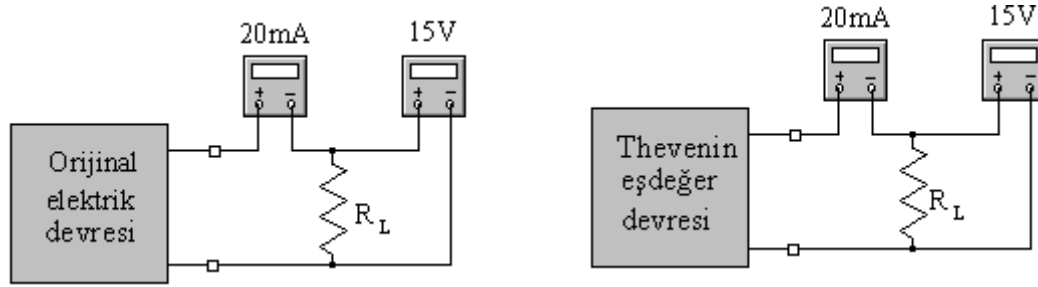
7.2 THEVENİN TEOREMİ

Thevenin teoremi; bir yada daha fazla gerilim kaynağı ile beslenen lineer devre çözümlerini kolaylaştıran bir yöntem olup, şu biçimde tanımlanır. A ve B gibi uçları olan bir devrenin bu uçlarına bir direncin bağlandığı zaman, bu dirençten geçen akım $I = \frac{U_{AB}}{R_T + R}$ dır.



Şekil7.5

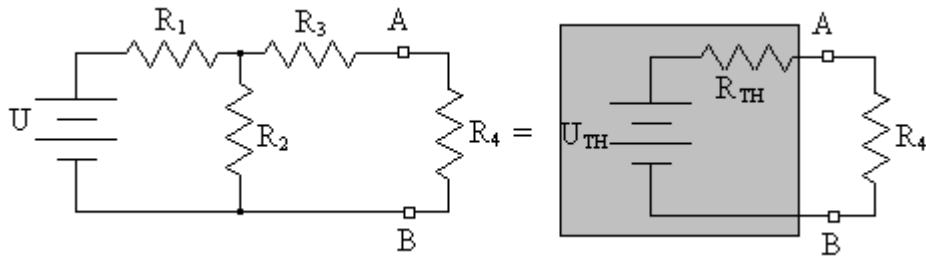
Burada U_{AB} ; A,B uçları arasında R direnci yokken bu uçlar arasındaki ölçülen potansiyel fark. R_T ; devredeki bütün gerilim kaynakları, kısadevre, akım kaynakları açık devre yapılarak elde edilen A,B uçları arasındaki toplam direncidir. Böylece, R_T ile U_{AB} seri bağlanarak elde edilen devreye AB arasında gözüken devrenin THEVENİN EŞDEĞER devresi denir. Şekil7.5de görüldüğü gibi elektrik devresinin AB uçlarındaki thevenin eşdeğerini verir. Buradaki U_{AB} gerilimine Thevenin eşdeğer gerilimi olan $U_{TH}=U_{AB}$ ve R_T direncine ise R_{TH} olarak kullanılacaktır. Orijinal devrede bağlı iken R direnci üzerinden geçen ve uçlarındaki gerilim değeri ne bulunursa, o orijinal devrenin Thevenin eşdeğeri oluşturulur R direnci thevenin eşdeğerine bağlanır ve hesaplaması veya doğru ölçülürse aynı değeri bulursunuz.



Şekil 7.6 Orijinal devre ve o devrenin Thevenin eşdeğeri

Elektrik, elektronik devreler karışık olabilir. Devrenin analizini thevenin teoremi ile yapılacak olursa hata yapma oranı sıfıra iner. Şimdi bu adımları maddeler halinde açıklayalım.

- 1) Analizi yapılacak kol orijinal devreden çıkartılır. Çıkarılan bu noktaya bir isim verilir. (A,B veya 1,2 gibi)
- 2) Devreden bütün kaynaklar çıkartılır. Çıkarılan gerilim kaynağı ise o uçlar kısa, akım kaynakları ise açık devre yapılır. Çıkarılan (analizi yapılacak) kol uçlarından bakılarak o uçların eşdeğer direnci bulunur. Bu bulunan eşdeğer direnç, çıkarılan kol uçlarının thevenin eşdeğer direnci (R_{TH}) dir.
- 3) Analizi yapılacak kolun (1.maddede çıkarılan kol) uçlarının Thevenin eşdeğer devresi çizilir.

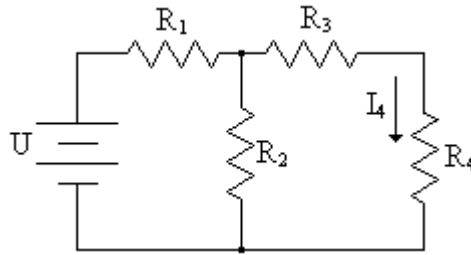


Şekil 7.7 Orijinal devre ve AB uçlarının Thevenin eşdeğeri

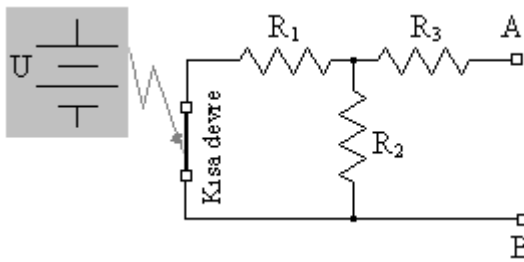
- 4) Çıkarılan kol thevenin eşdeğer devresine (AB uçlarına) bağlanır. Kirşofun gerilimler kanunu uygulanarak kol akımı bulunur.

Örnek7.4:

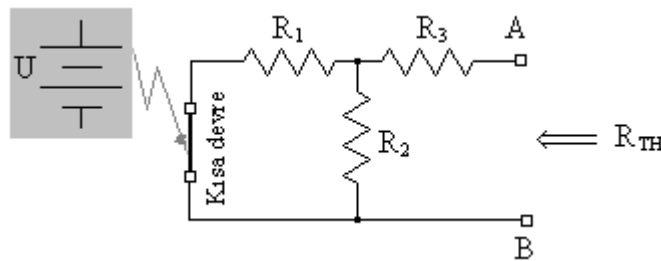
Yukarıdaki maddeleri uygulayarak şekil7.8 deki devrede R_4 direncinin üzerinden geçen akımı bulunuz.



Çözüm7.4:



Akımı bulunacak kol (R_4) devreden çıkartılır bu uçları A B ile isimlendirilir. Şekil7.8 (b) de gösterildiği gibi olur.

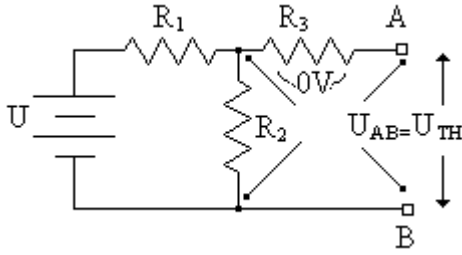


Devredeki tüm kaynaklar devreden çıkartılıp AB uçlarının Thevenin eşdeğer direnci bulunur. Şekil7.8 (c) deki devrenin.

Şekil7.8(c)

$$R_{TH} = R_3 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Thevenin direnci bulunur.

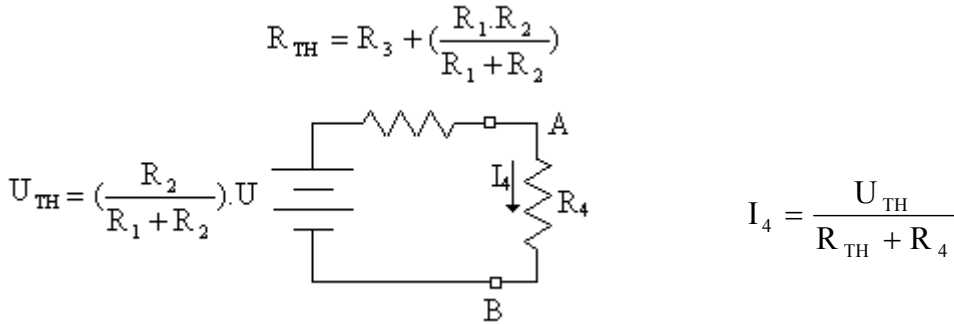


Şekil7.8 (d)

$$U_{TH} = U_{AB} = U_{R2} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U$$

Kaynak Şekil7.8 (d) şeklideki gibi tekrar devreye bağlanır, AB uçlarının gerilimi bulunur. Bu gerilim U_{TH} gerilimidir. U_{AB} gerilimi ise R_3 elemanı açık devre durumunda, üzerinden akım geçmeyeceğinden R_3 direncinin uçlarındaki gerilim 0V olduğundan U_{AB} R_2 direncinin uçlarındaki gerilime eşittir.

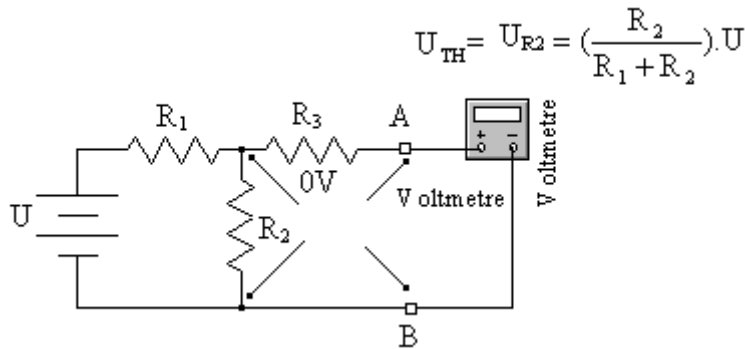
değeri bulunur. Bu değer bulunduktan sonra AB uçlarının thevenin eşdeğer devresi Şekil7.8 (e)deki gibi çizilerek R_4 direnci üzerinden geçen akım bildik kanundan yaralanarak bulunur.



Şekil7.8 (e) AB uçlarının thevenin eşdeğer devresi

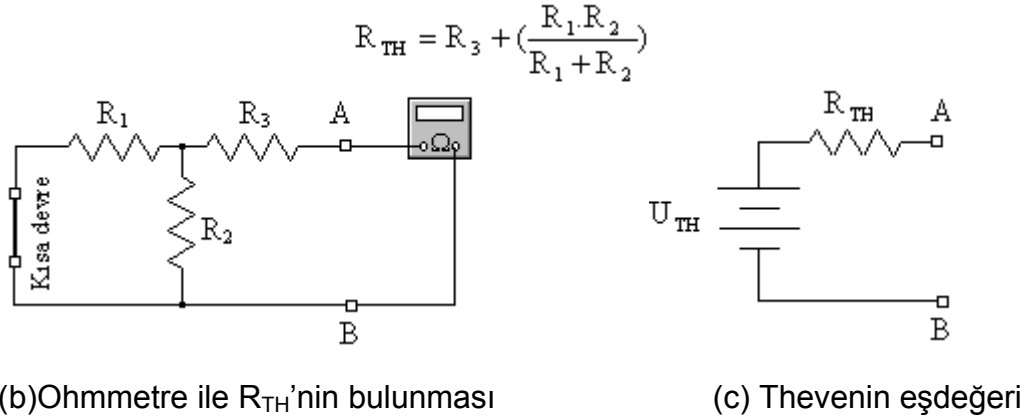
Bu örneğimizi elimizde ölçü aleti olduğu taktirde AB uçlarının Thevenin eşdeğer devresini oluşturmak için Şekillerle göstererek açıklayalım ve laboratuvarınızda sizlerde deney setinizde oluşturarak bulunuz.

R_4 uçlarındaki Thevenin gerilimini ölçmek için Şekil7.9(a) daki devrede gösterildiği gibi bulunur.



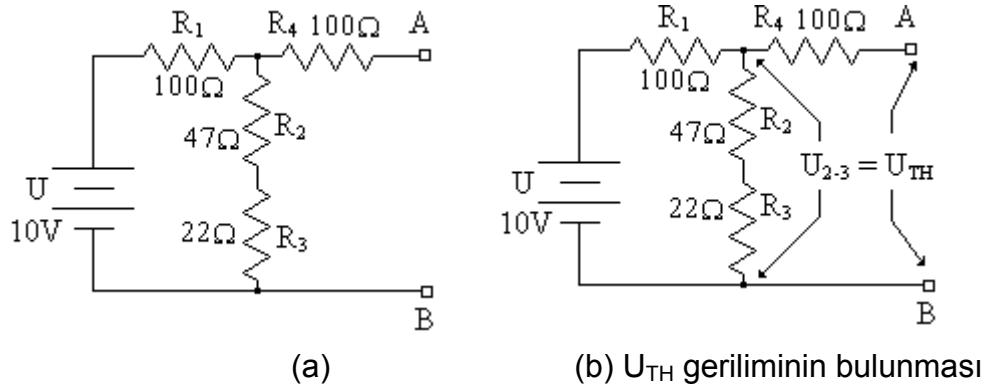
Şekil7.9 (a) AB uçlarının U_{TH} geriliminin ölçme ve teorik değeri

AB uçlarının R_{TH} eşdeğer direncini ohmmetre ile şekil7.9 (b)deki şekilde bağlayarak ölçüp, Thevenin eşdeğer devresini oluşturarak ölçtüğünüz değerleri yerine yazmak suretiyle eşdeğer devreyi oluşturmuş olursunuz.



Şekil7.9

Örnek7.5: Şekil7.10(a)deki devrenin AB uçlarının thevenin eşdeğerini bulunuz.

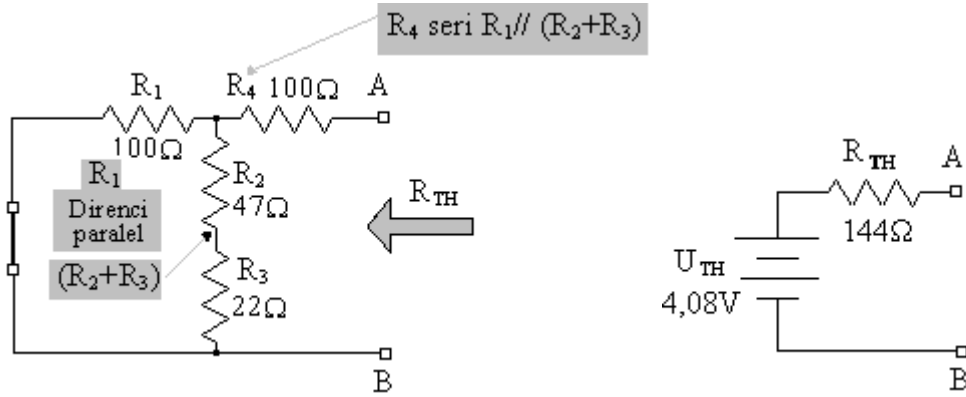


Şekil7.10

Şekil7.10(a)deki devrenin AB uçlarındaki thevenin eşdeğer gerilimi şekil7.10(b) deki gibi R_2 ve R_3 dirençlerin uçlarındaki gerilime eşittir. Bu gerilimi gerilim bölme kaidesinden aşağıdaki gibi bulunur.

$$U_{TH} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right) \cdot U = \left(\frac{47\Omega + 22\Omega}{100\Omega + 47 + 100\Omega} \right) \cdot 10V = 4,08V$$

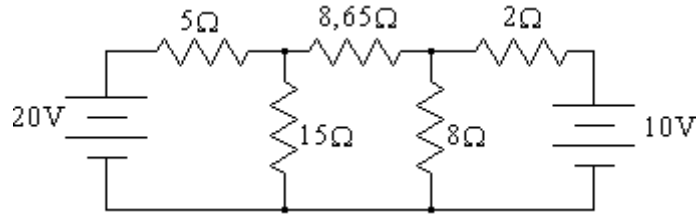
Thevenin eşdeğer direnci devreden aktif kaynaklar çıkartılarak şekil7.10(c)deki görülen AB uçlarından bakıldığında dirençlerin bağlantı şekillerine bakılarak aşağıdaki şekilde bulunur.



Şekil7.10 (c)

Örnek7.6:

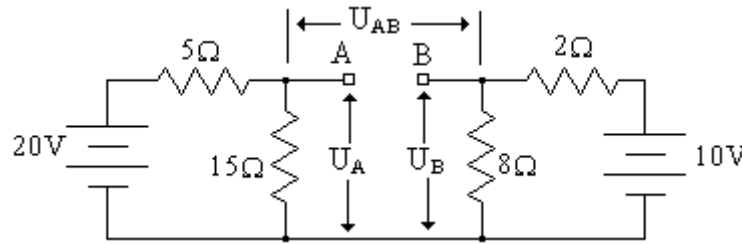
Şekil7.11(a)deki devrede $8,65\Omega$ üzerinden geçen akımı thevenin teoremi ile çözünüz.



Şekil7.11(a)

Çözüm7.6:

Akımı bulunacak direnci devreden çıkartarak o uçlara AB ismi verilerek, bu uçların thevenin gerilimi aşağıdaki şekilde bulunur.



Şekil7.11 (b)

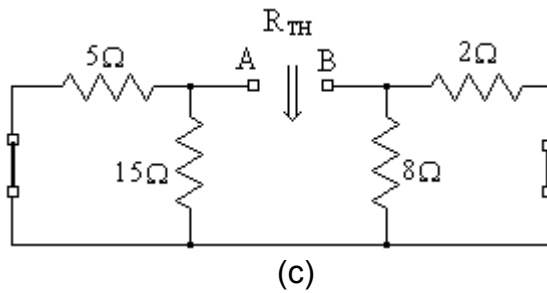
Şekil7.11(b)deki devrede U_A ve U_B gerilimi gerilim bölme kaidesinden bulunur. Bu gerilimlerin farkı U_{AB} gerilimini verir, aynı zamanda thevenin gerilimi bulunmuş olur. Çünkü U_{AB} gerilimi thevenin gerilimine eşittir.

$$U_A = \left(\frac{15\Omega}{5\Omega + 15\Omega} \right) \cdot 20V = 15V$$

$$U_B = \left(\frac{8\Omega}{8\Omega + 2\Omega} \right) \cdot 10V = 8V$$

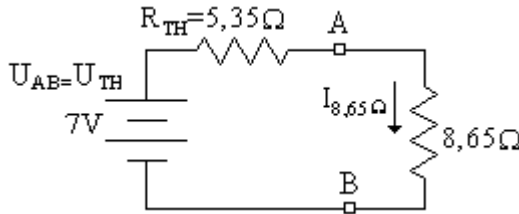
$$U_{TH} = U_{AB} = U_A - U_B = 15V - 8V = +7V$$

bulunur. AB uçlarının eşdeğer direnci, devredeki tüm kaynaklar çıkartıldıktan sonraki direncidir. Bu Şekil7.11 (c) deki şekil üzerinde gösterilmiştir. Bu uçlardan bakıldığında devredeki dirençlerin bağlantı durumlarına göre eşdeğer direnç bulunur. Bu bulunan eşdeğer direnç aynı zamanda thevenin eşdeğer direncidir.



$$R_{TH} = \frac{5\Omega \cdot 15\Omega}{5\Omega + 15\Omega} + \frac{2\Omega \cdot 8\Omega}{2\Omega + 8\Omega}$$

$$= 5,35\Omega$$



$$I_{8,65\Omega} = \frac{U_{TH}}{R_{TH} + R_{8,65\Omega}}$$

$$= \frac{7V}{5,35\Omega + 8,65\Omega} = 0,5A$$

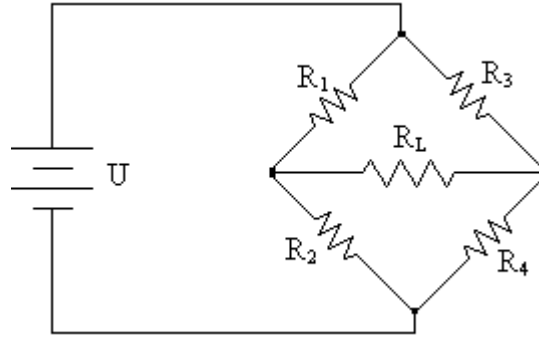
Şekil7.11(d) Thevenin eşdeğer devresi

Örnek7.7:

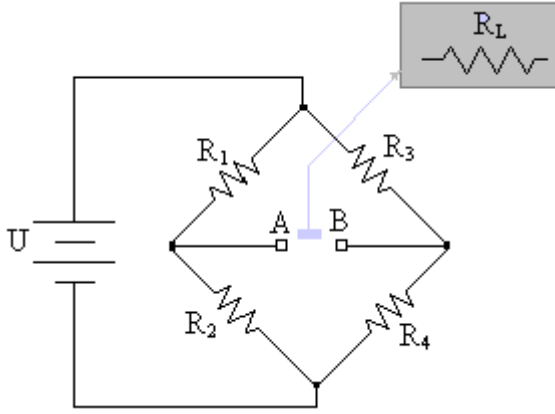
Şekil7.12(a)deki veston köprüsü şeklinde verilen devrenin R_L yük direncinin üzerinden geçen akımı thevenin yöntemi ile bulunuz.

Çözüm7.7:

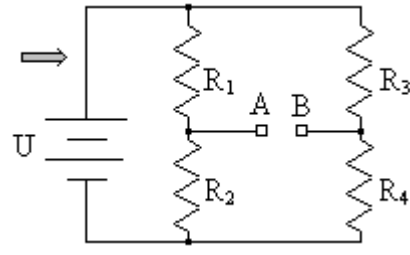
Şekil7.12(a)da verilen devrenin R_L yük direncinin üzerinden geçen akımın bulunması için bu uçların thevenin eşdeğeri bulunması gerekir. Bu eşdeğeri oluşturan değerler U_{TH} ve R_{TH} değerleridir. Öncelikle R_L direncini şekil7.12(b) gösterildiği gibi devreden çıkartılır bu uçlara görüldüğü gibi AB uçları adı verilmiştir. Veston köprüsü şeklinde verilen devre daha iyi anlaşılması için şekil(c)de olduğu gibi tekrar çizilerek elemanların bağlantı şekilleri daha iyi görülür hale getirilmiştir. Bundan sonra U_{TH} bildik kanunlardan şekil7.12(d)deki gibi bulunur.



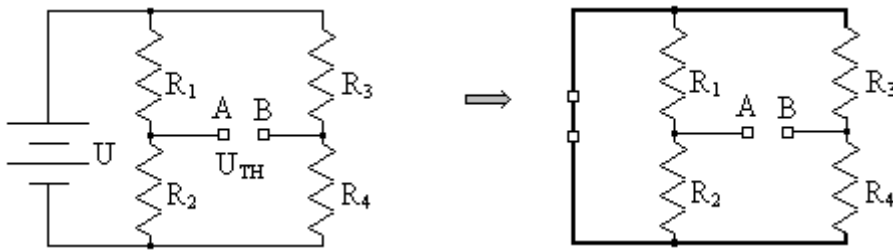
(a)



(b) R_L devreden çıkartılır

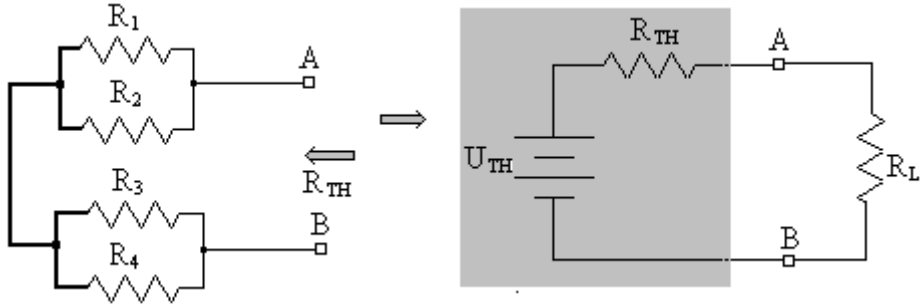


(c) Devrenin açık gösterimi



(d) U_{TH} gerilimi AB uçlarının gerilimleri farkıdır. (e) U kaynağı kısa devre edilir.

$$U_{TH} = U_A - U_B = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right).U - \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right).U$$



Şekil7.12

(g) AB uçlarının Thevenin eşdeğer devresi, R_L yük direncinin eşdeğer devreye bağlantısı ve üzerinden geçen

$$\text{akım; } I_L = \frac{U_{TH}}{R_{TH} + R_L}$$

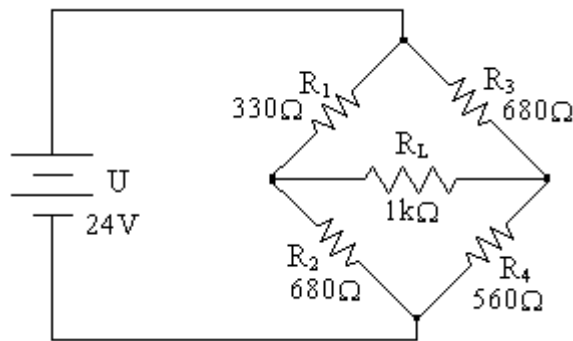
(f) U kısa devre edildikten sonra dirençlerin bağlantı şekli bu duruma gelir ($R_{TH}=R_1//R_2+R_3//R_4$)

(g) AB uçlarının Thevenin eşdeğer devresi, R_L yük direncinin eşdeğer devreye bağlantısı ve üzerinden geçen

$$\text{akım; } I_L = \frac{U_{TH}}{R_{TH} + R_L}$$

Örnek7.8:

Örnek 7.13de sayısal değeri olmadan incelediğimiz devreyi aşağıdaki şekil7.13 üzerinde gösterilen değerler doğrultusunda R_L direncinin üzerinden geçen akımı Thevenin yöntemi ile bulunuz.



Şekil7.13

Çözüm7.8:

Bu örneğimizi thevenin teoreminin başlangıcında maddeler halinde çözümün daha kolay bir şekilde çözülebileceğini söylemiştik. Bu örnekte bu adımları uygulayarak çözüm yapalım.

1) adım: Analizi yapılacak kol (R_L) devreden çıkarılır

2) adım: devredeki aktif kaynaklar devre dışına çıkarılır çıkarılan kaynak gerilim kaynağı($U=24V$) ise kısa devre edilir.

3) O kol uçlarından bakılarak

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}$$
$$= \frac{(330\Omega) \cdot (680\Omega)}{1010\Omega} + \frac{(680\Omega) \cdot (560\Omega)}{1240\Omega} = 222\Omega + 307\Omega = 529\Omega$$

Bulunur.

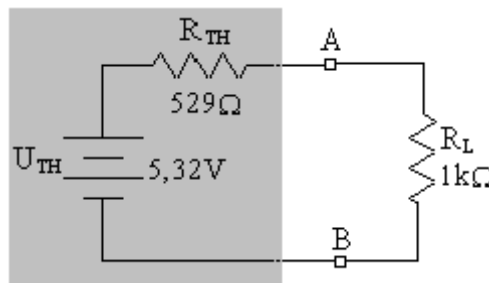
4) Kaynak gerilimleri tekrar devreye bağlanır, bu kaynakların analizi yapılacak kol(R_L) uçlarındaki gerilim bildik kanunlardan

$$U_{TH} = U_A - U_B = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \cdot U - \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \cdot U$$

yararlanılarak $= \left(\frac{680\Omega}{1010\Omega}\right) \cdot 24V - \left(\frac{560\Omega}{1240\Omega}\right) \cdot 24V$ bulunur.

$$= 16,16V - 10,84V = 5,32V$$

5) Analizi yapılan kol uçlarının thevenin eşdeğer devresi çizilerek, thevenin eşdeğer devresine analizi yapılan



kol bağlanır. Kirşofun gerilimler kanunundan faydalanılarak analizi yapılacak kolun uçlarındaki gerilim

$$U_L = \left(\frac{R_L}{R_L + R_{TH}} \right) \cdot U_{TH} = \left(\frac{1k\Omega}{1k\Omega + 529\Omega} \right) \cdot 5,32V = 3,48V$$

bulunur. Ohm kanunundan yararlanarak o kolun üzerinden geçen akım

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{3,48V}{1k\Omega} = 3,48mA$$

bulunur. Güç formülünden yararlanılarak o kolun harcadığı güç

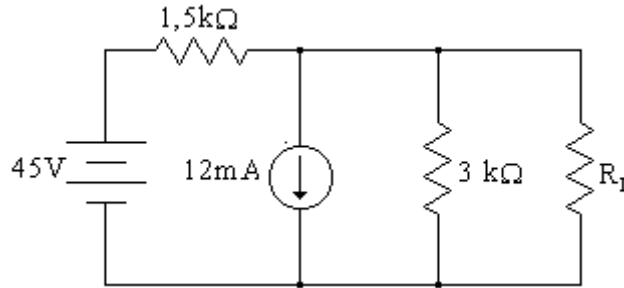
$$P_L = U_L \cdot I_L = 3,48V \cdot 3,48mA = (3,48V) \cdot (3,48 \cdot 10^{-3}) \\ = 12,11 \cdot 10^{-3} W = 12,11mW$$

bulunur. Bu kolun thevenin yöntemi ile böylelikle analizi yapılmış olur.

Sizlerde aynı şekil için R_L yük direnci, U aynı kalmak koşulu ile, $R_1=2,2k\Omega$, $R_2=3,3k\Omega$, $R_3=3,9k\Omega$ ve $R_4=2,7k\Omega$ olduğuna göre R_L direncinin analizini şimdiye kadar öğrendiğiniz tüm yöntemlerle çözüp sonuçları karşılaştırınız.

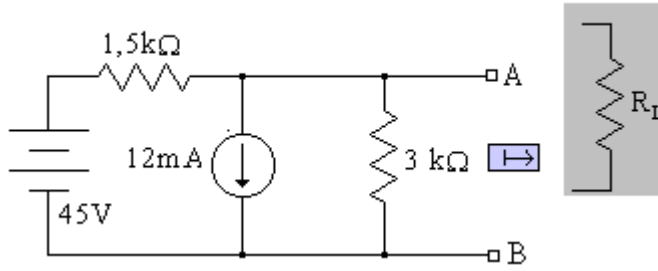
Örnek7.9:

Şekil7.14(a)deki devreye R_L yük direnci olarak, $1k\Omega$ ve $2k\Omega$ direnç bağlanarak bu eleman uçlarındaki gerilimleri thevenin yöntemi ile şekillerle göstererek bulunuz.



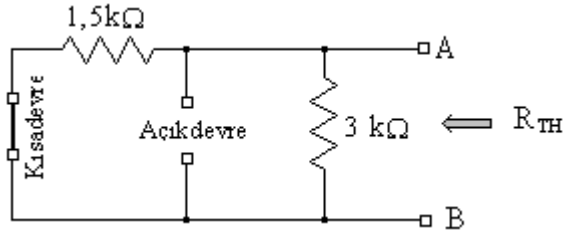
Şekil7.14 (a)

Çözüm7.9: Adım adım şekillerle göstererek teorik olarak çözüm yapalım.



Yük direnci devreden çıkartılır. AB ile isimlendirilir.

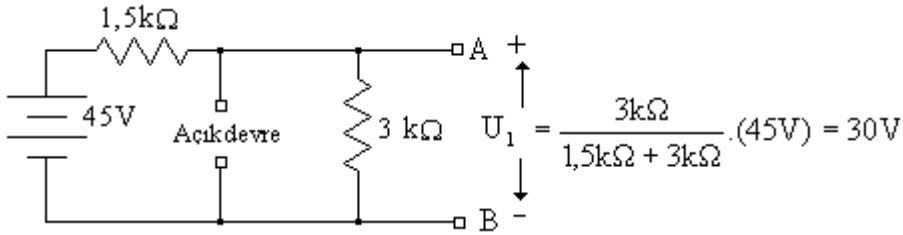
(b)



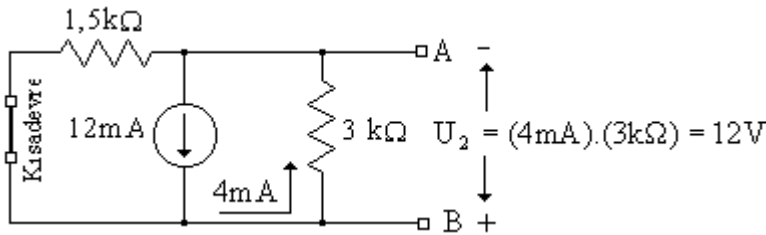
Gerilim kaynağı kısa, akım kaynağı açıkdevre edildikten sonra AB uçlarının R_{TH} elemanların bağlantı durumlarına göre;

$$R_{TH} = 1,5k\Omega // 3k\Omega = 1k\Omega$$

(c)



(d)

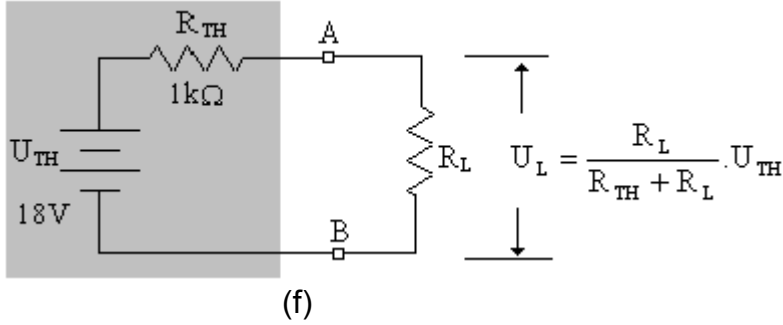


e

Her kaynağı AB uçlarındaki gerilim değerleri gerilim ve akım bölme kaidelerinden faydalanılarak $U_1=30V$, $U_2=12V$ bulunur. Bu kaynakların AB uçlarındaki gerilimlerin kutuplarına bakıldığında

$$U_{TH} = U_1 - U_2 = 30V - 12V = 18V$$

bulunur. Bulunan bu değerler Thevenin eşdeğer devresinde gösterilir ve yük direnci bağlanarak yük dirençlerinin gerilimleri bulunur.



Şekil7.14

$$R_L = 1k\Omega; \quad U_L = \frac{R_L}{R_{TH} + R_L} \cdot (U_{TH}) = \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 1k\Omega} \cdot (18V) = 9V$$

$$R_L = 2k\Omega; \quad U_L = \frac{R_L}{R_{TH} + R_L} \cdot (U_{TH}) = \frac{2k\Omega}{1k\Omega + 2k\Omega} \cdot (18V) = 12V$$

Görüldüğü gibi devreye istediğiniz kadar yük direnci bağlayıp analizini az bir işlemle yapılabilmektedir. Bu Thevenin teoreminin özelliğinden kaynaklanmaktadır. Aktif devrede sadece bir koldaki değişik elemanların analizi yapılacağı durumda Thevenin teoremi kullanmakta fayda vardır. İki direncin analizini bu örnekte kısa yoldan yapıldığını gördünüz. Bu örneğin çevre akımlar yönteminde yapıldığını düşünürseniz 1kΩ için yapmış olduğunuz tüm işlemlerin aynısını 2kΩ içinde yapmanız gerekecekti. Buda zaman ve işlem kalabalığından başka bir şey değildir.

7.3 NORTON TEOREMİ

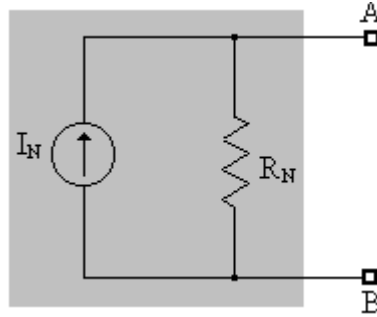
Norton teoremi, thevenin teoreminin değişik bir biçimi(düalı) olup A ve B gibi iki ucu olan lineer aktif bir devrenin bir R_N direnci ile paralel bir I_N akım kaynağı biçimine sokulma olanağı verir. Bu biçimde elde edilen devreye NORTON EŞDEĞER akım kaynağı adı verilir. Bu akım kaynağının eşdeğer gerilim kaynağı ise Thevenin Eşdeğer gerilim kaynağıdır. Norton eşdeğer akım kaynağı devresinde;

I_N : Verilen devrenin AB uçları kısa devre yapılması ile oluşan çevre akımıdır.

R_N : Devredeki gerilim kaynaklarının kısa devre, akım kaynaklarının açık devre yapılmalarından sonra AB arasındaki devrenin toplam direncidir.

Bir elektrik devresinde her hangi bir kolun analizi norton teoremi ile bulunması gerekirse aşağıdaki adımlar uygulandığı zaman devrenin çözümü daha sağlıklı olacaktır.

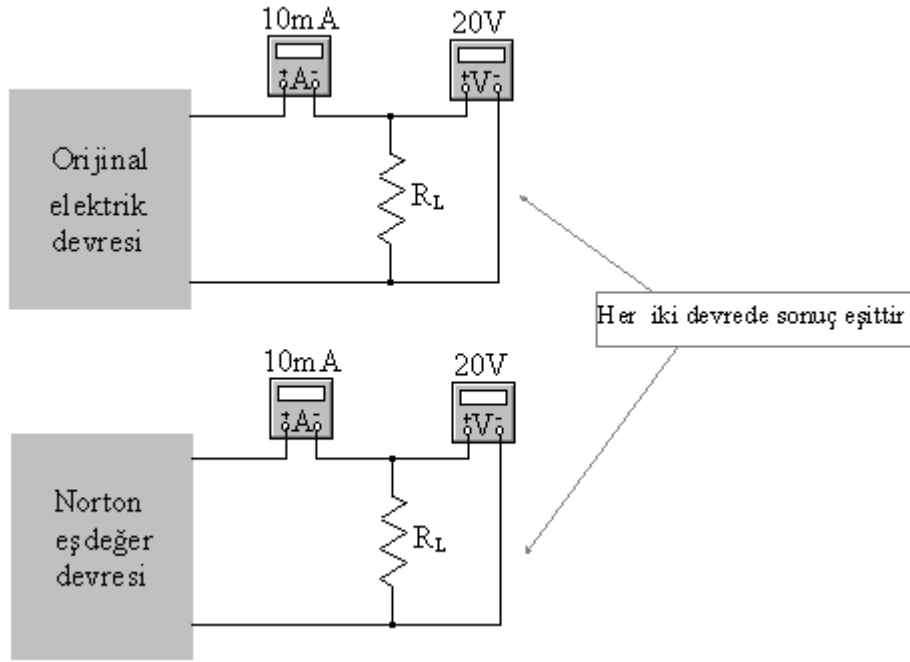
- 1) Analizi yapılacak kol devreden çıkartılır. Çıkartılan bu noktaya bir isim verilir. (Örneğin; A,B veya 1,2 gibi)
- 2) Devreden bütün kaynaklar çıkartılır. Çıkartılan gerilim kaynağı ise kısa devre, akım kaynağı ise açık devre yapılır. Çıkarılan(analizi yapılacak) kol uçlarından bakılarak o uçların eşdeğer direnci bulunur. Bu bulunan eşdeğer direnç aynı zamanda R_N eşdeğer direncidir.
- 3) Devreden çıkartılmış olan akım ve gerilim kaynakları devreye tekrar aynı yerlerine bağlanarak devreye bilinen konular veya teoremler uygulanarak analizi yapılacak kolun uçlarının kısa devre akımı bulunur. Bu bulunan kısa devre akımı aynı zamanda I_N akımıdır eşittir.
- 4) Analizi yapılacak kolun(1.maddede çıkarılan kol) norton eşdeğer devresi Şekil7.15 deki gibi çizilir.



Şekil7.15 Norton eşdeğer devresi

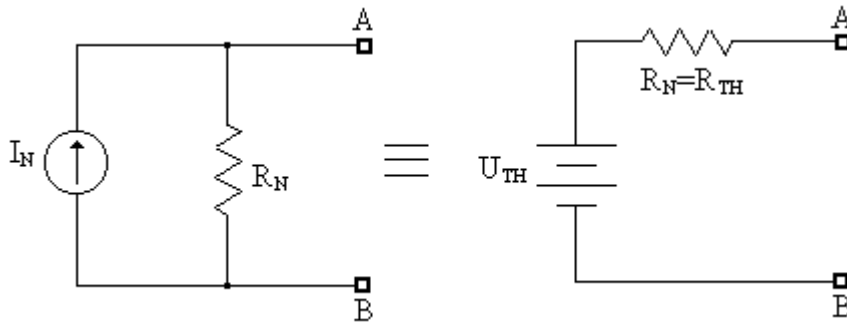
- 5) Çıkartılan kol norton eşdeğer devresine (AB uçlarına) bağlanarak kirşofun akımlar kanunu uygulanır, kol akımı bulunur.

Burada teorik olarak norton teoremi ile çözümün adımlarını anlattık. Yapılan durumu şekil üzerinde gösterirsek daha anlaşılır olacaktır.



Şekil7.16 Elektrik devresi ve norton eşdeğeri

Burada dikkat edilirse R_{TH} direnci ile R_N direnci aynıdır. Çünkü devredeki dirençlere her iki teoremde de aynı işlem uygulanmaktadır. Değişen sadece bağlantı şekilleri farklıdır. Önceki konulardan hatırlanırsa bir gerilim kaynağı ona seri bir direnç, akım kaynağı ise kaynağa paralel bir dirençle düşünülmesi anlatılmıştı. Bundan dolayıdır ki Thevenin ve Norton teoremleri biri birinin düalıdır. Birbirine dönüşüm yapılabilir.



Şekil7.17Norton Eşdeğer devresi

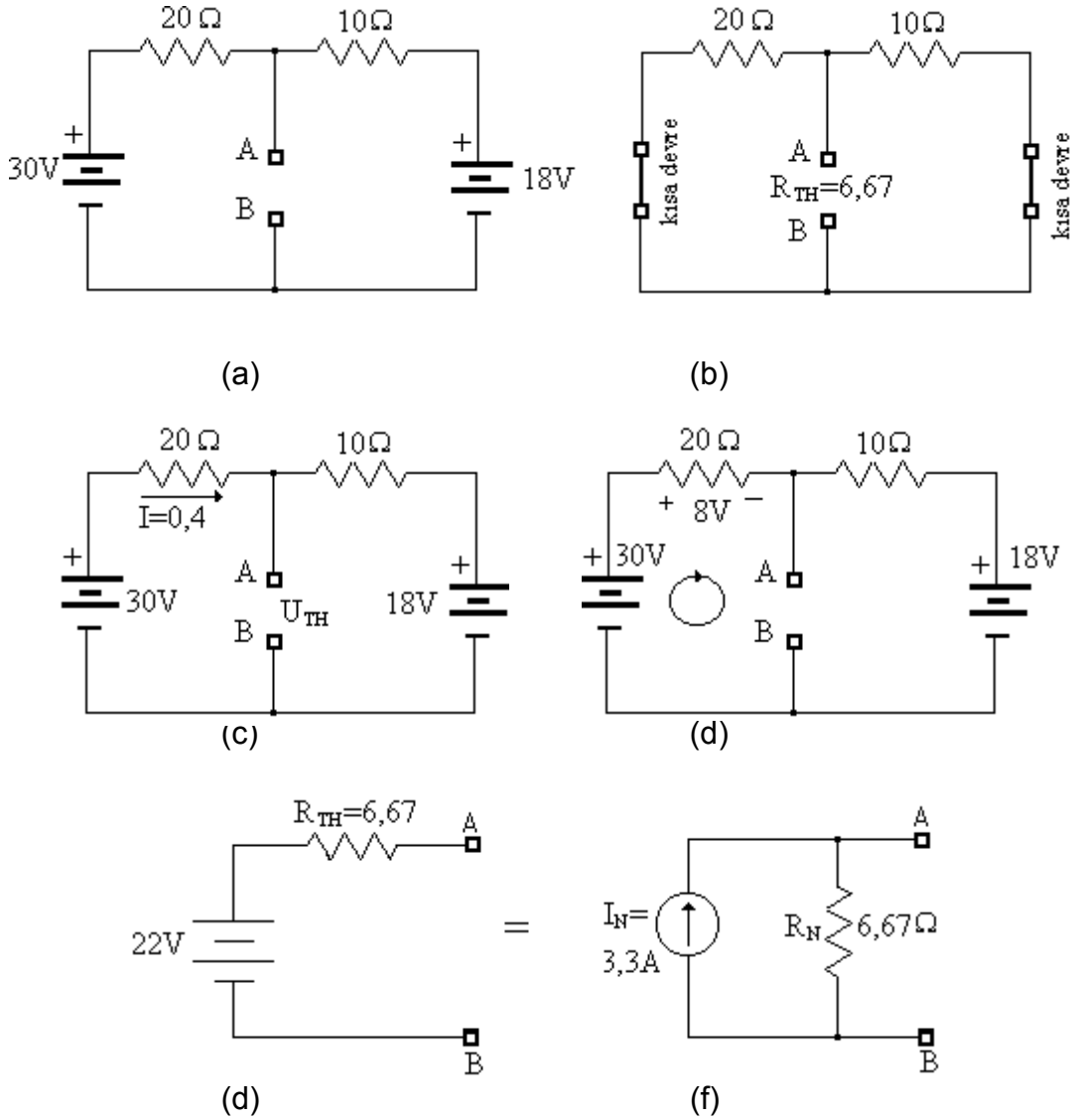
Thevenin Eşdeğer devresi

$$I_N = \frac{U_{TH}}{R_{TH} = R_N}$$

$$U_{TH} = I_N \cdot R_N$$

devredeki herhangi bir kolun analizini norton eşdeğer devresinden bulunmuşsa aynı işlemi thevenin eşdeğer devresi oluşturmaya gerek yoktur. Birbirine dönüşüm yapılabilmesine göre basit bir işlemle thevenin eşdeğer devresi oluşturulabilir. Şekil7.17 de görüldüğü gibidir. Bunu bir örnekle açıklarsak;

Örnek7.10: Şekil7.18(a)deki verilen elektrik devresinde AB uçlarının thevenin eşdeğer devresini oluşturup bu eşdeğeri norton eşdeğer devresine dönüştürünüz.



Şekil7.18

Şekil üzerinde bulunan değerleri açıklayarak bulalım. AB uçlarının R_{TH} direncini bulmak için gerilim kaynakları Şekil7.18 (b)de görüldüğü gibi kısa devre edildiğinde dirençlerin bağlantı durumu $20\Omega//10\Omega$ şeklindedir.

$$R_{TH} = \frac{20\Omega \cdot 10\Omega}{20\Omega + 10\Omega} = 6,67\Omega$$

Şekil(c) deki devrede görüldüğü gibi 30V ve 18V kaynaklar devrede ve bu kaynaklar 20Ω ve 10Ω seri bağlandıkları için üzerlerinden bir akım geçmektedir. Fakat $30V > 18V$ olduğu için akımın yönü şekilde olduğu gibi ;

$$I = \frac{30V - 18V}{30\Omega} = \frac{12V}{30\Omega} = 0,4A$$

şekil7.18(d)de gösterildiği gibi 20Ω direncin ucundaki gerilim düşümü;

$$U_{20\Omega} = (0,4A) \cdot (20\Omega) = 8V$$

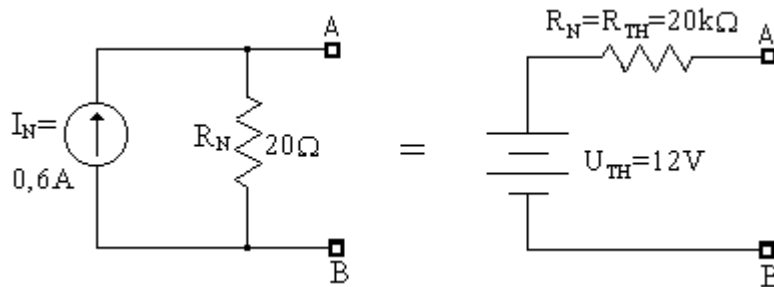
bulunur. Bu gerilim ile U_{TH} toplamı (kirşofun gerilimler kanunundan)

$$U_{TH} + 8V = 30V \text{ dan } U_{TH} = 30V - 8V = 22V$$

AB uçlarının thevenin gerilimi bulunur. Şekil7.18 (c)deki gibi Thevenin eşdeğer devresi çizilir, değerler üzerine yazılır. Aynı şekilde norton eşdeğer devresi de çizilip üzerlerine I_N ve R_N değerleri yazılır. Bu değerler aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_N = \frac{U_{TH}}{R_{TH}} = \frac{22V}{6,67\Omega} = 3,3A \quad R_N = R_{TH} = 6,67\Omega$$

Thevenin teoremi ile Norton teoremi birbirlerinin duali olduğu bu örnekle daha iyi görülmüş olur. Bu örneğin tam tersi bir örnek vermek gerekirse; aşağıdaki norton eşdeğerinin, Thevenin eşdeğerine dönümünü görürsünüz.



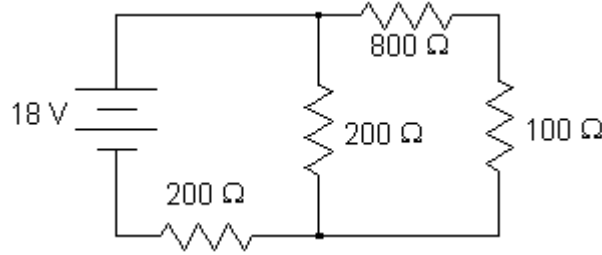
Şekil7.19

$$U_{TH} = I_N \cdot (R_N = R_{TH}) = 0,6A \cdot 20\Omega = 12V$$

Kaynağın pozitif kısmı akım kaynağının akım sürdüğü yöndür. Bağlantıda o yönlü olmuştur.

Örnek7.11:

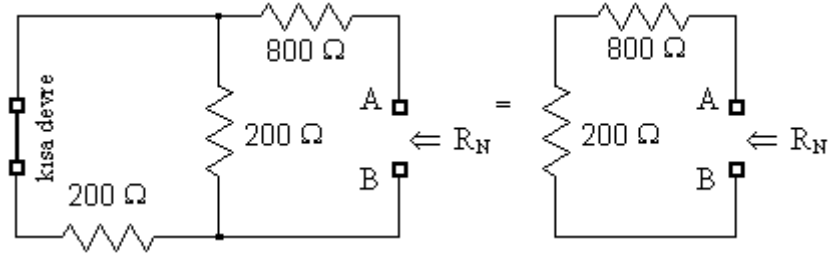
Şekil7.20de verilen devrede 100Ω üzerinden geçen akımı Norton teoremi ile çözünüz.



Şekil7.20

Çözüm7.11:

100Ω 'luk direnci ve devredeki gerilim kaynaklarını devreden çıkartarak Şekil7.20 (b) AB uçlarının R_N direnci bulunur.

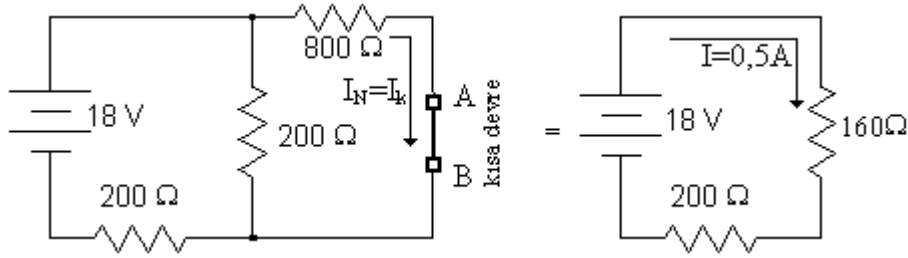


Şekil7.20 (a)

Gerilim kaynağı kısa devre edildiğinde 200Ω dirençler birbirlerine paralel 800Ω direnç bunlara seri durumda olduğundan R_N aşağıdaki gibi bulunur.

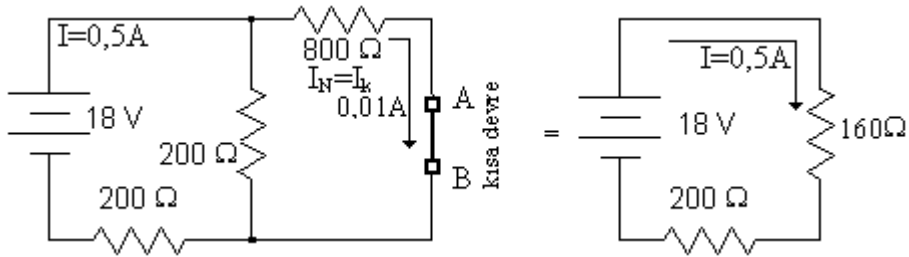
$$R_N = 800\Omega + \frac{200\Omega \cdot 200\Omega}{200\Omega + 200\Omega} = 900\Omega$$

AB uçlarının Norton eşdeğer direnci bulunur. Norton akımını bulmak için kaynak tekrar devreye bağlanır, AB uçları kısa devre edilerek bu kaynağın kısa devre akımı bulunur. Bu bulunan akım Norton akımına eşittir.



Şekil7.20 b

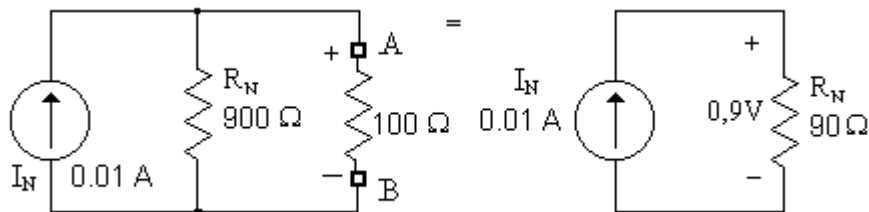
Şekil7.20(c) deki devreler açık bir şekilde I_N akımının bulunuşunu göstermektedir. Bu değerlerin bulunmasını formüllerle göstermek gerekirse aşağıdaki çözüm gibi yapılması gerekir.



Şekil7.20 c

$$I = \frac{18V}{200\Omega + \left(\frac{200\Omega \cdot 800\Omega}{800\Omega + 200\Omega}\right)} = 0,05A \quad I_N = (0,05A) \cdot \left(\frac{200\Omega}{800\Omega + 200\Omega}\right) = 0,01A$$

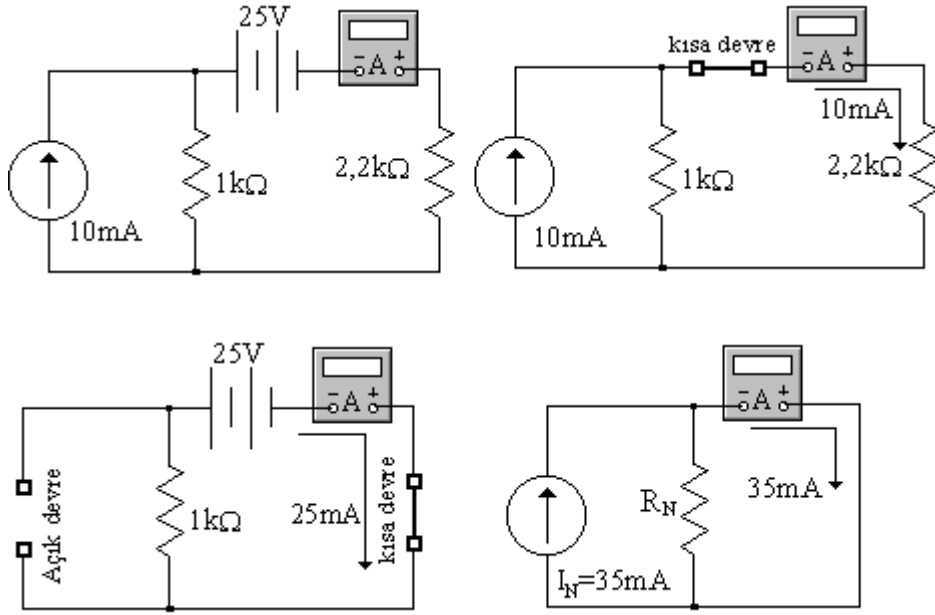
bulunur. Norton eşdeğer devresinin şeklini ve analizi yapılacak kolu norton eşdeğer devresine bağlayarak uçlarındaki gerilim bulunur.



Şekil7.20 d

$$U_{100\Omega} = I_N \cdot \left(\frac{100\Omega \cdot 900\Omega}{100\Omega + 900\Omega}\right) = (0,01A) \cdot (90\Omega) = 9V$$

Aşağıdaki şekil7.21 üzerinde $2,2k\Omega$ direncin norton teoremi ile o uçların norton eşdeğer devresi oluşturulmuştur. Norton eşdeğer devresinde bağlı ampermetre $35mA$ kısa devre akımı göstermektedir. $2,2k\Omega$ direnci bağlandığında ampermetrenin gösterdiği değeri teorik olarak sizler bulunuz.



Şekil7.21

BÖLÜM 8

KONDANSATÖRLER

8. KONDANSATÖR

8.1 KAPASİTE

8.2 KONDANSATÖR ÇEŞİTLERİ

8.3 KAPASİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

8.4 KONDANSATÖRLERİN SERİ BAĞLANMASI

8.5 KONDANSATÖR UÇLARINDAKİ GERİLİM

8.6 KONDANSATÖRLERİN PARALEL BAĞLANMASI

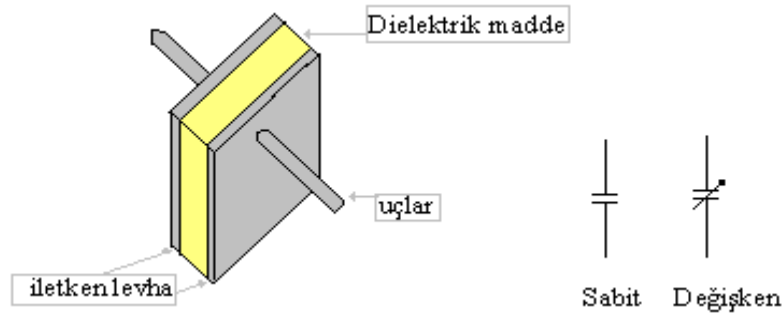
8.7 KONDANSATÖRLERİN PARALEL- SERİ BAĞLANMASI

8. KONDANSATÖR

Kondansatör iki uçlu enerji depolayan elektronik bir elemandır. İletken levhalar arasına konulan dielektrik(elektriği iletmeyen) maddesi elektrik yükünü depo etme özelliğine sahiptir. Çünkü, elektron ve protonlar yalıtkan maddede hareket ederek bir yere gidemezler. Yalıtkan maddelerin yük depo edebilme özelliklerinden yararlanılarak en temel elektronik devre elemanlarından biri olan kondansatör imal edilmiştir.

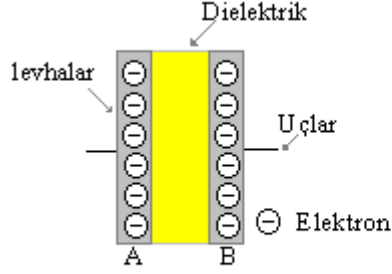
8.1 KAPASİTE

Kondansatörün yük depo edebilme yeteneğine kapasite adı verilir. Her kondansatör istediğimiz kadar yük depo edemez. Bunu etkileyen faktörler bu konu adı altında ilerleyen zamanda daha kapsamlı incelenecek, yük depo edebilmesi için bu uçlara mutlaka bir potansiyel uygulanması gerekir.

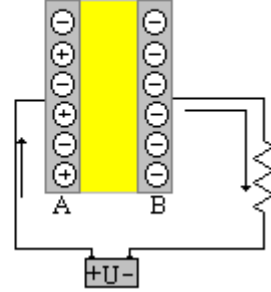


Şekil8.1 Kondansatörün yapısı ve semboller

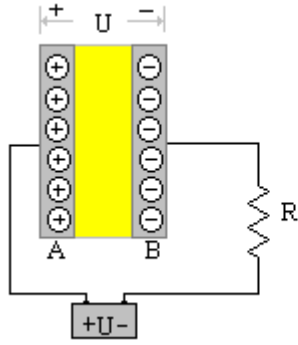
Şekil8.1de görüldüğü gibi kondansatör, iki iletken levha ve bunların arasına konan dielektrik maddeden oluşmaktadır. Yapılışı bu şekildedir. Bu kondansatör uçlarına bir gerilim bağlanmadan kondansatörün durumunu ve bu kondansatör uçlarına bir gerilim bağlandığında ki ne gibi durumların oluştuğunu şekillerle gösterip açıklamalarla anlaşılmasını sağlayalım.



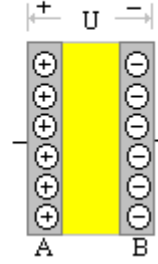
(a) Nötr(deşarj durumu)



(b) Gerilime bağlanan bir kondansatörün A B levhalarının yük oluşumu



(c) Kondansatör üzerinden akım akışı A B uygulanan gerilim değerinde olduğu anda kesilir.

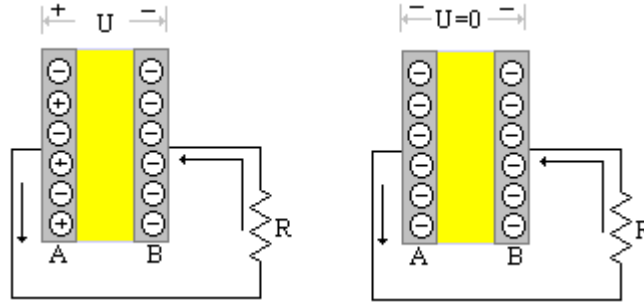


(d) Kondansatörün levhaları (+) ve (-) yüklerle uygulanan gerilim değerinde yüklenmiş hali

Şekil8.2 Kondansatörün nötr ve Şarjı

Bir kondansatörün uçlarına bir gerilim uygulanmadığı durumda bu kondansatör şekil8.2(a)deki gibi nötr durumdadır. Kondansatörün uçlarına (b)deki gibi bir gerilim kaynağı bağlandığında bu kondansatör üzerinden akım akışı olacak ve kondansatör levhaları şekilde görüldüğü gibi yüklenmeye başlayacaktır. Bu yüklenme uygulana gerilim eğerine ulaşana kadar devam edecektir. Bu şekil8.2(c)deki durumunu alacaktır. Bu kondansatörün şarj olması demektir. Artık bu kondansatörü gerilim kaynağından çıkardığınız anda kondansatör uçları uyguladığınız gerilim değerini gösterir. Şekil8.2(d)de U değerinde şarj olmuş bir kondansatör görülmektedir. Levhaları elektron yükleri ile dolan kondansatörün bir direnç veya iki ucu kısa devre

edilerek yüklerin boşaltılmasına kondansatörün deşarjı denir. Şekil 8.3de görüldüğü gibi kondansatörün (-) yüklü levhasındaki elektronlar, (+) yüklü levhaya hareket ederler. Elektronların bu hareketi deşarj akımını meydana getirir. Deşarj akımı, kondansatörün her iki plakası da nötr olana kadar devam eder. Bu olayın sonunda kondansatör uçları arasındaki gerilim sıfıra iner. Kondansatör boşalmış olur.



Şekil 8.3 Kondansatörün Deşarjı

Şekillerde de görüldüğü gibi kondansatörlerde, elektrik yükleri bir yalıtkanla ayrılmış olup iki iletken levha da birikir. Levhalardan birisi protonlardan oluşan pozitif yüke, diğeri ise elektronlardan oluşan negatif yüke sahip olurlar.

Kondansatörlerde kapasite birimi Farad'tır. Bir kondansatör uçlarına bir voltluk gerilim uygulandığında o kondansatör üzerinde bir kulonluk bir elektrik yükü oluşuyorsa kondansatörün kapasitesi bir faradtır denilir. Farad çok yüksek bir birim olduğundan farad'ın askatları olan mikrofara (μF), nanofara (nF) ve pikofara (pF) kullanılır.

Bu birimler arası dönüşümü kendi aralarında aşağıdaki şekilde olur.

$$\begin{aligned} 1\text{F} &= 10^6 \mu\text{F} & \text{veya} & & 1\mu\text{F} &= 10^{-6} \text{F} \\ 1\text{F} &= 10^9 \text{nF} & \text{veya} & & 1\text{nF} &= 10^{-9} \text{F} \\ 1\text{F} &= 10^{12} \text{pF} & \text{veya} & & 1\text{pF} &= 10^{-12} \text{F} \end{aligned}$$

Örnek 8.1:

Aşağıdaki şıklarda verilen kondansatör değerlerini μF değerine dönüştürünüz.

- (a) 0,00001F (b) 0,005F (c) 1000pF (d) 200pF

Çözüm 8.1:

- (a) $0,00001\text{F} \times 10^6 = 10\mu\text{F}$ (b) $0,005\text{F} \times 10^6 = 5000\mu\text{F}$
(c) $1000\text{pF} \times 10^{-6} = 0,001\mu\text{F}$ (d) $200\text{pF} \times 10^{-6} = 0,0002\mu\text{F}$

Örnek8.2:

Aşağıdaki şıklarda verilen kondansatör değerlerini pF değerine dönüştürünüz.

(a) $0,1 \cdot 10^{-8} \text{F}$ (b) $0,000025 \text{F}$ (c) $0,01 \mu\text{F}$ (d) $0,005 \mu\text{F}$

Çözüm8.2:

(a) $0,1 \cdot 10^{-8} \text{F} \times 10^{12} = 1000 \text{pF}$ (b) $0,000025 \text{F} \times 10^{12} = 25 \cdot 10^6 \text{pF}$
(c) $0,01 \mu\text{F} \times 10^6 = 10000 \text{pF}$ (d) $0,005 \mu\text{F} \times 10^6 = 5000 \text{pF}$

8.2 KONDANSATÖR ÇEŞİTLERİ

(a) Mika Kondansatör: Mika kondansatörlerde, çok ince iki iletken levha ve bunların arasında yalıtkan olarak mika kullanılmıştır. Bu kondansatörlerde dış kap olarak genellikle seramik maddesi kullanılmıştır. Mika kondansatörler genellikle 50 pikofarad ile 500 pikofarad arasında küçük kapasiteleri elde etmek için imal edilirler.

(b) Kağıt Kondansatörler: Kağıt kondansatörlerde iki iletken levha ve bunların arasında yalıtkan olarak kağıt kullanılmıştır. İletken maddeler ve bunların arasındaki kağıt çok ince olup, bir silindirik yapı oluşturmak üzere birbiri üzerine sarılmıştır. Kağıt kondansatörlerde dış kap olarak genellikle plastik kullanılır. Orta büyüklükte kondansatör elde edilmek için kullanılır.

© Seramik kondansatörler: bu kondansatörlerde dielektrik madde olarak seramik kullanılır. Aynı miktar kapasite seramik kondansatörlerde, kağıt kondansatörlere göre çok daha küçük boyutlarda elde edilir. Disk biçimindeki seramik kondansatörler “mercimek kondansatörler” olarak adlandırılmaktadır.

(d)-Değişken kondansatörler: Değişken kondansatörlerde, sabit metal plakalar rotor, dönebilen biçimde yataklanmış metal plakalar ise stator oluştururlar. Bir mil tarafından döndürülen stator, rotoru oluşturan plakaların arasına taraf biçiminde geçerek kapasiteyi oluşturur. Değişken kondansatörlerde karşılıklı plakalar arasındaki hava, dielektrik madde olarak görev yapar. Stator ile rotoru oluşturan levhalar tam içi içe geçtiklerinde kondansatörün kapasitesi maksimum değerine ulaşır., levhalar birbirinden tamamen ayrıldığında ise kondansatörün kapasitesi minimum değerine iner. Değişken kondansatörler genellikle kapasitesi 0 pikofarad ile 500 pikofarad arasında değişecek şekilde imal edilirler. Değişken kondansatörler uygulamada radyo alıcılarının istasyon seçme devrelerinde kullanılır.

(e)Elektrolitik kondansatörler: Elektrolitik kondansatörlerde asit eriyiği gibi bir elektrolitik maddenin emdirildiği bez, yalıtkan madde olarak kullanılır. Bu yalıtkanın iki yanındaki alüminyum plakalar da kondansatörün iletken kısmıdır. Bu plakalardan bir tanesi doğrudan doğruya kondansatörün dış kabına bağlıdır. Elektrolitik kondansatörler büyük kapasite değerlerini sağlamak üzere imal edilirler. Tipik

kapasite değerleri bir mikrofarağ ile 2000 mikrofarağ arasındadır. Daha önce görmüş olduğumuz kondansatörlerin tersine, elektrolitik kondansatörler kutupludur. Yani pozitif ve negatif uçları vardır. Bundan dolayısıdır ki devreye bağlantılarında pozitif kutup pozitive negatif negatife bağlanması gerekir aksi taktirde kondansatör patlayabilir.

8.3 KAPASİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kapasite, bir kondansatörün elektrik yükü depo edebilme yeteneği olduğunu açıklamıştık. Kondansatör levhalarına uygulanan gerilim, plakalarda elektrik yükü meydana getirir. Uygulanan gerilim arttıkça, levhalardaki elektrik yükü de artar. Bu nedenle, kondansatörün depo ettiği elektrik yükü, uçlarına uygulanan gerilimle doğru orantılıdır. Kondansatörün depo edebileceği elektrik yükü, kapasite ile de doğru orantılıdır. Böylece bir kondansatörün uçlarına uygulanan gerilim, depo ettiği elektrik yükü ve kondansatörün kapasitesi arasındaki ilişki aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$Q=C.U$$

Formülde kullanılan Q kondansatörün depo ettiği elektrik yükünü(kulon), C kondansatörün kapasitesini(Farad), U ise kondansatör uçlarına uygulanan gerilimi temsil etmektedir.

rnek8.3:

Aşağıda şıklarda verilen değerlere göre isteneni bulunuz.

- (a) Bir kondansatörün depo ettiği elektrik yükü $50\mu C$, bu elemana 10V uygulandığında bu kondansatörün kapasitesi nedir.
- (b) Kondansatörün kapasitesi $2\mu F$ bu kondansatörün uçlarındaki gerilim 100 V olduğuna göre kondansatörün levhalarındaki yk ne kadardır.
- (c) Kondansatörün kapasitesi 100pF, levhalarındaki elektrik yükü $2\mu C$ olduğuna göre bu kondansatörün uçlarındaki gerilim ne kadardır.

zm8.3:

- (a) $C = \frac{Q}{U} = \frac{50\mu C}{10V} = \frac{50 \cdot 10^{-6} C}{10V} = 5 \cdot 10^{-6} F = 5\mu F$
- (b) $Q = C.U = (2\mu C).(100V) = 200\mu C$
- (c) $U = \frac{Q}{C} = \frac{2\mu C}{100pF} = \frac{2 \cdot 10^{-6} C}{100 \cdot 10^{-12} F} = 20kV$

8.4 KONDANSATÖRLERİN SERİ BAĞLANMASI

Kondansatörlerin dikkat edilmesi gereken iki durumu vardır. Bunlardan birincisi çalışma gerilimi diğeri ise kapasitesidir. Buna göre kondansatör kullanılacak yerlerine göre kaç voltluk kondansatör kullanılacak ise o değerli kondansatör kapasitesini ve gerilim değeri seçilmelidir. Kondansatörün üzerindeki gerilim değeri 25V iken siz 30V luk bir devrede kullanırsanız o kondansatörü yanma ile karşı karşıya bırakırsınız. Kapasite değerleri uygun değerde standart değer bulunamadıysa o zaman istediğiniz kapasitede kondansatör elde etmek için kondansatörleri seri veya paralel bağlayarak elde etme imkanına sahipsiniz.

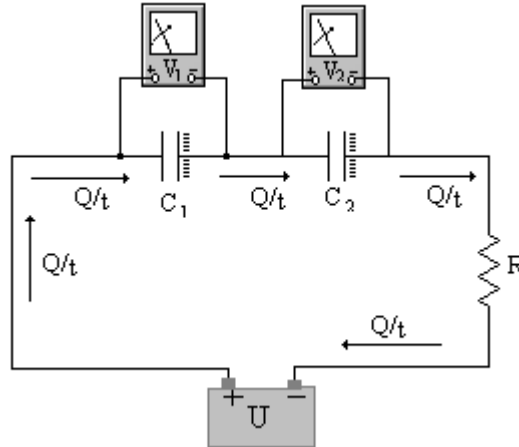
Kondansatörlerin seri bağlanışını ve bu bağlantıda değerlerin bulunma formüllerini kademe kademe çıkartalım.

Şekil8.4(a) deki devrede iki kondansatör seri bağlı ve bu uçlara bir U gerilim kaynağı bağlanmış. Kondansatörlerin başlangıçta kaynaktan bir akım çekmesi ve belli bir süre sonra bu akımın akışı kesilmesi şekil8.4(b) görülmektedir. Kondansatörün yükleri kaynağın verdiği yüklerle eleman üzerlerindeki yükler eşit oluncaya kadar akım akmakta yükler eşit olunca akım akışı durmaktadır. Bu durumu şu şekilde yazabiliriz.

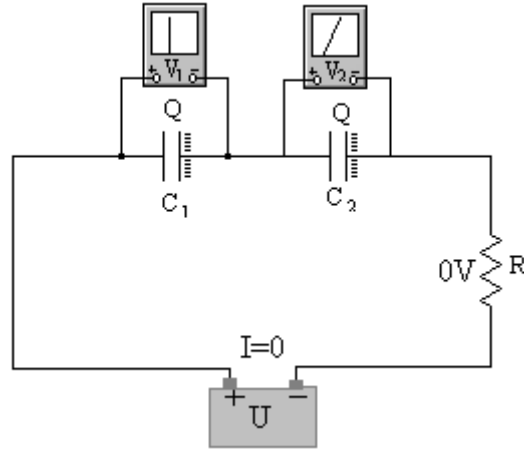
$$Q_T = Q_1 = Q_2$$

Kirşofun gerilimler kanunundan;

$$U = U_1 + U_2$$



(a) Kondansatörlerin seri bağlanması ve uçlarındaki gerilim



(b) Kondansatörlerin seri bağlanması, şarj olması ve akımın 0 olması

Şekil8.4

$U=Q/C$ değerleri eşitliğin her iki tarafına yazılırsa;

$$\frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

eşitliğin her iki tarafı Q ye bölünerek;

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

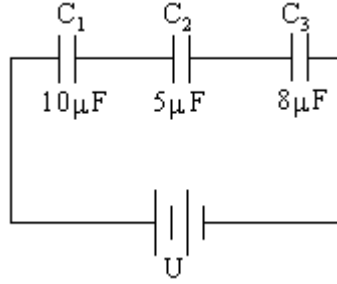
$$C_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{C_1}\right) + \left(\frac{1}{C_2}\right)}$$

elde edilir. Bu formülü genellersek n tane kondansatörün seri bağlandığı durumun formülünü yazalım.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Örnek8.4:

Şekil8.5de görüldüğü gibi üç tane değişik kondansatörler birbirleri ile seri bağlanmış. Bu kondansatörlerin eşdeğerini bulunuz.



Şekil8.5

Çözüm8-4:

Seri bağlama formülünde değerler yerine konularak bulunur.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{10\mu F} + \frac{1}{5\mu F} + \frac{1}{8\mu F}$$
$$C_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{10\mu F}\right) + \left(\frac{1}{5\mu F}\right) + \left(\frac{1}{8\mu F}\right)} = \frac{1}{0,425} \mu F = 2,35 \mu F$$

8.5 KONDANSATÖRÜN UÇLARINDAKİ GERİLİM

Kondansatör uçlarında bir gerilim meydana gelecektir bu gerilim değeri yük ve kapasitesine bağlı olarak değişecek olduğunu önceki konularımızda incelemiştik. Kirşofun gerilimler kanunundan elemanlar seri bağlı olduklarından

$$U_x = \left(\frac{C_T}{C_x}\right)U$$

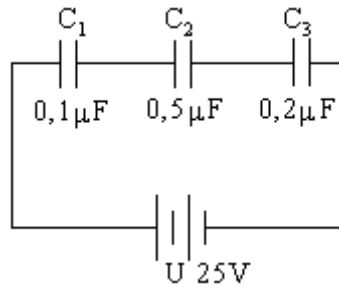
buradaki C_x; hangi kondansatör uçlarındaki gerilimi bulacaksanız o kondansatörün U_x değeridir. (C₁, C₂ gibi)

Örnek8.5:

Şekil8.6deki devrede üç kondansatör seri bağlanmış uçlarına 25V gerilim uygulanmıştır. Bu kondansatörlerin uçlarındaki gerilim değerlerini bulunuz.

Çözüm85:

Kondansatörler seri bağlandıkları için seri devrede akımlar eşit olacağından kirşofun gerilimler kanunundan yararlanabilirsiniz.



Şekil8.6

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{0,1\mu F} + \frac{1}{0,5\mu F} + \frac{1}{0,2\mu F} \Rightarrow C_T = \frac{1}{17}\mu F = 0,0588\mu F$$

Voltaj formülünde değerleri yerine koyarak eleman uçlarındaki gerilim değerleri;

$$U_1 = \left(\frac{C_T}{C_1}\right)U = \left(\frac{0,0588\mu F}{0,1\mu F}\right).25V = 14,7V$$

$$U_2 = \left(\frac{C_T}{C_2}\right)U = \left(\frac{0,0588\mu F}{0,5\mu F}\right).25V = 2,94V$$

$$U_3 = \left(\frac{C_T}{C_3}\right)U = \left(\frac{0,0588\mu F}{0,2\mu F}\right).25V = 7,35V$$

Bulunur.

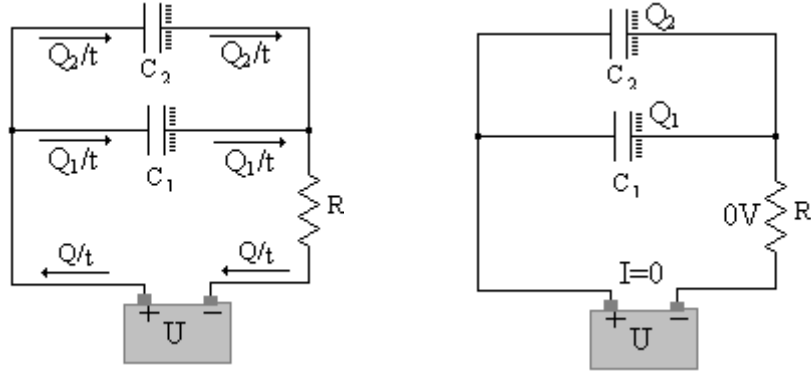
8.6 KONDANSATÖRLERİN PARALEL BAĞLANMASI

Kondansatörler paralel bağlandıklarında kaynaktan çektikleri akım kollara ayrılarak devresini tamamlayacaktır. Kaynağın gerilim değeri bu elemanlar üzerinde aynen görülecektir. Kaynaktan çekilen yük elemanlar üzerinde görülecek bu yüklerin toplamı kaynağın yüküne eşit olacaktır.

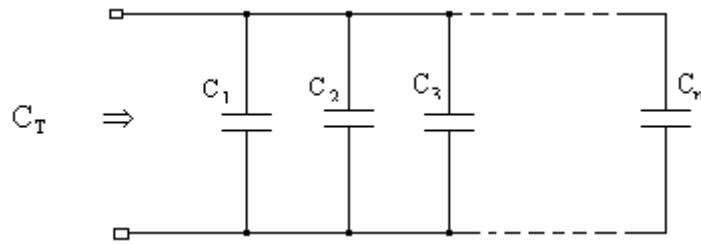
$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$C_T \cdot U = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U \quad \text{eşitliğin her iki tarafını } U' \text{ ya bölünürse}$$

$$C_T = C_1 + C_2 \quad \text{elde edilir.}$$



Şekil8.7 Paralel kondansatörler ve $Q_T = Q_1 + Q_2$



Şekil8.8 n tane kondansatörün paralel bağlanması

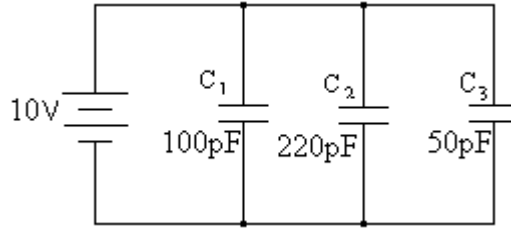
Şekil8.8de olduğu gibi n tane kondansatör biri birine paralel bağlandığındaki genel formülümüzü iki kondansatör paralel bağlandığında çıkardığımız formülümüzü genelleştirirsek;

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

olur. n tane kondansatör paralel bağlantı genel formülü ortaya çıkar.

Örnek8.6:

Şekil8.9deki devrede elemanların değerleri verilmiş, bu elemanlar paralel bağlanmıştır. Bu devrenin eşdeğer kapasitesini ve kondansatörlerin yüklerini, toplam yükü bulunuz.



Şekil8.9

Çözüm8.6:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 100\text{pF} + 220\text{pF} + 50\text{pF} = 370\text{pF}$$

$$Q_T = C_T \cdot U = 370\text{pF} \cdot 10\text{V} = 3700\text{pC}(\text{pikokulon})$$

$$Q_1 = C_1 \cdot U = 100\text{pF} \cdot 10\text{V} = 1000\text{pC}$$

$$Q_2 = C_2 \cdot U = 220\text{pF} \cdot 10\text{V} = 2200\text{pC}$$

$$Q_3 = C_3 \cdot U = 50\text{pF} \cdot 10\text{V} = 500\text{pC}$$

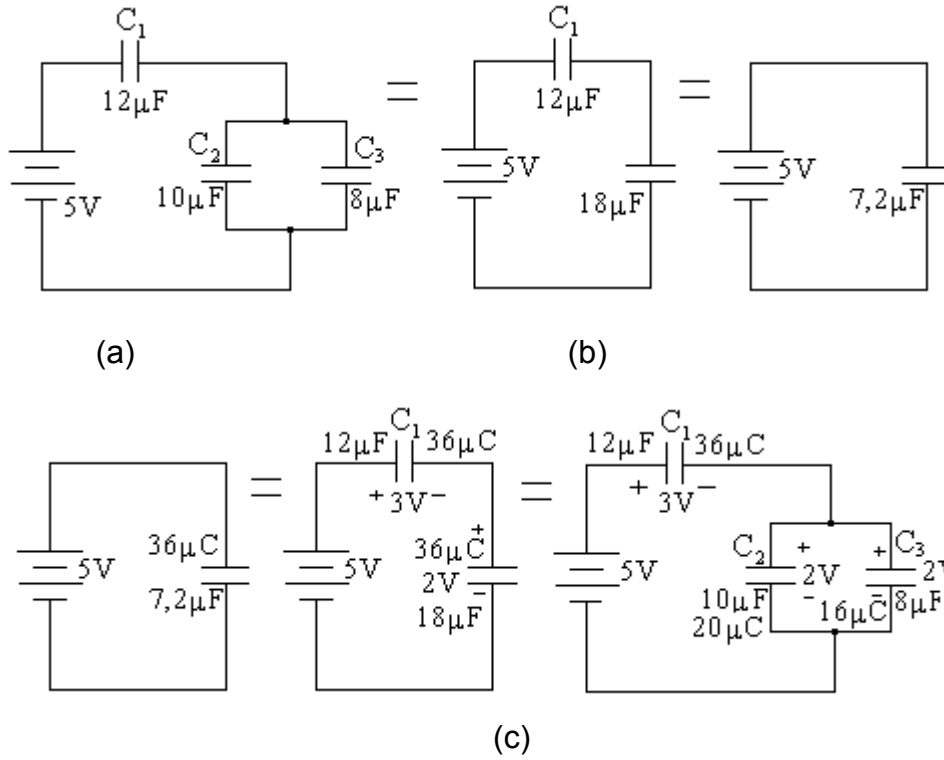
$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1000\text{pC} + 2200\text{pC} + 500\text{pC} = 3700\text{pC}$$

8.7 KONDANSATÖRLERİN PARALEL-SERİ BAĞLANMASI

Kondansatörler seri, paralel devrelerde ayrı ayrı bağlanabildikleri gibi bu bağlantıların iki durumu bir devre üzerinde bulunabilir. Bu bağlama şekline karışık bağlama denir. Dirençlerde olduğu gibi devrede eşdeğer kapasitenin bulunabilmesi için devredeki paralel bağlı kondansatörler önce tek bir kondansatör haline getirilerek, devredeki elemanların bağlantı durumlarına göre seri veya paralel bağlantı formülleri kullanılarak eşdeğer kapasite bulunur.

Örnek8.7:

Şekil8.10(a)da görülen devredeki kondansatörlerin uçlarındaki gerilim değerlerini bulunuz.



Şekil8.10

Şekil8-10(a)daki devreyi $C_2//C_3$ olduğundan bu paralelliğin eşdeğeri formülde değerler yerine yazılarak;

$$C_2 + C_3 = 10\mu F + 8\mu F = 18\mu F$$

bu değer C_1 kondansatörüne seri haline geldi. Seri bağlama formülünde değerler yerine yazılırsa Şekil8.10(b) görülen eşdeğer kapasite bulunur.

$$C_T = \frac{(12\mu F).(18\mu F)}{12\mu F + 18\mu F} = 7,2\mu F$$

kaynaktan çekilen toplam yük;

$$Q_T = U.C_T = (5V).(7,2\mu F) = 36\mu C$$

Şekil(c) üzerinde gösterilen değer bulunur. C_1 elemanı kaynağa seri bağlı olduğundan toplam yük aynen bu kondansatörün üzerinde görüleceğinden bu elemanın uçlarındaki gerilim ve C_2, C_3 elemanlarına kalan gerilim;

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{36\mu\text{C}}{12\mu\text{F}} = 3\text{V}$$

$$\frac{36\mu\text{C}}{18\mu\text{F}} = 2\text{V}$$

bulunur. C_2 , C_3 paralel bağılı olduklarından bu gerilim her iki kondansatörün uçlarında görülecektir. Bu kondansatörlerin yükleri ise farklı olacaktır. C_2 , C_3 kondansatörlerin depoladığı yük miktarları ise;

$$Q_2 = C_2 \cdot U_2 = (10\mu\text{F}) \cdot (2\text{V}) = 20\mu\text{C}$$

$$Q_3 = C_3 \cdot U_3 = (8\mu\text{F}) \cdot (2\text{V}) = 16\mu\text{C}$$

bulunur. Bu örnekte kondansatörlerin uçlarındaki gerilim ve yükleri ayrı ayrı bulunmuş oldu.

BÖLÜM 9

ELEKTRO MAĞNETİZMA VE ELEKTRO MAĞNETİK İNDÜKSİYON

9. MANYETİZMA

9.1 MIKNATIS

9.2 KULON KANUNU

9.3 MANYETİK ALAN İÇERİSİNDEKİ AKIM TAŞIYAN İLETKENE ETKİ EDEN KUVVET

9.4 İNDÜKSİYON

9.5 ÖZENDÜKSİYON

9.6 BOBİNDE DEPO EDİLEN ENERJİ

9.7 BOBİNLERİN BAĞLANTI ŞEKİLLERİ

9. MANYETİZMA

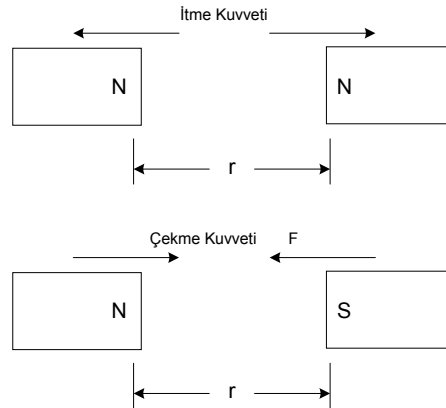
Bu gelişen dünyada her alanda kullanılan elektrikli aletlerin büyük bir çoğunluğunun yapımında mıknatıs ve onun meydana getirdiği manyetik alan özelliklerinin kullanıldığını göz önünde bulundurursak, bu aletlerin yapısını kavrayabilmek için manyetizma konusuna ne kadar önem vermemiz gerektiği ortaya çıkar.

9.1 MIKNATIS

Demir, nikel, kobalt ve bunların alaşımları gibi, cisimleri kendisine doğru çekme özelliği gösteren herhangi bir maddeye mıknatıs denir. Bir mıknatısın yanına yaklaşıldığında mıknatıs özelliği kazanan, yani demir, nikel, kobalt ve bunların alaşımlarını çekebilen maddelere de ferromanyetik maddeler denir. Sonradan mıknatıslanan bu maddelerin manyetik özellikleri oldukça düşüktür. Diğer bazı maddeler ise manyetik etki altına sokulduklarında çekme özelliği göstermezler, bu tip maddelere de antimanyetik maddeler denir.

9.2 KULON KANUNU

Mıknatıslarda aynı adlı kutupların birbirlerini ittiğini, farklı kutupların ise birbirlerini çektiğini kulon kanunu ile ispatlanmıştır.



Şekil 9.1

Şekil 9.1 deki Q_1 ve Q_2 yüklerinin arasındaki uzaklık r olduğuna göre, yukarıdaki sonuçlardan bu iki yük arasındaki kuvvet,

$$F = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

olur. Bu formül, kulon kanununun matematiksel ifadesidir. Burada k, yüklerin bulunduğu ortama ve kullanılan birim sistemine bağlı bir katsayıdır. MKS birim sisteminde,

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}$$

dir. Burada, ϵ_0 (epsilon) “boşluğun dielektrik katsayısı” adını alır ve değeri,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

dir. ϵ_r ise “ortamın bağıl dielektrik katsayısı”dır. ϵ_r katsayısı birimsiz olup, bir ortamın dielektrik katsayısının, boşluğundan ne kadar büyük olduğunu gösterir. Örneğin mika için, $\epsilon_r = 6$ ’dır. Bunun anlamı, mikanın dielektrik katsayısının boşluğunkine göre 6 kat daha büyük olduğudur.

Kuvvet formülünde k sabiti yerine konulursa matematiksel ifadesinde;

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

bulunur. ϵ_0 in değeri de yerine konulursa;

$$F = \frac{9 \cdot 10^9}{\epsilon_r} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

mıknatıslar arasındaki itme veya çekme bu formüle bulunur. Formülde kullanılan karakterlerin anlamları

F = Yükler arasındaki kuvvet (Newton)
 $m_1 m_2$ = Kutupların şiddeti, (Kulon)
r = Yükler arasındaki uzaklık (metre)
 ϵ_r = Yüklerin bulunduğu ortamın bağıl dielektrik katsayısı,

9.3 MANYETİK ALAN İÇERİSİNDEKİ AKIM TAŞIYAN İLETKENE ETKİ EDEN KUVVET

Manyetik alan içinde bulunan bir iletkenin akım geçirilirse, iletkenle manyetik alan arasında oluşan etkiden dolayı iletken manyetik alanın dışına doğru itilir. N ve S kutupları arasında düzgün bir manyetik alan vardır. Bu alanın içine soktuğumuzda iletkenin akım geçirirsek, iletken etrafında dairesel kuvvet hatları oluşur. Bu hatlar N

ve S kutbu arasındaki hatlarla aynı yönde ise birbirlerini güçlendirir., aksi yönde ise zayıflatır. Kuvvet hatlarının güçlenen tarafı iletkeni zayıf tarafa doğru iter.

Düzgün bir manyetik alandaki iletkenin akım geçirildiğinde iletkeni alanın dışına iten kuvvet, iletkenin uzunluğu, manyetik akı yoğunluğu ve iletkenin geçen akımla doğru orantılıdır. Buna (B.I.L) kaidesi denir.

CGS birim sistemine göre aşağıdaki formül ortaya çıkar.

$$F = \frac{B.I.L}{10} \text{ din}$$

bu formüldeki harflerin anlamları ise;

F: İletkeni alan dışına iten kuvvet (din)

L: İletkenin uzunluğu (cm)

B: Manyetik akı yoğunluğu (gauss)

I: İletkenden geçen akım (amper)

Örnek:

Manyetik akı yoğunluğu 1500 gauss olan bir manyetik alan içindeki iletkenin geçen akım 150 Amperdir. İletkene etki eden kuvveti hesaplayınız. İletkenin uzunluğu 10 cm dir.

Çözüm:

$$F = \frac{B.I.L}{10} = \frac{1500.150.10}{10} = 225.10^4 \text{ din}$$

MKS birim sisteminde ise;

$$F=B.I.L$$

Formülü ile hesaplanır. Burada;

F: İletkeni alan dışına iten kuvvet (Nevton)

L: İletkenin uzunluğu (m)

B: Manyetik akı yoğunluğu (tesla)

I: İletkenden geçen akım (amper)

Örneği birde MKS birim sisteminde çözersek;

1 weber/m²=10⁴ gauss olduğuna göre,

B=1500 Gauss=0,15 weber/m²

F=B.I.L=0,15.150.0,1=2,25 newton bulunur.

9.4 İNDÜKSİYON

Manyetik Alanın Etkileri

Manyetik alan içerisinde, içinden akım geçen bir iletken konulursa, manyetik alan ile iletken arasında bir kuvvetin meydana geldiğini biliyoruz. Meydana gelen bu kuvvete “elektro manyetik kuvvet” denir.

İçinden akım geçmeyen bir iletken, manyetik alan içinde hareket ettirilirse, bu iletkenin iki ucu arasında bir potansiyel fark meydana gelir. Meydana gelen bu potansiyel farka “endüksiyon elektromotor kuvveti”denir. Bu iletkenin iki ucu bir alıcı üzerinden birleştirilecek olursa, iletkeninden bir akım geçer. Şu halde, manyetik alan, içinden akım geçen iletkeni etki ederek onda bir mekanik kuvvet, hareket halindeki bir iletkeni etki ederek onda da bir endüksiyon elektromotor kuvveti meydana getirir.

Endüksiyon Elektromotor Kuvvetinin elde Edilmesi

Bir iletken grubu manyetik alan içinde hareket ettirilirse, bu iletken grubu da bir elektrik akımı meydana gelir. Bobin şeklinde sarılmış bir iletken grubunun uçlarına galvanometre bağlayalım. Çubuk şeklinde bir mıknatıs bu iletken grubunun içine daldırılırsa galvanometrenin bir yönde saptığı görülür. Çubuk mıknatıs bobin içerisinden süratle geri çıkarılırsa, galvanometre yine sapar. Fakat bu sapma yönü birinci sapma yönüne göre ters yöndedir. Eğer çubuk mıknatıs sabit tutulup, bobin çubuk mıknatıs yönünde hareket ettirilirse, hareket yönüne bağlı olarak galvanometre iki yönlü bir sapma gösterir. Çubuk mıknatısın veya bobinin hareketi durursa galvanometre de herhangi bir sapma olmaz. Bu olaydan şu sonuçlar çıkarılabilir.

- 1) Galvanometreden geçen akım, yalnız bobin veya çubuk mıknatıs hareket ettiği zaman meydana gelmektedir. Bobin veya mıknatıs hareketsiz durursa akım meydana gelmez.
- 2) Meydana gelen akımın yönü bobinin veya çubuk mıknatısın hareket yönüne bağlıdır.
- 3) Galvanometrenin sapması, içinden bir akımın geçtiğini gösterir. Bu akım ise endüksiyon yoluyla bobinde meydana gelen elektromotor kuvvetin etkisiyle meydana gelir.

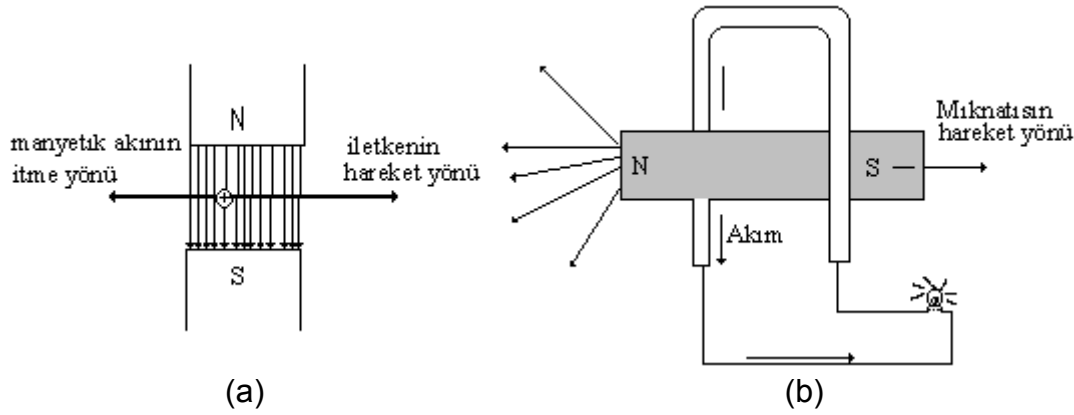
Endüksiyon EMK'nin Yönü ve Lenz Kanunu

Manyetik alan içerisinde hareket eden bir iletkende bir endüksiyon elektromotor kuvveti meydana geldiğini gördük. Eğer hareket eden bu iletkenin uçları birleştirilirse bir kapalı devre meydana gelir. Ve bu elektromotor kuvvetin etkisiyle iletkeninden bir akım geçer. İletkeninden geçen bu akımın yönü Lenz kanunu ile bulunur.

Lenz kanunu şu şekilde ifade edilir. Endüksiyon elektromotor kuvvetinin meydana getirdiği akım, kendisini meydana getiren akım değişmesine veya harekete karşı koyar.

Lenz kanunu aşağıdaki gibi açıklanabilir. şekil9.2(a)de görüldüğu gibi bir iletkenin manyetik alan içine doğru hareket ettirildiğini düşünelim iletkenin manyetik kuvvet çizgilerini kesmesi sonucu iletkende bir endüksiyon emk meydana gelir. Bu emk iletkenden bir akım geçirir. İletkenden geçen akıma göre iletken etrafındaki manyetik alanın yönü iletkenin sağ tarafındaki manyetik alan şiddeti artarken, sol taraf daki alan şiddeti azalır. Bu yüzden, iletkeni sola doğru hareket ettirmeye çalışan bir kuvvet meydana gelir. Bu kuvvet ise kendini meydana getiren harekete karşıdır.

şekil9.2(b)de çubuk mıknatıs sağa doğru hareket ettirilirse sarımda bir endüksiyon emek meydana gelir ve devreden bir akım geçmesine neden olur.



Şekil9.2

Sarımdan geçen akımın yönüne bağlı olarak meydana gelecek manyetik akının yönü, sarımın etrafındaki manyetik akının azalmasına karşı olacak şekildedir. Yani bu manyetik akı çubuk mıknatısın hareketine karşı bir kuvvet oluşturur. Bunun sonucu olarak endüksiyon emk ni meydana getiren harekete karşı konmuş olur.

Faraday kanunu ve Endüksiyon EMK nın Değeri

Manyetik alan içinde hareket eden bir iletken, manyetik kuvvet çizgilerini keser. Bunun sonucu olarak iletkende bir endüksiyon emk meydana geldiği ve iletkenden bir akım geçirdiğini biliyoruz. İletkende meydana gelen bu endüksiyon emk nın değeri faraday kanunu ile bulunur. Endüksiyon emk nın değeri 1851 yılında Faraday tarafından şu şekilde ifade edilmiştir.

Endüksiyon sonucu iletkende meydana gelen emk'nin değeri, manyetik akının değişim hızı ve sarım sayısı ile doğru orantılıdır. Manyetik alanın (ϕ), Δt zaman aralığında olan değişimi $\Delta\phi$ olsun. Manyetik alanın değişim hızı da,

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

olmaktadır. Bu ifadeyi, manyetik akının birim zamandaki değişimi olarak da söyleyebiliriz. Buna göre endüksiyon bobinin de emk'nin değeri,

$$E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

olmaktadır. Bu formülde,

E: Bobinde indüklenen endüksiyon emk (volt)

N: Bobinin sarım sayısı

$\Delta\phi$:Manyetik alandaki değişim(Weber)

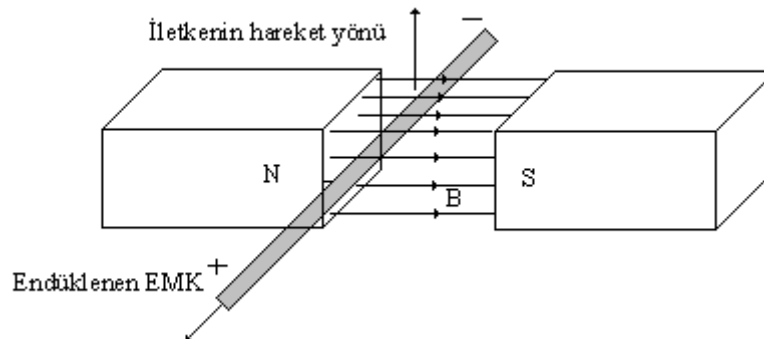
Δt :Zaman aralığı

CGS birim sisteminde manyetik akının birimi maxwell (1 maxwell= 10^{-8} weber) idi. Buna göre bobinde meydana gelen emk,

$$E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot 10^{-8}$$

olur. Eğer bir sarım bir saniyede 10^{-8} maxwellik bir akı tarafından kesilirse, sarımda bir voltluk endüksiyon elektromotor kuvveti indüklenir demektir.

Sabit bir manyetik alan içinde bir iletkenin hareket etmesiyle, iletkende bir emk endüklendiğini gördük. İletkenin hareketinden doğan bu emk te "hareket endüksiyon emk" ti denir.



Şekil9.3 Hareket endüksiyon emk'nın meydana gelişi

Hareket endüksiyonu emk tinin değeri, manyetik akı yoğunluğuna, iletkenin uzunluğuna, iletkenin hareket hızına ve iletkenin hareket yönü ile manyetik alanın yönü arasındaki ilişkiye bağlıdır. Buna göre meydana gelen emk,

$$E = B \cdot l \cdot V$$

Olur. Bu formülde,

E=iletkende endüklenen endüksiyon emk (volt)

B=Manyetik akı yoğunluğu (Tesla)

l =İletkenin manyetik alan içindeki uzunluğu (metre)

V= İletkenin hızı (metre/saniye)

Örnek: Manyetik akı yoğunluğu 2 Tesla olan bir alan içine 0.5m uzunluğunda bir iletken 5m/sn lik bir hızla hareket ettirilirse, meydana gelen emk ne olur.

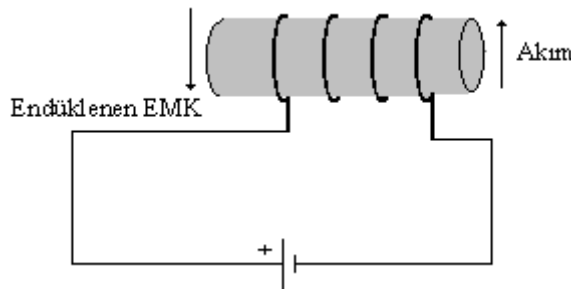
$$E = B \cdot l \cdot V = 2 \cdot 0.5 \cdot 5 = 5 \text{ Volt}$$

Olur.

9.5 ÖZENDÜKSİYON

Özendüksiyon Olayı ve EMK'i

İçinden akım geçen bir iletken etrafında bir manyetik alan meydana geldiğini biliyoruz. Eğer bu iletken şekil9.4de görüldüğü gibi bobin haline getirilirse etrafındaki manyetik alan şiddetlenir. Böylece bobin içinden geçen akımın değişiminin meydana getirdiği değişken manyetik alan ortamı içinde bulunur. Yani bobin, bizzat kendisi tarafından meydana getirilen değişken manyetik alan içinde olduğundan, bobinde bir endüksiyon emek'i meydana gelir. Bobinin, kendi oluşturduğu manyetik alan içinde kalarak, kendisinde endüklediği emk'i şimdiye kadar incelediğimiz endüksiyon olayında emk bir dış manyetik alan tarafından meydana getirilir. Özendüksiyon ise manyetik alan, bobinden geçen akıma ve bobinin sarım sayısına bağlı olarak bobin tarafından oluşturulur.



Şekil9.4 Özendüksiyon olayı

Bu devredeki S anahtarı kapatılırsa bobinden bir akım geçer. Bu akım bobin etrafında bir manyetik alan meydana getirir. Manyetik alanın değeri yükseldikçe, bobinde meydana gelen endüksiyon emk'inin değeri de yükselir.

Lenz kanununa göre, bu emk bobinden geçen akım artıyorsa onu azaltmaya, azalıyorsa onu artırmaya çalışır.

Özendüksiyon katsayısı ve Hesabı

Özendüksiyon emk'i lenz kanununa göre kendini meydana getiren manyetik kuvvet çizgilerindeki değişikliğe karşıdır. Böylece, bobinden geçen akımdaki herhangi bir değişikliğe, bobinin karşı koyma yeteneğine, bobinin "özendüktansı" denir. Kısaca bobinin endüktansı diye anılır. Endüktans L harfiyle gösterilir ve birimi Henridir. Henri H harfiyle gösterilir. Ve şu şekilde tanımlanır.

Bir bobinde saniyede 1 amperlik değişiklik 1 voltluk emk endüklüyorsa, bobinin endüktansı 1 henridir denir.

Bir bobinde manyetik akının zamana göre değişimi sonucu o bobinde meydana gelen emk nın değerini bulmuştuk. Eğer aynı bobinde manyetik akının, zamana göre değişimi alınırsa, bobinin endüktansı aşağıdaki gibi olur.

$$L = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta i}$$

Bu formülde,

L= Bobinin endüktansı (Henri)

N= Bobinin sarım sayısı

$\Delta\Phi$ =Manyetik alandaki değişim (Weber)

Δi =Akımdaki değişim (Amper)

formülde görüldüğü gibi bir bobinin endüktansı, bobinin sarım sayısı sabit kalmak koşulu ile, bobinden geçen akımdaki değişime bağlıdır. Eğer içinde demir çekirdek bulunmayan bir bobinin endüktansını, relüktansı da dikkate alınarak hesaplanmak istenirse,

$$L = \frac{N^2}{R_m} \text{ Bu formülde,}$$

L=Bobinin endüktansı (Henri)

N=Bobinin sarım sayısı

R_m = Relüktans (1/henri)

Bir bobinin endüktansı, bobinin ölçüleri ile değişir. Bobinin endüktansını artırmak için ferromanyetik malzemeler çok kullanılır. Buna göre bobinin endüktansı,

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot S}{l}$$

olarak yazılabilir. Bu formülde,

L=Bobinin endüktansı (Henri)

N=Bobinin sarım sayısı

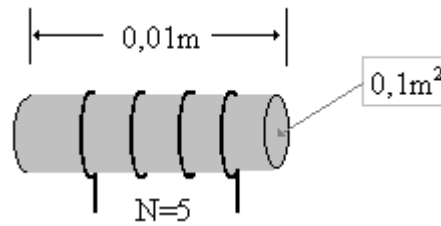
μ =ortamın geçirgenliği (henri/metre)

S=Bobinin çekirdeğinin kesiti (metre²)

l=Bobinin uzunluğu (metre)

Örnek:

Şekil9.5de görülen değerlere göre bu bobinin endüktansını bulunuz. Ortamın geçirgenliği, $\mu=0,25 \cdot 10^{-3}$

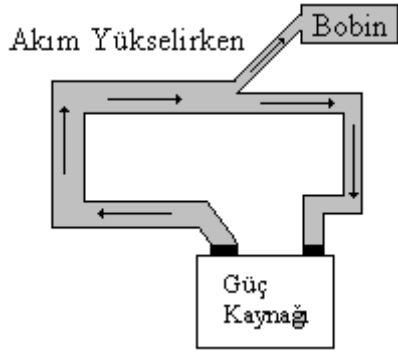


Şekil9.5

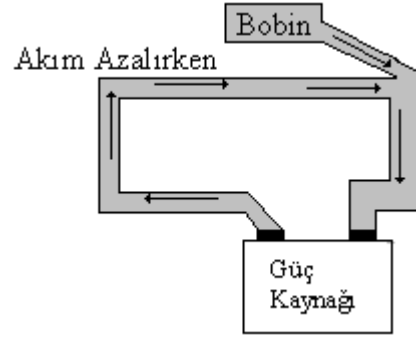
$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot S}{l} = \frac{(5^2) \cdot (0,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,1)}{0,01} = 62,5 \text{mH}$$

9.6 BOBİNDE DEPO EDİLEN ENERJİ

İçinden akım geçen bir bobin etrafında bir manyetik alanın oluştuğunu biliyoruz. Ayrıca bu alandan dolayı bobinde bir özendüksiyon emk'nin meydana gelir. Bu emk Lenz kanununa göre bobinden geçen akım artarsa onu azaltmaya, azalırsa onu artırmaya çalışır. Yani bobinden geçen akım artarsa bu akımın bir kısmı şekil9.6(a)de görüldüğü gibi manyetik alan olarak depolanır. Eğer akım azalırsa yine şekil9.6(b)de görüldüğü gibi daha önceden manyetik olarak depo edilen bu enerji akım olarak devreye geri verilir.



(a)



(b)

Şekil9.6

Böylece depo edilen enerjinin miktarı bobinin endüktansı biliniyorsa kolayca bulunabilir. Buna göre depolanan enerji,

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

olur. Bu formülde,

W=Bobinde depo edilen enerji (Jul)

L=Bobinin endüktansı (Henri)

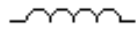
I=Bobinden geçen akım (Amper)

Örnek:

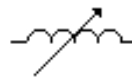
Özendüksiyonu katsayısı 20H olan bir bobinden geçen akım 10 A olduğuna göre bobinde depo edilen enerjiyi bulunuz.

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = \frac{1}{2} \cdot 20H \cdot 10^2 A = 1000 \text{ Jüll}$$

Bobin Sembolü



(Sabit değerli bobin)

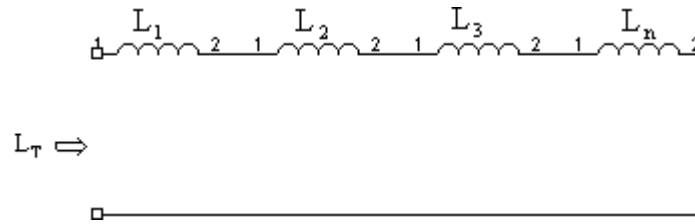


Değişken (varyabil) bobin

9.7 BOBİNLERİN BAĞLANTI ŞEKİLLERİ

Bobinlerin Seri Bağlanması

Bobinlerin değerlerini artırabilmek için birbirine seri bağlanır. Bobinler seri bağlandıklarında üzerlerinden geçen akım tüm elemanlarda aynıdır.



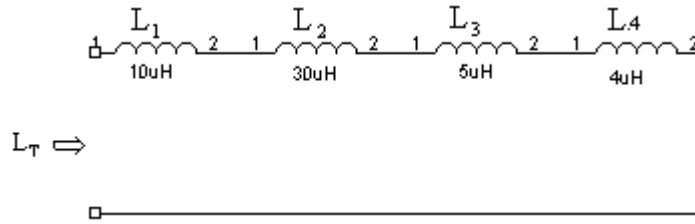
Şekil9.7 Bobinlerin seri bağlantısı

Şekildeki gibi n tane bobin seri bağlandıklarında bu bobinlerin eşdeğer(toplam) endüktansı, devredeki bobin endüktanslarının toplamına eşittir.

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

Örnek:

Şekil9.8 üzerinde verilen bobin değerlerine göre bobinlerin toplam endüktansını bulunuz.

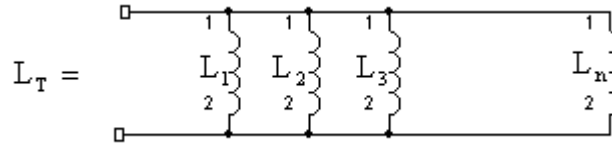


Şekil9.8

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 = 10\mu\text{H} + 30\mu\text{H} + 5\mu\text{H} + 4\mu\text{H} = 49\mu\text{H} = 49 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

Bobinlerin Paralel Bağlanması

Paralel bağlı bobinlerde akımlar kollara ayrılarak devrelerini tamamlarlar. Uçlarındaki gerilim, tüm paralel bağlı bobinlerde aynı değeri gösterir. Şekil9.9 da görüldüğü gibi n tane bobin paralel bağlanmıştır.



Şekil9.9 Bobinlerin Paralel Bağlanması

N tane bobin paralel bağlandığında bunların tek bir bobin haline aldırılmasına toplam endüktans denir. Toplam endüktans formülümü aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

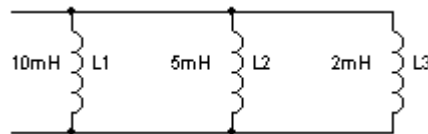
$$L_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{L_1}\right) + \left(\frac{1}{L_2}\right) + \left(\frac{1}{L_3}\right) + \dots + \left(\frac{1}{L_n}\right)}$$

Genel formülü ortaya çıkar. Eğer sadece iki bobin paralel bağlandığında pratiklik açısından toplam endüktans aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$L_T = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

Örnek:

Aşağıda şekil9.10 üzerinde değerleri verilen bobinler paralel bağlandıklarına göre eşdeğer endüktansı bulunuz.



Şekil9.10

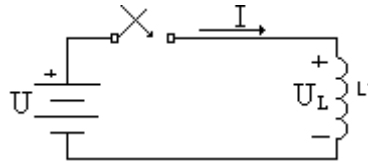
$$L_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{L_1}\right) + \left(\frac{1}{L_2}\right) + \left(\frac{1}{L_3}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{10\text{mH}}\right) + \left(\frac{1}{5\text{mH}}\right) + \left(\frac{1}{2\text{mH}}\right)} = \frac{1}{0,8\text{mH}} = 1,25\text{mH}$$

Bobin Uçlarındaki Gerilim

Bobin bir DC gerilim kaynağına bağlandığı taktirde bobin uçlarında bir gerilim görülür. Bobin eğer saf bir bobinse akımın zamana göre değişimi ile bobin uçlarındaki gerilim değeri bulunur. Burada görüldüğü gibi bobin uçlarındaki gerilim

zamana ve üzerinden geçen akıma, bobinin endüktans değerine göre uçlarındaki gerilim değeri değişmektedir. Bu durumu aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$U_L = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

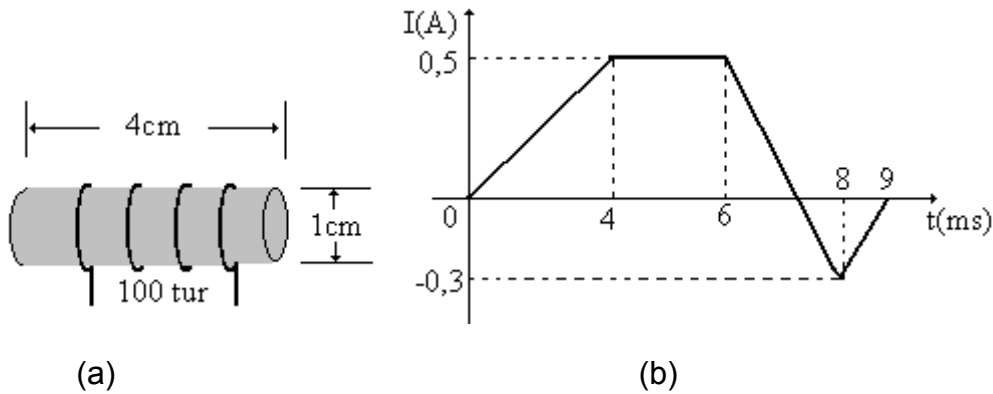


Şekil9.11 Bobinin Dc kaynağa bağlantısı

Bu formülün kullanılacağı bir örnek yaparak anlatılmak isteneni sayısal değerlerle gösterirsek konu daha iyi anlaşılacaktır.

Örnek:

Şekil9.12(a)de bobinin sarım sayısı sarıldığı nüvenin çapı ve uzunluğu şekil üzerinde gösterilmiştir. Bobinin endüktansını bularak, Grafik de görülen bobin üzerinden geçen akımın zamana göre değişimi verilmektedir. Bu zaman aralığındaki bobin uçlarındaki gerilim değişim eğrisini ve değerini bulunuz. (Demir nüvenin geçirgenliği $\mu_r = 400$ boşluğun geçirgenliği $\mu_0 = (4\pi \cdot 10^{-7})$)



Şekil9.12

Önce bobinin endüktansını bulup daha sonra bu bobinin üzerinden geçen akıma göre uçlarındaki gerilim değerlerini bulalım.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi (0,01\text{m})^2}{4} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad \mu = \mu_r \cdot \mu_0 = 400(4\pi \cdot 10^{-7}) = 5,026 \cdot 10^{-4}$$

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot S}{l} = \frac{100^2 \cdot (5,026 \cdot 10^{-4}) \cdot (7,854 \cdot 10^{-5})}{4 \cdot 10^{-2}} = 9,87 \text{ mH}$$

bobinin endüktansı bulunur. Grafikte akımın zaman aralığını kademe, kademe inceleyerek bobin uçlarındaki gerilim değerini bulalım.

$t=0$ dan $t=4\text{ms}$ $\Delta t=4\text{ms}$ aralığındaki akım bobin üzerinden 0A - $0,5\text{A}$, $\Delta I=0,5\text{A}$ geçtiği görülüyor. buna göre bobin uçlarındaki gerilim;

$$U_{L(t=0 \text{ ile } 4\text{ms})} = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 9,87 \cdot 10^{-3} \text{H} \left(\frac{0,5\text{A}}{4 \cdot 10^{-3} \text{s}} \right) = 1,23\text{V}$$

$t=4\text{ms}$ dan $t=6\text{ms}$ $\Delta t=2\text{ms}$ zaman değişimi aralığında, akım grafikte görüldüğü gibi $0,5\text{A}$ akımda zamana göre değişim olmadığı görülüyor. $\Delta I=0$ buna göre bobin uçlarındaki gerilim bulunursa;

$$U_{L(t=4 \text{ ile } 6)} = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 9,87 \cdot 10^{-3} \frac{0}{2 \cdot 10^{-3} \text{s}} = 0\text{V}$$

bulunur. Çünkü akımdaki değişim sıfırdır.

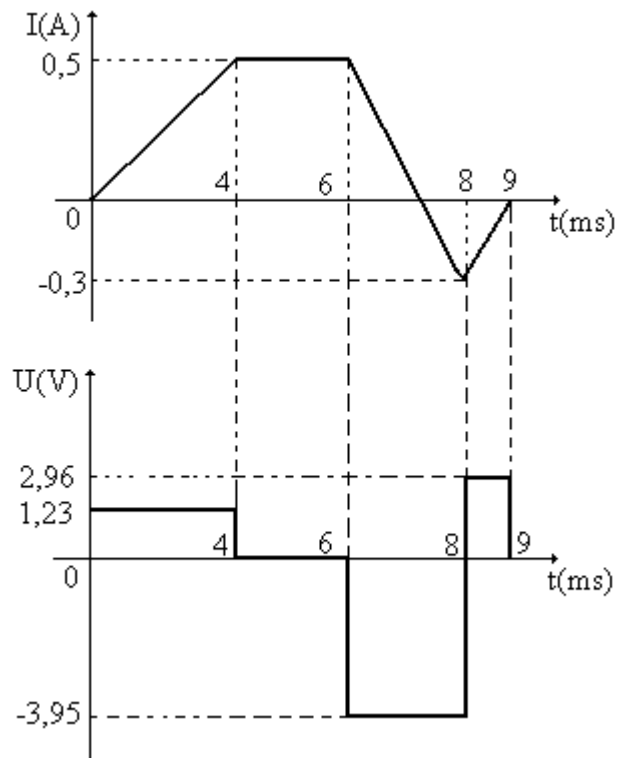
$t=6\text{ms}$ den $t=8\text{ms}$ aralığındaki zaman değişimi $\Delta t=2\text{ms}=2 \cdot 10^{-3}\text{s}$ akımdaki değişim ise $\Delta I=(-0,3\text{A})-(-0,5\text{A})=-0,8\text{A}$ olmaktadır. Buna göre bobin uçlarındaki gerilim;

$$U_{L(t=6 \text{ ile } 8)} = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 9,87 \cdot 10^{-3} \frac{-0,8\text{A}}{2 \cdot 10^{-3} \text{s}} = -3,95\text{V}$$

$t=8\text{ms}$ den $t=9\text{ms}$ aralığındaki zaman değişimi $\Delta t=1\text{ms}=1 \cdot 10^{-3}\text{s}$ akımdaki değişim ise $\Delta I=0\text{A}-(-0,3\text{A})=0,3\text{A}$ olmaktadır. Buna göre bobin uçlarındaki gerilim;

$$U_{L(t=8 \text{ ile } 9)} = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 9,87 \cdot 10^{-3} \frac{0,3\text{A}}{1 \cdot 10^{-3} \text{s}} = 2,96\text{V}$$

bulunur. Bulduğumuz gerilim değerlerini akım ve gerilim grafiği olarak birlikte göstermek gerekirse, grafik üzerinde bulunan sonuçların daha iyi irdelenmesi sağlanabilir.



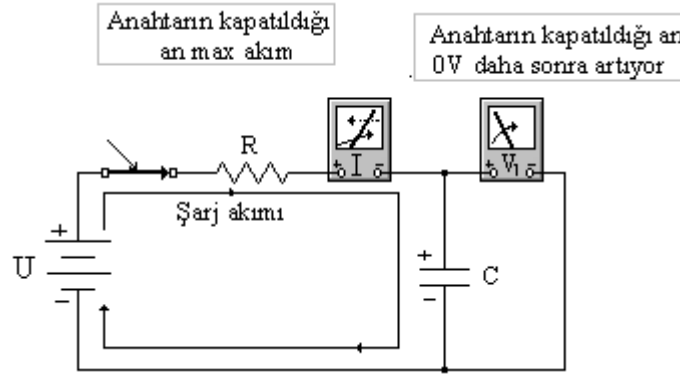
Grafik: Örnek de verilen ve sonucun grafiği

BÖLÜM 10

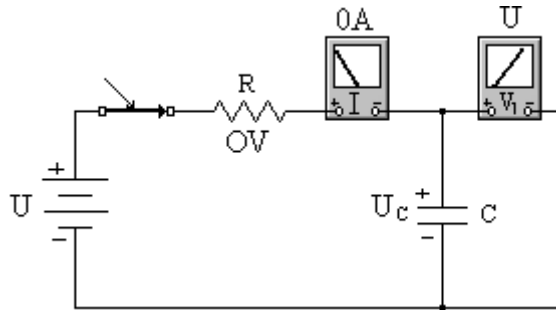
DOĞRU AKIMDA GEÇİCİ OLAYLAR

Kondansatörün Şarj ve Deşarjını Ampermetre ve Voltmetre ile Gösterilmesi

Kondansatörün şarj ve deşarjını incelemiş iç durumunda elektron ve protonların hareketlerini şekillerle göstermiştik. Şimdi bu kondansatörün bir direnç ile devreye bağlayıp bu uçları gerilim kaynağı ile beslemeye alalım. Kondansatörün ve direncin uçlarındaki gerilim ve akım durumlarını gözlemleyelim.



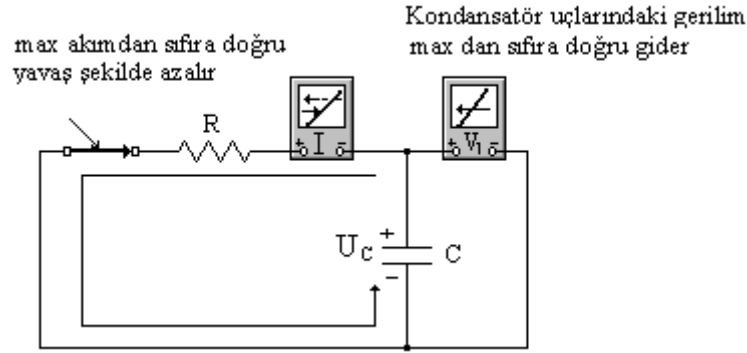
(a) Kondansatörün anahtar kapatıldığında üzerinden geçen akım ve uçlarındaki gerilimin ampermetre ve voltmetredeki görünüşü



(b) Kondansatörün uçlarındaki gerilimin kaynak gerilimine eşit olduğu anda üzerinden herhangi bir akımın akmayışı ve direnç uçlarındaki gerilim sıfır değeri göstermesi

Şekil10.1

Bir kondansatöre seri bir direnç bağlayıp bu elemanlara gerilim uygulandığı anda kaynaktan bir süre akım geçecektir. Bu akımın geçmesi kondansatör uçlarındaki gerilim değeri kaynak gerilim değerine eşit oluncaya kadar devam edecektir. Bu arada şekil10. (a) da ampermetre anahtar kapatılır kapatılmaz max. akım kaynaktan çekildiği için büyük değer gösterecek daha sonra kondansatörün gerilimi arttıkça akım azalacaktır.



Şekil10.1 (c)Kondansatörün deşarjında ampermetrenin ve voltmetrenin gösterdiği değer

Şekil10.1(a)da voltmetre ise sıfırdan başlayarak kondansatör uçlarına bağlanan kaynağın değerine kadar yükselecektir. Bu kaynak gerilimi değerinde şarj olan kondansatörü Şekil(c)de görüldüğü gibi gerilim kaynağını çıkardıktan sonra kondansatörün yükü direnç üzerinden harcanır. $t=0$ anında ampermetre yüksek değerden sıfıra doğru, voltmetrede max. dan sıfıra doğru değer gösterecektir. Bu akan akımda deşarj akım ile adlandırılır. Bu kondansatör şarjı ve deşarjının süresi direncin ve kondansatörün kapasitesine bağlıdır. Bu geçen süreye RC zaman sabitesi denir. Formül olarak;

$$\tau = RC$$

zaman sabitesini bulunabilir. τ :(tau)zaman sabitesi(saniye)

Örnek10.1:

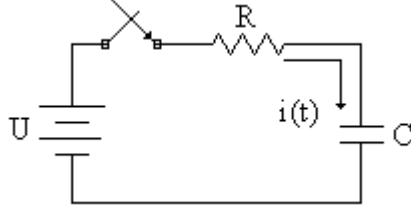
Bir seri RC devresinde direnç değeri $1M\Omega$ ve $5\mu F$ seri bağlanmıştır. Kondansatörün şarj süresini(zaman sabitesi) bulunuz.

$$\tau = RC = (1.10^6).(5.10^{-6}) = 5s$$

Kondansatörün direnç ile bir gerilim kaynağına bağlanarak şarj olayını gördük. Her kondansatör aynı zamanda şarj olamaz bunun üzerinden geçen akım ve kondansatörün kapasitesine bağlı olarak değişecektir. Zaman sabitesi yukarıda formülü elde edilmişti. Bu duruma göre $t=0$ anında kondansatörün üzerinden geçen akım max. Daha sonra kondansatör şarj oldukça bu sıfıra inecektir. Aşağıdaki formül bir kondansatörün üzerinden geçen akımın formülünü verir.

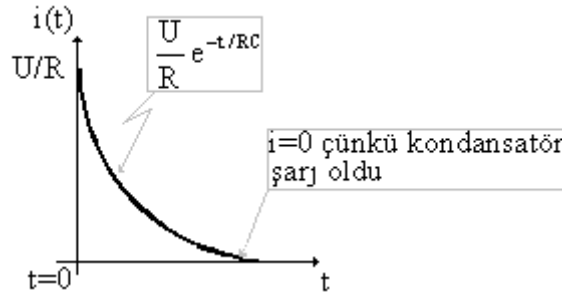
$$i(t) = \frac{U}{R} e^{-t/RC}$$

$i(t)$:kondansatör üzerinden geçen değişken akım
 U :Kondansatör uçlarına uygulanan gerilim
 RC :zaman sabitesi
 t :zaman(sn)



Şekil10.2

Şekil10.2 deki devrede anahtar kapatıldığı anda kondansatör üzerinden geçen akımın değişim eğrisini $t=0$ anından $t=\infty$ anına kadarki durumunu zamana bu aralıklarda değerler vererek grafiksel gösterirsek aşağıdaki grafik kondansatör üzerinden geçen akımı gösterir.



Şekil10.3

$t=0$ için kondansatör üzerinden geçen akımı bulursak diğer değerleri de sizler bularak akım grafiğinin doğruluğunu görürsünüz.

$$i(t) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} \quad t = 0 \text{ için akım}$$

$$i(0) = \frac{U}{R} \cdot e^{-0/RC} = \frac{U}{R} \cdot e^0 = \frac{U}{R} \cdot 1 = \frac{U}{R}$$

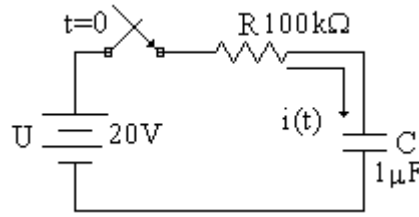
$t=0$ anında(anahtar kapatıldığı anda) kondansatör üzerinden kaynak gerilimi ve direnç değerine bağlı olarak max. Değerde akım aktığı görülüyor. Sizlerde t değerleri vererek çeşitli zamanlardaki akımları bulunuz.

Örnek10.2:

Şekil10.4deki devrede elemanların değerleri verilmiştir. Bu değerler doğrultusunda kondansatör üzerinden geçen akımları;

(a) $t=0s$ (b) $t=0,05s$ (c) $t=0,1s$ (d) $t=0,2s$ (e) $t=0,5s$

bulunuz



Şekil10.4

Çözüm10.2:

Akım formülünde değerleri yerine yazılması ile bulunabilir. Önce bu devrenin zaman sabitesini bulalım.

$$RC = (100 \cdot 10^3 \Omega) \cdot (1 \cdot 10^{-6} F) = 0,1$$

a dan e ye kadar verilen zaman değerlerini formülde yerlerine koyarak kondansatör üzerinden geçen akımları bulalım.

$$(a) t = 0s \quad i(0) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot e^{-0/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot 1 = 0,2mA$$

$$(b) t = 0,05s \quad i(0,05) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot e^{-0,05/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot e^{-0,5} = 0,121mA$$

$$(c) t = 0,1s \quad i(0,1) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot e^{-0,1/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot e^{-1} = 0,0736mA$$

$$(d) t = 0,2s \quad i(0,2) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot e^{-0,2/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot e^{-2} = 0,0271mA$$

$$(e) t = 0,5s \quad i(0,5) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot e^{-0,5/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} \cdot e^{-5} = 0,0013mA$$

sonu bulunur. Burada dikkat edilirse zaman geçtikçe kondansatörün üzerinden akım akışı azalıyor. Süreyi biraz daha artırsak akım grafikte gösterdiğimiz gibi sıfır olacaktır.

Direncin Üzerindeki ve Kondansatör Uçlarındaki Gerilim

Kondansatöre seri bağlı bir direnç uçlarındaki gerilim düşümü ohm kanunundan faydalanılarak bulunabilir. Direnç kondansatöre seri bağlı olduğundan kondansatör üzerinden geçen akım aynı zamanda direnç elemanı üzerinden geçeceğinden $t=0$ anında direnç uçlarındaki gerilim düşümü max. Olacak, akım azaldıkça ve akım sıfır olduğunda direnç uçlarında herhangi bir gerilim düşümü mantiken olmayacaktır. Bunu formüllerle ifade ederek gösterelim.

$$U_R(t) = R \cdot i(t) \quad \text{ohm kanunundan yazılabilir.}$$

$$U_R(t) = R \cdot \left(\frac{U}{R} \cdot e^{-t/RC} \right) \quad R \text{ değeri birbirini götürüleceğinden;}$$

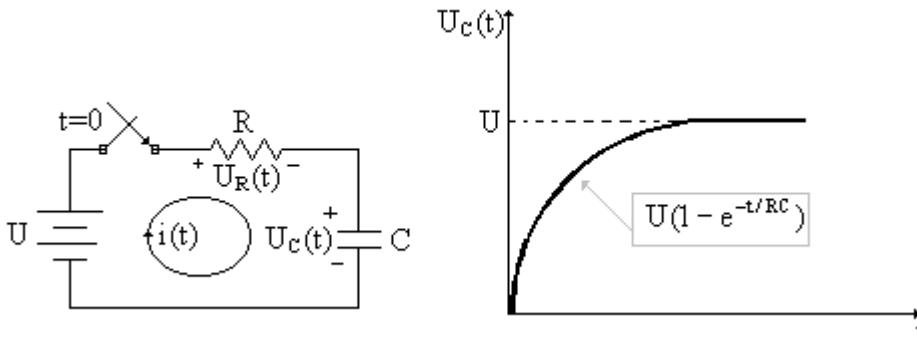
$$U_R(t) = U \cdot e^{-t/RC} \quad \text{Volt bulunur.}$$

direnç uçlarındaki gerilim bulunduğuna göre kondansatör uçlarındaki gerilim kirşofun gerilimler kanunundan faydalanılarak kondansatör uçlarındaki gerilim aşağıdaki şekilde olur.

$$U = U_R(t) + U_C(t) \quad U_C(t) \text{ çekilirse;}$$

$$U_C(t) = U - U_R(t) = U - (U \cdot e^{-t/RC}) = U(1 - e^{-t/RC}) \quad \text{Volt}$$

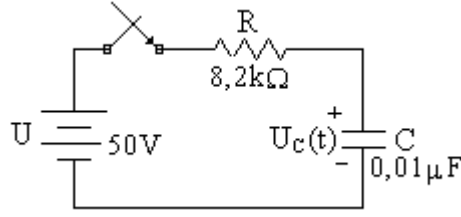
kondansatör uçlarındaki gerilim formülü bulunur.



Şekil10.5 Kondansatörün şarj esnasındaki gerilim eğrisi

Örnek10.3:

Şekil10.6 deki verilen devrede anahtar $50\mu s$ kapatıldığında kondansatörün uçlarındaki gerilimi hesaplayınız.



Şekil10.6

Çözüm10.3:

Devredeki verilerle kondansatör uçlarında 50μs sonra gerilim değeri formülde değerler yerine yazılarak kondansatörün uçlarındaki gerilim değeri bulunabilir.

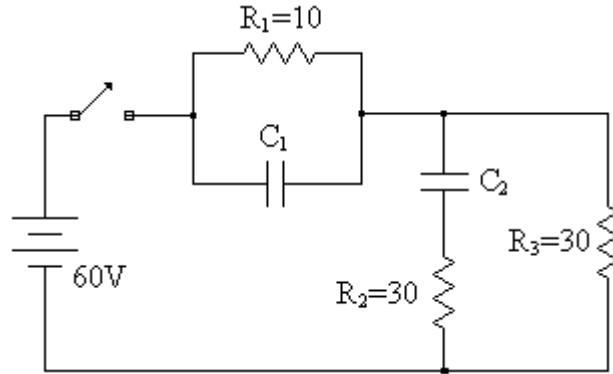
$$RC = 8,2 \cdot 10^3 \Omega \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} F = 82 \mu s$$

$$U_C(50 \mu s) = U(1 - e^{-t/RC}) = 50V(1 - e^{-50 \mu s / 82 \mu s}) = 50V(1 - e^{-0,61})$$

$$U_C = 50V(1 - 0,543) = 22,8V$$

Örnek10.4:

Şekil10.7 deki devrede kondansatörlerin dolma esnasında ve ful dolduğu anda kaynaktan çekilen akımları ve eleman üzerlerindeki gerilimleri bulunuz.(Direnc değerleri ohm cinsindendir)



Şekil10.7 (a)

Çözüm10.4:

Şekil10.7 deki devrede anahtar kapatıldığı anda C_1 kondansatörünün üzerinden akım akacağından R_1 direncinden akım geçmediğinden direnç uçlarında gerilim 0V tur. C_2 elemanı R_2 direncine seri bağlandığından akımları eşit olacaktır. Kısaca kondansatörler ful olana kadar kısa devre şeklini alacak devrede hiç direnç göstermeyecektir. Bu duruma göre kaynaktan çekilen akım(şekil(b)deki devreye göre;

$$R_T = R_2 // R_3 = 30\Omega // 30\Omega = 15\Omega$$

$$I_T = \frac{60V}{15\Omega} = 4A$$

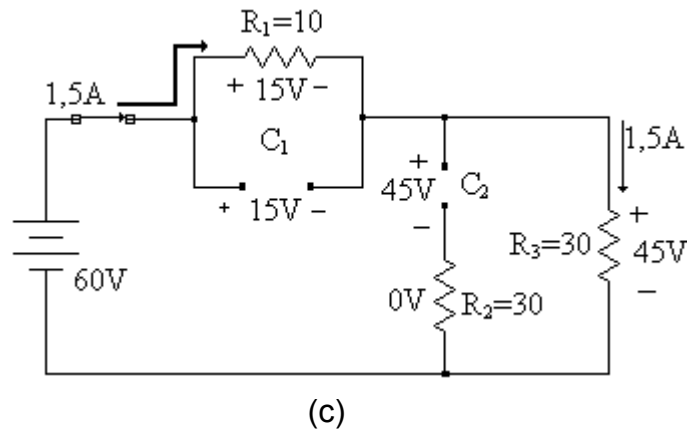
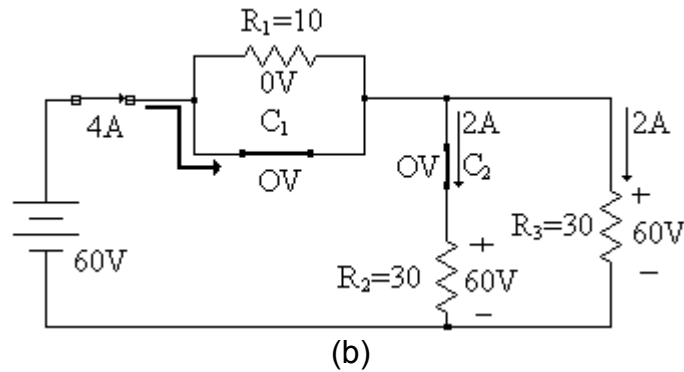
toplam akım bulunduğuna göre bu akım direnç değerleri eşit olan R_2 ve R_3 elemanlarından ikiyeşer amper olarak şekil(b) deki gibi akacaktır.

Kondansatörler ful doldukları anda DC devrede açık devre özelliği göstereceğinden gerilim kaynağından çekilen akım şekil(c) deki görüldüğü gibi olacaktır. Bu durumda devre elemanlarının bağlantı şekline göre;

$$R_T = R_1 + R_3 = 10\Omega + 30\Omega = 40\Omega$$

$$I_T = \frac{60V}{40\Omega} = 1,5A$$

Dikkat edilirse kondansatörler ful dolduğu andan sonra kaynaktan çekilen akım düşme gösteriyor. Kondansatörler DC de açık devre özelliği gösterdiği unutulmaması gerekir.



Kondansatör uçlarındaki gerilim değerleri bu geçen akımlara göre;

$$\begin{aligned} U_{C1} &= 1,5A \cdot 10\Omega = 15V & R_1 \text{ direnci uçları } i \text{ gerilim aynen görülür.} \\ U_{C2} &= 1,5A \cdot 30\Omega = 45V & R_3 \text{ direnci uçları } i \text{ gerilim aynen görülür. çünkü} \\ & & \text{kondansatör açığı devre olduğu } R_2 \text{ elemanı üzerinden akım akmayacaktır.} \end{aligned}$$

Şekil10.7(c) de açık bir şekilde görülmektedir.

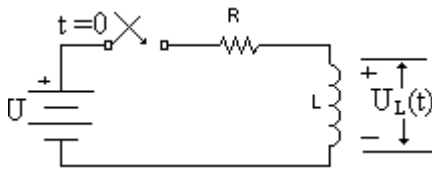
DC devrede Bobin ve Direncin Seri bağlanması

Bobinler kendi aralarında devrelerde tek olarak kullanılabilirler gibi direnç elemanları ile birlikte devrelerde seri olarak veya değişik şekillerde bağlanabilirler. Burada bobini dirençler seri bağlayarak incelemeye alınacaktır. Saf bir bobin olmadığından mutlaka bobinin içerisinde azda olsa bir omik direnç görülür. Bobinin omik direncini ohmmetre ile ölçerek bulunabilir. Yukarıdaki konularda saf bir bobinin uçlarındaki gerilimi incelemiştik. Zamana bağlı bir durum söz konusu idi. Bobin ilk anda bir akım akışına zorluk gösteriyor daha sonra zıt emk nın değeri düştükçe üzerinden akımın akmasına müsaade ederek geçmesine izin veriyor. bu müsaade etme durumu bobinin ve buna bağlı direncin değeri ile orantılıdır. Buna zamana sabitesi denir. Zaman sabitesi $\tau(t_0)$ aşağıdaki gibi bulunur.

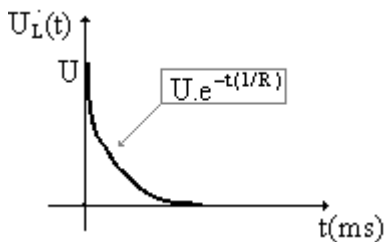
$$\tau = \frac{L}{R}$$

Bobin uçlarındaki gerilim değeri ise aşağıda gösterilen formülle bulunabilir.

$$U_L(t) = U \cdot e^{-t(L/R)}$$



Şekil10.8 direnç ve bobinin seri bağlantısı



bobin uçlarındaki zamana göre gerilim eğrisi

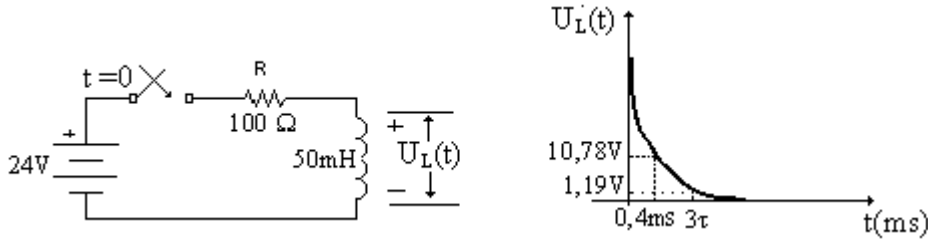
Dikkat edilirse grafikte bobin uçlarındaki gerilim anahtar kapatılır kapatılmaz($t=0$) bobin uçlarındaki gerilim kaynak gerilimine eş bir gerilim değeri görülmekte daha sonra zaman ilerledikçe uçlarındaki gerilim azalarak 0(sıfır) olmaktadır. Demek ki bobin akımın dalgalanması durumunda uçlarındaki gerilim artmakta akım sabit değerde kaldığı durumda ise bobin uçlarındaki gerilim 0 olmaktadır. Bu konu ile ilgili sayısal bir örnek yaparak bobin uçlarındaki gerilim değişimlerini sayısal olarak görelim.

Örnek10.5 :

Şekilde sayısal değerleri verilen devrede;

- $t=0$ da bobin uçlarındaki gerilimi,
- $t=5\tau$ da iken bobin uçlarındaki gerilimi,
- Zaman sabitini
- $t=0,4\text{ms}$ deki bobin uçlarındaki gerilimi,
- 3τ değerindeki bobin uçlarındaki gerilim değerini,
- $t=0,4\text{s}$ deki kaynaktan çekilen akımı bulunuz.

Çözüm10.5:



Şekil10.9 Örneğin şekli

Bulunan değerlere göre bobin uçlarındaki gerilim

a- $t=0$ anında $U_{L(t=0)} = U \cdot e^{-t(L/R)} = 24\text{V} \cdot e^{-0(50\text{mH}/100\Omega)} = 24\text{V} \cdot e^0 = 24\text{V}$

b- $t=5\tau$
 $U_{L(t=5\tau)} = U \cdot e^{-t(R/L)} = U \cdot e^{-5\tau/\tau} = U \cdot e^{-5} = 24\text{V} \cdot e^{-5} = 24\text{V} \cdot 0,0067 = 0,1608\text{V}$

c- $\tau = \frac{L}{R} = \frac{50\text{mH}}{100\Omega} = \frac{50 \cdot 10^{-3}\text{H}}{100\Omega} = 0,5\text{ms} = 0,5 \cdot 10^{-3}\text{s}$

d- $t=0,4\text{ms}$ $U_L = U \cdot e^{-t/\tau} = 24\text{V} \cdot e^{0,4 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot 10^{-3}} = 24\text{V} \cdot e^{-0,8} = 10,78\text{V}$

e- $t=3\tau$ $U_{L(3\tau)} = 24\text{V} \cdot e^{-3\tau/\tau} = 24\text{V} \cdot e^{-3} = 1,19\text{V}$

Kirşofun gerilimler kanunundan faydalanılarak aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$U = U_R(t) + U_L(t) \rightarrow U_R(t) = U - U_L(t)$$
$$U_R(t) = U - U \cdot e^{-t(L/R)} = U(1 - e^{-t(L/R)}) \text{ Volttur.}$$

buradan $t=0$ anında $U_L(t)=U$ kaynak gerilimine eşit olacağından $U_R(t)=0$ dır. Kirşofun gerilimler kanunundan kaynaktan çekilen akım aşağıdaki şekilde bulunabilir. (zaman değeri ms olarak verilmiş, bu zamanı saniyeye çevirmek gerekir)

$$i(t) = \frac{U_r}{R} = \frac{U}{R} \cdot (1 - e^{-t(\frac{L}{R})}) = \frac{24V}{100\Omega} \cdot e^{(-0,4 \cdot 10^{-3}) / (0,5 \cdot 10^{-3})} = 0,24 \cdot e^{-0,8} = 0,24 \cdot 0,45 = 0,1078A$$
$$i(t) = 107,8mA$$

BÖLÜM 1

ALTERNATİF AKIMIN TEMEL ESASLARI

1. DOĞRU VE ALTERNATİF AKIMIN KARŞILAŞTIRILMASI
2. SİNÜSOİDAL ALTERNATİF AKIMIN ELDE EDİLMESİ
3. ALTERNANS, PERİYOT, FREKANS
4. AÇISAL HIZ, DALGA BOYU
5. KUTUP SAYISI İLE DEVİR SAYISININ FREKANSA ETKİSİ
6. ALTERNATİF GERİLİM VE AKIMIN DEĞERLERİ
7. SİNÜSOİDAL BİR DALGANIN VEKTÖREL GÖSTERİLİŞİ
8. FAZ ve FAZFARKI

ALTERNATİF AKIMIN TEMEL ESASLARI

1. DOĞRU VE ALTERNATİF AKIMIN KARŞILAŞTIRILMASI

Elektrik enerjisi, alternatif akım ve doğru akım olarak iki şekilde üretilir. Bugün kullanılan elektrik enerjisinin %90'ından fazlası alternatif akım olarak üretilmektedir. Bunun çeşitli nedenleri vardır. Bunları sıra ile inceleyelim.

Elektrik enerjisinin uzak mesafelere ekonomik olarak iletilmesi için yüksek gerilimlere ihtiyaç vardır. Belirli bir güç, mesafe ve kayıp için iletim hattının kesiti, kullanılan gerilimin karesi ile ters orantılı olarak değişir. Doğru akımın elde edilmesinde kullanılan dinamolar (D.A. jeneratörü) yüksek gerilimli olarak yapılamazlar. Komütasyon zorluklarından dolayı, ancak 1500 volta kadar D.A. üreten jeneratörler yapılabilmektedir. Alternatif akım üreten alternatörlerden ise 230, 6300, 10500 ve 20000 volt gibi yüksek gerilimler elde edilebildiği gibi, transformatör denilen statik makinelerle bu gerilimleri 60 kV, 100 kV ve daha yüksek gerilimlere yükseltmek de mümkündür. Elektrik enerjisinin taşınması yüksek gerilimli alternatif akımlarla yapılır. Hattın sonundaki transformatörlerle bu yüksek gerilim, kullanma gerilimine dönüştürülür.

Cıva buharlı redresörlerle yüksek gerilimli alternatif akımı, yüksek gerilimli doğru akıma çevirerek enerjiyi taşımak ve hattın sonuna inverterlerle düşük gerilimli alternatif akıma çevirmek mümkün olduğu halde, uygulamada fazla kullanılmamaktadır.

Büyük güçlü ve yüksek devirli DA jeneratörleri komütasyon zorluklarından dolayı yapılamazlar. Alternatörler ise, büyük güçlü ve yüksek devirli olarak yapılabilirler. Böylece elde edilen enerjinin kilovat saat başına maliyeti ve işletme masrafları düşük olur. Alternatörler 200000 kVA, 400000 kVA gücünde yapılabilirler.

Sanayide sabit hızlı yerlerde alternatif akım motoru (endüksiyon motoru), doğru akım motorundan daha verimli çalışır. Endüksiyon motoru, D.A. motorundan daha ucuz, daha sağlam olup, bakımı da kolaydır. D.A. motorunun tek üstünlüğü, devir sayısının düzgün olarak ayar edilebilmesidir.

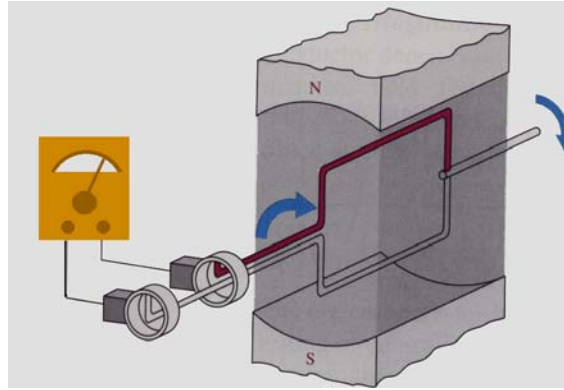
Doğru akımın tercih edildiği veya kullanılmasının gerekli olduğu yerler de vardır. Elektrikli taşıtlar, galvano teknik (maden kaplamacılığı) ve madenlerin elektrikle arıtılması tüm elektronik sistemler ve haberleşme sistemlerinde D.A.

kullanılır. Bu gibi yerlerde doğru akım genellikle, alternatif akımın D.A'a çevrilmesi ile elde edilir.

2. SİNÜSOİDAL ALTERNATİF AKIMIN ELDE EDİLMESİ

2.1 SİNÜSOİDAL EMK (ELEKTRO MOTOR KUVVET)

Şekil1.1 de görüldüğü gibi, N S kutuplarının meydana getirdiği düzgün manyetik alanın içinde bulunan iletken, kuvvet çizgilerini dik kesecek şekilde hareket ettirildiğinde, iletkende bir emk indüklenir.



Şekil2.1 Sinüsoidal emk'nın elde edilmesi

Ölçü aletinin ibresi sapar. İletken ters yöne doğru hareket ettirildiğinde, ölçü aletinin ibresi ters yönde sapar. İndüklenen emk'in yönü değişir. İletken manyetik kuvvet çizgilerine paralel olarak iki kutup arasında hareket ettirildiğinde, ölçü aletinin ibresi sapmaz. Yani iletkende hiçbir emk indüklenmez.

Faraday kanununa göre, bir iletken kuvvet çizgilerine dik olarak hareket ettirildiğinde bir saniyede 10^8 maksvellik bir akıyı kesiyorsa, bu iletkende 1 voltluk bir emk indüklenir.

Manyetik kuvvet çizgileri yoğunluğu B gavs (maksvel/cm²) iletkenin boyu (L) cm ve iletkenin hızı V cm/sn olduğuna göre, iletkenin bir saniyede tarayacağı alan (L.V) cm² ve iletkenin 1 saniyede kestiği manyetik çizgileri (BLV) maksvel olur.

İletkende indüklenen emk, CGS birim sisteminde $e=B.L.V. 10^{-8}$ volt

MKS sisteminde, $e = B \cdot L \cdot V$ Volt

B: Manyetik akı yoğunluğu, weber/m²

L: İletkenin boyu, metre

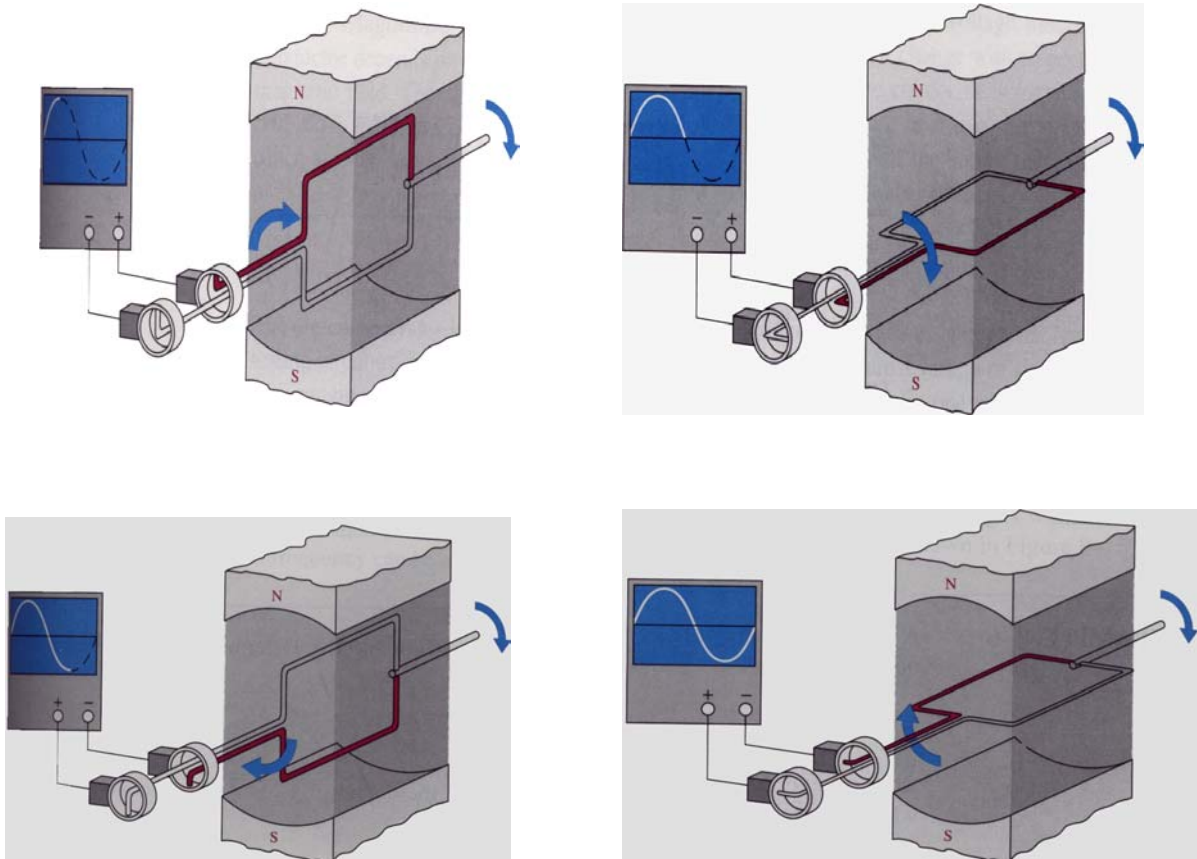
V: İletkenin hızı, m/saniye

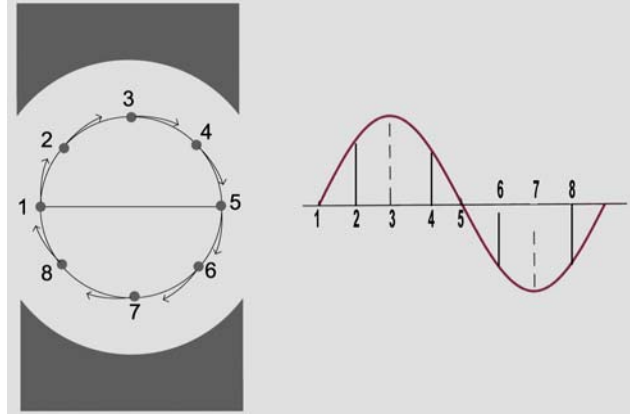
e: Emk, volt

Şekil1.2 deki elektromıknatısın N ve S kutupları arasında düzgün bir manyetik alanın olduğunu kabul edelim. Bu alanın içinde, saat ibresi yönünde dairesel olarak dönebilen düz bir iletken bulunuyor. İletken döndürüldüğünde, manyetik kuvvet çizgilerini kestiği için iletkende bir emk indüklenir.

Şekil1.2 (a) NS kutupları içinde iletken hareketi

(b) A.A dalga şekli





Alternatif akımın Osilaskop ekran görüntüsü

Şekil1.2a da görüldüğü gibi, V dairesel hızını 2 anında; manyetik kuvvet çizgilerine dik V_f ve manyetik kuvvet çizgilerine paralel V_t hızı olmak üzere iki bileşene ayırılır. V hızı ile döndürülen iletken 2 anında manyetik kuvvet çizgilerini V_f gibi bir hızla dik olarak keser. İletkenin manyetik kuvvet çizgilerini dik kesme hızı, $V_f = V \sin \alpha$ dır.

İletkende indüklenen emk, iletkenin manyetik kuvvet çizgilerini dik kesme hızı ile doğru orantılıdır. Hızın manyetik kuvvet çizgilerine paralel olan bileşeni $V_t = V \cos \alpha$ dır. Manyetik kuvvet çizgilerine paralel olan hız ile iletkende indüklenen emk arasında hiçbir ilişki yoktur. Yani, iletkenin manyetik kuvvet çizgilerine paralel hareket etmesi iletkende hiçbir emk indüklemeyiz.

Düzgün dairesel bir hızla düzgün bir manyetik alan içinde dönen iletkende emk,

$e = B \cdot L \cdot V \cdot \sin \alpha$ formülü ile hesaplanır.

Şekil1.2a daki iletkende, değişik anlarda indüklenen emk'leri bularak şekil1.2b deki emk eğrisi çizilebilir.

1. anında: İletken V hızı ile manyetik kuvvet çizgilerine paralel hareket ediyor. Bu anda $\alpha=0$ dır. İletken manyetik kuvvet çizgilerini dik olarak kesmiyor. Yani, $V_f = V \cdot \sin 0^\circ = 0$ dır. Şu halde 1. anında iletkende indüklenen emk sıfırdır.

2. anında: İletken manyetik kuvvet çizgilerini kesme açısı 45° dir. Manyetik kuvvet çizgilerini dik kesen hız bileşeni $V_f = V \cdot \sin 45^\circ$ dir. İletkende V_f ile orantılı olarak bir emk indüklenir.

3. anında: iletkenin manyetik kuvvet çizgilerini kesme açısı $\alpha=90^\circ$ dir. $V_f=V.\sin 90^\circ=V$ olur. İletkenin kestiği manyetik kuvvet çizgilerinin sayısı maksimum olduğundan, indüklenen emk da maksimum olur. 3 anında, iletken S kutbunun tam altındadır.

4. anında: iletken kuvvet çizgilerini $\alpha=135^\circ$ lik bir açı ile keser. Manyetik kuvvet çizgilerini dik kesen hız bileşeni 3 anından sonra azalmıştır. $V_f=V.\sin 235^\circ=V.\sin(90^\circ+45^\circ)$, 4 anında indüklenen emk azalır.

5. anında: iletken nötr eksenini üzerinde ve manyetik kuvvet çizgilerine paralel olarak V hızı ile hareket eder. $\alpha=180^\circ$ dir. $E=B.L.V.\sin 180^\circ=0$ volt olduğu görülür.

1,2,3,4 ve 5 anlarında iletken manyetik kuvvet çizgilerini soldan sağa doğru olan bir hareketle kesmiştir. 5. anından sonra iletkenin manyetik alan içindeki kuvvet çizgilerini dik kesen hareketinin yönü değişir. Sağdan sola doğru olur. Dolayısıyla, 5. anından sonra iletkende indüklenen emk'in de yönü değişir.

6. anında: iletken manyetik kuvvet çizgilerini kesme açısı $\alpha=180^\circ + 45^\circ = 225^\circ$ olur. İndüklenen emk negatif yönde biraz artmıştır.

7. anında: iletkenin manyetik kuvvet çizgilerini kesme açısı $\alpha=270^\circ$ yani 90° dir. Bu anda iletken N kutbunun altında ve kestiği akı maksimum olduğu için indüklenen emk de maksimum olur.

8. anında: İletken manyetik kuvvet çizgilerini dik kesme hızı azaldığı için indüklenen emk azalır. 1. anında indüklenen emk tekrar sıfır değerine düşer.

$\alpha=90^\circ$ iken, $v_f = V.\sin \alpha = V.\sin 90 = V$ olacaktır. Bu durumda iletkenin manyetik akıyı dik kesme hızı yüksek değerde olacağından, indüklenen emk de maksimum değerde olur.

$$e = B \cdot L \cdot V \cdot 10^{-8} = E_m$$

Buna göre, manyetik alan içinde dairesel olarak dönen düz bir iletkende indüklenen emk'in genel ifadesi,

$$e = E_m \cdot \sin \alpha$$

Olur. α açısının değerine göre, değişik anlarda indüklenen emk'in yönü ve değerini bu formülle ifade edilir. Alternatif gerilimin herhangi anındaki değeri bulunabilir. Diğer bir ifade ile bu formül alternatif gerilimin ani değer formülüdür.

Düzgün bir manyetik alan içerisindeki bir iletkenin uçlarında indüklenen emk'i adım adım incelendi. İletken indüklenen emk sıfırdan başlayarak 90^0 de pozitif maksimuma yükselip 180^0 de sıfıra düşmekte sonra ters yönde 270^0 de negatif maksimuma yükselip tekrar 360^0 de sıfıra düşmektedir. İletkenin sürekli dönmesi ile bu değişik periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Bu değişime göre elde edilen emk'e alternatif emk denir. Üretilen alternatif emk'in değişim eğrisi grafik olarak şekil1.2b de görülmektedir. Bu grafikte α açısı yatay ekseninde ve üretilen emk dikey ekseninde gösterilmiştir. Emk, α açısının sinüsü ile orantılı olarak değiştiğinden elde edilen bu eğri sinüs eğrisidir. Dolayısıyla, üretilen emk de sinüsoidal bir emk dır.

Örnek1.1

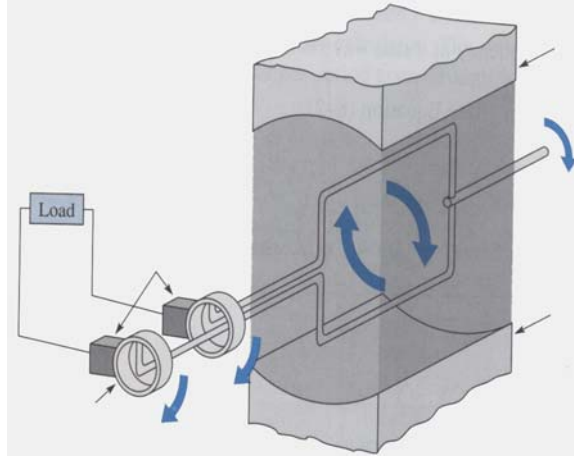
Manyetik alan içerisinde, sabit hızla döndürülen bir iletkene indüklenen emk'in maksimum değeri 24 voltur. Bu iletkenin $\alpha = 45^0$ iken indüklenen gerilimin ani değeri nedir?

Çözüm 1.1:

$$Em = 24 \text{ volt ani değer formülü} \quad e = Em \cdot \sin \alpha$$

$$\alpha = 45^0 \text{ ise} \quad \sin \alpha = \sin 45 = 0,707 \quad e = 24 \times 0,707 = 19 \text{ Volt}$$

Bir iletkende döndürülmekle elde edilecek emk küçük olur. Şekil1.3 de görüldüğü gibi, bir sarımlı bir bobin N ve S kutuplarının arasında döndürülürse, sarımın her iki kenarında indüklenen emk'ler birbirine eklendiği için tek iletken göre, iki kat emk elde edilir. N S kutupları arasına bir sarımlı bobin yerine (n) sarımlı bir bobin konur ve bobinin uçları da şekil1.3 deki gibi bileziklerle bağlanırsa, bobin döndürüldüğünde indüklenenecek olan emk'in (n) katı olur. Çünkü, (n) sarımın her birinde indüklenen emk'ler, birbirine seri bağlı olduğu için, birbirine eklenir. Bileziklere sürtünen fırçalar yardımı ile bobinde indüklenen sinüsoidal emk, bir alıcıya şekil1.3de görüldüğü gibi uygulanabilir.



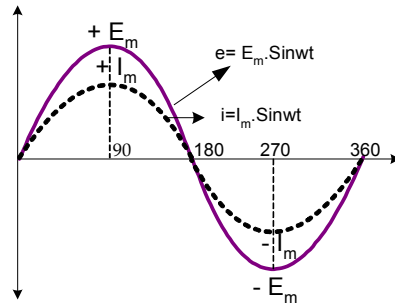
Şekil1.3 Üretilen emk'e yük direncinin bağlanması

Sinüsoidal emek R direncine uygulanınca devreden alternatif bir akım geçer. Ohm kanununa göre, herhangi bir anda dirençten geçen akım,

$$i = \frac{E_m \cdot \sin \alpha}{R} = \frac{E_m}{R} \sin \alpha \quad \text{ifadesinde, } E_m / R = I_m \text{ değeri yerine konulursa,}$$

$$i = I_m \cdot \sin \alpha$$

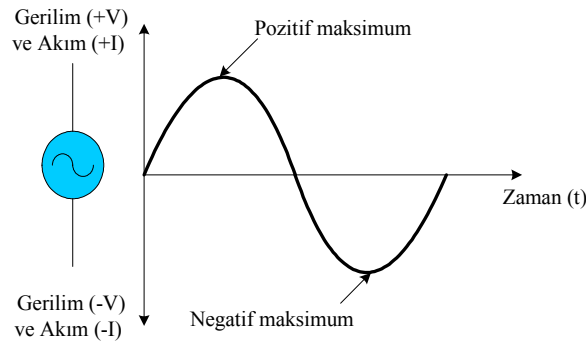
ifadesi akımın herhangi bir anındaki genel ifadesini verir. Bu akımda sinüsoidal bir akımdır. Şekil1. 4de emk ve akımın dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil1.4 Emk ve Akımın dalga şekilleri

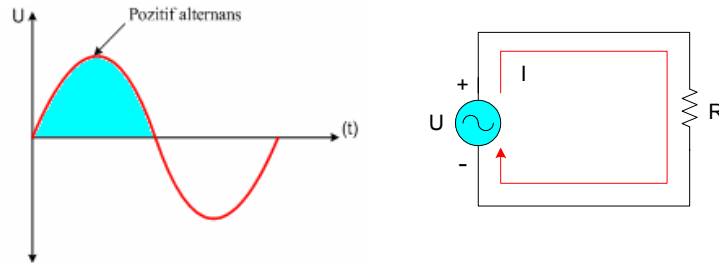
3. ALTERNANS, PERİYOT, FREKANS

Alternatif akımın üretilmesi mekanik jeneratörlerden elektronik olarak ise sinyal jeneratörlerinden elde edilebilir. Doğru akımda olduğu gibi alternatif akımında sembolü ve dalga şekli, şekil 1.5 de görüldüğü gibidir.

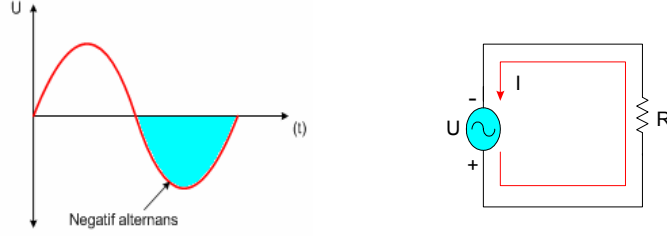


Şekil 1.5 A.A sembolü ve dalga şekli

Alternans: Alternatif akım şekil 1.5 de görüldüğü gibi sıfırdan pozitif maksimum değere daha sonra sıfıra gelme durumuna pozitif alternans, sıfırdan eksi maksimum değere daha sonra tekrar sıfıra gelmesine negatif alternans denir. İki alternansının birleşmesi ile bir saykıl (cycle) oluşur. Alternatif gerilimi bir devreye bağlanırsa akımın akışı alternanslara göre değişir. Bu değişim şekil 1.6 da olduğu gibidir.

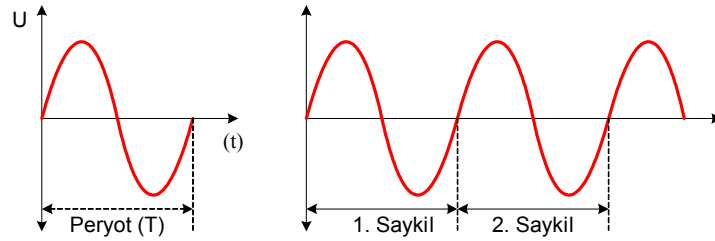


(a) Pozitif alternans: devrede oluşturduğu akımın yönü



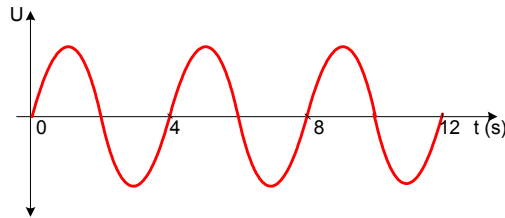
(b) Negatif alternans: devrede oluşturduğu akımın yönü
Şekil1.6

Periyot: Bir saykılın oluşması için geçen süreye periyot denir. N S kutbu arasındaki bir iletken veya bobin 360° derece döndürüldüğünde indüklenen emk bir sinüs dalgalık değişime uğrar. Bobine iki devir yaptırıldığında indüklenen emk iki sinüs dalgası çizer. Bir periyot 360° dir. Periyot T harfi ile ifade edilir. Birimi ise saniyedir. Şekil1.7de sinüsoidal dalganın periyodu görülmektedir.



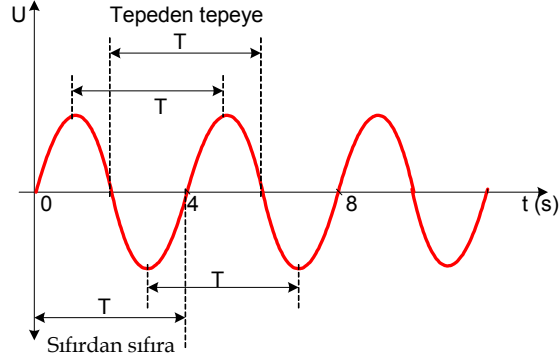
Şekil1.7 Sinüsoidal dalganın periyodu

Örnek3.1 Şekil1.8de görülen dalganın periyodu kaç saniyedir.



Şekil1.8

Çözüm3.1 Şekil1.9 da gösterildiği gibi periyodun belirlenmesinde sıfırdan sıfıra veya (pozitif, negatif) tepe değerinden tepe değerine olan zaman aralığına bakılarak bulunur.



Şekil1.9 Periyodu belirleme şekli

Bu açıklamalardan sonra dalga'nın periyodu 4s dir.

$$T=4 \text{ s}$$

Frekans: Alternatif akım veya gerilimin bir saniyede oluşan periyot sayısına veya saykıl sayısına frekans denir. Frekans f harfi ile ifade edilir. Birimi saykıl/saniye, periyot/saniye veya Hertz'dir. Periyot ile frekans arasındaki ifade şu şekildedir.

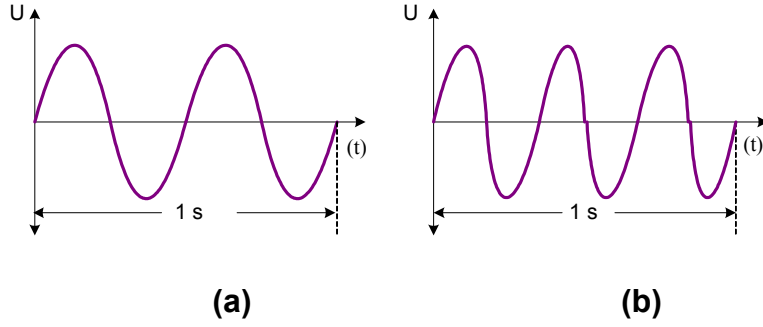
$$f = \frac{1}{T} \quad T = \frac{1}{f}$$

Frekansın birimi olan hertz'in as katları mevcut değildir. Üst katları ise kiloherzt, megaherzt ve gigaherzt olarak sıralanabilir. Bu dönüşümler ise;

$$1\text{Hz} = 10^{-9} \text{ GHz}$$

$$1\text{Hz} = 10^{-6} \text{ MHz}$$

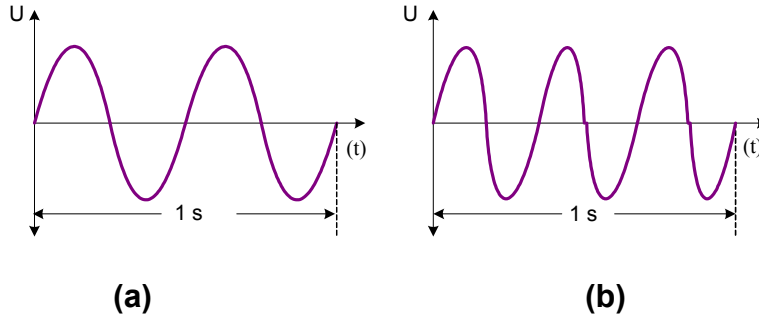
$1\text{Hz} = 10^{-3} \text{ kHz}$ kendi aralarında biner biner büyür ve küçülür. Şekil1.10da düşük ve yüksek frekans görülmektedir. Dikkat edilirse (a) da bir saniyede iki saykıl oluşurken (b)de ise üç saykıl oluşmaktadır. Bu duruma göre de dalgaların frekansı değişmektedir. Türkiye de kullanılan alternatif gerilimin frekansı 50 Hz olduğu da bilinmelidir. Bu demektir ki sinüsoidal dalga bir saniyede elli kez oluşmaktadır.



Şekil1.10

Örnek3.2

Şekil1.10 da verilen gerilimin frekansını bulunuz.



Şekil1.10

Çözüm3.2

Önce (a) daki dalga şeklinin frekansını bulmak için bir saniyedeki saykıl sayısı bulunur. Burada 1 saniyede iki saykıl oluşmaktadır. Bu durumda periyot $T=1/2=0.5$ s dir.dalganın frekansı ise;

$$f = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ Hz}$$

Şekil1.10 (b)deki dalga şeklinin frekansını bulmak için ise bir saniyedeki saykıl sayısı bulunur. Burada 1 saniyede üç saykıl oluşmaktadır. Bu durumda periyot $T=1/3=0.3333$ s dir.dalganın frekansı ise;

$$f = \frac{1}{0.3333} = 3 \text{ Hz}$$

Örnek3.3

Alternatif gerilimin bir periyodunun oluşması için geçen süre 10 ms ise bu gerilimin frekansı nedir?

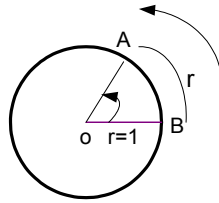
Çözüm3.3

Alternatif gerilimin periyodu bilindiğine göre frekansla periyot arasındaki ilişki formülünden;

$$T=10 \text{ ms} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ s} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10 \text{ ms}} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 100 \text{ Hz bulunur}$$

4. AÇISAL HIZ, DALGA BOYU

Açısal Hız: N ve S kutupları arasında dönen bir bobinde indüklenen emk'in frekansı, bobinin devir sayısı ve bobinin açısal hızı ile doğru orantılıdır. Döndürülen bir bobinin birim zamanda kat ettiği açıya açısal hız denir. Açısal hız, derece/saniye veya radyan/saniye ile ifade edilir.



Şekil1.11

Şekil1.11 de görüldüğü gibi, yarıçapı r olan bir çember üzerindeki A noktası hareket ederek tekrar A noktasına geldiğinde katettiği yol $2\pi r$ ve taradığı açıda 360° dir. A noktasının çember üzerinde yarı çap kadar bir yol alarak B noktasına geldiğinde, katettiği açıya 1 radyan denir. A noktası bir devrinde ($2\pi r / r = 2\pi$) radyanlık bir açıyı taramış olur. Yarı çapı 1 olan bir çember üzerindeki bir noktanın bir devrinde katettiği açı 2π radyandır. Şu halde, 360 derece 2π radyana, π radyan 180° eder. Açısal hız genellikle radyan/saniye ile ifade edilir. Ve ω (omega) harfi ile gösterilir. N ve S kutupları arasında döndürülen bir bobinin açısal hızının ω rad/s oluşunu kabul edelim. Bobinin her hangi bir t saniyede katettiği açı ωt dir. Bobinde indüklenen emk'in herhangi bir anındaki değeri $e = E_m \cdot \sin \alpha$ dir. α bobinin herhangi bir t zamanında katettiği açı olduğuna göre,

$$\alpha = \omega t \text{ yazılabilir. Emk} \quad e = E_m \cdot \sin \omega t \text{ olur.}$$

Bir sinüs dalgası (1 periyot) 360° yani 2π radyandır. Frekansı (f) olan bir emk, bir saniyede f tane periyot çizer. Emk'in açısal hızı,

$\alpha = 2\pi f$ radyan/saniye olur. Bu değer emk formülünde yerine konulursa alternatif gerilimin herhangi bir anındaki değer formülü ortaya çıkar.

$e = E_m \cdot \sin \alpha = E_m \cdot \sin \omega t = \mathbf{E_m \cdot \sin 2\pi f t}$ olur.

Örnek3.4: Bir alternatörde üretilen 60 Hz frekanslı sinüsoidal emk'in maksimum değeri 100 Volttur. Emk'in açisal hızını 0,005 saniyedeki ani değerini hesaplayınız.

Çözüm3.4: Açisal hız, $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 60 = 377 \text{ rad/s}$

$T = 0,005$ saniyedeki α açısı, $\alpha = \omega t = 377 \cdot 0,005 = 1,89$ radyan bulunur.

$$\alpha = 1.89 \cdot (360 / 2\pi) = 1,89.57,3^0 = 108^0 \quad \sin \alpha = \sin 108^0 = 0,951$$

$$e = E_m \cdot \sin \alpha = 100 \cdot 0,951 = 95,1 \text{ Volt}$$

Dalga Boyu: Elektrik akımı saniyede 300000 km'lik bir yol kat eder. Akımın frekansı f olduğuna göre, bir saniyede f kadar dalga meydana getirir. Bir dalganın kapladığı mesafeye Dalga Boyu denir. λ (lamda) harfi ile gösterilir. Birimi metredir.

$$\lambda = \frac{300000}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}$$

λ : Dalga boyu, metre f : Frekans, periyot/s = Herzt

Örnek3.5: Frekansı 50 Hz olan alternatif akımın dalga boyu kaç metredir?

Çözüm3.5:
$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{50} = 6 \cdot 10^6 \text{ metre}$$

Örnek3.6: Dalga uzunluğu 1600 m olan İstanbul radyosunun yayın frekansını bulunuz?

Çözüm3.6:
$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{f} \text{ formüden } f \text{ çekersek; } f = \frac{3 \cdot 10^8}{1600} = 187 \text{ kHz}$$

5. KUTUP SAYISI İLE DEVİR SAYISININ FREKANSA ETKİSİ

Şekil1.2 (a) da olduğu gibi N ve S kutupları arasındaki iletkenin bir devrinde iletken 360° veya 2π radyanlık bir açı kat eder. İletkende bir periyotluk bir emk indüklenir. İletken dakikada N devirle döndürülürse, indüklenen emk'in frekansı $(n/60)$ herz olur. Şu halde, indüklenen emk'in frekansı, saniyedeki devir sayısı ile doğru orantılıdır. Kutup sayısı arttıkça dalga sayısı da artacağından frekansta bu doğrultuda artacaktır.

Bir alternatif akım alternatörünün kutup sayısı (2P) ve dakikadaki devir sayısı da N olduğuna göre, indüklenen emk'in frekansı,

$$f = \frac{P \cdot N}{60}$$

formülü ile hesaplanır. Formüldeki harflerin anlamları;

f: Frekans, Herzt

P: Çift kutup sayısı (aynı adlı kutup sayısı)

N: Dakikadaki devir sayısı, Devir/dakika

Dört kutuplu bir alternatörde rotorun bir devrinde iletken 360° lik bir geometrik açıyı katetmiş olur. Emk ise (2.360) elektriki derecelik açıyı kat eder.

Örnek3.7

4 kutuplu bir alternatörden, 50 Hz frekansı ve 100 Hz frekanslı alternatif akım üretilmek için, rotor kaç devirle döndürülmelidir?

Çözüm3.7: $f = \frac{P \cdot N}{60}$ formüden N çekersek; $N = \frac{60 \cdot f}{P}$

$$f = 50 \text{ Hz} \quad N = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ d/d} \quad f=100 \quad N = \frac{60 \cdot 100}{2} = 3000 \text{ d/d}$$

Örnek3.8:

6 kutuplu bir alternatör 1000 d/d ile döndürülmektedir. Üretilen emk'in maksimum değeri 200 voltur. (a) Frekansı; (b) Açısal hızı (c) $t=0,01$ saniyedeki emk'in değerini hesaplayınız?

Çözüm3.8:(a)

$$f = \frac{P \cdot N}{60} = \frac{3 \cdot 1000}{60} = 50 \text{ Hz}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 2.3,14.50 = 314 \text{ radyan/s}$$

$$\alpha = \omega t = 314.0,01 = 3,14$$

(b) $\text{derece} = \left(\frac{180^0}{\pi(\text{rad})}\right).rad = \left(\frac{180^0}{\pi}\right).3,14 = 180^0$

(c) $e = E_m.\sin\omega t = E_m.\sin 180^0 = E_m.0 = 0 \text{ Volt}$

Kutup Sayısı(2P)	2	4	6	8	10	12
Devir Sayısı (d/d)	3000	1500	1000	750	650	500

Tablo3.1 50 Hz Frekansı alternatörün kutup sayıları ve devirleri

6. ALTERNATİF GERİLİM VE AKIMIN DEĞERLERİ

Ani Değer: Alternatif akımın elde edilişi incelenirken manyetik kutuplar arasında hareket eden iletken manyetik kuvvet çizgilerinin kesme açısına göre bu iletkende bir gerilim indüklemesi meydana gelmekte ve bu gerilim değeri an ve an değişmekte olduğu görülmekte idi. Bu durumda gerilimin veya akımın herhangi bir anındaki değerine ani değer olarak tanımlamak gerekir. Ani değer küçük harflerle ifade edilir. Gerilim u , akım i , güç p gibi. Alternatif gerilimin herhangi bir zamandaki değerini;

$$e = E_m.\sin\omega t = E_m.\sin\alpha$$

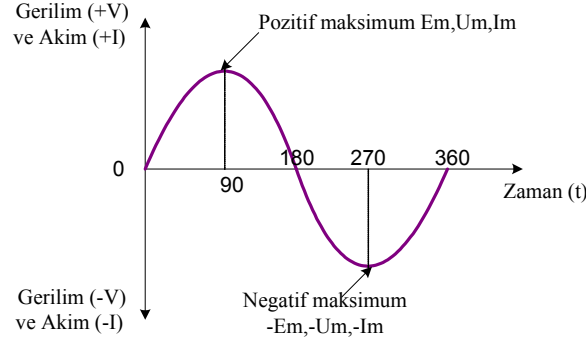
bulunur. Alternatif akımın ani değeri ise;

$$i = I_m.\sin\omega t = I_m.\sin\alpha$$

bulunur. Alternatif gerilim ve akımın n tane ani değerini bulmak mümkündür.

Maksimum Değer: Alternatif akımın elde edilmesi incelenirken şekil1.2 de görüldüğü gibi iletken üçüncü konumda iken en büyük emk indüklenmekte idi. İletken başlangıç konumundan, bu konuma gelmesi için 90° lik bir dönme yapması gerekir. Yedinci konumda, yani iletkenin 270° lik dönmesi sonunda yine en büyük emk indüklenmekte, fakat yönü ters olmakta idi. İşte alternatif

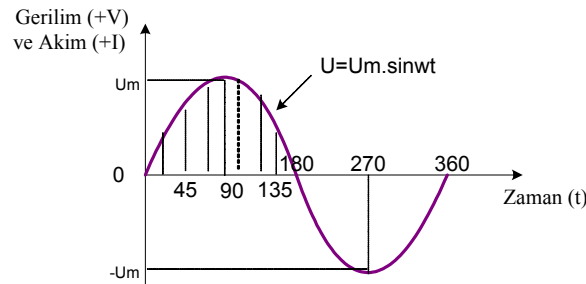
emk'in bu en büyük değerlerine “tepe değeri” veya “maksimum değeri” denir. Maksimum değeri emek için E_m , gerilim için U_m ve akım için I_m sembolleri ile gösterilir. Şekil1.12de görüldüğü gibi.



Şekil1.12 Alternatif akımın maksimum değerleri

Ortalama Değer: Alternatif gerilimin veya akımın yarım periyot içinde aldığı bütün ani değerlerin ortalamasına “ortalama değeri” denir. Büyük harflerle ifade edilir. Ortalamayı ifade eden “or” kısaltması konulur. $U_{or}(avg)$, I_{or} , P_{or} gibi

Alternatif akımın bir periyodunda pozitif alternans ve negatif alternanslar vardır. Pozitif alternans ve negatif alternanslar birbirlerine eşit olduğu için bir periyodun ortalama değeri sıfırdır. Fakat yarım periyodun ortalama değeri sıfır değildir. Alternatif akımın eğrisi sinüs eğrisi olduğu için bu eğrinin ortalama değerini elde etmek için, eğrinin yarım periyodu üzerinde eşit aralıklı ani değerler alınır ve bunların ortalaması bulunur. Diğer bir ifade ile yarım periyodun alanı taranarak taranma değerine bölümü ile de bulunur.



Şekil1.13

Şekil1.13de görülen sinüsoidal gerilimin yarım alternansında her 5° derece için ani değerleri hesaplanırsa bu yarım alternansta 36 ani değer vardır. Elde edilen gerilimi 36'ya bölündüğünde ortalama değer ortaya çıkar. Ortalama değer=ani değerler toplamı/ani değer sayısı=0,636 Um

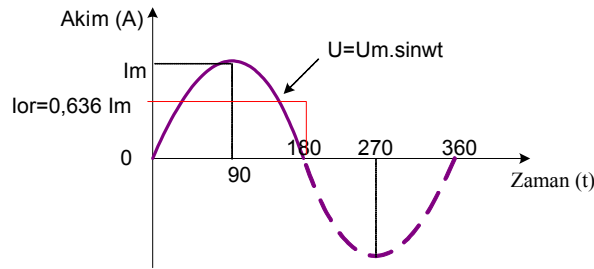
Bu alan integral ile bulunur ve alan yarım periyoda bölünerekten aynı sonuç bulunabilir.

$$U_{ort} = \frac{1}{T/2} \int U_m \cdot \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_m \cdot \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2 \cdot U_m}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \omega t d(\omega t)$$

$$= \frac{U_m}{\pi} (-\cos(\omega t)) \Big|_0^{\pi} = \frac{U_m}{\pi} (-\cos(\pi) - (-\cos(0))) = \frac{U_m}{\pi} (-(-1) - (-1)) = \frac{U_m}{\pi} \cdot (2)$$

$$= \frac{2 \cdot U_m}{\pi} = 0,636 \cdot U_m \text{ bulunur}$$

Bu sonuçlardan sonra şu tespit yapılabilir. Bir sinüs eğrisinin ortalama değeri, maksimum değerinin 0,636 katına eşittir. Bu sinüsoidal akım içinde aynen geçerlidir. Şekil1.14 de akımın ortalama değeri $I_{or}(I_{avg})$ görülmektedir.



Şekil1.14

Efektif (Etkin) Değer: Alternatif akımda en çok kullanılan değer, etkin değerdir. Bu değer; bir dirençten geçen alternatif akımın, belirli bir zamanda meydana getirdiği ısı enerjisine eşit bir enerjiyi, aynı dirençten geçen doğru akım aynı zamanda meydana getiriyorsa, doğru akımın değerine alternatif akımın etkin değeri denir. Şekil1.15 de alternatif akım ve doğru akıma bağlanan dirençler aynı ısıyı verir. Büyük harflerle ifade edilir. U, I, E, P gibi veya $U_{eff}=U_{rms}$ gibi. Alternatif akımın veya gerilimin ölçü aleti ile ölçülen değeridir.



Şekil1.15 DC gerilime eşdeğer olan A.A efektif değeri

Alternatif akımda işi yapan gerilim efektif değeridir. Bu değeri bir periyotta ani değerlerin karesinin ani değer sayısına bölümünün kare köküne eşit olarak tanımlanır.

Gerilimin etkin değeri;

$$U = \sqrt{\frac{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}{n}} = 0,707U_m$$

Akımın etkin değeri;

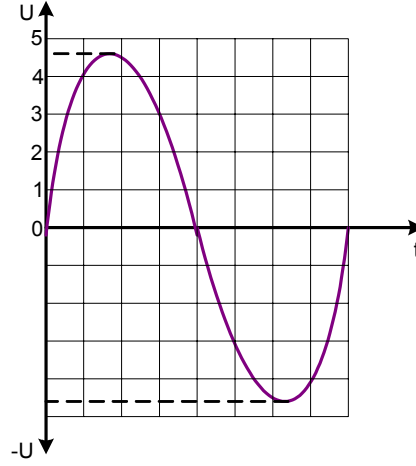
$$I = \sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_n^2}{n}} = 0,707I_m$$

formülleri ile bulunur. Buradan da görüldüğü gibi efektif değer tepe değerinin 0,707 katına eşittir. Bu bulunan değeri entegrale de bulunabilir.

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{2\pi} (U_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707U_m$$

Örnek3.9:

Şekil1.16 da görülen alternatif gerilimin tepe(U_p), tepeden tepeye (U_{pp}), efektif (U_{eff}) ve ortalama (U_{ort}) değerlerini bulunuz.



Şekil1.16

Çözüm3.9: Alternatif dalganın tepe eğeri $U_p=U_m=4,5$ V olduğu görölür. Bu değer ile diğer alternatif gerilim değerleri formüllerle bulunur.

$$U_{pp} = 2U_p = 2.(4,5) = 9V$$

$$U_{eff} = U_{rms} = 0,707U_m = 0,707.(4,5) = 3,18V$$

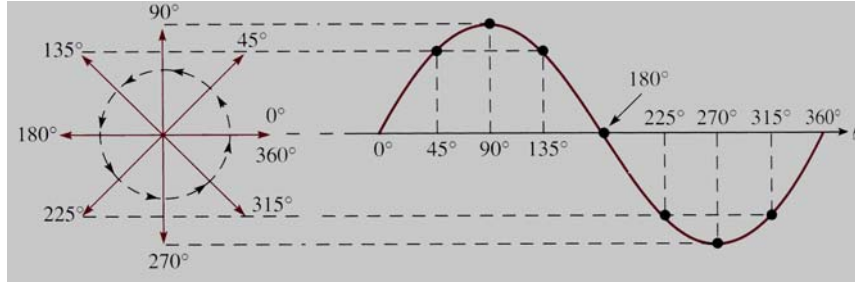
$$U_{ort} = U_{avg} = 0,636U_m = 0,636.(4,5) = 2,87V$$

bulunur.

7. SİNÜSOİDAL BİR DALGANIN VEKTÖREL GÖSTERİLİŞİ

Büyükölükler genellikle, skalar ve vektörel büyükölüklerdir. Yalnız genliği olan büyükölükler skalarlardır. Kütle, enerji ve sıcaklık derecesi gibi değerleri gösteren büyükölükler skalarlardır ve bunlar cebirsel olarak toplanabilirler. Genliği, doğrultusu ve yönü olan büyükölük vektörel bir değer skalar büyükölükleri ihtiva eder. A.A. devrelerine ait akım, gerilim, emk ve empedans gibi değerler vektörelidir. A.A gerilim sinüsoidal bir dalga şeklinde olduğundan bunun vektörel gösterimi açıklamak gerekir.

Şekil1.7 görülen B vektörünün, saat ibresinin ters yönünde ω (omega) açısal hızı ile döndüğünü kabul edelim. Herhangi bir t anında, B vektörünün katettiği açı $\alpha=\omega t$ dir. B vektörünün dik bileşeni (Y eksenindeki bileşeni) $B.\sin\alpha$ veya $B.\sin\omega t$ dir. Değişik zamanlardaki B vektörünün durumunu gösteren katettiği açılar X eksenini üzerinde alındıktan sonra vektörün bu anlardaki düşey bileşenleri

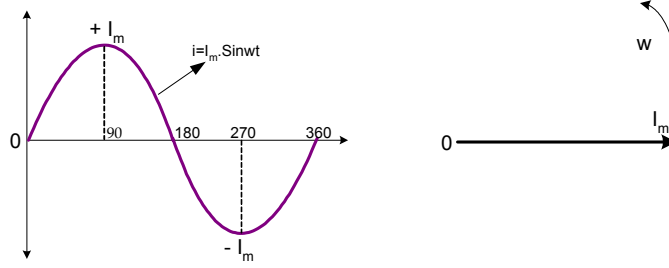


(a)

(b)

Şekil1.7 Dönen vektörün oluşturduğu sinüs eğrisi

taşındığında şekil1.7 (b)deki sinüs eğrisi elde edilir. Sinüs eğrisinin maksimum değeri, B vektörünün genliğine (boyuna) eşittir. Şu halde bir sinüs eğrisi, ω açısal hızı ile dönen ve genliği sinüs eğrisinin maksimum değerine eşit olan bir vektörle gösterilebilir.

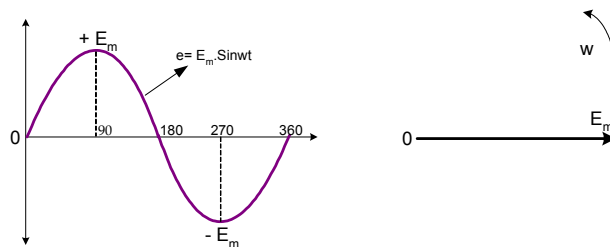


(a)

(b)

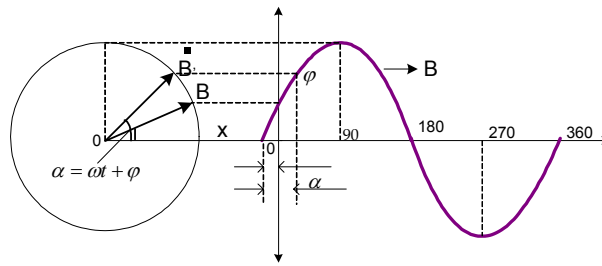
Şekil1.8 Sinüsoidal akım ve vektörel gösterimi

$i = I_m \sin \omega t$ alternatif akımını, maksimum değeri I_m olan ve ω açısal hızı ile saat ibresinin ters yönünde dönen bir vektörle, şekil1.8 (b) deki gibi gösterebiliriz. $e = E_m \sin \omega t$ emk'in eğrisi ve vektörel gösterilişi şekil1.9 görülmektedir.



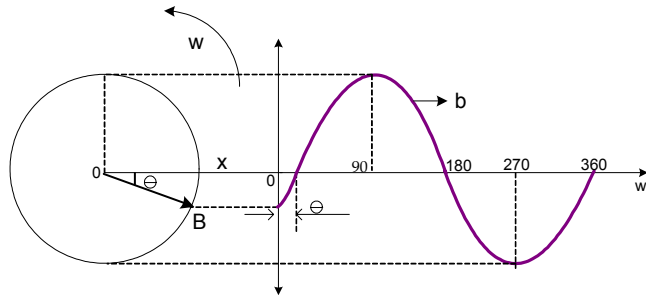
Şekil1.9 Sinüsoidal emk ve vektörel gösterimi

Dönen B vektörünün $t=0$ anında X eksenini (referans eksenini) ile θ açısı yaptığını kabul edelim. Vektörün herhangi bir t anında X eksenini ile yaptığı açı $\alpha=(\omega t+\theta)$ dır. Bu andaki vektörün düşey bileşeni $B \cdot \sin(\omega t+\theta)$ olur. $t=0$ anında düşey ($B \sin\theta$) olduğundan, B vektörü saat ibresine ters yönde ω açısal hızı ile döndüğünde çizeceği sinüs eğrisi, sıfır değerinden değil ($B \cdot \sin\theta$) gibi bir değerden başlar. Şekil1.10 deki sinüs eğrisinin herhangi bir andaki değeri ile $b=B \cdot \sin(\omega t+\theta)$ ifade edilebilir.



Şekil1.10

X ekseninden θ kadar geride olan B vektörünün ω açısal hızı ile saat ibresinin ters yönünde dönmesi ile çizeceği sinüs eğrisi Şekil1.11 de görülüyor. Sinüs eğrisi $t=0$ anında ($A \cdot \sin\theta$) gibi negatif bir değerden başlar. Bir zaman sonra $\omega t=\theta$ olduğunda B vektörü yatay referans eksenini üzerine gelir.

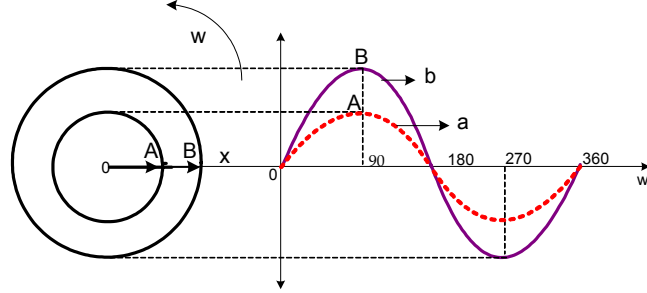


Şekil1.11

A vektörünün düşey bileşeni sıfır olur. bu anda eğri de sıfırdır. t anında, B vektörünün X eksenini ile yaptığı açı ($\alpha=\theta$) olur. Sinüs eğrisinin herhangi bir anındaki değeri,

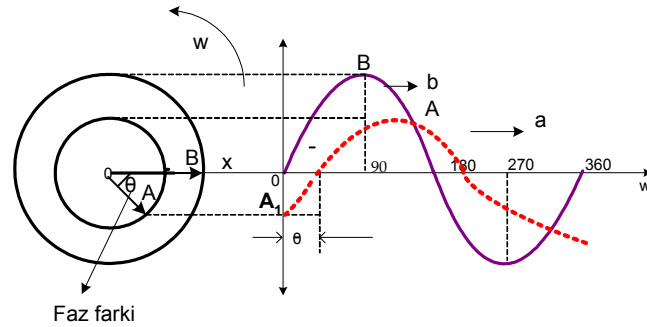
$b=B \cdot \sin(\omega t-\theta)$
ile ifade edilir.

X ekseninde bulunan genlikleri farklı A ve B vektörleri, ω açısal hızı ile saat ibresinin ters yönünde döndürüldüklerinde çizicekleri sinüs eğrileri Şekil1.12 de görülüyor. Bu iki sinüs eğrisi, aynı anda sıfır ve aynı anda maksimum değerlerini alırlar. Sadece genlikleri farklıdır.



Şekil1.12 Aynı fazlı iki vektörün sinüs eğrisi

X ekseninde bulunan B vektörü ve θ kadar geride A vektörü ω açısal hızı ile döndürüldüğünde çizicekleri sinüs eğrileri Şekil1.13 görüldüğü gibi olur.



Şekil1.13 Aralarında θ açısı olan iki vektörün sinüs eğrisi

B eğrisi sıfır değerinden başladığı halde, A eğrisi $(-A_1)$ değerinden başlar, θ° kadar sonra A eğrisi sıfır değerini alır. B (+) maksimum değerini aldıktan sonra da A (+) maksimum değerini aldıktan θ kadar sonra A (+) maksimum değerine ulaşır. B ve A eğrileri şu şekilde ifade edilir.

$$b = B \cdot \sin \omega t \quad a = A \cdot \sin(\omega t - \theta)$$

8 FAZ ve FAZFARKI

Alternatif akım ve emk'leri gösteren vektör veya eğrilerin başlangıç eksenine (x eksenine veya referans eksenine) göre bulundukları duruma faz denir. Üç çeşit faz vardır. Bunlar sıfır faz, ileri faz ve geri fazlardır.

Sıfır faz: Eğer sinüsoidal bir eğri $t=0$ anında sıfır üzerinden başlayarak pozitif yönde artıyorsa, bu eğriye sıfır faz eğrisi denir. Eğer ω açısal hızı ile saat ibresinin ters yönde dönen bir vektörün $t=0$ anında referans eksenini ile yaptığı açı sıfır ise bu vektöre sıfır faz vektörü denir. Şekil1.7 de sıfır fazlı bir alternatif gerilim eğrisi görülmektedir.

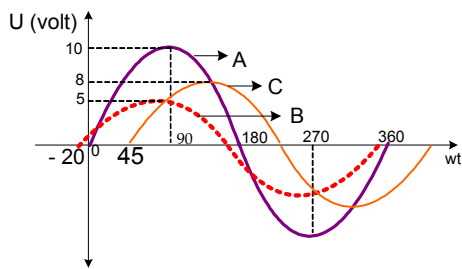
İleri faz: Şekil1.10 daki B vektörü ileri faz vektörü ve eğrisi de ileri faz eğrisidir.

Geri faz: Şekil1.11 deki B vektörü geri faz vektörü ve eğride geri fazlı eğridir. Çünkü, $t=0$ anında B vektörü X ekseninden θ kadar geridedir. Çünkü, $t=0$ anında B vektörü X ekseninden θ kadar geridedir. Belirli bir zaman geciktikten sonra, B vektörü referans eksenini üzerine gelir ve bu anda da eğri sıfır değerindedir.

Faz Farkı: Vektörlerin ve eğrilerin aralarında bulunan açı veya zaman farkına faz farkı denir. Kısaca eğriler arasındaki zaman farkıdır. Alternatif akım sinüsoidal bir eğri olduğundan vektörel toplama ve vektörel olarak çıkartılması gerekir. Çünkü alternatif akımın veya gerilimin zamana göre değişmektedir. İlerleyen konularda faz ve faz farkı oluşturan durumlar meydana gelecektir. Bundan dolayıdır ki konunun anlaşılması için bu konu üzerinde biraz fazla durulmuştur. Fakat daha da detaya girilmemiş bu detaylar diğer mesleklerin ana konularıdır.

Örnek3.10

Şekil1.14 de A, B ve C alternatif gerilim eğrileri çizilmiştir. Alternatif gerilimlerin fonksiyonlarını, faz durumlarını ve yazarak 90° deki gerilim değerini bulunuz.



Şekil1.15

Çözüm3.10:

Alternatif gerilimin eğrilerinin faz durumuna bakıldığında A ile gösterilen alternatif gerilim 0 fazlı, B ile gösterilen alternatif gerilim 20° ileri fazlı, C ile gösterilen alternatif gerilim ise 45° geri fazlıdır. Bu doğrultuda alternatif gerilim denklemleri aşağıdaki gibi olur.

$$u_A = U_m \cdot \sin \theta \quad \text{veya} \quad u_A = U_m \cdot \sin \alpha = 10 \sin 90^\circ = 10 \text{ V}$$

$$u_B = U_m \cdot \sin(\theta + \varphi_B) \quad \text{veya} \quad u_B = U_m \cdot \sin(\alpha + \varphi_B) = 5 \sin(90^\circ + 20^\circ) = 5 \sin(110^\circ) = 4,7 \text{ V}$$

$$u_C = U_m \cdot \sin(\theta - \varphi_C) = 8 \cdot \sin(90^\circ - 45^\circ) = 8 \cdot \sin(45^\circ) = 8 \cdot \sin(0,707) = 5,66 \text{ V}$$

BÖLÜM 2

ALTERNATİF AKIM DEVRELERİ

DEVRE ELEMANLARI

Alternatif akım devrelerinde akımın geçişine karşı üç çeşit direnç gösterilir. Devre elemanları dediğimiz bu dirençler; R omik direnç, L endüktansın endüktif direnci ve C kapasitansın kapasitif direncinden ibarettir. Bu elemanlar devrelerde tek olarak kullanılabildiği gibi hepsinin bir arada kullanıldığı devreler de mevcuttur. Bu elemanların alternatif gerilimdeki davranışları incelenecektir.

TEMEL DEVRELER

Alternatif akımda üç çeşit devre vardır. Banlar; dirençli devreler(omik devre), bobinli devre(endüktif devre) ve kondansatörlü devre (kapasitif devre) dir. Temel devrelere uygulanan U gerilimi ve devrenin I akımı etkin değerlerdir. I devre akımı, uygulanan gerilime ve devre elemanının direncine bağlı olarak değişir. Devre elemanları D.C de olduğu gibi alternatif akımda da seri, paralel ve seri-paralel (karışık) bağlanırlar. Devre elemanlarının ideal olması; R omik direncinde endüktif direnç etkisinin bulunmaması, L ve C elemanlarında omik direnç etkisinin ve güç kaybının olmaması demektir.

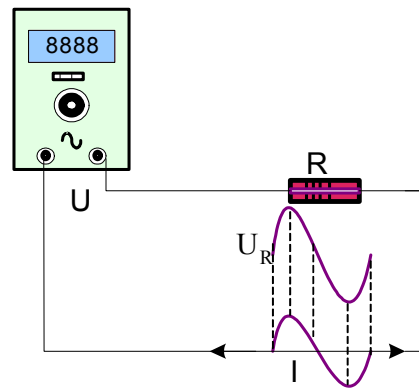
1 OMİK DEVRE

1.1ALTERNATİF AKIMDA DİRENÇ

Alternatif akım devrelerinde, endüktif ve kapasitif etkisi bulunmayan saf dirence omik direnç denir. R harfi ile gösterilerek birimi ohm(Ω) dur. Direnç olarak çeşitli değerlerde ve güçlerde elemanlar olduğu gibi elektrikli ısıtıcılar, ızgara ve ütü gibi elektrikli ev aletleri de mevcuttur. Saf omik dirençli bütün amaçların, eşit gerilimli doğru akım ve alternatif akım devrelerinde kaynaklardan çektikleri akımlar da birbirine eşittir. Yüksek frekanslı A.A devrelerinde kullanılan büyük kesitli bir iletkenin direnci, D.A daki direncinden biraz daha büyüktür. A. A. Daki iletkenin etkin kesiti biraz daha küçük olur. A da direncin büyümesi, iletken kendi içinde alternatif akım değişimleri dolayısı ile doğan emk'den ileri gelir. Bu emkler akımı iletkenin dış yüzeyine doğru iterler. Buna deri olayı denir. 50 Hz frekanslı A.A devrelerinde bu olay o kadar değildir.

1.2 OMİK DEVREDE OHM KANUNU

Alternatif gerilime bağlanan bir direnç şekil2.1 de görülmektedir. Direnç uçlarına sinyal generatöründen sinüzoidal bir gerilim uygulandığında bu direnç üzerinden bir akım akışı olacaktır. Bu akımın dalga şekli de uygulanan alternatif gerilimin dalga şekli ile aynıdır. Değişen sadece genliği olacaktır. Bu dalga şekli devre üzerinde gösterilmiştir.



Şekil2.1 Omik devre

Sinyal generatöründen direnç uçlarına uygulanan $u=U_m \sin \omega t$ sinüzoidal alternatif gerilim uygulandığında direnç üzerinden geçen alternatif akım ohm kanunu ile bulunur.

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t \quad \text{Akımın} \quad \text{maksimum} \quad \text{değeri}$$

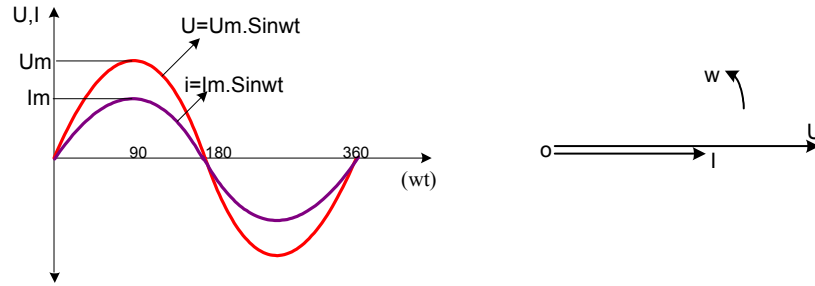
$I_m = \frac{U_m}{R}$ olduğundan, alternatif akımın ani değeri aşağıdaki şekli alacaktır.

$$i = I_m \sin \omega t$$

Bu değer in dalga şekli şekil2.1 de devre üzerinde görülmektedir. Alternatif akımın herhangi bir zamandaki değerini bu formüle bulmak mümkündür. Eğer herhangi bir zamandaki değeri değil de etkin değer olarak direncin üzerinden geçen akım;

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \Rightarrow U_m = \sqrt{2} \cdot U \Rightarrow \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{U_m}{R}}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2} \cdot R} = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{\sqrt{2} \cdot R} = \frac{U}{R}$$

olur. Bu değeri ampermetre ile ölçülerek bulunabilir. A.A devresinde saf bir omik direnç, D.A devresinde de aynı etkiyi gösterir. Bu nedenle doğru akımda kullanılan kanunlar aynen alternatif akım devrelerinde de uygulanır.

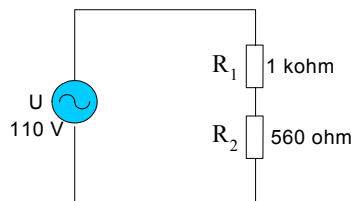


Şekil2.2

Şekil2.2 de omik direnç uçlarına uygulanan gerilimin ve direnç üzerinden geçen akımın dalga şekli ve vektör diyagramı görülmektedir. Alternatif bir gerilim bir direnç uçlarına uygulandığında direncin uçlarındaki gerilim doğrultusundan direnç üzerinden geçen akım artmakta, direnç uçlarındaki gerilim değeri azaldıkça bunun paralelinde akımda azalmaktadır. Bu durum Şekil2.2 de görüldüğü gibi gerilimin maksimum olduğu yerde akımda maksimum, gerilimin sıfır olduğu yerde akımda sıfır olmaktadır. Bu nedenle akımla gerilim aynı fazdadır. Direnç elemanı akımla gerilim arasında bir faz farkı oluşturmamaktadır. Vektör gösteriminde I akımın etkin değeri, U ise gerilimin etkin değerini göstermektedir.

Örnek2.1

Şekil2.3 deki devrede, alternatif akım kaynağından çekilen akımı bularak bu akımın dirençler üzerindeki gerilim düşümlerini hesaplayınız.



Şekil2.3

Çözüm2.1

Dirençler bir birleri ile seri bağlandıklarından bu dirençlerin eşdeğeri (toplam direnç);

$$R_T = R_1 + R_2 = 1k\Omega + 560\Omega = 1.56k\Omega$$

Ohm kanunundan faydalanarak kaynaktan çekilen akım, aynı zamanda bu dirençler seri bağlı olduğu için aynı akım geçecektir. Akım etkin değeri;

$$I = \frac{U}{R_T} = \frac{110V}{1.56k\Omega} = 70.5mA$$

dirençler üzerinden bu geçiyorsa, bu direnç uçlarında bir gerilim düşümüne sebebiyet

verecektir. Direnç uçlarındaki etkin gerilim düşümleri;

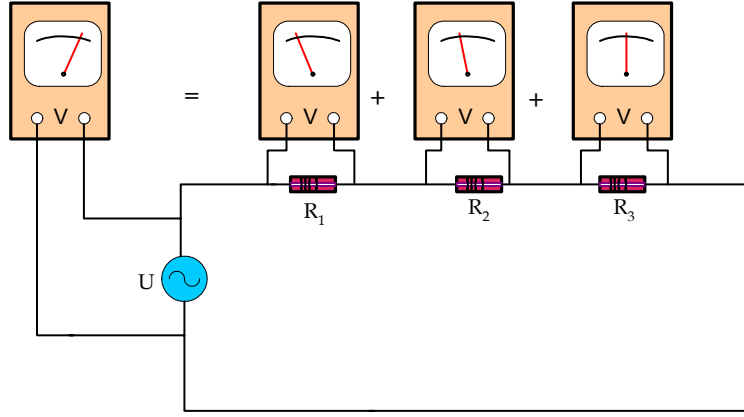
$$R_1 \text{ üzerindeki gerilim düşümü: } U_1 = I.R_1 = (70.5mA).(1k\Omega) = 70.5V$$

$$R_2 \text{ üzerindeki gerilim düşümü: } U_2 = I.R_2 = (70.5mA).(560\Omega) = 39.5V$$

$$U = U_1 + U_2 = (70.5V) + (39.5V) = 110V$$

Bu örnekte görüldüğü gibi kapalı bir devrede gerilim düşümlerinin toplamı kaynak uçlarındaki gerilime eşittir. Bu kirşoffun gerilimler kanununun alternatif akım devrelerinde de aynen geçerlikli olduğunu göstermektedir.

Doğru akımdaki ohm kanunu ve kirşoffun gerilim ve akım kanunları alternatif akımda da aynen geçerliktir. Kirşoffun gerilimler kanunu; kapalı bir devrede veya kaynak uçlarındaki gerilim eleman uçlarındaki gerilim düşümlerinin efektif değerlerinin toplamına eşittir. Bu bir devrede ölçü aletleri ile gösterimi şekil2.4 de verilmiştir.

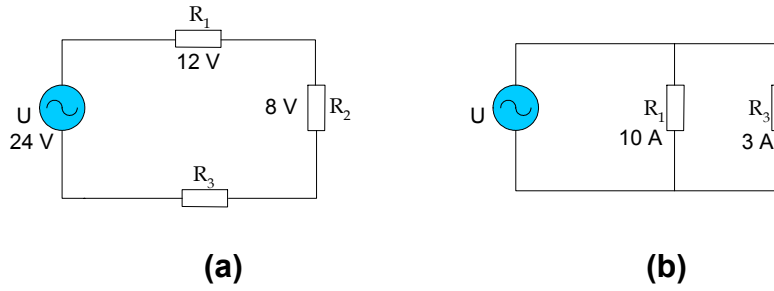


Şekil2.4 Kirşoff un gerilim kanunu

Şekil2.4deki devrede kaynak uçlarındaki gerilim değerini ölçen voltmetrenin gösterdiği değer, direnç uçlarındaki gerilim düşümlerini gösteren voltmetrelerin gerilim değerlerinin toplamı olarak görülmektedir. Buda kirşofun gerilimler kanununun alternatif akımda da aynen geçerli olduğunu göstermektedir.

Örnek2.2

Şekil2.5a daki elektrik devresindeki R_3 direnci uçlarındaki gerilim değerini ve şekil2.5b deki devrede kaynaktan çekilen akımı bulunuz.



Şekil2.5

Çözüm2.2

Kirşofun gerilimler kanunu uygulanarak kaynak geriliminin elemanlar üzerinde düştüğünden ;

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \text{ den } U_3 = U - U_1 - U_2 = 24 \text{ V} - 12 \text{ V} - 8 \text{ V} = 4 \text{ V}$$

Kirşofun akımlar kanunundan yararlanarak kaynaktan çekilen akımı bulunur.

$$I_T = I_1 + I_2 = 10 \text{ A} + 3 \text{ A} = 13 \text{ A}$$

Bulunan bu değerler etkin değerlerdir.

1.3 OMİK DEVREDE GÜÇ

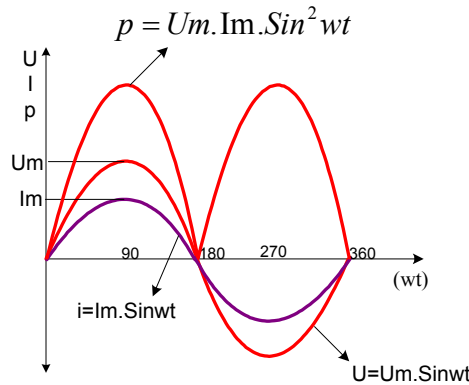
Omik devrede güç akımla gerilimin çarpımına eşittir. R direnci uçlarına uygulanan gerilim sinüzoidal olduğundan direncin üzerinde harcanan güç bu akım ve gerilim değerlerinin çarpımı ile o andaki direnç üzerinde harcanan anı güç bulunur.

$$p = u \cdot i \text{ Watt}$$

Direnç uçlarına uygulanan gerilim $u = U_m \cdot \sin \omega t$

Direnç üzerinden geçen akım $i = I_m \cdot \sin \omega t$

Herhangi bir andaki güç $p = (U_m \cdot \sin \omega t) \cdot (I_m \sin \omega t) = U_m \cdot I_m \cdot \sin^2 \omega t$



Güç eğrisi

Güç eğrisi incelendiğinde şu sonuçlar elde edilir. Güç eğrisi her zaman pozitifdir. İkinci yarım periyotta, gerilim ve akım negatiftir. Negatif gerilim ile negatif akımın çarpımı olan güç de pozitifdir. Bu, direncin her iki alternansta şebekeden güç çektiğini gösterir. Dirençte harcanan güç, dirençten geçen akımın yönüne bağlı değildir.

Akım ve gerilim eğrilerinin her yarım periyodunda ani güç sıfırdan maksimum değere ve sonra tekrar sıfıra düşer. Böylece akım ve gerilimin bir periyodunda güç iki defa maksimum ve sıfır değerlerini alır.

Güç eğrisi de sinüs eğrisine benzer. Yalnız bu eğrinin frekansı, akım (veya gerilim) frekansının iki katına eşittir. Güç ekseninin ekseni yukarıya kaymış durumdadır. Direnç üzerinden geçen akım ve gerilim değerleri düzenlendiği takdirde direnç üzerindeki ortalama güç formülü ortaya çıkar.

$$P_{or} = U.I$$

dirençte sarf edilen gücün ortalama değeri, dirençten geçen alternatif akımın ve gerilimin etkin değerlerinin çarpımına eşittir.

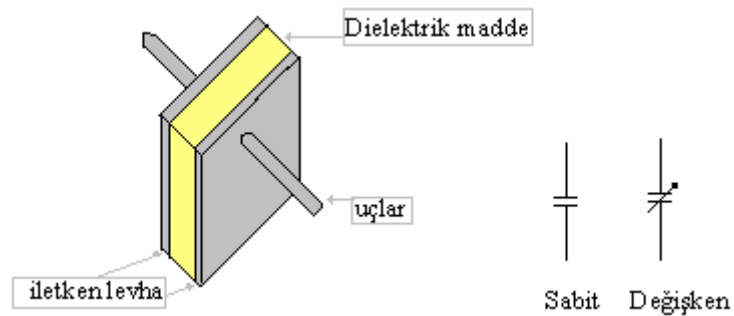
2 KAPASİTİF DEVRE

2.1 KONDANSATÖRÜN YAPISI VE ÇEŞİTLERİ

Kondansatör iki uçlu enerji depolayan elektronik bir elemandır. İletken levhalar arasına konulan dielektrik (elektriği iletmeyen) maddesi elektrik yükünü depo etme özelliğine sahiptir. Çünkü, elektron ve protonlar yalıtkan maddede hareket ederek bir yere gidemezler. Yalıtkan maddelerin yük depo edebilme özelliklerinden yararlanılarak en temel elektronik devre elemanlarından biri olan kondansatör imal edilmiştir.

Kapasite

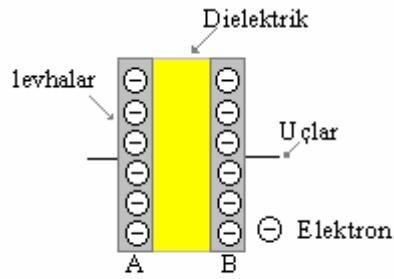
Kondansatörün yük depo edebilme yeteneğine kapasite adı verilir. Her kondansatör istenildiği kadar yük depo edemez. Bunu etkileyen faktörler bu konu adı altın ilerleyen zamanda daha kapsamlı incelenecek, yük depo edebilmesi için bu uçlara mutlaka bir potansiyel (gerilim) uygulanması gerekir.



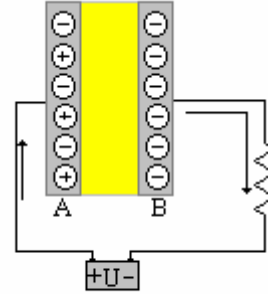
Şekil2.6 Kondansatörün yapısı ve semboller

Şekil2.6de görüldüğü gibi kondansatör, iki iletken levha ve bunların arasına konan dielektrik maddeden oluşmaktadır. Yapılışı bu şekildedir. Bu kondansatör uçlarına bir gerilim bağlanmadan kondansatörün durumunu ve bu kondansatör uçlarına bir gerilim bağlandığında ki ne gibi durumların oluştuğunu şekillerle anlaşılması sağlanacaktır.

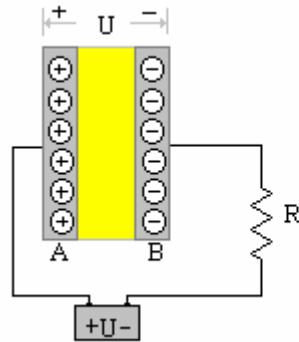
Bir kondansatörün uçlarına bir gerilim uygulanmadığı durumda bu kondansatör şekil2.7(a) deki gibi nötr durumdadır. Kondansatörün uçlarına şekil2.7 (b)deki gibi bir gerilim kaynağı bağlandığında bu kondansatör üzerinden akım akışı olacak ve kondansatör levhaları şekilde görüldüğü gibi yüklenmeye başlayacaktır. Bu yüklenme uygulana gerilim eğerine ulaşana kadar devam edecektir. Bu şekil2.7 (c)deki durumunu alacaktır.



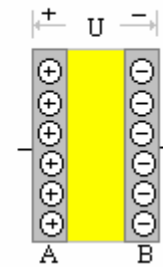
(a) Nötr(deşarj durumu)



(b) Gerilime bağlanan bir kondansatörün A B levhalarının yük oluşumu



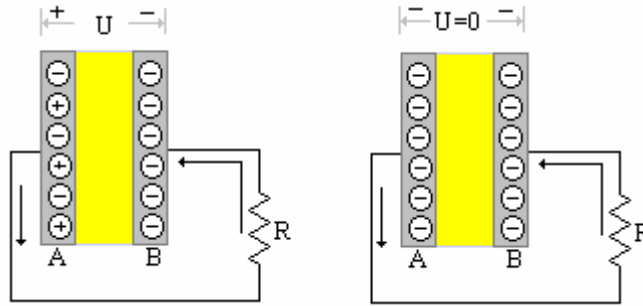
(c) Kondansatör üzerinden akım akışı A B uygulanan gerilim değerinde olduğu anda kesilir.



(d) Kondansatörün levhaları (+) ve (-) yüklerle uygulanan gerilim değerinde yüklenmiş hali

Şekil2.7 Kondansatörün Şarjı

Bu kondansatörün şarj olması demektir. Artık bu kondansatörü gerilim kaynağından çıkardığınız anda kondansatör uçları uyguladığınız gerilim değerini gösterir. Şekil2.7 (d)de U değerinde şarj olmuş bir kondansatör görülmektedir. Levhaları elektron yükleri ile dolan kondansatörün bir direnç veya iki ucu kısa devre edilerek yüklerin boşaltılmasına kondansatörün deşarjı denir. Şekil2.8 de görüldüğü gibi kondansatörün (-) yüklü levhasındaki elektronlar, (+) yüklü levhaya hareket ederler. Elektronların bu hareketi deşarj akımını meydana getirir. Deşarj akımı, kondansatörün her iki plakası da nötr olana kadar devam eder. Bu olayın sonunda kondansatör uçları arasındaki gerilim sıfıra iner. Kondansatör boşalmış olur.



Şekil2.8 Kondansatörün Deşarjı

Şekillerde de görüldüğü gibi kondansatörlerde, elektrik yükleri bir yalıtkanla ayrılmış olup iki iletken levha da birikir. Levhalardan birisi protonlardan oluşan pozitif yüke, diğeri ise elektronlardan oluşan negatif yüke sahip olurlar.

Kondansatörlerde kapasite birimi Farad'tır. Bir kondansatör uçlarına bir voltluk gerilim uygulandığında o kondansatör üzerinde bir kulonluk bir elektrik yükü oluşuyorsa kondansatörün kapasitesi bir faradtır denilir. Farad çok yüksek bir birim olduğundan faradın askatları olan mikrofaraad(μF), nanofaraad(nF) ve pikofaraad(pF) kullanılır. Bu birimler arası dönüşümü kendi aralarında aşağıdaki şekilde olur.

$$\begin{aligned} 1F &= 10^6 \mu F & \text{veya} & & 1\mu F &= 10^{-6} F \\ 1F &= 10^9 nF & \text{veya} & & 1nF &= 10^{-9} F \\ 1F &= 10^{12} pF & \text{veya} & & 1pF &= 10^{-12} F \end{aligned}$$

Örnek2.3

Aşağıdaki şıklarda verilen kondansatör değerlerini μF değerine dönüştürünüz.

- (a) 0,00001F (b) 0,005F (c) 1000pF (d) 200pF

Çözüm2.3

- (a) $0,00001\text{F} \times 10^6 = 10\mu\text{F}$ (b) $0,005\text{F} \times 10^6 = 5000\mu\text{F}$
(c) $1000\text{pF} \times 10^{-6} = 0,001\mu\text{F}$ (d) $200\text{pF} \times 10^{-6} = 0,0002\mu\text{F}$

Örnek2.4

Aşağıdaki şıklarda verilen kondansatör değerlerini pF değerine dönüştürünüz.

- (a) $0,1 \cdot 10^{-8}\text{F}$ (b) 0,000025F (c) $0,01\mu\text{F}$ (d) $0,005\mu\text{F}$

Çözüm2.4

- (a) $0,1 \cdot 10^{-8}\text{F} \times 10^{12} = 1000\text{pF}$ (b) $0,000025\text{F} \times 10^{12} = 25 \cdot 10^6\text{pF}$
(c) $0,01\mu\text{F} \times 10^6 = 10000\text{pF}$ (d) $0,005\mu\text{F} \times 10^6 = 5000\text{pF}$

2.2 KONDANSATÖR ÇEŞİTLERİ

Mika Kondansatör:

Mika kondansatörlerde, çok ince iki iletken levha ve bunların arasında yalıtkan olarak mika kullanılmıştır. Bu kondansatörlerde dış kap olarak genellikle seramik maddesi kullanılmıştır. Mika kondansatörler genellikle 50pikofarad ile 500 pikofarad arasında küçük kapasiteleri elde etmek için imal edilirler.

Kağıt Kondansatörler:

Kağıt kondansatörlerde iki iletken levha ve bunların arasında yalıtkan olarak kağıt kullanılmıştır. İletken maddeler ve bunların arasındaki kağıt çok ince olup, bir silindirik yapı oluşturmak üzere birbiri üzerine sarılmıştır. Kağıt

kondansatörlerde dış kap olarak genellikle plastik kullanılır. Orta büyüklükte kondansatör elde edilmek için kullanılır.

Seramik kondansatörler:

bu kondansatörlerde dielektrik madde olarak seramik kullanılır. Aynı miktar kapasite seramik kondansatörlerde, kağıt kondansatörlere göre çok daha küçük boyutlarda elde edilir. Disk biçimindeki seramik kondansatörler “mercimek kondansatörler” olarak adlandırılmaktadır.

Değişken kondansatörler:

Değişken kondansatörlerde, sabit metal plakalar rotor, dönebilen biçimde yataklanmış metal plakalar ise stator oluştururlar. Bir mil tarafından döndürülen stator, rotoru oluşturan plakaların arasına taraf biçiminde geçerek kapasiteyi oluşturur. Değişken kondansatörlerde karşılıklı plakalar arasındaki hava, dielektrik madde olarak görev yapar. Stator ile rotoru oluşturan levhalar tam içi içe geçtiklerinde kondansatörün kapasitesi maksimum değerine ulaşır., levhalar bir birinden tamamen ayrıldığında ise kondansatörün kapasitesi minimum değerine iner. Değişken kondansatörler genellikle kapasitesi 0 pikofarad ile 500 pikofarad arasında değişecek şekilde imal edilirler. Değişken kondansatörler uygulamada radyo alıcılarının istasyon seçme devrelerinde kullanılır.

Elektrolitik kondansatörler:

Elektrolitik kondansatörlerde asit eriyiği gibi bir elektrolitik maddenin emdirildiği bez, yalıtkan madde olarak kullanılır. Bu yalıtkanın iki yanındaki alüminyum plakalar da kondansatörün iletken kısmıdır. Bu plakalardan bir tanesi doğrudan doğruya kondansatörün dış kabına bağlıdır. Elektrolitik kondansatörler büyük kapasite değerlerini sağlamak üzere imal edilirler. Tipik kapasite değerleri bir mikrofara ile 2000 mikrofara arasındadır. Daha önce görmüş olduğumuz kondansatörlerin tersine, elektrolitik kondansatörler kutupludur. Yani pozitif ve negatif uçları vardır. Bundan dolayıdır ki devreye bağlantılarında pozitif kutup pozitif, negatif kutup negatif bağlanması gerekir aksi takdirde kondansatör patlayabilir.

2.2 KAPASİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kapasite, bir kondansatörün elektrik yükü depo edebilme yeteneği olduğunu açıklamıştık. Kondansatör levhalarına uygulanan gerilim, plakalarda elektrik yükü meydana getirir. Uygulanan gerilim arttıkça, levhalardaki elektrik yükü de artar. Bu nedenle, kondansatörün depo ettiği elektrik yükü, uçlarına uygulanan

gerilimle doğru orantılıdır. Kondansatörün depo edebileceği elektrik yükü, kapasite ile de doğru orantılıdır. Böylece bir kondansatörün uçlarına uygulanan gerilim, depo ettiği elektrik yükü ve kondansatörün kapasitesi arasındaki ilişki aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$Q = C \cdot U$$

Formülde kullanılan Q kondansatörün depo ettiği elektrik yükünü(kulon), C kondansatörün kapasitesini(Farad), U ise kondansatör uçlarına uygulanan gerilimi temsil etmektedir.

Örnek2.5

Aşağıda şıklarda verilen değerlere göre isteneni bulunuz.

- a) Bir kondansatörün depo ettiği elektrik yükü $50\mu\text{C}$, bu elemana 10 V uygulandığında bu kondansatörün kapasitesi nedir.
- b) Kondansatörün kapasitesi $2\mu\text{F}$ bu kondansatörün uçlarındaki gerilim 100 V olduğuna göre kondansatörün levhalarındaki yük ne kadardır.
- c) Kondansatörün kapasitesi 100pF, levhalarındaki elektrik yükü $2\mu\text{C}$ olduğuna göre bu kondansatörün uçlarındaki gerilim ne kadardır.

Çözüm2.5:

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad C &= \frac{Q}{U} = \frac{50\mu\text{C}}{10\text{V}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}\text{C}}{10\text{V}} = 5 \cdot 10^{-6}\text{F} = 5\mu\text{F} \\ \text{(b)} \quad Q &= C \cdot U = (2\mu\text{C}) \cdot (100\text{V}) = 200\mu\text{C} \\ \text{(c)} \quad U &= \frac{Q}{C} = \frac{2\mu\text{C}}{100\text{pF}} = \frac{2 \cdot 10^{-6}\text{C}}{100 \cdot 10^{-12}\text{F}} = 20\text{kV} \end{aligned}$$

2.3 KONDANSATÖRLERİN SERİ BAĞLANMASI

Kondansatörlerin dikkat edilmesi gereken iki durumu vardır. Bunlardan birincisi çalışma gerilimi diğeri ise kapasitesidir. Buna göre kondansatör kullanılacak yerlerine göre kaç voltluk kondansatör kullanılacak ise o değerli kondansatör kapasitesini ve gerilim değeri seçilmelidir. Kondansatörün üzerindeki gerilim değeri 25V iken siz 30V luk bir devrede kullanırsanız o kondansatörü yanma ile karşı karşıya bırakırsınız. Kapasite değerleri uygun

değerde standart değer bulunamadıysa o zaman istediğiniz kapasitede kondansatör elde etmek için kondansatörleri seri veya paralel bağlayarak elde etme imkanına sahipsiniz.

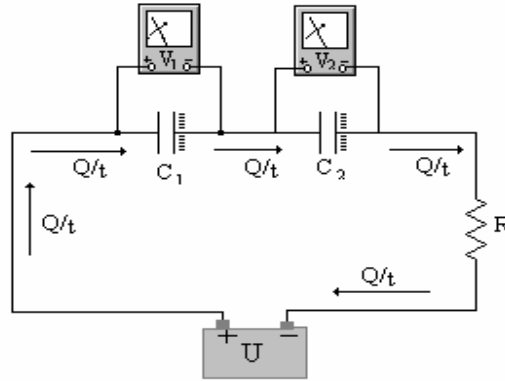
Kondansatörlerin seri bağlanışını ve bu bağlantıda değerlerin bulunma formülleri kademe kademe çıkartılabilir.

Şekil2.9(a) deki devrede iki kondansatör seri bağlı ve bu uçlara bir U gerilim kaynağı bağlanmış. Kondansatörlerin başlangıçta kaynaktan bir akım çekmesi ve belli bir süre sonra bu akımın akışı kesilmesi şekil2.9(b) görülmektedir. Kondansatörün yükleri kaynağın verdiği yüklerle eleman üzerlerindeki yükler eşit oluncaya kadar akım akmakta yükler eşit olunca akım akışı durmaktadır. Bu durumu şu şekilde yazabiliriz.

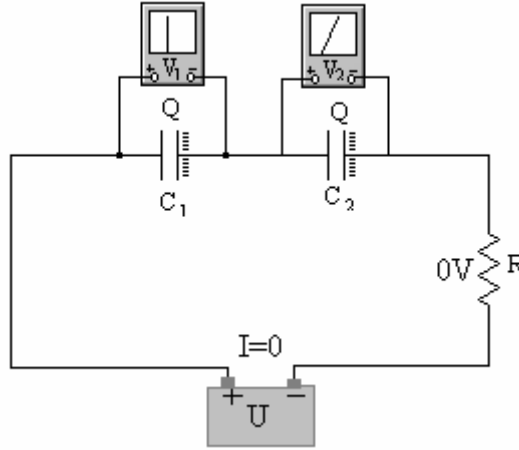
$$Q_T = Q_1 = Q_2$$

Kirşofun gerilimler kanunundan;

$$U = U_1 + U_2$$



(a) Kondansatörlerin seri bağlanması ve uçlarındaki gerilim



(b) Kondansatörlerin seri bağlanması, şarj olması ve akımın 0 olması

Şekil2.9

$U=Q/C$ değerleri eşitliğin her iki tarafına yazılırsa;

$$\frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

eşitliğin her iki tarafı Q ye bölünerek;

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$C_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{C_1}\right) + \left(\frac{1}{C_2}\right)}$$

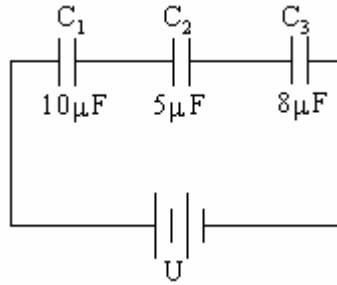
elde edilir. Bu formülü genellersek n tane kondansatörün seri bağlandığı durumun formülünü yazalım.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

Örnek2.5

Şekil2.10 da görüldüğü gibi üç tane değişik kondansatörler bir birleri ile seri bağlanmış. Bu kondansatörlerin eşdeğerini bulunuz.



Şekil2.10

Çözüm2.5

Seri bağlama formülünde değerler yerine konularak bulunur.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{10\mu F} + \frac{1}{5\mu F} + \frac{1}{8\mu F}$$

$$C_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{10\mu F}\right) + \left(\frac{1}{5\mu F}\right) + \left(\frac{1}{8\mu F}\right)} = \frac{1}{0,425} \mu F = 2,35 \mu F$$

2.4 KONDANSATÖRÜN UÇLARINDAKİ GERİLİM

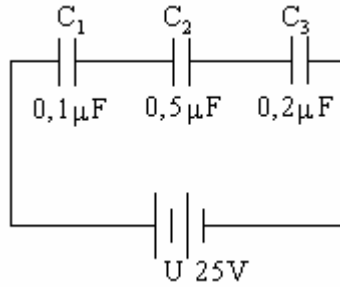
Kondansatör uçlarında bir gerilim meydana gelecektir bu gerilim değeri yük ve kapasitesine bağlı olarak değişecek olduğunu önceki konularımızda incelemiştik. Kirşofun gerilimler kanunundan elemanlar seri bağlı olduklarından

$$U_x = \left(\frac{C_T}{C_x}\right)U$$

buradaki C_x ; hangi kondansatör uçlarındaki gerilimi bulacaksanız o kondansatörün U_x değeridir. (C_1 , C_2 gibi)

Örnek2.6

Şekil2.11 deki devrede üç kondansatör seri bağlanmış uçlarına 25V gerilim uygulanmıştır. Bu kondansatörlerin uçlarındaki gerilim değerlerini bulunuz.



Şekil2.11

Çözüm2.6

Kondansatörler seri bağlandıkları için seri devrede akımlar eşit olacağından Kirchhoff'un gerilimler kanunundan yararlanabilirsiniz.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{0,1\mu F} + \frac{1}{0,5\mu F} + \frac{1}{0,2\mu F} \Rightarrow C_T = \frac{1}{17}\mu F = 0,0588\mu F$$

Voltaj formülünde değerleri yerine koyarak eleman uçlarındaki gerilim değerleri;

$$U_1 = \left(\frac{C_T}{C_1}\right)U = \left(\frac{0,0588\mu F}{0,1\mu F}\right).25V = 14,7V$$

$$U_2 = \left(\frac{C_T}{C_2}\right)U = \left(\frac{0,0588\mu F}{0,5\mu F}\right).25V = 2,94V$$

$$U_3 = \left(\frac{C_T}{C_3}\right)U = \left(\frac{0,0588\mu F}{0,2\mu F}\right).25V = 7,35V$$

Bulunur.

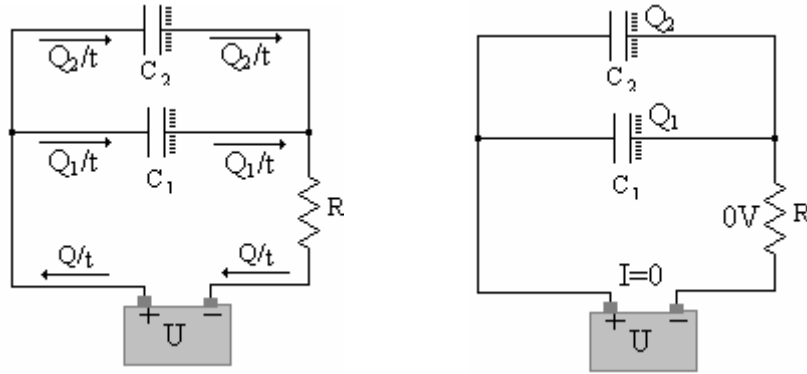
2.5 KONDANSATÖRLERİN PARALEL BAĞLANMASI

Kondansatörler paralel bağlandıklarında kaynaktan çektikleri akım kollara ayrılarak devresini tamamlayacaktır. Kaynağın gerilim değeri bu elemanlar üzerinde aynen görülecektir. Kaynaktan çekilen yük elemanlar üzerinde görülecek bu yüklerin toplamı kaynağın yüküne eşit olacaktır.

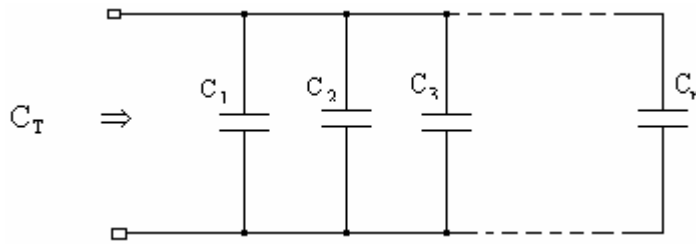
$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$C_T \cdot U = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U \quad \text{eşitliğin her iki tarafını } U' \text{ ya bölünürse}$$

$$C_T = C_1 + C_2 \quad \text{elde edilir.}$$



Şekil2.12 Paralel kondansatörler ve $Q_T = Q_1 + Q_2$



Şekil2.13 n tane kondansatörün paralel bağlanması

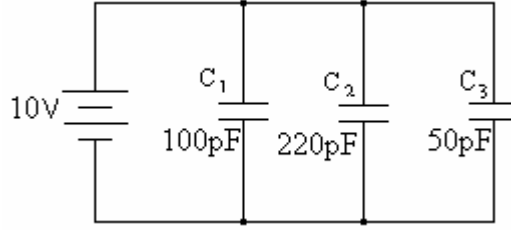
Şekil2.13de olduğu gibi n tane kondansatör biri birine paralel bağlandığındaki genel formülümüzü iki kondansatör paralel bağlandığında çıkardığımız formülümüzü genelleştirsek;

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

olur. n tane kondansatör paralel bağlantı genel formülü ortaya çıkar.

Örnek2.7

Şekil2.14deki devrede elemanların değerleri verilmiş, bu elemanlar paralel bağlanmıştır. Bu devrenin eşdeğer kapasitesini ve kondansatörlerin yüklerini, toplam yükü bulunuz.



Şekil2.14 Örnek

Çözüm2.7:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 100\text{pF} + 220\text{pF} + 50\text{pF} = 370\text{pF}$$

$$Q_T = C_T \cdot U = 370\text{pF} \cdot 10\text{V} = 3700\text{pC}(\text{pikokulon})$$

$$Q_1 = C_1 \cdot U = 100\text{pF} \cdot 10\text{V} = 1000\text{pC}$$

$$Q_2 = C_2 \cdot U = 220\text{pF} \cdot 10\text{V} = 2200\text{pC}$$

$$Q_3 = C_3 \cdot U = 50\text{pF} \cdot 10\text{V} = 500\text{pC}$$

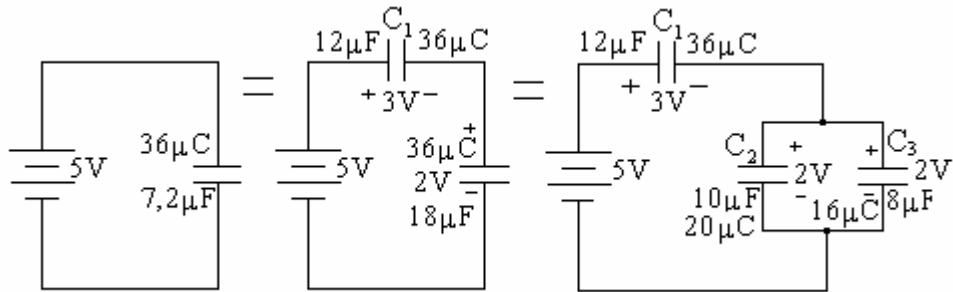
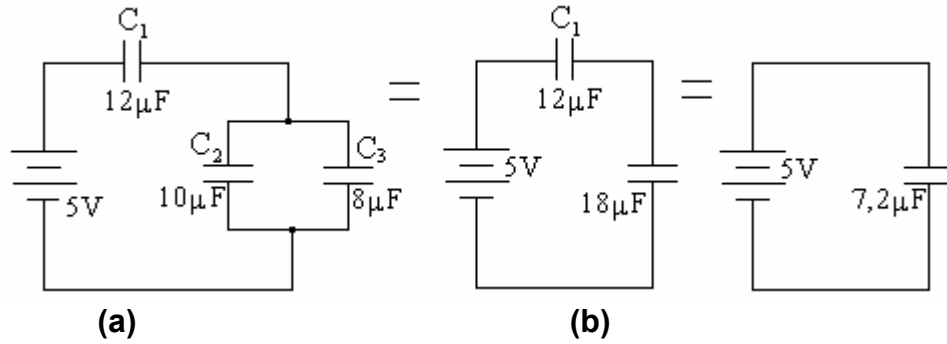
$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1000\text{pC} + 2200\text{pC} + 500\text{pC} = 3700\text{pC}$$

2.6 KONDANSATÖRLERİN PARALEL-SERİ BAĞLANMASI

Kondansatörler seri, paralel devrelerde ayrı ayrı bağlanabildikleri gibi bu bağlantıların iki durumu bir devre üzerinde bulunabilir. Bu bağlama şekline karışık bağlama denir. Dirençlerde olduğu gibi devrede eşdeğer kapasitenin bulunabilmesi için devredeki paralel bağlı kondansatörler önce tek bir kondansatör haline getirilerek, devredeki elemanların bağlantı durumlarına göre seri veya paralel bağlantı formülleri kullanılarak eşdeğer kapasite bulunur.

Örnek2.8

Şekil2.15(a)da görülen devredeki kondansatörlerin uçlarındaki gerilim değerlerini bulunuz.



Şekil2.15 (c)

Çözüm2.8:

Şekil2.15(a)daki devreyi $C_2//C_3$ olduğundan bu paralelliğin eşdeğeri formülde değerler yerine yazılarak;

$$C_2 + C_3 = 10\mu F + 8\mu F = 18\mu F$$

bu değer C_1 kondansatörüne seri haline geldi. Seri bağlama formülünde değerler yerine yazılırsa şekil(b) görülen eşdeğer kapasite bulunur.

$$C_T = \frac{(12\mu F).(18\mu F)}{12\mu F + 18\mu F} = 7,2\mu F$$

kaynaktan çekilen toplam yük;

$$Q_T = U.C_T = (5V).(7,2\mu F) = 36\mu C$$

şekil(c) üzerinde gösterilen değer bulunur. C_1 elemanı kaynağa seri bağlı olduğundan toplam yük aynen bu kondansatörün üzerinde görüleceğinden bu elemanın uçlarındaki gerilim ve C_2, C_3 elemanlarına kalan gerilim;

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{36\mu C}{12\mu F} = 3V$$

$$\frac{36\mu C}{18\mu F} = 2V$$

bulunur. C_2, C_3 paralel bağlı olduklarından bu gerilim her iki kondansatörün uçlarında görülecektir. Bu kondansatörlerin yükleri ise farklı olacaktır. C_2, C_3 kondansatörlerin depoladığı yük miktarları ise;

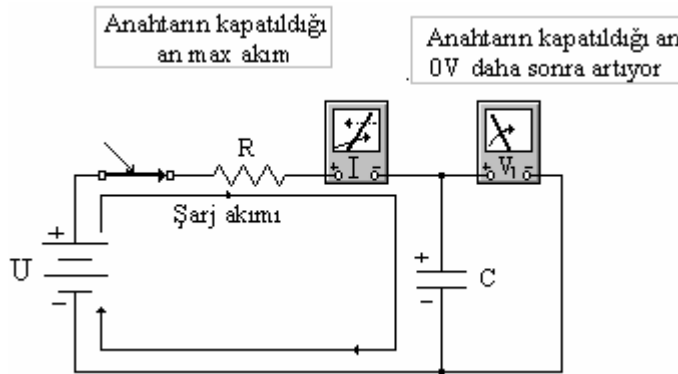
$$Q_2 = C_2 \cdot U_2 = (10\mu F) \cdot (2V) = 20\mu C$$

$$Q_3 = C_3 \cdot U_3 = (8\mu F) \cdot (2V) = 16\mu C$$

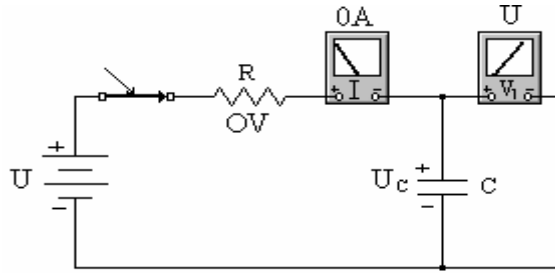
bulunur. Bu örnekte kondansatörlerin uçlarındaki gerilim ve yükleri ayrı ayrı bulunmuştur.

Kondansatörün Şarj ve Deşarjını Ampermetre ve Voltmetre ile Gösterilmesi

Kondansatörün şarj ve deşarjını incelemiş iç durumunda elektron ve protonların hareketlerini şekillerle göstermiştik. Şimdi bu kondansatörün bir direnç ile devreye bağlayıp bu uçları gerilim kaynağı ile beslemeye alalım. Kondansatörün ve direncin uçlarındaki gerilim ve akım durumlarını gözlemleyelim.

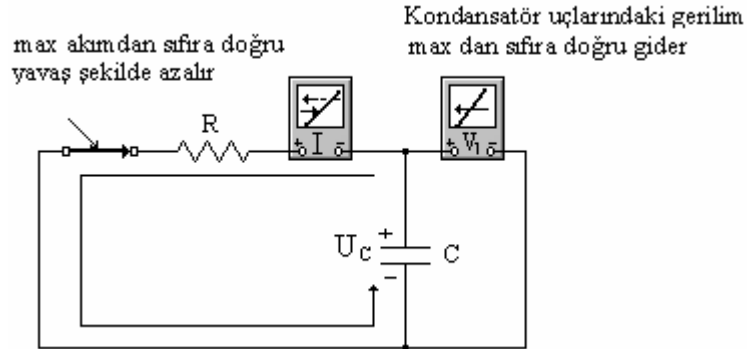


Şekil2.16(a) Kondansatörün anahtar kapatıldığında üzerinden geçen akım ve uçlarındaki gerilimin ampermetre ve voltmetredeki görünüşü



Şekil2.16(b)Kondansatörün uçlarındaki gerilimin kaynak gerilimine eşit olduğu anda üzerinden herhangi bir akımın akmayışı ve direnç uçlarındaki gerilim sıfır değeri göstermesi

Bir kondansatöre seri bir direnç bağlayıp bu elemanlara gerilim uygulandığı anda kaynaktan bir süre akım geçecektir. Bu akımın geçmesi kondansatör uçlarındaki gerilim değeri kaynak gerilim değerine eşit oluncaya kadar devam edecektir. Bu arada şekil(a)da ampermetre anahtar kapatılır kapatılmaz max. akım kaynaktan çekildiği için büyük değer gösterecek daha sonra kondansatörün gerilimi arttıkça akım azalacaktır.



Şekil2.16(c)Kondansatörün deşarjında ampermetrenin ve voltmetrenin gösterdiği değer

Şekil2.16(a)da voltmetre ise sıfırdan başlayarak kondansatör uçlarına bağlanan kaynağın değerine kadar yükselecektir. Bu kaynak gerilimi değerinde şarj olan kondansatörü Şekil2.16(c)de görüldüğü gibi gerilim kaynağını çıkardıktan sonra kondansatörün yükü direnç üzerinden harcanır. $t=0$ anında ampermetre yüksek değerden sıfıra doğru, voltmetrede max. dan sıfıra doğru değer gösterecektir. Bu akan akımda deşarj akım ile adlandırılır. Bu kondansatör şarjı ve deşarjının süresi direncin ve kondansatörün kapasitesine bağlıdır. Bu geçen süreye RC zaman sabitesi denir. Formül olarak;

$$\tau = RC$$

zaman sabitesini bulunabilir. τ :(tau)zaman sabitesi(saniye)

Örnek2.9: Bir seri RC devresinde direnç değeri $1M\Omega$ ve $5\mu F$ seri bağlanmıştır. Kondansatörün şarj süresini(zaman sabitesi) bulunuz.

$$\tau = RC = (1.10^6).(5.10^{-6}) = 5s$$

Kondansatörün direnç ile bir gerilim kaynağına bağlanarak şarj olayını gördük. Her kondansatör aynı zamanda şarj olamaz bunun üzerinden geçen akım ve kondansatörün kapasitesine bağlı olarak değişecektir. Zaman sabitesi yukarıda formülü elde edilmişti. Bu duruma göre $t=0$ anında kondansatörün üzerinden geçen akım max. Daha sonra kondansatör şarj oldukça bu sifıra inecektir. Aşağıdaki formül bir kondansatörün üzerinden geçen akımın formülünü verir.

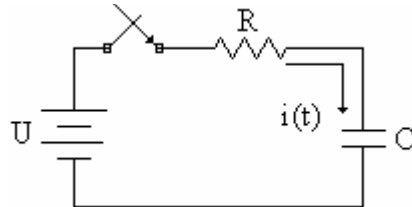
$$i(t) = \frac{U}{R} e^{-t/RC}$$

$i(t)$: Kondansatör üzerinden geçen değişken akım

U : Kondansatör uçlarına uygulanan gerilim

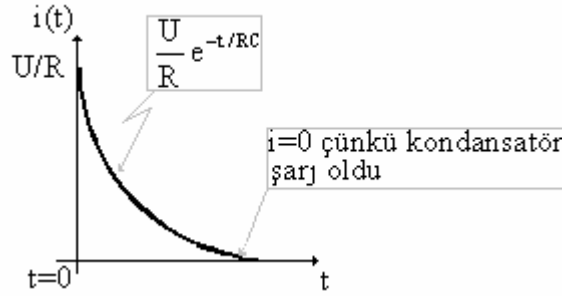
RC : Zaman sabitesi

t : Zaman(sn)



Şekil2.17

Şekil2.17deki devrede anahtar kapatıldığı anda kondansatör üzerinden geçen akımın değişim eğrisini $t=0$ anından $t=\infty$ anına kadarki durumunu zamana bu aralıklarda değerler vererek grafiksel gösterirsek aşağıdaki grafik kondansatör üzerinden geçen akımı gösterir.



Şekil2.18

$t=0$ için kondansatör üzerinden geçen akımı bulursak diğer değerleri de sizler bularak akım grafiğinin doğruluğunu görebilirsiniz.

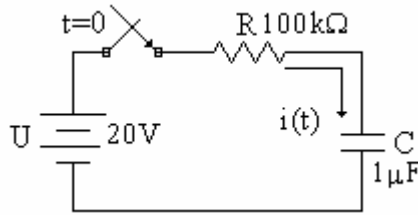
$$i(t) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} \quad t = 0 \text{ için akım}$$

$$i(0) = \frac{U}{R} \cdot e^{-0/RC} = \frac{U}{R} \cdot e^0 = \frac{U}{R} \cdot 1 = \frac{U}{R}$$

$t=0$ anında(anahtar kapatıldığı anda) kondansatör üzerinden kaynak gerilimi ve direnç değerine bağlı olarak max. Değerde akım aktığı görülüyor. Sizlerde t değerleri vererek çeşitli zamanlardaki akımları bulunuz.

Örnek2.10:

Şekil2.19deki devrede elemanların değerleri verilmiştir. Bu değerler doğrultusunda kondansatör üzerinden geçen akımları;
 (a) $t=0s$ (b) $t=0,05s$ (c) $t=0,1s$ (d) $t=0,2s$ (e) $t=0,5s$
 bulunuz.



Şekil2.19

Çözüm2.10

Akım formülünde değerleri yerine yazılması ile bulunabilir. Önce bu devrenin zaman sabitesi bulunur.

$$RC = (100.10^3 \Omega).(1.10^{-6} F) = 0,1$$

a dan e ye kadar verilen zaman değerlerini formülde yerlerine koyarak kondansatör üzerinden geçen akımlar bulunur.

$$(a)t = 0s \quad i(0) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} . e^{-0/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} . 1 = 0,2mA$$

$$(b)t = 0,05s \quad i(0,05) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} . e^{-0,05/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} . e^{-0,5} = 0,121mA$$

$$(c)t = 0,1s \quad i(0,1) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} . e^{-0,1/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} . e^{-1} = 0,0736mA$$

$$(d)t = 0,2s \quad i(0,2) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} . e^{-0,2/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} . e^{-2} = 0,0271mA$$

$$(e)t = 0,5s \quad i(0,5) = \frac{U}{R} e^{-t/RC} = \frac{20V}{1k\Omega} . e^{-0,5/0,1} = \frac{20V}{1k\Omega} . e^{-5} = 0,0013mA$$

Burada dikkat edilirse zaman geçtikçe kondansatörün üzerinden akım akışı azalıyor. Süreyi biraz daha artırsak akım grafikte gösterdiğimiz gibi sıfır olacaktır.

2.7 DİRENCİN ÜZERİNDEKİ VE KONDANSATÖR UÇLARINDAKİ GERİLİM

Kondansatöre seri bağlı bir direnç uçlarındaki gerilim düşümü ohm kanunundan faydalanılarak bulunabilir. Direnç kondansatöre seri bağlı olduğundan kondansatör üzerinden geçen akım aynı zamanda direnç elemanı üzerinden geçeceğinden t=0 anında direnç uçlarındaki gerilim düşümü max. Olacak, akım azaldıkça ve akım sıfır olduğunda direnç uçlarında herhangi bir gerilim düşümü mantıken olmayacaktır. Bunu formüllerle ifade ederek gösterelim.

$$U_R(t) = R.i(t)$$

$$U_R(t) = R.\left(\frac{U}{R} . e^{-t/RC}\right)$$

$$U_R(t) = U . e^{-t/RC} \text{ Volt bulunur.}$$

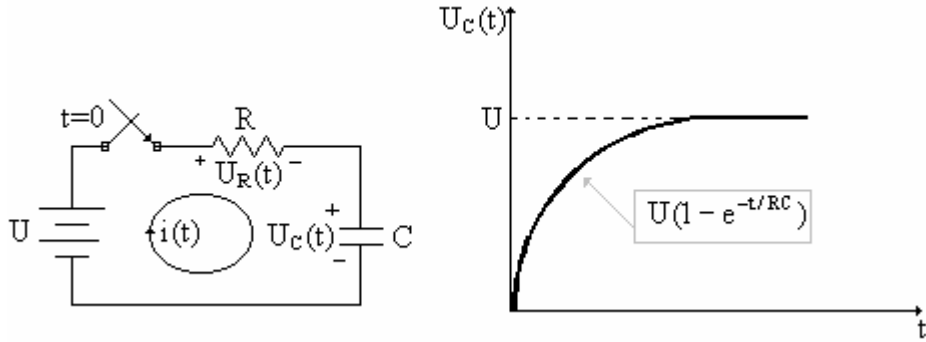
direnç uçlarındaki gerilim bulunduğu göre kondansatör uçlarındaki gerilim

kirşofun gerilimler kanunundan faydalanılarak kondansatör uçlarındaki gerilim aşağıdaki şekilde olur.

$$U = U_R(t) + U_C(t) \quad U_C(t) \text{ çekilirse;}$$

$$U_C(t) = U - U_R(t) = U - (U \cdot e^{-t/RC}) = U(1 - e^{-t/RC}) \quad \text{Volt}$$

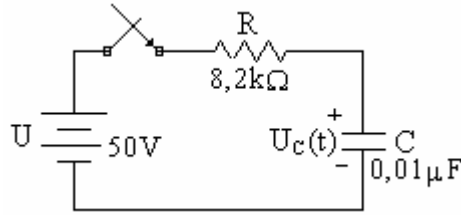
kondansatör uçlarındaki gerilim formülü bulunur.



Şekil2.20 Kondansatörün şarj esnasındaki gerilim eğrisi

Örnek2.11

Şekil2.20deki verilen devrede anahtar $50\mu s$ kapatıldığında kondansatörün uçlarındaki gerilimi hesaplayınız.



Şekil2.20

Çözüm2.11

Devredeki verilerle kondansatör uçlarında $50\mu s$ sonra gerilim değeri formülde değerler yerine yazılarak kondansatörün uçlarındaki gerilim değeri bulunabilir.

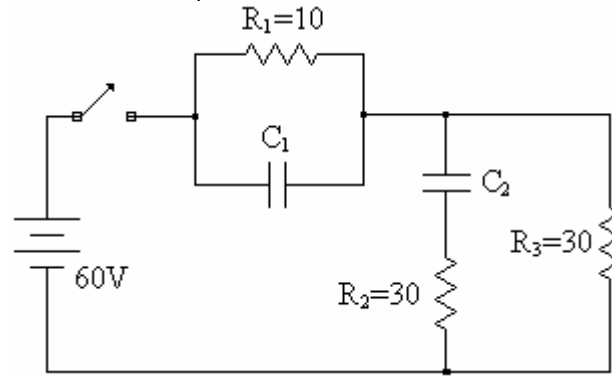
$$RC = 8,2 \cdot 10^3 \Omega \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} F = 82 \mu s$$

$$U_C(50 \mu s) = U(1 - e^{-t/RC}) = 50V(1 - e^{-50 \mu s / 82 \mu s}) = 50V(1 - e^{-0,61})$$

$$U_C = 50V(1 - 0,543) = 22,8V$$

Örnek2.12

Şekil2.21 deki devrede kondansatörlerin dolma esnasında ve ful dolduğu anda kaynaktan çekilen akımları ve eleman üzerlerindeki gerilimleri bulunuz.(Direnç değerleri ohm cinsindendir)



Şekil2.21(a)

Çözüm2.12

Şekil2.21deki devrede anahtar kapatıldığı anda C_1 kondansatörünün üzerinden akım akacağından R_1 direncinden akım geçmediğinden direnç uçlarında gerilim 0V tur. C_2 elemanı R_2 direncine seri bağlandığından akımları eşit olacaktır. Kısaca kondansatörler ful olana kadar kısa devre şeklini alacak devrede hiç direnç göstermeyecektir. Bu duruma göre kaynaktan çekilen akım(şekil(b)deki devreye göre;

$$R_T = R_2 // R_3 = 30\Omega // 30\Omega = 15\Omega$$

$$I_T = \frac{60V}{15\Omega} = 4A$$

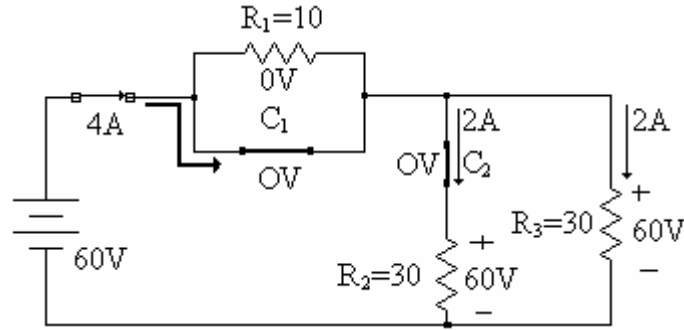
toplam akım bulunduğuna göre bu akım direnç değerleri eşit olan R_2 ve R_3 elemanlarından ikiyeşer amper olarak şekil(b) deki gibi akacaktır.

Kondansatörler ful doldukları anda DC devrede açık devre özelliği göstereceğinden gerilim kaynağından çekilen akım şekil(c) deki görüldüğü gibi olacaktır. Bu durumda devre elemanlarının bağlantı şekline göre;

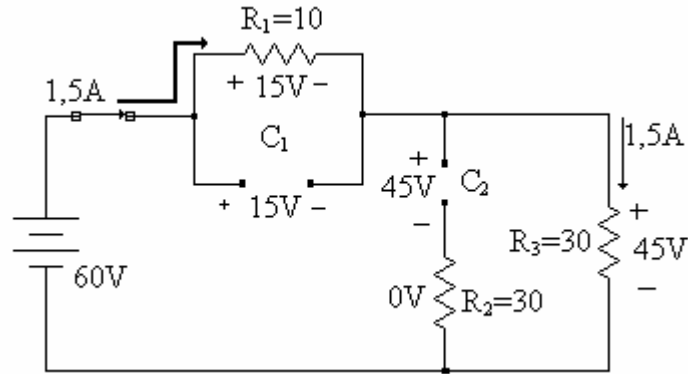
$$R_T = R_1 + R_3 = 10\Omega + 30\Omega = 40\Omega$$

$$I_T = \frac{60V}{40\Omega} = 1,5A$$

Dikkat edilirse kondansatörler ful olduğu andan sonra kaynaktan çekilen akım düşme gösteriyor. Kondansatörler DC de açık devre özelliği gösterdiği unutulmaması gerekir.



(b)



(c)

Kondansatör uçlarındaki gerilim değerleri bu geçen akımlara göre;

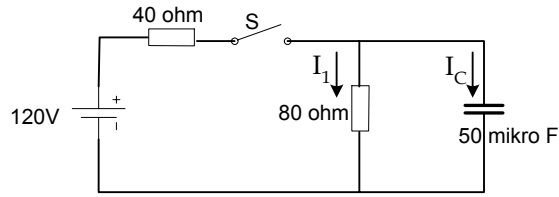
$$U_{C1} = 1,5A \cdot 10\Omega = 15V$$

$$U_{C2} = 1,5A \cdot 30\Omega = 45V$$

Şekil2.21(c) de açık bir şekilde görülmektedir.

Örnek2.13

Şekil2.22 deki devrede (a) anahtar kapatıldığı anda I_1 ve I_c akımlarını, (b) anahtar kapatıldıktan uzun bir süre sonra I_1 ve I_c akımlarını ve kondansatörün uçlarındaki gerilimi hesaplayınız.



Şekil2.22

Çözüm2.13

(a) S anahtarı kapatıldığı anda ($t=0$) kondansatör boş olduğu için 80 ohm'luk direnci kısa devre edeceğinden $I_1 = 0$ olur. $t=0$ da $U_c=0$

Kondansatörden geçen akım $I_c = \frac{120}{40} = 3A$ olur.

(b) Anahtar kondansatör şarj oluncaya kadar uzun bir zaman kapalı kaldığına göre, kondansatörden geçen şarj akımı sıfır olur. $I_c = 0$ Bu durum kondansatör devreden çıkarılsa devrede hiçbir değişiklik olmaz. Bu durumda devre, 80 ohm'luk direnç ile 40 ohm'luk dirençten ibaret seri bir devre durumundadır.

$$I_1 = \frac{120}{80 + 40} = 1A$$

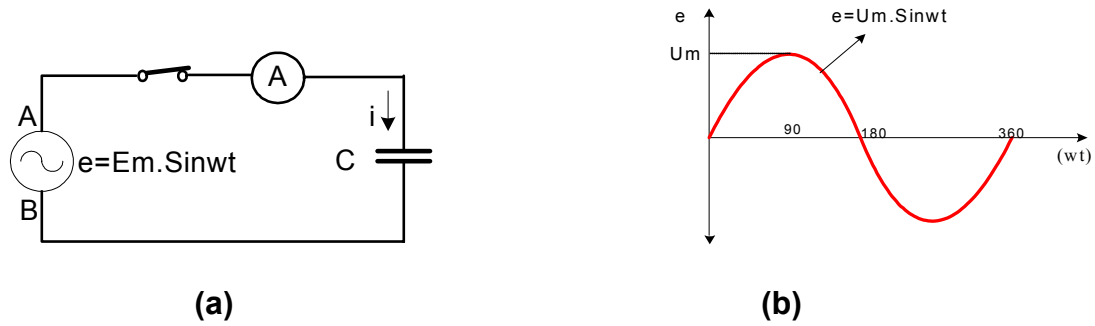
80 ohm direncin ve kondansatörün uçlarındaki gerilim,

$$U_c = 1 \times 80 = 80 V$$

2.8 ALTERNATİF AKIMDA KONDANSATÖR

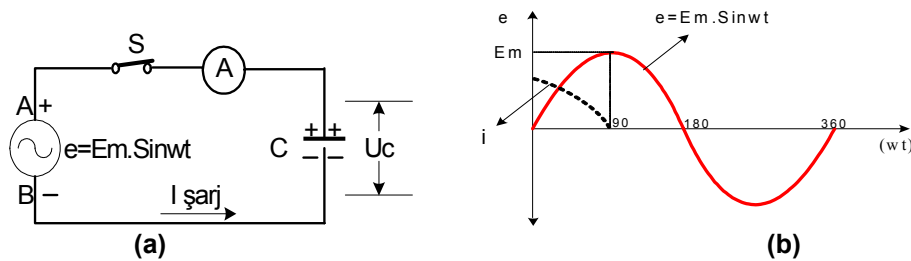
Alternatif Akımın Kondansatörden Geçişi

Şekil2.23a da bir kondansatöre sinüzoidal bir emk uygulandığında devreden bir alternatif akım akışı başlar. Devreye bağlanan ampermetre vasıtası ile devreden geçen akım ölçülebilir. Kondansatörün levhaları arasında yalıtkan bir madde bulunduğu halde, devreden alternatif bir akımın nasıl geçtiğini inceleyelim. Kondansatöre uyguladığımız sinüzoidal emk'in değişim eğrisi şekil2.23b de görülmektedir.



Şekil2.23

Tam sıfır anında anahtarı kapattığımızı kabul edelim. Emk sıfırdan başlayarak pozitif maksimum değerine doğru yükselecektir. Kondansatör boş olduğu için $U_c = 0$ dır. Emk'in pozitif yarım periyodunda, A ucu (+) pozitif ve B ucu da (-) negatif olsun. Şekil2.24 (a) da görüldüğü gibi bir elektron akımı (-B) ucundan (+A) ucuna doğru akacaktır. Kondansatörün levhalarında gösterildiği gibi yükler (şarjlar) toplanır. Kondansatörün levhaları arasında şarjla doğru orantılı olarak değişen potansiyel farkı meydana gelir. Devreden geçen şarj akımı sıfır anında maksimum değerinde olur. Çünkü bu anda, kondansatörün uçlarındaki gerilim sıfırdır.

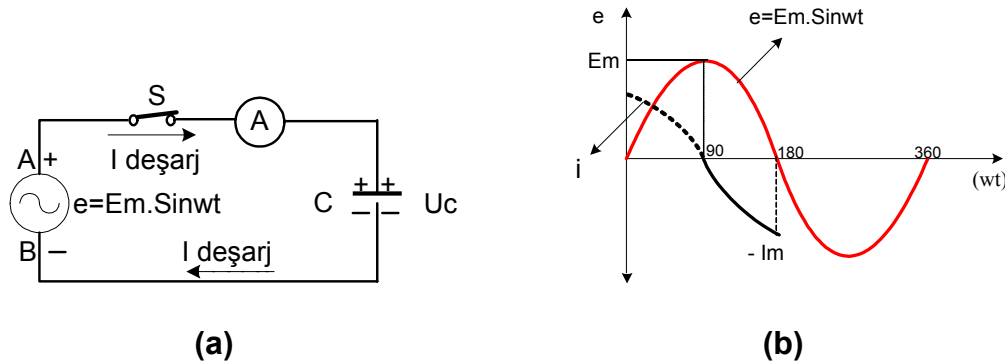


Şekil2.24 kondansatörden alternatif akımın geçişi

Kondansatörün uçlarındaki U_c gerilimi, uygulanan emk'e zıt yöndedir. Kondansatör doldukça U_c gerilimi arttığı için şarj akımı azalmaya başlar. Uygulanan emk (+Em) değerine ulaştığında kondansatör dolduğu için uçlarındaki potansiyel farkı $U_c=Em$ olur. Bu anda $\pi/2$ anında devreden geçen şarj akımı da sıfır olur. Şarj akımının değişim eğrisi şekil2.24 (b) de gösterilmiştir.

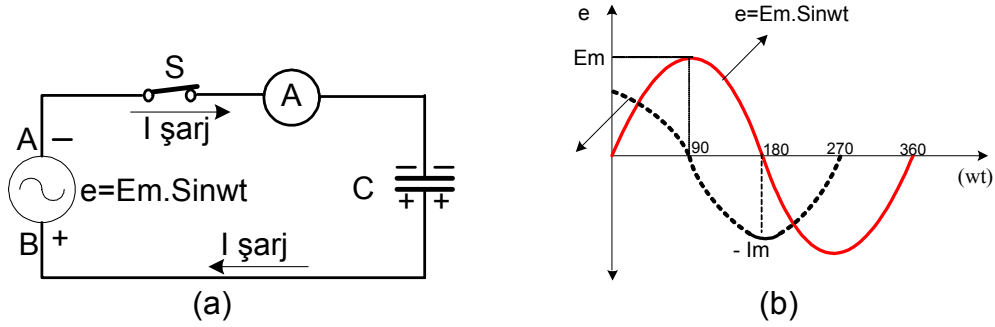
$\pi/2$ (90°) den sonra devreye uygulanan emk, Em değerinden azalmaya başlar. Bu durumda kondansatörün uçlarındaki U_c gerilimi şebeke emk'inden büyük olacağı için kondansatördeşarj olmaya başlar. Şekil2.25 (a) da görüldüğü gibi, devredeki elektron akımı kondansatörün negatif levhasına doğru olur. Deşarj akımı, şarj akımına ters yöndedir.

AB uçlarındaki şebeke gerilimi azaldıkçadeşarj gerilimi azaldıkçadeşarj akımı da büyür. (π) de şebeke gerilimi sıfır olduğu andadeşarj akımı maksimum değerine ulaşır. Şekil2.25 (b) de, sıfırdan negatif maksimum değerine yükselendeşarj akımının değişim eğrisi görülyor. (π) de kondansatördeşarj olduğu için uçlarındaki gerilim sıfıra düşer.



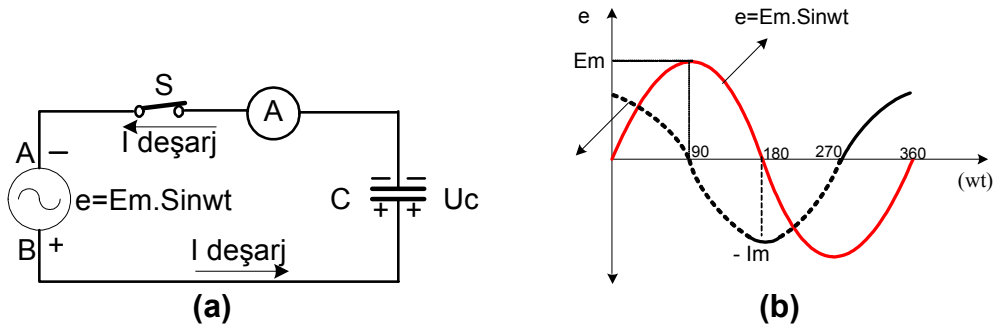
Şekil2.25 Kondansatörden alternatif akımın geçişi

(π) anından sonra şebeke emk'i yön değiştirerek (- Em) değerine doğru artmaya başlar. π ile 2π arasında A ucu (-) ve B ucu da (+) olur. π anında kondansatördeşarj durumundadır. Şekil2.26 (a) da görüldüğü gibi, devrede elektron akımı (-) A dan (+) B ye doğru olur. Bu elektron akımı kondansatör levhalarını şekilde gösterildiği gibi yüklemeye başlar. Kondansatör doldukça uçlarındaki (uygulanan emk'e zıt yönde olan) gerilim U_c de artmaya başlar.



Şekil2.26

π de şarj akımı maksimumdur. $3\pi/2$ anında kondansatör dolduğu için $U_c = -Em$ olur. Kondansatörün şarj akımı da sıfıra düşer, $3\pi/2$ anından sonra, şebeke emk'i ($-Em$) değerinden azalmaya başlar. Bu durumda kondansatörün uçlarındaki potansiyel farkı şebeke emk'inden büyük olacağı için, kondansatör şebeke üzerindendeşarj olmaya başlar. Şekil2.27 (a) da kondansatörün negatif levhasından pozitif doğrudeşarj elektron akışı görülüyor. Şebeke gerilimi 2π anında sıfır olduğu an, kondansatöründeşarj akımı maksimum değerine ulaşır.

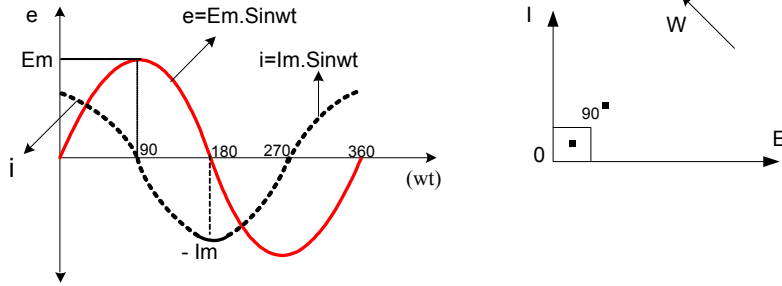


Şekil2.27

Şekil2.27 (b) dedeşarj akımının $3\pi/2$ ile 2π arasındaki eğrisi görülüyor.kondansatöre uygulanan emk'in bir periyotluk değişiminde kondansatörün şarj vedeşarj akımları devreden geçen akımı meydana getirirler. Başka bir deyişle, devreden geçen alternatif akım kondansatörün dielektriğinden geçen akım değil, kondansatörün şarj vedeşarj akımıdır. Bu akıma genellikle, kondansatörden geçen alternatif akım denir.

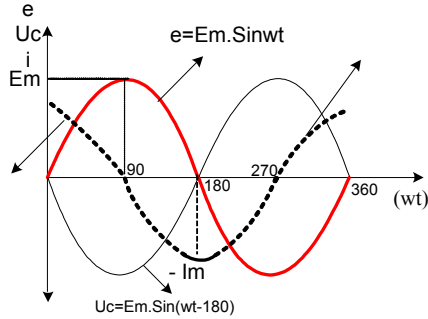
Şekil2.24, 25, 26 ve 27 de parça parça gösterilen devre akımını uygulanan emk'le birlikte yeniden çizelim. Şekil2.28 da görüldüğü gibi, kondansatörden geçen akımın değişim eğrisi incelendiğinde; sinüzoidal bir akım olduğ, yalnız uygulanan emk 90° ileride bulunduğu görülür.

Uygulanan emk $E = E_m \sin \omega t$, Akım ise $i = I_m \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + \pi/2)$ olur.

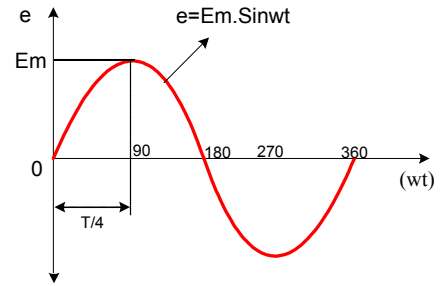


Şekil 2.28 Kondansatörden geçen akımın ve uygulanan emk'in değişim eğrileri ve vektör diyagramı

Kondansatörün levhaları arasında şarj ve deşarjdan dolayı meydana gelen potansiyel farkı, uygulanan emk'e zıt yöndedir. Kondansatöre uygulanan emk'e eşit ve 180° faz farkı olarak çizilecek bir eğri bize kondansatörün levhaları arasında meydana gelen U_c geriliminin değişim eğrisini verir. Şekil 2.29 de kondansatöre uygulanan emk'in, geçen akımın ve U_c geriliminin değişim eğrileri görülmüyor.



Şekil 2.29 Kondansatöre uygulanan emk, geçen akım ve U_c eğrileri



Şekil 2.30 Kondansatöre Sinüzoidal emk

Kondansatörden Geçen Alternatif Akımın Hesaplanması

Kondansatöre uygulanan sinüzoidal emk'in eğrisi şekil 2.30 da görülmektedir. Kondansatörden geçen akım, levhalarda toplanan şarjın değişimine bağlıdır. Kondansatörden geçen akımın ortalama değeri,

$$I_{or} = \frac{\text{şarj değişimi}}{\text{geçen zaman}} \quad \text{veya kısaca} \quad I_{or} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

kondansatörün şarjı, kapasitesi C sabit olduğuna göre uygulanan gerilime bağlıdır.

$$Q = e.C$$

şarj değişimi de gerilim değişimi ile doğru orantılıdır. $\Delta Q = C.\Delta e$

Şekil2.29 daki kondansatöre uygulanan emk'in 0 ile $\pi/2$ arasındaki T/4 periyotluk parçasını alalım. Burada emk 0 ile E_m arasında değişmektedir. Elektromotor kuvvetin değişimi E_m dir. $\Delta e = E_m$

Kondansatörden geçen akımın ortalama değeri,

$$I_{or} = \frac{\text{şarj değişimi}}{\text{geçen zaman}} = \frac{C.\text{gerilim değişimi}}{\text{geçen zaman}} = \frac{C.\Delta e}{\Delta t} = \frac{C.E_m}{T/2} = (4.C.E_m)/T$$

Uygulanan emk'in frekansı f olduğuna göre, $T = \frac{1}{f}$ dir. Yukarıdaki ifadede T yerine 1/f yazılırsa;

$$I_{or} = \frac{4.C.E_m}{1/f} = 4.f.C.E_m$$

kondansatör üzerinden geçen ortalama akım bulunur. Akımın maksimum değeri,

$$I_m = \frac{\pi}{2} . I_{or} \text{ olduğuna göre } \frac{\pi}{2} . I_{or} = 4.f.C.E_m . \frac{\pi}{2} \text{ den } I_m = 2.\pi.f.C.E_m$$

bulunur.

Kondansatörün üzerinden geçen alternatif akımın etkin(rms) değeri,

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \text{ dir.}$$

Kondansatörden geçen akımın etkin değeri;

$$\frac{I_m}{\sqrt{2}} = 2\pi f . C . \frac{E_m}{\sqrt{2}} \text{ düzenlenirse, } I_{ef} = 2\pi f . C . E_{ef} \text{ bulunur. Alternatif akımın ve}$$

gerilimin efektif değerlerinin yanına indis kullanılmaz. Eğer $I_{ef}=I$, $E_{ef}=E$ olarak yerlerine formülde konulursa frekans cinsinden kondansatör üzerinden geçen akım formülü ortaya çıkar.

$$I = 2\pi f . C . E$$

Biliniyor ki açısal hız $\omega = 2\pi f$ dir. Bu değer kondansatör üzerinden geçen akım formülünde yerine konulursa açısal hız cinsinden akım formülü aşağıdaki gibi olur.

$$I = \omega . C . E$$

Örnek2.14

100 μ f'lık bir kondansatöre etkin değeri 100 Volt olan ve frekansı 50 Hz'lik bir alternatif gerilime bağlandığında bu kondansatör üzerinden geçen akımı bulunuz.

Çözüm2.14

Alternatif akımın kondansatör üzerinden geçen akım formülünden faydalanılarak;

$$I = 2\pi f . C . E = 2\pi . 50 . 100 . 10^{-6} . 100 = 3,14 \text{ Amper}$$

Kapasitif Reaktans ve OHM kanunu

Kondansatör uçlarına bir alternatif gerilim uygulandığında kaynaktan çekilen akım $I = 2\pi f . C . E$ formülü ile hesaplandığı bulunmuştu. Bu ifadeden;

$$\frac{I}{E} = 2\pi f . C \quad \text{ve} \quad \frac{E}{I} = \frac{1}{2\pi f . C}$$

yazılabilir. Alternatif akım devresinde gerilimin akıma oranı biliniyor ki elektrik akımına karşı gösterdiği zorluğu verir. Bu durumda E/I oranı sabit kalır.

Kapasitif devredeki E/I oranına kapasitif reaktans denir. Birimi ohm'dur ve X_c ile gösterilir.

$$X_c = \frac{E}{I} = \frac{1}{2\pi f . C} = \frac{1}{\omega . C}$$

Doğru akım devresinde gerilim, akım ve direnç arasındaki ilişkileri veren ohm kanununun benzer şekilde, kapasitif devrede E, I ve X_c arasındaki ilişkiler için kullanılabilir. Kapasitif devrede ohm kanunu;

$$I = \frac{E}{x_c} \quad X_c = \frac{E}{I} \quad E = I.X_c$$

Kapasitif reaktans formülüne bakıldığında $X_c = \frac{1}{2\pi f.C}$ incelendiğinde şu hususlar görülür

- (a) Kapasitif reaktans, frekansla ters orantılı olarak değişir.
- (b) Kapasitif reaktans, kondansatörün kapasitesi ile ters orantılıdır.

Örnek2.15

Kapasitesi 50 μ F olan bir kondansatörün;

- a) 50 Hz deki
- b) 1000 Hz deki
- c) Sonsuz frekansdaki
- d) Doğru Akımdaki kapasitif reaktanslarını hesaplayınız.

Çözüm2.15:

$$\text{a)} \quad X_c = \frac{10^6}{2\pi f.C} = \frac{10^6}{2\pi.50.50} = 63,66 \Omega$$

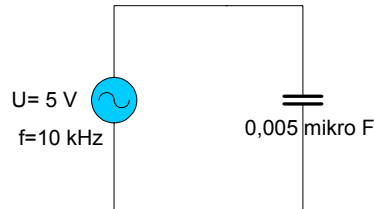
$$\text{b)} \quad X_c = \frac{10^6}{2\pi f.C} = \frac{10^6}{2\pi.1000.50} = 3,18 \Omega$$

$$\text{c)} \quad X_c = \frac{10^6}{2\pi f.C} = \frac{10^6}{2\pi.\infty.50} = 0 \Omega$$

$$\text{d)} \quad X_c = \frac{10^6}{2\pi f.C} = \frac{10^6}{2\pi.0.50} = \infty \Omega \text{ (D.A da reaktans sonsuzdur.)}$$

Örnek2.16

Şekil2.31 da verilen alternatif akım devresinde kondansatörün kapasitif reaktansını ve kaynaktan çektiği akımı hesaplayınız.



Şekil2.31

Cevap 2.17

Kapasitif reaktansı;

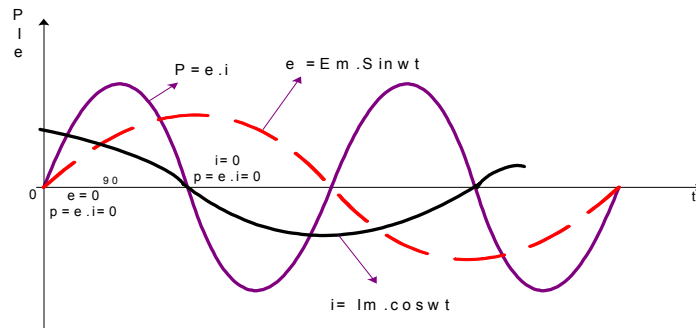
$$X_c = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{10^6}{2\pi \cdot (10000\text{ Hz}) \cdot 50} = 3,18\text{ k}\Omega$$

Kaynaktan çekilen akım;

$$U = I \cdot X_c \quad \text{dan} \quad I = \frac{U}{X_c} = \frac{5\text{ V}}{3,18\text{ k}\Omega} = 1,57\text{ mA}$$

Kapasitif Devrede Güç

Önceki konulardan biliniyor ki kapasitif devrede akımla gerilim arasında 90° faz farkı oluşmakta ve akım gerilimden 90° ileri fazdadır. Herhangi bir andaki kondansatörün harcadığı güç, o anda akım ile emk'in çarpımına eşittir. $p = i \cdot e$



Şekil2.32 Kapasitif devrede güç dalgaları

Şekil2.32 de görüldüğü gibi çeşitli anlardaki akım ve gerilim değerleri çarpılarak bulunan güçler işaretlenmek suretiyle gücün değişim eğrisi çizilebilir. Uygulanan emk'in ve akımın herhangi bir andaki değeri,

$$e = E_m \cdot \sin \omega t \quad \text{ve} \quad i = I_m \cdot \cos \omega t$$

bu değerler $p = e \cdot i$ formülünde yerlerine konulduğu takdirde gerilim ve akımın değerleri doğrultusunda ani güç formülü ortaya çıkar.

$$p = e \cdot i = E_m \cdot \sin \omega t \cdot I_m \cdot \cos \omega t = E_m \cdot I_m \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t$$

$$\sin \omega t \cdot \cos \omega t = \frac{1}{2} \cdot \sin 2\omega t \quad \text{den} \quad p = \frac{1}{2} \cdot E_m \cdot I_m \cdot \sin 2\omega t$$

Gerilim ve akımın değerlerini efektif değer cinsinden yazıldığında kondansatör üzerinde harcanan güç bulunur.

$$p = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \sin 2\omega t \quad \frac{E_m}{\sqrt{2}} = E \quad \frac{I_m}{\sqrt{2}} = I$$

$$p = E \cdot I \cdot \sin 2\omega t$$

E: Uygulanan emk'in etkin değeri, Volt

I: Geçen akımın etkin değeri, amper

p: Herhangi bir andaki güç (ani güç), Vatt

Ani güç formülü incelendiğinde, gücünde sinüzoidal olarak değiştiği yalnız frekansının, gerilim veya akım frekansının, iki katı olduğu görülür.

Şekil2.32 deki güç eğrisinin, emk'in yarım periyodunda tam bir periyotluk değişmeye uğradığı yani 1 periyot çizdiği görülür. Yatay zaman ekseninin üstündeki güç eğrisi pozitif, alt kısmındaki de negatif gücü gösterir. Güç pozitif iken, kondansatör şebekeden güç çekerek levhalarında enerji depo eder. Güç negatif iken, kondansatör levhalarında depo ettiği enerjiyi şebekeye (kaynağa) geri verir.

Güç eğrisinin altında kalan alan depo edilen enerjiyi veya deşarjda geri verilen enerjiyi gösterir. Şekil2.31 de görüldüğü gibi, şarjda depo edilen enerji, deşarjda geri verilen enerjiye eşittir. Bu durumda ortalama güç sıfır olur.

Güç eğrisi de akımın iki katı frekansa sahip bir sinüs eğrisidir. Bir sinüs eğrisinin bir periyottaki ortalama değeri sıfırdır. Şu halde kapasitif bir devrede ortalama güç sıfırdır.

Kapasitif devrede, 90° faz farklı akım ile gerilimin çarpımına reaktif güç denir. Reaktif güç Q harfi ile ifade edilir. Birimi ise VAr tir.

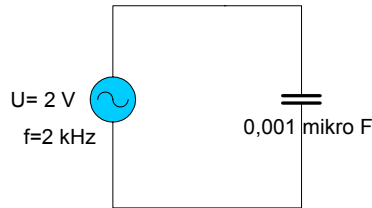
$$Q = E.I \text{ VAr}$$

Gerilim ve Kapasitif reaktans belli ise $Q = \frac{U_c^2}{X_c}$

Akım ve Kapasitif reaktans belli ise $Q = I_c^2 .X_c$

Örnek2.18

Şekil2.33 de alternatif gerilime bağlanan kondansatörün harcadığı gücü hesaplayınız.



Şekil2.33

Çözüm2.18

Kondansatör uçlarındaki gerilim belli, kapasitif reaktans bulunarak kondansatörün harcadığı güç bulunur.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f .C} = \frac{1}{2\pi(2.10^3 \text{ Hz}).(0.01.10^{-6} \text{ F})} = 7.96k\Omega$$

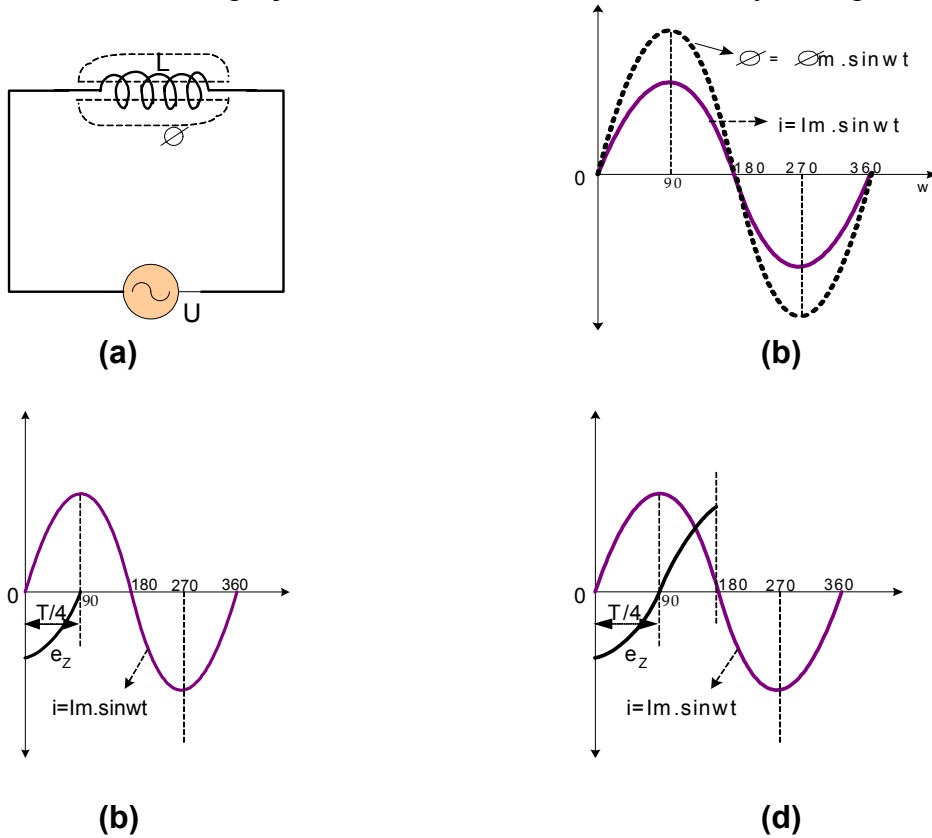
$$Q = \frac{U_c^2}{X_c} = \frac{(2V)^2}{7.96k\Omega} = 503.10^{-6} \text{ VAr} = 503\mu\text{VAr}$$

3.ENDÜKTİF DEVRE

ALTERNATİF AKIMDA BOBİN

Şekil2.34(a) da görüldüğü gibi saf bir özindükleme bobinin sinüzoidal alternatif bir gerilim uygulandığında şekil2.34(b) deki gibi bobinden sinüzoidal bir akım geçer. Bu akımın meydana getireceği ϕ manyetik akısı da sinüzoidal olarak değişir ve akımla aynı fazdadır.

Bobinden geçen akımın meydana getireceği sinüzoidal manyetik akı, bobinin kendi sarımlarını sardığı için, bobinde özindükleme emk meydana getirir.



Şekil2.34 Özindükleme bobinli A.A devresi

Bobinde indüklenen özindükleme emk'in nasıl değiştiğini sırayla incelemesi yapılırsa;

(1) Şekil2.34(c) de görüldüğü gibi, 0° ile 90° arasındaki yarım alternansı ele alalım. Akım sıfırdan başlayıp artarak $(+I_m)$ değerine, manyetik akı 0 dan

başlayarak ($+\phi_m$) değerine ulaşıyor. Bobinden geçen artan akımın meydana getirdiği artan ϕ akısının indüklendiği özindükleme emk'i Lenz kanununa göre, kendisini meydana getiren akının veya akımın değişimine mani olacak yöndedir. Akım pozitif yönde arttığı için özindükleme emk negatif olur.

Akımın değişim hızı $\Delta i/\Delta t$ veya manyetik kının değişim hızı $\Delta \Phi/\Delta t$, ilk başlangıçta yani 0° de (-) maksimum değerinden başlar, azalarak 90° de sıfır olur. Şekil2.34c de özindükleme emk'in değişim eğrisi görülmektedir.

$$e_z = -L \frac{di}{dt} \quad \text{veya} \quad e_z = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

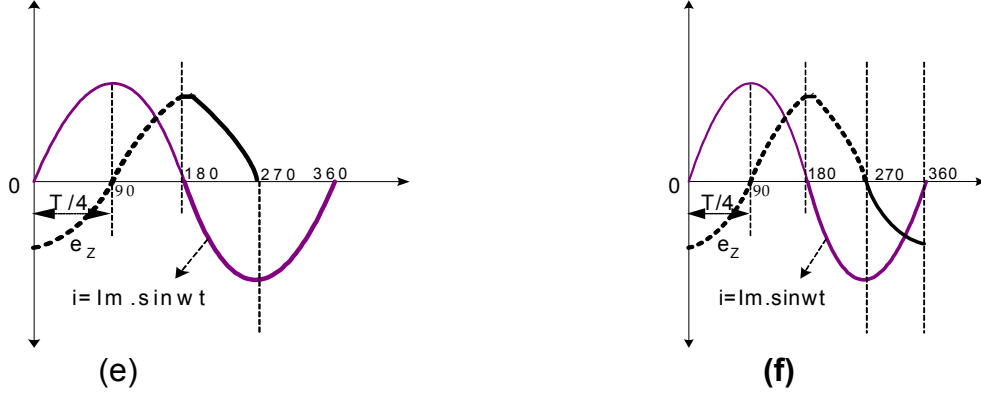
$0^\circ - 90^\circ$ arası T/4 periyotta, $\frac{di}{dt} \rightarrow (+)$ ve $\frac{d\Phi}{dt} \rightarrow (+)$ olduğu için formüllerden zıt emk'inin e_z negatif (-) olacağı anlaşılır.

(2) Şekil2.34(d) de görüldüğü gibi, 90° den sonra akım azalarak ($+I_m$) değerinden sıfıra düşer. 90° ile 180° arasında, pozitif yarım periyodun ikinci yarısında, akımın azalma hızı 90° de sıfır, 180° de ise maksimumdur. Akımın meydana getirdiği bobini saran manyetik akıda, 90° de (+) maksimum değerinden azalarak 180° de sıfıra düşer. Bobini saran manyetik akıdaki azalmanın inceleneceği özindükleme emk'i de sıfır, 180° de akımın değişim hızı di/dt maksimum olduğu için özindükleme emk'i de (+) maksimum olur. Şekil2.34(d) de özindükleme emk'in değişim eğrisi görülüyor.

(3) Şekil2.34(e) de görüldüğü gibi, 180° ile 270° arasında akım yön değiştirerek ($-I_m$) değerine doğru yükselecektir. 180° de akımın değişim hızı maksimum olduğu için özindükleme emk'i (zıt emk) maksimumdur. 270° de akımın değişim hızı sıfır olduğundan, özindükleme emk'i de sıfır olur. Akım arttığı için özindükleme emk'i de akıma ters yönde, akım negatif olduğundan özindükleme emk'i de pozitif yöndedir. Şekil2.34(e) de özindükleme emk'in $180^\circ - 270^\circ$ arasındaki değişim eğrisi görülüyor.

(4) Şekil2.34 (f) de görüldüğü gibi, 270° den sonra, akım negatif maksimum değerden azalarak 360° de sıfır değerini alır. Akım azaldığından özindükleme emk'i akımın azalmasına mani olabilmesi için akımla aynı yönde olur. Akım negatif olduğu için emk'de negatif olur. Akımın değişim hızı (di/dt) 270° de sıfır olduğundan özindükleme emk'i de sıfır olur. Akımın değişim hızı 360° de maksimum olduğu için özindükleme emk'i de maksimum değerini alır. Şekil2.34(f) de, 270° ile 360° arasında özindükleme emk'in değişim eğrisi görülüyor.

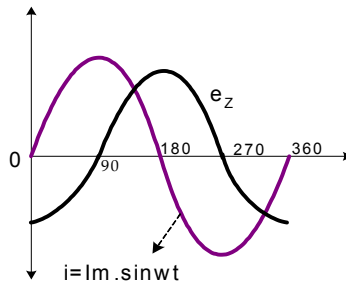
Şekil2.34 (c, d, e ve f) deki özindükleme emk'in değişimini gösteren eğrileri birleştirerek yeniden çizelim. Şekil2.35de çizilmiş hali görülmektedir.



Şekil2.34

Şekil2.35 deki özindükleme bobininden geçen akım ile özindükleme emk'in eğrileri incelendiğinde, özindükleme emk'in akımdan 90° geride olduğu görülür. Veya akım, özindükleme emk'inden 90° ileridedir.

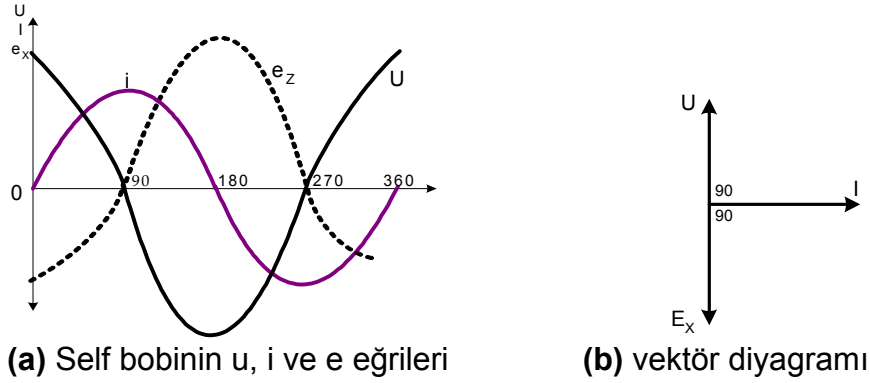
Şekil2.34 (a) da görüldüğü gibi, özindükleme bobinine sinüzoidal bir U emk'i uyguladık ve bobinden sinüzoidal bir akım geçti. Sinüzoidal akımın meydana getirdiği sinüzoidal manyetik akının etkisi ile bobinde bir özindükleme emk'i indüklendi. Şekil2.35 de görüldüğü gibi özindükleme emk'i akımdan 90° geridedir. Bobinden akımın geçmesine sebep olan U şebeke gerilimi ile özindükleme emk'i arasında 180° faz farkı vardır. Başka bir deyişle, özindükleme emk'i şebeke gerilimine zıttır. Bundan dolayı özindükleme emk'ine zıt emk da denir. Özindükleme emk, bobine uygulanan gerilime eşittir.



Şekil2.35 Özindükleme bobininden geçen akımın ve zıt emk'in değişim eğrisi

Şekil5.16 daki özindükleme emk'in değişim eğrisine 180° faz farklı olarak çizilecek sinüzoidal bir eğri, bobine uygulanan alternatif gerilimin değişim eğrisi olacaktır.

Şekil2.36 da, özindükleme bobininden geçen akımın, bobine uygulanan gerilimden 90° geride olduğu görülür. Şu halde, bir özindükleme bobininden geçen akı, uygulanan gerilimden 90° geri kalır.

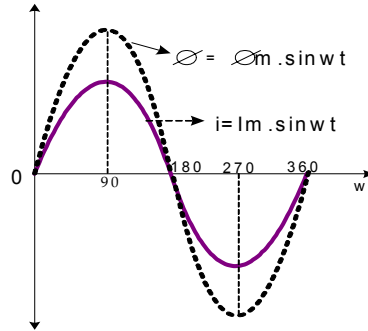


Şekil2.36

Alternatif Akımda Özindükleme EMK'in Hesaplanması

Bir özindükleme bobininden geçen sinüzoidal akımın meydana getirdiği sinüzoidal manyetik akı bobin iletkenlerini sardığı için bobinde, kendisinden (akıdan veya akımdan) 90 geride özindükleme emk'ini indüklediğini biliyoruz.

Şekil2.37 de, self bobinden geçen sinüzoidal akımın ve akımın değişim eğrileri görülüyor.



Şekil2.37

Özindükleme emk'in ortalama değeri, $E_{or} = \frac{N \cdot \Delta \Phi}{\Delta t} = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$ formülleri ile bulunur. Şekil 2.37de, 0 ile 90 arasında akımın değişimi $\Delta I = (I_m - 0) = I_m$ dır.

0 ile 90 arasında geçen zaman $\Delta t = T/4$ yani periyodun dörtte bir zamandır. ΔI ve Δt değerleri yukarıdaki formülde yerine konulursa;

$$E_{or} = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = L \frac{I_m}{T/4} = 4L \frac{I_m}{T}$$

Alternatif akımın frekansı f olduğuna göre $T=1/f$ dir.

$$E_{or} = 4L \cdot \frac{I_m}{1/f} = 4fLI_m$$

bulunur. Gerilimin ve akımın efektif değer cinsinden formülde yerlerine konulduğunda formül aşağıdaki şekilde düzenlenmiş olur.

$$E_{ef} = 2\pi \cdot f \cdot L \cdot I_{ef} = \omega \cdot LI$$

Örnek2.19

Endüktansı $L=4$ henri olan bir bobinde 50 Hz frekanslı 2 amperlik bir AA geçtiğinde, bobinde indüklenen özindükleme emk'ini bulunuz.

Çözüm2.19:

$$E = 2\pi f \cdot L \cdot I = 2\pi \cdot 50 \cdot 4 \cdot 2 = 800\pi = 2512 \text{ V}$$

Endüktif Reaktans

Özindükleme bobinine uygulanan emk, bobinden geçen alternatif akımın indüklediği özindükleme emk'ine eşit ve ters yöndedir. Şu halde, özindükleme emk'ini (zıt emk'ini) veren $E_{öz} = \omega \cdot L \cdot I$ formülü bize bobinin uçlarına uygulanan alternatif gerilimi (şebeke gerilimini) verir.

$$U = 2\pi \cdot f \cdot L \cdot I$$

$$U = \omega \cdot L \cdot I$$

U: Bobine uygulanan alternatif gerilimin efektif (etkin, rms) değeri, volt

ω : Alternatif akımın açısal hızı, Radyan/saniye

L: Endüktans, henri

I: Bobinden geçen akımın efektif değeri, amper

Yukarıdaki formülde gerilimi akıma bölündüğünde aşağıdaki ifade ortaya çıkar.

$$\frac{U}{I} = 2\pi f = \omega.L$$

Bobine uygulanan gerilimin bobinden geçen akıma oranı bize bobinin elektrik akımına karşı gösterdiği zorluğu (direnci) verir. Özindükleme bobinin içinden geçen akıma karşı gösterdiği zorluğa “endüktif reaktans” denir. Endüktif reaktans X_L harfi ile gösterilir. Birimi ohm’dur.

$$X_L = \omega.L \quad \text{veya} \quad X_L = 2.\pi.f.L$$

formülleri ile bulunur. Bir bobinin endüktif reaktansı, frekansla ve bobinin endüktansı ile doğru orantılıdır. Hava ve manyetik olmayan madde nüveli bir bobinin endüktansı sabit olduğu için reaktansı yalnız frekansla değişir. Reaktans bobine uygulanan U gerilimi ile değişmez.

Örnek2.20

Endüktansı 4 henri olan bir bobinin 25 Hz, 50 Hz ve 100 Hz frekanslarda alternatif akıma karşı gösterdiği zorluğu (endüktif reaktansı) hesaplayınız.

Çözüm2.20

25 Hz deki endüktif reaktansı;

$$X_c = 2.\pi.f.L = 2.\pi.25.4 = 628 \ \Omega$$

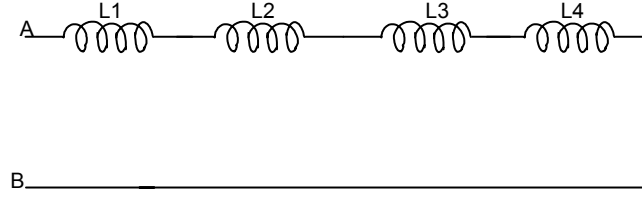
$$X_c = 2.\pi.f.L = 2.\pi.50.4 = 1256 \ \Omega$$

$$X_c = 2.\pi.f.L = 2.\pi.100.4 = 2512 \ \Omega$$

BOBİNLERİN BAĞLANTI ŞEKİLLERİ

Bobinlerin Seri Bağlanması

Bobinlerin değerlerini artırabilmek için birbirine seri bağlanır. Bobinler seri bağlandıklarında üzerlerinden geçen akım tüm elemanlarda aynıdır.



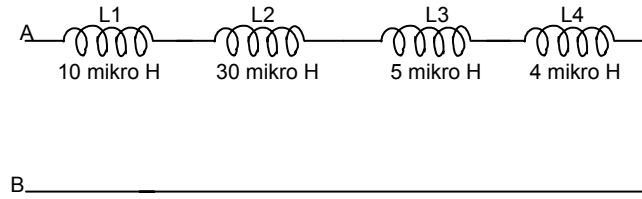
Şekil2.38 Bobinlerin seri bağlantısı

Şekil2.38deki gibi n tane bobin seri bağlandıklarında bu bobinlerin eşdeğer(toplam) endüktansı, devredeki bobin endüktanslarının toplamına eşittir.

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + + L_n$$

Örnek2.21

Şekil2.39 üzerinde verilen bobin değerlerine göre bobinlerin toplam endüktansını ve 50 Hz deki endüktif reaktansını bulunuz.



Şekil2.39

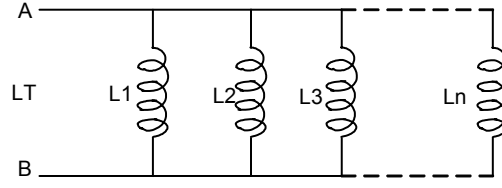
Çözüm2.21:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 = 10\mu H + 30\mu H + 5\mu H + 4\mu H = 49\mu H = 49 \cdot 10^{-6} H$$

$$X_L = \omega \cdot L_T = 2\pi f L_T = 2\pi \cdot 50 \cdot (49 \cdot 10^{-6}) = 0.0153\Omega$$

Bobinlerin Paralel Bağlanması

Paralel bağlı bobinlerde akımlar kollara ayrılarak devrelerini tamamlarlar. Uçlarındaki gerilim, tüm paralel bağlı bobinlerde aynı değeri gösterir. Şekil2.40da görüldüğü gibi n tane bobin paralel bağlanmıştır.



Şekil2.40 Bobinlerin Paralel Bağlanması

n tane bobin paralel bağlandığında bunların tek bir bobin haline aldırılmasına toplam endüktans denir. Toplam endüktans formülü aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

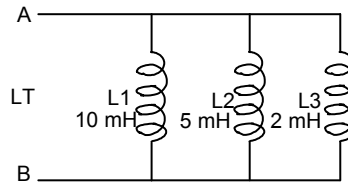
$$L_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{L_1}\right) + \left(\frac{1}{L_2}\right) + \left(\frac{1}{L_3}\right) + \dots + \left(\frac{1}{L_n}\right)}$$

Genel formülü ortaya çıkar. Eğer sadece iki bobin paralel bağlandığında pratiklik açısından toplam endüktans aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$L_T = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

Örnek2.22

Aşağıda Şekil2.41 üzerinde değerleri verilen bobinler paralel bağlandıklarına göre eşdeğer endüktansı ve 100 Hz deki endüktif reaktansını bulunuz.



Şekil2.41

Çözüm2.22:

$$L_T = \frac{1}{\left(\frac{1}{L_1}\right) + \left(\frac{1}{L_2}\right) + \left(\frac{1}{L_3}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{10mH}\right) + \left(\frac{1}{5mH}\right) + \left(\frac{1}{2mH}\right)} = \frac{1}{0,8mH} = 1,25mH$$

$$X_L = 2\pi f.L_T = 2\pi.100.(100.10^{-3}) = 62.8\Omega$$

Endüktif Devrede OHM Kanunu

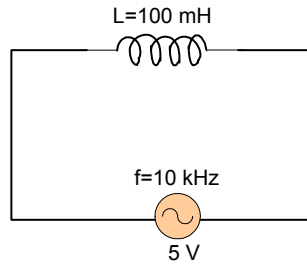
Alternatif akımda ohm kanunu DC de olduğu gibi akım gerilim ve direnç (endüktif reaktans) arasında aşağıdaki gibi bir bağıntı vardır.

$$I = \frac{U}{X_L} \quad X_L = \frac{U}{I} \quad U = I.X_L$$

Burada DC de değişen sadece direnç yerine endüktif reaktans (X_L) gelmektedir.

Örnek2.23

Şekil2.42 de görülen devrede bobinin kaynaktan çektiği akımı hesaplayınız.



Şekil2.42

Çözüm2.23

Birim dönüşümlerini yaparak çözüme başlanması gerekir.

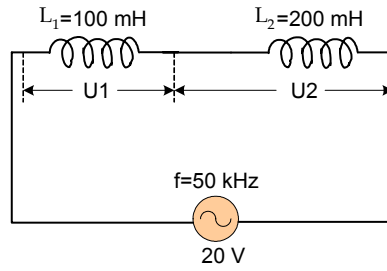
$$10 \text{ kHz} = 10.10^3 \text{ Hz ve } 100 \text{ mH} = 100.10^{-3} \text{ H}$$

$$X_L = 2\pi f.L = 2\pi(10.10^3 \text{ Hz}).(100.10^{-3}) = 6283\Omega$$

Ohm kanunundan, $I_{ef} = \frac{U}{X_L} = \frac{5V}{6283\Omega} = 796\mu A$

Örnek2.24

Şekil2.43 de görülen devrede bobinler seri bağlanmıştır. Bu elemanların uçlarına 20 V, 50 kHz'lik gerilim uygulandığına göre; toplam endüktansı, devrenin endüktif reaktansını, kaynaktan çekilen akımı ve bobin uçlarındaki gerilim düşümlerini bulunuz.



Şekil2.43

Çözüm2.24:

Toplam endüktans;

$$L_T = L_1 + L_2 = (100 \cdot 10^{-3} H) + (200 \cdot 10^{-3} H) = 300 \cdot 10^{-3} H = 300 mH$$

Toplam endüktif reaktans;

$$X_{LT} = X_{L1} + X_{L2} = 2\pi f \cdot L_T = 2\pi \cdot (50 \cdot 10^3 Hz) \cdot (300 \cdot 10^{-3} H) = 94247\Omega = 94.24 k\Omega$$

Kaynaktan çekilen akım, Ohm kanunundan faydalanılarak bulunur.

$$I = \frac{U}{X_{LT}} = \frac{20V}{94247\Omega} = 2.12 \cdot 10^{-4} A = 0.212 mA$$

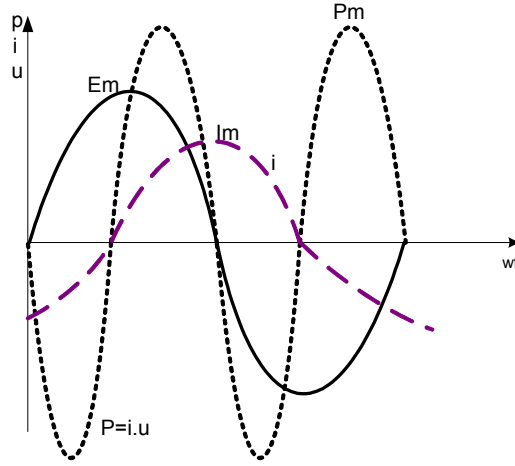
Bobin uçlarındaki gerilim düşümleri;

$$U_1 = I \cdot X_{L1} = I \cdot (2\pi f L_1) = (2.12 \cdot 10^{-4} A) \cdot (2\pi \cdot 50 \cdot 10^3 Hz \cdot 100 \cdot 10^{-3} H) = 6.66 V$$

$$U_2 = I \cdot X_{L2} = I \cdot (2\pi f L_2) = (2.12 \cdot 10^{-4} A) \cdot (2\pi \cdot 50 \cdot 10^3 Hz \cdot 200 \cdot 10^{-3} H) = 13.33 V$$

Endüktif Devrede Güç

Saf bir özindükleme bobininden geçen akımın, uygulanan emk'ten 90° geride olduğu biliyoruz. Herhangi bir andaki güç o andaki akım ile emk'in çarpımına eşittir. $p = e.i$ şekil2.44 de görüldüğü gibi, değişik anlardaki akım ve gerilim eğrilerini çarparak bulunan ani güçleri işaretlemek sureti ile gücün değişim eğrisi çizilebilir.



Şekil2.44 Saf özindükleme bobininin güç eğrisi

Şekil2.44 deki şekilde de görüldüğü gibi akım ve gerilim değerlerinin etkin değerlerinin çarpımı ani gücü vereceğinden ani güç formülü ortaya çıkar.

$$p = E.I.\sin 2\omega t$$

Şekil2.44 deki güç eğrisi ve ani güç ortalama formülü incelendiğinde gücünde sinüzoidal olarak değiştiği, yalnız frekansının emk veya akım frekansının iki katı olduğu görülür. Güç, emk'in yarım periyodunda tam bir periyotluk değişmeye uğrar veya bir periyot çizer. Yatay zaman ekseninin üstündeki güç eğrisi pozitif, alt kısmındaki eğride negatif gücü gösterir. Güç pozitif iken özindükleme bobini şebekeden güç çekerek manyetik alan şeklinde depo eder. Güç negatif iken bobin manyetik alan şeklinde depo ettiği enerjiyi ve negatif güç eğrisi altında kalan da şebekeye geri verilen enerjiyi gösterir. Bu iki alan birbirine eşit olduğu için enerjiler de eşittir. Bu durumda ortalama güç sıfırdır. Bobinde aktif güç(P) ile isimlendirilen güç sıfırdır. Bobinde harcanan güç reaktif güçtür. Bu güç Q harfi ile ifade edilir ve birimi VAr dir.

$$Q = U.I \quad Q = \frac{U^2}{X_L} \quad Q = I^2.X_L$$

Örnek2.25

Efektif değeri 10V, frekansı 1 kHz olan alternatif akım uçlarına 10 mH bobin bağlanıyor. Bu elemanın harcadığı gücü bulunuz.

Çözüm2.25:

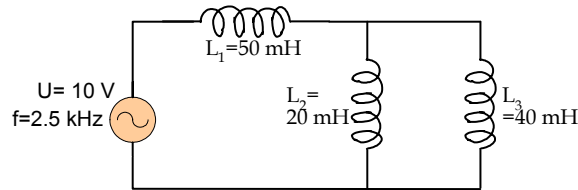
$$X_L = 2\pi f.L = 2\pi.(1.10^3 \text{ Hz}).(10.10^{-3} \text{ H}) = 62,8\Omega$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{10V}{62,8\Omega} = 159mA$$

$$Q = I^2 .X_L = (159.10^{-3} \text{ A}).62,8\Omega = 1,59Var$$

Örnek2.26

Şekil2.45 de görülen devrede 50 mH bobinin harcadığı gücü bulunuz.



Şekil2.45

Çözüm2.26

gücün bulunabilmesi için bu eleman üzerinden geçen akımın bulunması gerekir. Bu akımda kaynaktan çekilen akıma eşit olduğu için devrenin eşdeğer endüktif reaktansı bulunarak çözüme ulaşılabilir.

$$X_{L1} = 2\pi fL_1 = 2\pi.(2,5.10^3 \text{ Hz}).(50.10^{-3} \text{ H}) = 785,4\Omega$$

$$X_{L2} = 2\pi fL_2 = 2\pi.(2,5.10^3 \text{ Hz}).(20.10^{-3} \text{ H}) = 314\Omega$$

$$X_{L3} = 2\pi fL_3 = 2\pi.(2,5.10^3 \text{ Hz}).(40.10^{-3} \text{ H}) = 628\Omega$$

$$X_{LT} = X_{L1} + \frac{X_{L2} \cdot X_{L3}}{X_{L2} + X_{L3}} = 785 + \frac{314 \cdot 628}{314 + 628} = 994 \Omega$$

$$I = \frac{U}{X_{LT}} = \frac{10V}{994 \Omega} = 0,01A \qquad Q = I^2 \cdot X_{L1} = (0,01A)^2 \cdot 785,4 \Omega = 0,079Var$$

BÖLÜM 3

ALTERNATİF AKIMDA SERİ DEVRELER

3.1 R-L (DİRENÇ - BOBİN) SERİ BAĞLANMASI

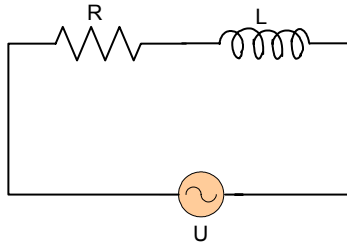
3.2 R-C (DİRENÇ - KONDANSATÖRÜN) SERİ BAĞLANMASI

3.3 R-L-C (DİRENÇ-BOBİN - KONDANSATÖR) SERİ BAĞLANMASI

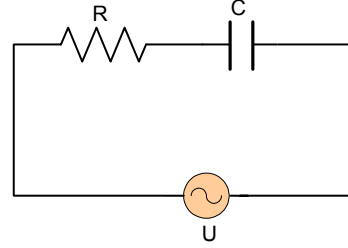
3.4 R-L-C SERİ DEVRESİNDE GÜÇ

ALTERNATİF AKIMDA SERİ DEVRELER

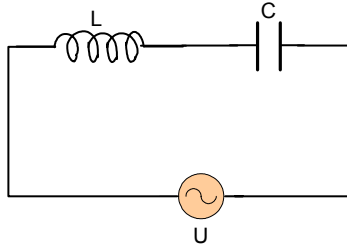
Direnç, bobin ve kondansatör elemanları tek olarak devrede kullanıldığı gibi bu elemanlar kendi aralarında çeşitli bağlantılı olarak aynı devrede kullanılabilirler. Bağlama çeşitlerinden bu elemanların aynı devre üzerinde seri bağlantı şekilleri oluşturularak alternatif akımda davranışları incelenecektir.



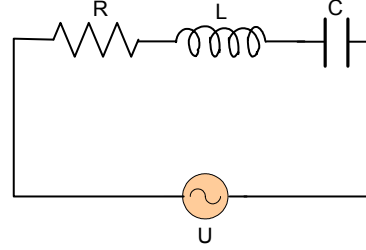
R-L seri devresi



R-C Seri devresi



L-C seri devresi



R-L-C seri devresi

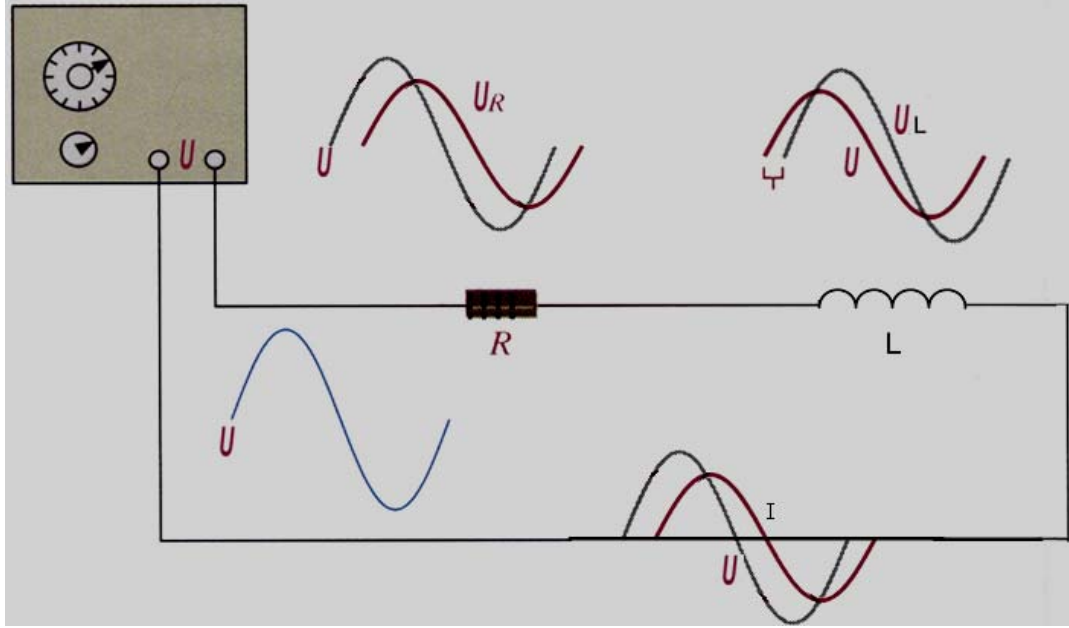
Şekil3.1 Alternatif Akım seri bağlantı devre şekilleri

Seri bağlı alternatif akım devrelerinin önemli üç kuralı vardır. 1) Seri bağlı bütün elemanlardan aynı akım geçer. Bunun için devrenin vektör diyagramının çiziminde, akım referans vektörü olarak alınır. 2) Devreye uygulanan U gerilimi, elemanların uçlarında düşen gerilimlerin vektörel toplamına eşittir. 3) Devrenin akıma karşı gösterdiği toplam zorluk (direnç), devre elemanlarının ayrı ayrı gösterdiği zorlukların vektörel toplamına eşittir.

3.1 R-L (DİRENÇ - BOBİN) SERİ DEVRESİ

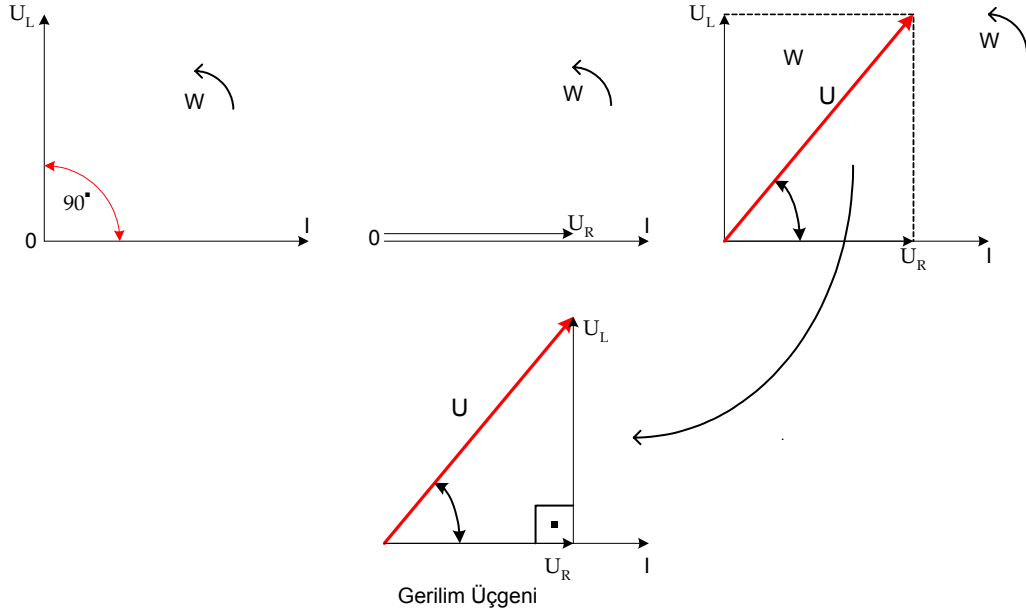
Çeşitli üretimlerde R-L seri devresine rastlamak mümkündür. Bunlar elektrik makineleri, flüoresan lamba tesisatları, trafolar gibi seri R-L özellikleri gösterir. Bu elemanları laboratuvar ortamında seri bağlanıp uçlarına sinyal jeneratöründen bir alternatif akım verildiğinde devre elemanlarındaki akım ve

gerilim değişimleri ve oluşturdukları faz farklılıkları görölebilir. Bu faz farkları osiloskop da görölebileceği gibi teorik olarak da ilerleyen konularda hesaplanması yapılacaktır. şekil3.2 de direnç ve bobinin seri bağlandıklarında uçlarındaki gerilim eğrisi ve üzerinden geçen akım eğrileri eleman üzerlerinde gösterilmiştir.



şekil3.2 R-L seri devresinde akım ve gerilim eğrileri

şekil3.2 deki devre incelendiğinde sinyal jeneratöründen bir akım çekilmektedir. Önceki konularda elemanların tek olarak alternatif akımdaki davranışları incelenirken direnç elemanının üzerinden geçen akımla uçlarında düşen gerilim arasında faz farkı meydana getirmediği sadece akımın genliğinin değiştiği açıklanmıştı. Bobin elemanı ise üzerinden geçen akımla uçlarındaki gerilim arasındaki gerilim arasında 90° faz farkı meydana geldiği de önceki konularda açıklanmıştı. Bu hatırlatmalardan sonra bu elemanlar seri bağlandığında, seri devre özelliklerinden, kaynaktan çekilen akım aynen bu elemanlardan geçeceğinden referans alınacak olan akımdır. Bu referans doğrultusunda eleman uçlarındaki gerilimi ve kaynak geriliminin vektörünün çizimi ve gerilim üçgenin elde edilmesi şekil3.3 de gösterilmiştir.



Şekil3.3 R-L seri devresinde gerilim üçgeninin elde edilmesi

Şekil3.2 deki R-L seri devresinde sinyal jeneratöründen çekilen I akımdır. Bu akım elemanlar üzerinden geçerken direnç uçlarında $U_R = I.R$ ve endüktif reaktansın uçlarında $U_L = I.X_L$ gerilim düşümlerine sebep olur. Yukarıda da açıklandığı gibi dirençte düşen U_R gerilimi içinden geçen akımla aynı fazda ve özindükleme bobinin reaktif direncinde düşen U_L gerilimi ise içinden geçen akımdan 90° ileri fazdadır. Kirşofun gerilim kanunu uygulandığında kaynak gerilimi eleman uçlarındaki gerilim düşümlerinin toplamına eşit olacaktır. Fakat alternatif akım vektörsek olduğundan cebirsel toplanmaz vektörsel toplanması gerekir.

$$U = U_R + U_L$$

Şekil3.3 deki devrede dikkat edilirse kaynak gerilimi akımdan ϕ açısı kadar ileri fazdadır. Vektör diyagramında gösterilen akım ve gerilim vektörleri, sinüzoidal akımın ve gerilimin etkin değerini gösterirler. Gerilim üçgeninden gerilim değerleri ve akımla gerilim arasındaki R-L devresindeki faz açısı aşağıdaki şekilde olur.

$$U^2 = U_R^2 + U_L^2 \text{ dik üçgenden } U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

$$\sin \phi = \frac{U_L}{U}, \quad \cos \phi = \frac{U_R}{U}, \quad \tan \phi = \frac{U_L}{U_R}, \quad \phi = \tan^{-1} \left(\frac{U_L}{U_R} \right)$$

$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$ formülünde U_R ve U_L değerlerini akım ve direnç değerleri cinsinden eşitliği yazılarak formülde yerlerine koyalım.

$$U_R = I.R \quad U_L = I.X_L \quad U = \sqrt{(I.R)^2 + (I.X_L)^2} = I\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

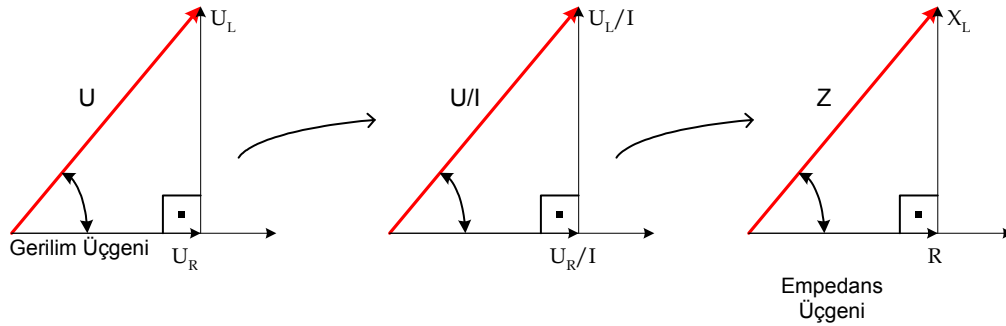
$$\frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Ohm kanunu hatırlanırsa gerilimin akıma oranı bize, ohm olarak devrenin geçen akıma karşı gösterdiği zorluğu verir. Omik direnç ve endüktif reaktansın akımın akışına gösterdiği zorluğa empedans denir. Empedans Z harfi ile ifade edilir ve birimi ohmdur.

$$\frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_L^2} = Z$$

$\tan \varphi = \frac{X_L}{R}$ den akımla gerilim arasındaki faz açısı $\varphi = \tan^{-1}(\frac{X_L}{R})$ dir.

Şekil3.4 de empedans üçgeninin çıkarılması görülmektedir.



Şekil3.4 Empedans üçgeni elde edilmesi

R-L seri devresinin empedansı, empedans dik üçgeninden Z çekilirse direnç ve endüktif reaktansdan faydalanılarak bulunur.

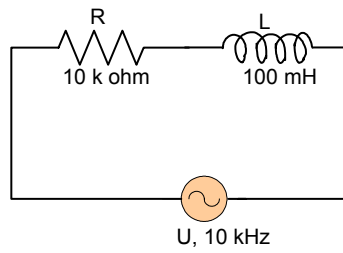
$$Z^2 = R^2 + X_L^2, \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Aynı zamanda Ohm kanununa göre $Z = U/I$ dir. Buradan devre akımı aşağıdaki gibi bulunur.

$$I = \frac{U}{Z} \quad \text{veya} \quad I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

Örnek3.1

Şekil3.5 deki seri bağlı elemanlar üzerinden $200 \mu\text{A}$ geçmektedir. Bu akımı veren devre gerilimini ve akımla gerilim arasındaki faz farkı açısını bulunuz.



Şekil3.5

Çözüm3.1:

$$X_L = 2\pi f \cdot L = 2\pi(10\text{kHz}) \cdot (100\text{mH}) = 6,28\text{k}\Omega$$

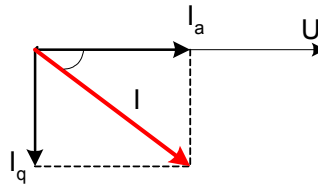
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(10\text{k}\Omega)^2 + (6,28\text{k}\Omega)^2} = 11,8\text{k}\Omega$$

$$U = I \cdot Z = (200\mu\text{A}) \cdot (11,8\text{k}\Omega) = 2,36\text{V}$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{6,28\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega}\right) = \tan^{-1}(0,628) = 31,1^\circ$$

R-L Seri Devresinde Güç

U gerilimi ve φ kadar geride I akımının gerilimle aynı fazlı ve gerilimle dik fazlı bileşenleri vardır. Gerilimle aynı fazlı olan bileşeni direnç elemanı üzerinde harcanan güçü dik fazlı bileşeni ise bobin üzerinde harcanan güçü ifade eder. Şekil3.6 da görülmektedir.



Şekil3.6

Akımın aktif bileşeni I_a ve reaktif bileşeni ise I_q dir. R-L seri devresinde akımın aktif bileşeni $I_a = I \cdot \cos \varphi$ ve reaktif bileşeni ise $I_q = I \cdot \sin \varphi$ dir. Güç akımla gerilimin çarpımına eşit olduğu önceki konularda anlatılmıştı. Bu duruma göre direnç elemanı üzerinde harcanan güç aktif güç ve bobin üzerinde harcanan güç ise reaktif güç olacaktır. Bu güçlerin formülleri aşağıdaki gibidir.

Aktif güç $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ Reaktif güç $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ formülleri ile bulunur. Burada $\cos \varphi$ 'ye güç katsayısı denir. Aktif güç devrenin iş yapan gücüdür. Isıtıcıların ve motorların aktif güçleri belirtilir. Reaktif güç, devrede kaynaktan çekilip sonra kaynağa geri verilen güçtür. Bunun için reaktif güç iş yapmaz. Bobin ve kondansatör reaktif güç çeken elemanlardır. Bunların dışında birde görünür güç vardır. Bu güçte alternatif akım kaynaklarının güçlerinin belirtilmesinde kullanılır.

Örnek3.2

Bir alternatif akım motoru 220 V'luk şebekede çalışken 3 A'lik akım çekmekte ve güç katsayısı $\cos \varphi = 0,8$ dir. Buna göre bu motorun aktif ve reaktif gücünü bulunuz.

Çözüm3.2:

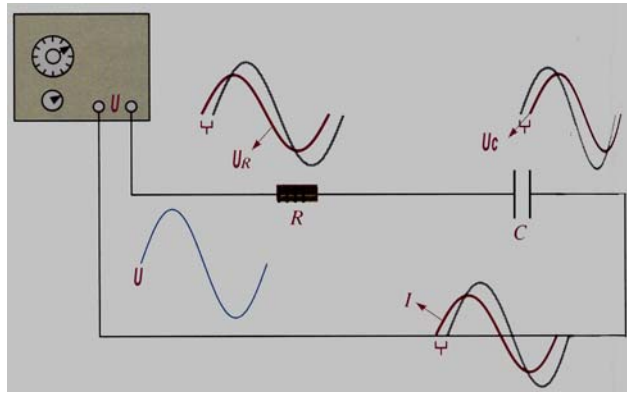
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 3 \cdot (0,8) = 528 \text{ Watt} \quad \cos \varphi = 0,8 \Rightarrow \varphi = 36,86^\circ \Rightarrow \sin 36,86 = 0,6$$
$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 220 \cdot 3 \cdot (0,6) = 396 \text{ Var}$$

R-L Seri Devre Özellikleri

- a) Devre akımı, devre geriliminden φ açısı kadar geri fazdadır. Bu sebepten R-L devrelerine geri güç katsayılı devreler de denir.
- b) Omik direnç uçlarındaki omik gerilim düşümü akımla aynı fazdadır.
- c) Endüktif reaktansın uçlarındaki gerilim düşümü, akımdan 90° ileri fazdadır.
- d) U devre gerilimi, U_R ve U_L gerilim düşümlerinin vektörel toplamına eşittir.
- e) Devrenin Z empedansı, R ve X_L dirençlerinin vektörel toplamına eşittir.

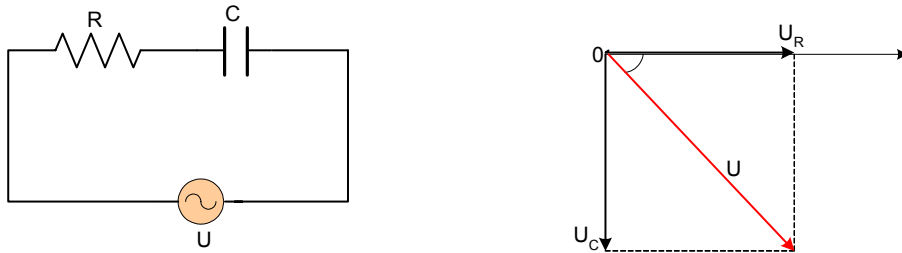
3.2 R-C (DİRENÇ - KONDANSATÖRÜN) SERİ BAĞLANMASI

Seri bağlı direnç ve kondansatör elektronik devrelerde sıkça karşımıza çıkan bir durumdur. Genellikle bütün kondansatörlerin bir direnç etkisi gösterdiği için, Alternatif akım kaynağına bağlanan her kondansatörden bir R-C seri devresine sahiptir. Yani her kondansatörün kapasitif bir de direnci vardır. Şekil3.7de sinyal jeneratörüne seri bağlanmış R-C elemanları ve dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil3.7 R-C seri devresi ve dalga şekilleri

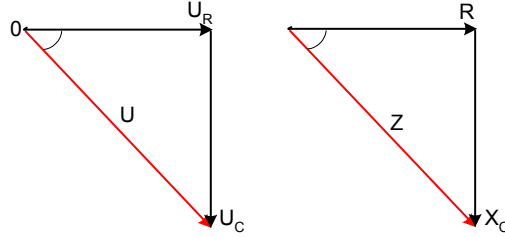
Şekil3.8 de devre şekli ve vektör gösterimi çizilen R-C seri devresinde alternatif bir gerilim uygulandığında; devreden alternatif bir akım geçer. Bu akım R direnci uçlarında U_R , kapasitif reaktansa U_C gerilim düşümleri meydana getirir. Direnç elemanı akımla gerilim arasında faz farkı meydana getirmeyenken kapasitif reaktans ise akımdan 90° geri fazlı bir gerilim düşümüne sebebiyet verir. Bu durum vektör diyagramında görülmektedir.



Şekil3.8 R-C seri devresi ve vektör diyagramı

Vektör diyagramından kaynağın gerilimi U_R ve U_C gerilimlerinin vektörel toplamına eşit olacaktır.

$$U^2 = U_R^2 + U_C^2 \text{ den} \quad U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \quad \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{U_C}{U_R}\right)$$



Şekil3.9 Gerilim ve empedans üçgeni

Empedans dik üçgeninde pisagor bağıntısından R-C devresinin akıma karşı göstermiş olduğu zorluğu verir. Bu zorluğa R-L devresi incelenirken empedans olarak ifade edilmişti burada da aynı ifade kullanılacaktır. Bu ifadenin formülü aşağıdaki gibidir.

$$Z = \frac{U}{I} \quad Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \tan\varphi = \frac{X_C}{R} \quad \varphi = \tan^{-1}\frac{X_C}{R}$$

Kaynaktan çekilen akım Ohm kanununa göre gerilimin empedansa bölümü olarak anlatılmıştı R-C devresinde kaynaktan çekilen akım aşağıdaki şekilde bulunur.

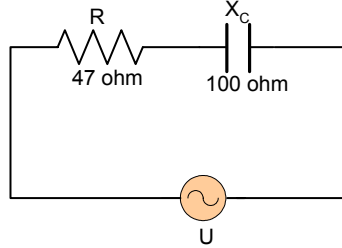
$$I = \frac{U}{Z} \quad I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

R-C Seri Devre Özellikleri

- a) Devre akımı, devre geriliminden φ faz açısı kadar ileri fazdadır. Bu sebepten R-C devrelerine ileri güç katsayılı devreler de denir.
- b) Omik direncin uçlarındaki U_R gerilim düşümü, akımla aynı fazdadır.
- c) Kondansatörün uçlarındaki U_C kapasitif reaktans gerilim düşümü, akımdan 90° geri fazdadır.
- d) U gerilimi U_R ve U_C gerilim düşümlerinin vektörel toplamlarına eşittir.
- e) Devrenin empedansı, R ve X_C dirençlerinin vektörel toplamına eşittir.

Örnek3.3:

Şekil3.10 da verilen alternatif akım devresinde devrenin empedansını ve faz açısını bulunuz.



Şekil3.10

Çözüm3.3:

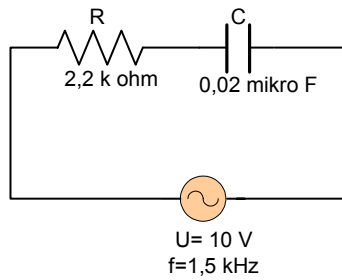
Empedans;

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(47\Omega)^2 + (100\Omega)^2} = 110\Omega$$

$$\text{Faz açısı } \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{100\Omega}{47\Omega}\right) = \tan^{-1}(2) = 67,8^\circ$$

Örnek3.4

Şekil3.11 deki alternatif akım devresinde kaynaktan çekilen akımı ve güç katsayısını bulunuz.



Şekil3.11

Çözüm3.4

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(1,5kHz)(0,02\mu F)} = 5,3k\Omega$$

Devrenin empedansı $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(2,2k\Omega)^2 + (5,3k\Omega)^2} = 5,74k\Omega$

Kaynaktan çekilen akım $I = \frac{U}{Z} = \frac{10V}{5,74k\Omega} = 1,74mA$

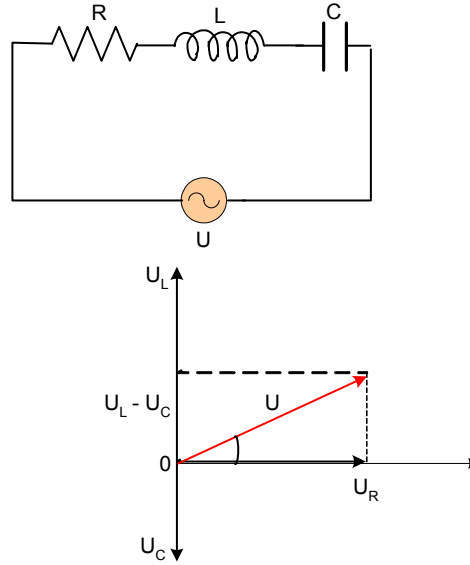
Güç katsayısı $\cos\varphi$

$$\tan\varphi = \frac{X_C}{R} \rightarrow \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5,3k\Omega}{2,2k\Omega}\right) = \tan^{-1}(2,4) = 67,45^\circ$$

$$\cos\varphi = \cos(67,45^\circ) = 0,38$$

3.3 R-L-C (DİRENÇ-BOBİN - KONDANSATÖR) SERİ BAĞLANMASI

Seri bağlı R-L-C den meydana gelen şekil3.12 deki devreye alternatif bir gerilim uygulandığında devreden sinüzoidal bir akım elemanlar üzerinden akmaya başlar. Bu akım eleman uçlarındaki gerilim ve kaynak gerilimi ile şekil3.12de vektör diyagramında gösterildiği gibi bir faz farkı meydana getirir. Devredeki bobinin endüktif reaktansına veya kondansatörün kapasitif reaktansına göre devre R-L veya R-C seri devre özelliği gösterir.



Şekil3.1 2R-L-C seri devresi ve vektör diyagramı

Devredeki R, L, C elemanlarından geçen bu R direnci uçlarında $U_R = I.R$ gerilim düşümüne, L özindükleme bobinin uçlarında $U_L = I.X_L$ gerilim

düşümüne, C kondansatörünün uçlarında $U_C = I.X_C$ gerilim düşümüne sebep olur.

Dirençte düşen U_R gerilimi akımla aynı fazdadır. Akımla gerilim arasındaki faz farkı sıfırdır. Özindükleme bobininde düşen gerilimle akım arasındaki faz farkı açısı 90° dir. Gerilim akımdan 90° ileri fazdadır. Kondansatörde düşen gerilim ise akımdan 90° geridedir. Bu duruma göre çizilen vektör diyagramında görüldüğü gibi U_L ve U_C gerilimleri aynı doğru üzerinde fakat vektör yönleri farklı durumdadır. Bu vektör diyagramında $U_L > U_C$ olarak kabul edilerek çizilmiştir. Vektör diyagramından U gerilim formülü ortaya aşağıdaki gibi çıkacaktır.

$$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2 \quad U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

$$\sin \varphi = \frac{(U_L - U_C)}{U} \quad \cos \varphi = \frac{U_R}{U} \quad \tan \varphi = \frac{(U_L - U_C)}{U_R}$$

vektör diyagramından;

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{(U_L - U_C)}{U_R} \right)$$

$U_R = I.R$, $U_L = I.X_L$ ve $U_C = I.X_C$ gerilim denkleminde yerlerine yazılması ile kaynağın gerilimi $U = I.\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ direnç kapasitif, endüktif reaktanslar ile gerilim formülü elde edilir.

Elde edilen gerilim formülünde eşitliğin her iki tarafı I ya bölünürse U/I durumu akımın akışına zorluk gösterme durumunu ifade ettiğini biliyoruz. Bu oranda empedansdır.

$$\frac{U}{I} = \frac{I}{I} \cdot \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\text{Kaynaktan çekilen akım } I = \frac{U}{Z} \quad \text{veya } I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

R-L-C Seri Devre Özellikleri

- a) Endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan büyük olması ($X_L > X_C$) R-L-C seri devresi R-L devre özelliği gösterir.
- b) Endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan küçük olması ($X_L < X_C$) R-L-C seri devresi R-C seri devre özelliği gösterir.
- c) Endüktif reaktansın kapasitif reaktansa eşit olması ($X_L = X_C$) devre rezonans durumundadır.

$X_L > X_C$ Durumu: R-L-C seri devresinde X_L endüktif reaktansı X_C de kapasitif reaktanstan büyük olduğu durumdur. Bu değerlerin durumuna göre eleman uçlarındaki gerimi düşümleri $U_L > U_C$ dir. Şekil3.12de bu durumun vektör diyagramı çizilmiştir. Bu vektör diyagramından çıkarılan formüllerle devrenin analizi yapılabilir.

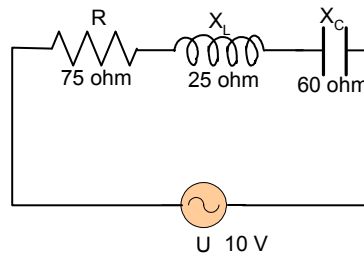
$X_L > X_C$ olduğu için devre akımı, devre geriliminden φ açısı kadar geridedir. Devrenin faz açısı ve güç katsayısı aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$\tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} \quad \text{veya} \quad \tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U} \quad \text{veya} \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Örnek3.5

Şekil3.13 deki alternatif gerilime seri bağlanan R, L, C elemanları uçlarındaki gerilim düşümlerini ve akımla gerilim arasındaki faz farkı açısını hesaplayınız.



Şekil3.13

Çözüm3.5

Önce devrenin empedansı bulunarak başlanması gerekir.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(75\Omega)^2 + (25\Omega - 60\Omega)^2} = \sqrt{(75\Omega)^2 + (35\Omega)^2} = 82,8\Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{10V}{82,8\Omega} = 121mA$$

$$U_R = I.R = (121mA)(75\Omega) = 9,08V$$

$$U_L = I.X_L = (121mA).(25\Omega) = 3,03V$$

$$U_C = I.X_C = (121mA).(60\Omega) = 7,26V$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{35}{75}\right) = 25^\circ$$

$X_L < X_C$ Durumu: Devrede endüktif reaktansın, kapasitif reaktanstan küçük olduğu durumdur. Bu duruma göre L elemanı uçlarındaki gerilim C elemanı uçlarındaki gerilimden düşük olacaktır. Buda devrenin R-C seri devre özelliği göstermesi demek olacaktır. Devrenin gerilimi vektör diyagramı çizilerek çıkarılabilir.

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_C - U_L)^2}$$

Devrenin empedans ve akım gerilim arasındaki faz açısı aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} \quad \tan\varphi = \frac{X_C - X_L}{R} \quad \varphi = \tan^{-1} \frac{X_C - X_L}{R}$$

$X_L = X_C$ Durumu: Endüktif reaktansın ve kapasitif reaktansın eşit olduğundan U_L ve U_C gerilim değerlerinin eşit olduğu durumdur. Endüktif reaktansın ile kapasitif reaktan arasında 180 faz farkı olduğundan reaktansın toplamı sıfırdır. Dolayısı ile devre saf omik devre özelliği gösterir. Direnç üzerinde kaynağın gerilimi görülür. Bu duruma seri rezonans denir.

3.4 R-L-C SERİ DEVRESİNDE GÜÇ

Seri bağlı R-L-C devresinde; endüktif reaktans ile kapasitif reaktansın birbirlerine göre büyük, küçük veya eşit olması devrenin özelliğini değiştirir. Akımın aktif bileşeni direnç elemanı üzerinde harcanan aktif gücü, reaktif bileşeni ise bobin veya kondansatör üzerinde harcanan reaktif gücü verir. Bu güç formülleri aşağıdadır. Bu hiç unutulmamalıdır ki aktif güç omik direnç üzerinde harcanan güçtür.

$$P = U.I.\cos\varphi \quad \text{Watt} \qquad Q = U.I.\sin\varphi \quad \text{VAr}$$

BÖLÜM 4

ALTERNATİF AKIMDA PARALEL DEVRELER

4.1 R-L (DİRENÇ - BOBİN) SERİ BAĞLANMASI

4.2 R-C (DİRENÇ - KONDANSATÖRÜN) SERİ BAĞLANMASI

4.3 R-L-C (DİRENÇ-BOBİN - KONDANSATÖR) SERİ BAĞLANMASI

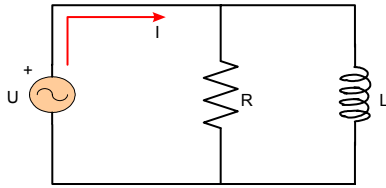
4.4 R-L-C SERİ DEVRESİNDE GÜÇ

PARALEL DEVRELER

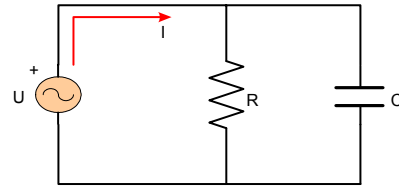
Alternatif akım paralel devrelerinin özelliklerinin özellikleri seri devrenin özelliklerinden tamamen farklıdır. Seri devrelere göre paralel devrelerin hesaplanması biraz daha zordur. Paralel devreler bunun için gerekli hesaplamalarla devrenin eşdeğeri olan seri devre durumuna getirilir.

Seri devrede kendine özgü özellikleri olduğu gibi paralel devrenin de kendine özgü özellikleri vardır. Bu özellikler ilerleyen konularda çözümlerle yol gösterilecektir.

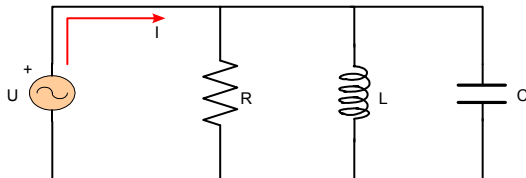
- a) Devre elemanları hepsi kaynağa paralel bağlı olduğundan kaynağın gerilimi eleman uçlarında aynen görülür. Paralel devrede değişmeyen U gerilimi referans vektör olarak alınır.
- b) Paralel devrede eleman uçlarındaki gerilim değişmezken kaynaktan çekilen akımlar elemanlar üzerinde çeşitli kollara bölünür. Kaynaktan çekilen akım, kollar üzerinden geçen akımların vektörel toplamına eşittir.
- c) Paralel bağlı kollardeki dirençleri terslerinin vektörel toplamına eşittir. Devre elemanları kendi aralarında da paralel olarak (R-L), (R-C), (R-L-C) ve (L-C) olarak bağlanabilirler. Bu bağlantıların şekil 4.1 de görülmektedir.



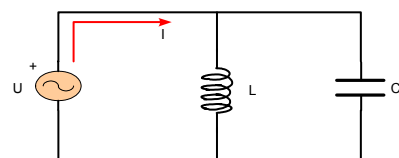
R-L paralel devresi



R-C paralel devresi



R-L-C paralel devresi



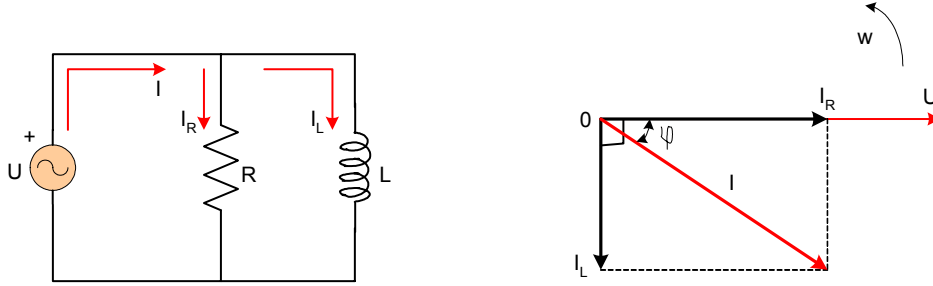
L-C paralel devresi

Şekil 4.1 Paralel bağlı devre çeşitleri

4.1 R-L (DİRENÇ - BOBİN) SERİ BAĞLANMASI

Şekil 4.2 deki devrede R-L elemanı birbirleri ile paralel bağlanarak bu eleman uçlarına alternatif bir emk bağlanmıştır. Bu uygulanan sinüzoidal alternatif gerilim elemanlar üzerinden yine sinüzoidal bir akıma akıtacaktır. Bu kaynaktan çekilen I akımı elemanlar üzerinden kollara ayrılarak tekrar kaynaktaki I olarak devresini tamamlayacaktır. Kirşofun akımlar kanunun dan kaynaktan çekilen akımla eleman üzerinden geçen akımların vektörel toplamına eşit olacaktır. Bu ifade aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$I = I_R + I_L$$



Şekil 4.2 R-L paralel devre ve vektör diyagramı

Şekil 4.2 de vektör diyagramı çizilmiştir. Bu vektör çizilirken devrede değişmeyen elemanların uçlarındaki gerilim baz alınarak çizilmiştir. Direnç elemanı R_1 akımla gerilim arasında faz farkı oluşturmadığı için gerilimle aynı fazlı çizilmiştir, bobin elemanı L_1 ise, akım gerilim arasında 90° geri fazda akıtmaktadır. Bu doğrultuda vektör diyagramı çizilmiş, kaynak akımı I , gerilimden φ açısı kadar geri fazda olduğu çizilmiştir. Vektör diyagramında kaynaktan çekilen akımın denklemi hipotenüs bağıntısından ;

$$I^2 = I_R^2 + I_L^2 \quad I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

bulunur. Devre elemanları kaynaktan çekilen akımın denklemi ise

$$I_R = \frac{U}{R} \quad I_L = \frac{U}{X_L} \quad I = \frac{U}{Z}$$

den bulunabilir. Burada hipotenüs bağıntısında kol akımları yerine yazılmak suretiyle devrenin formülü çıkarılabilir.

$$I^2 = I_R^2 + I_L^2$$

$$\frac{U}{Z} = \frac{U}{R} = \frac{U}{X_L} \quad \frac{U^2}{Z^2} = \frac{U^2}{R^2} = \frac{U^2}{X_L^2}$$

U^2 parantezine alınır. Her iki taraf U^2 bölünerek bulunur.

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} = \frac{1}{X_L^2} \quad Z = \frac{I}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}}}$$

Devrenin akımı ile gerilimi arasındaki faz açısını ve güç katsayısını şekil 4.2 vektör diyagramındaki dik üçgenden hesaplanabilir.

$$\tan \varphi = \frac{I_L}{I_R} \quad \text{veya} \quad \tan \varphi = \frac{R}{X_L} \quad \cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{U/R}{U/Z} = \frac{Z}{R}$$

Paralel R-L devresin de akım gerilimden geri kaldığı için devre geri güç katsayılıdır.

Paralel devrede yeni bazı tanımlamalar yaparak şekil 4.2 deki vektör diyagramını tekrar çizelim. Biliniyor ki, R , X_L ve Z akımın akmasına zorluk gösteren durumlardır. Bunların tersi durum yani $1/R$, $1/X_L$ ve $1/Z$ ise akımın akmasına kolaylık gösteren durumlardır.

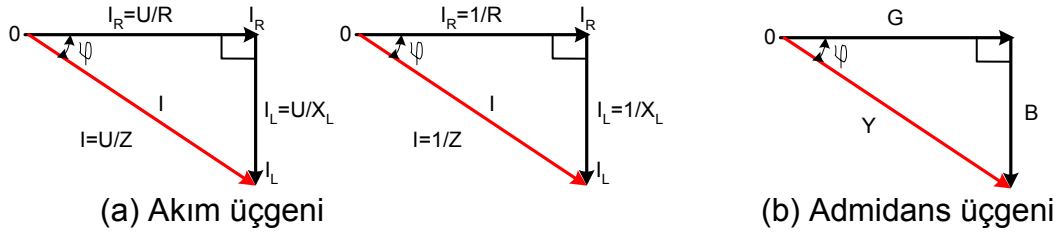
$1/R$: R direncinin iletkenliği denir. G harfi ile gösterilir. Birimi $(1/\Omega)$ veya siemens dir.

$1/X_L$: X_L endüktif reaktansın tersine elektrik akımına gösterdiği kolaylığa süseptans denir. B harfi ile ifade edilir. Endüktif süseptans B_L , kapasitif süseptans da B_C harfleri ile gösterilir. Birimi $(1/\Omega)$ veya siemens dir.

$1/Z$: Elektrik akımına göstermiş olduğu kolaylığa admidans denir. Y harfi ile ifade edilerek birimi $1/\Omega$ veya siemens dir.

$$\frac{1}{R} = G \quad \frac{1}{X_L} = B_L \quad \frac{1}{Z} = Y$$

Bu bilgilerden sonra iletkenlik süseptans ve admidans olarak vektör diyagramına şekil 4.3 deki gibi olur.



Şekil4.3

Şekil 4.3a da akımlar üçgeninde her kenar U'ya bölünerek (b) deki vektör diyagramı ortaya çıkar. Bu diyagramdan devrenin direnci bulunur.

$$(1/Z)^2 = (1/R)^2 + (1/X_L)^2 \quad \frac{1}{Z} = \sqrt{(1/R)^2 + (1/X_L)^2}$$

Şekil 4.3 deki iletken, süseptans ve admidans değerleri yerlerine konulursa devrenin admidans formülü ortaya çıkar.

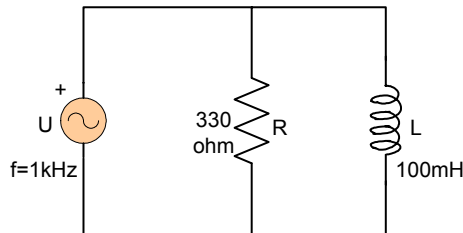
$$Y = \sqrt{G^2 + B_L^2}$$

Devrenin akımı, gerilimi admidans değeri ile bulunması gerektiği durumda aşağıdaki formüllerden bulunabilir.

$$U = \frac{I}{Y} \quad Y = \frac{I}{U}$$

Örnek4.1

Şekil4.4 deki alternatif akım devresinde, devrenin eşdeğer admidansını ve empedansını bulunuz.



Şekil4.4

Çözüm4.1

Admidansın bulunabilmesi için önce G ve B_L'nin değerinin bulunması gerekir.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{330\Omega} = 3,03ms$$

$$\text{Endüktif reaktansı } X_L = 2\pi fL = 2\pi(1000\text{Hz})(100\text{mH}) = 628\Omega$$

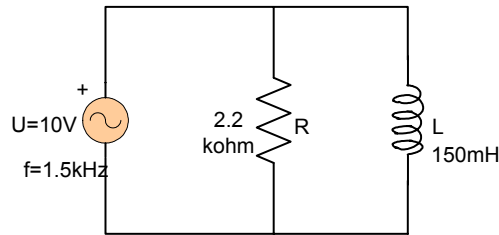
$$\text{Bobinin süseptansı } B_L = \frac{1}{X_L} = 1,59ms$$

$$\text{Devrenin admidansı } Y_T = \sqrt{G^2 + B_L^2} = \sqrt{3,03^2 + 1,59^2} = 3,42 \text{ ms}$$

$$\text{Admidansın tersi empedansı verir } Z_T = \frac{1}{Y_T} = \frac{1}{3,42ms} = 292\Omega$$

Örnek4.2

Şekil 4.5 de verilen Alternatif Akım devresinde kaynaktan çekilen akımı ve akımla gerilim arasındaki ϕ faz farkı açısını bulunuz.



Şekil 4.5

Çözüm4.2

Önce toplam admidansın bulunması gerekir. Admidansın bulunması içinde;
 $X_L = 2\pi fL = 2\pi(1,5\text{kHz}).(150\text{mH}) = 1,41 \text{ k}\Omega$

$$B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{1,41\text{k}\Omega} = 709\mu s$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{2,2\text{k}\Omega} = 455\mu s$$

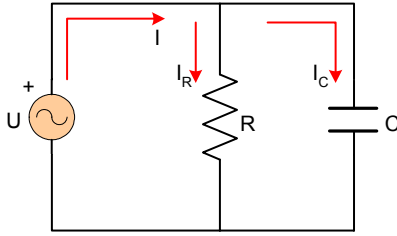
$$Y_T = \sqrt{G^2 + B_L^2} = \sqrt{(455\mu s)^2 + (709\mu s)^2} = 842 \mu s$$

$I_T = V \cdot Y_T = (10\text{V})(842\mu s) = 8,42\text{mA}$ bulunur. Akımla gerilim arasındaki faz açısı;

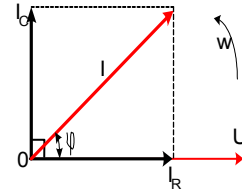
$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_L}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2.2k\Omega}{1.41k\Omega}\right) = 57.3^\circ$$

4.2 R-C (DİRENÇ - KONDANSATÖRÜN) SERİ BAĞLANMASI

Paralel bağlı R direnci ile C kondansatörü seri bağlanıp uçlarını Alternatif bir gerilim uygulandığında kaynaktan sinüzoidal bir I akımı çekilir. R direncin üzerinden I_R akımı ve C kondansatör üzerinden de I_C akımı akar. Bu akan akım direnç elemanın gerilimi ile aynı fazda olurken kondansatör elemanında ise uçlarındaki gerilimden akım 90° ileri fazdadır. Bu açıklamalar ışığında R-C paralel devresi ve bu devrenin vektör diyagramı şekil 4.6 daki gibi olur.



(a) R-C paralel devresi



(b) Vektör diyagramı

Şekil 4.6

Vektör diyagramındaki taralı dik üçgenden pisagor bağıntısı uygulandığında R-C paralel devresinin kaynaktan çekilen akım formülü ortaya çıkar.

$$I^2 = I_R^2 + I_C^2 \quad I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

ohm kanununa göre kol akımları ve kaynaktan çekilen akım yazılabilir.

$$I_R = \frac{U}{R} \quad I_C = \frac{U}{X_C} \quad I = \frac{U}{Z}$$

Ohm kanunundaki I_R , I_C ve I eşitlikleri akım formülünde yerine yazılırsa devrenin empedansı bulunur.

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}$$

$$Z = \frac{1}{(1/R)^2 + (1/X_C^2)}$$

$$\frac{1}{Z^2} = \sqrt{1/R^2 + 1/X_C^2}$$

$$Z = \frac{R \cdot X_c}{\sqrt{R^2 + X_c^2}}$$

Devrenin faz açısı ve güç katsayısı vektör diyagramından hesaplanabilir.

$$\tan \varphi = \frac{I_c}{I} \quad \text{veya} \quad \tan \varphi = \frac{U/R}{X_c} \quad \cos \gamma = \frac{I}{I_c} = \frac{U/R}{U/Z} = \frac{Z}{R}$$

Paralel R-C devresinde, akım geriliminden φ kadar ileride olduğundan bu devreye ileri güç katsayılı devre denir. Gerilim üçgeninden admidans üçgenini elde edilişi ve admidans formülü aşağıdaki şekil4.7deki gibi olur.



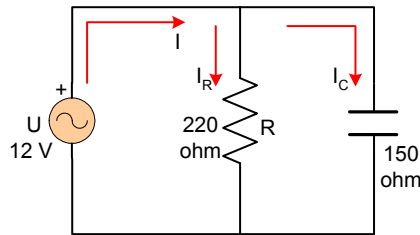
Şekil4.7 Admidans üçgeni

Admidans üçgeninden R-C devresinin admidans formülü

$$Y = \sqrt{G^2 + B_c^2}$$

Örnek4.3

Şekil 4.8 deki R-C paralel devresinde kaynaktan çekilen akım, kol akımlarını devre gerilimi ile akımı arasındaki faz farkı açısını hesaplayınız.



Şekil 4.8

Çözüm4.3

Eleman uçlarındaki gerilim kaynak gerilim eşit olduğuna göre

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{12V}{220\Omega} = 54.5A$$

$$I_c = \frac{U}{X_c} = \frac{12V}{150\Omega} = 80mA$$

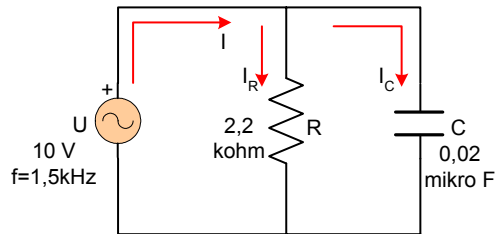
$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_c^2} = \sqrt{(54,5mA)^2 + (80mA)^2} = 96,8 \text{ mA}$$

Akımla gerilim arasındaki fark açısı ;

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{I_c}{I_R}\right) \quad \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{80mA}{54,5mA}\right) = 55.7^\circ$$

Örnek4.4:

Şekil 4.9 da verilen R-C paralel devresinde kaynaktan çekilen akımı ve akımla gerilim arasındaki faz farkı açısını bulunuz.



Şekil 4.9

Çözüm4.4

Kaynaktan çekilen akım bulunabilmesi için önce admidansının bulunması gerekir.

$$\text{Kondansatörün Süseptansı : } B_c = \frac{1}{X_c} = \frac{1}{5.31k\Omega} = 188\mu S$$

Direncin iletkenliği:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{2.2k\Omega} = 455\mu S$$

$$\text{Toplam Admidans: } Y_T = \sqrt{G^2 + B_c^2} = \sqrt{(455\mu S)^2 + (188\mu S)^2} = 492\mu S$$

$$I_T = V \cdot Y_T = (10V) \cdot (492\mu S) = 4,92 \text{ mA}$$

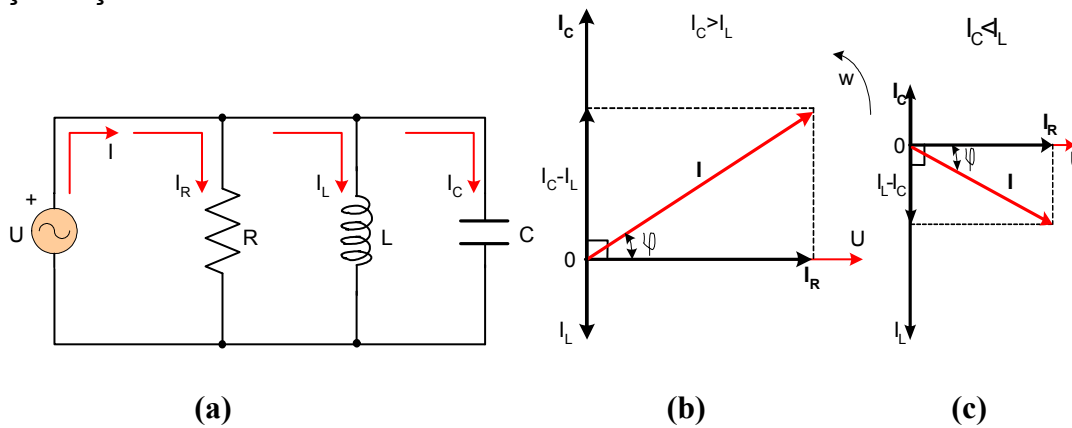
Akımla gerilim arasındaki faz açısı

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_c}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2.2k\Omega}{5.31k\Omega}\right) = 22.5^\circ$$

4.3 R-L-C (DİRENÇ-BOBİN - KONDANSATÖR) SERİ BAĞLANMASI

Direnç, bobin ve kondansatör elemanları aynı devrede paralel bağlanıp uçlarına sinüzoidal bir gerilim uygulandığında kaynaktan çekilen I akımı, R elemanı üzerinden geçen akım gerilimle aynı fazdadır. Bobinden geçen I_L akımı gerilimle 90° lik bir faz farkı meydana gelir. Gerilim I_L akımından 90° ileri fazdadır. Kondansatör üzerinden geçen I_c akımı gerilimi de 90° ileridedir.

Şekil 4.10 da R-L-C devresi ve vektör diyagramı bu bilgiler doğrultusunda çizilmiştir.



Şekil4.10

R-L-C paralel bağı elemanların oluşturduğu devrede üç durumda karşılaşılr.

- a) Endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan büyük olması $X_L > X_c$
- b) Endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan küçük olması $X_L < X_c$
- c) Endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan eşit olması $X_L = X_c$

$X_L > X_c$ durumunda endüktif reaktansın; kapasitif reaktanstan değer olarak daha büyüktür. Bu durumda bobin üzerinden geçen I_L akımı, kondansatör üzerinden geçen I_c akımından daha küçük olacaktır. $X_L > X_c$ durumunda vektör diyagramı şekil4.10(b) de çizilmiştir. Vektör diyagramından kaynaktan çekilen akım formülü aşağıdaki gibi olur.

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_c - I_L)^2}$$

bu formülden bulunduğu gibi ohm kanunundan faydalanınca aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$I_L = \frac{U}{X_L} \quad I_c = \frac{U}{X_c} \quad I_R = \frac{U}{R} \quad I = \frac{U}{Z}$$

Bu eşitlikler vektör diyagramında çıkarılan devre akım formülünde yerine konulursa devrenin admidansı bulunur.

$$I = \sqrt{(U/R)^2 + (U/X_c - U/X_L)^2} = U \sqrt{(1/R)^2 + (1/X_c - 1/X_L)^2}$$

Eşitliğin her iki tarafı U değerine bölünerek devrenin empedansı, empedansın tersi ise admidansı aşağıdaki şekilde olur.

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{Z} = \sqrt{(1/R)^2 + (1/X_c - 1/X_L)^2} \quad Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{\sqrt{(1/R)^2 + (1/X_c - 1/X_L)^2}}$$

bulunur. Güç katsayısı değişik şekillerde bulunabilir. Güç katsayısının değerini aşağıdaki formüller yardımı ile bulunur.

$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{U/R}{U/Z} \quad \cos \varphi = \frac{Z}{R}$$

Akımla gerilim arasındaki faz farkı açısı φ 'nin bulunması ise aşağıdaki formüllerde bilinen değerler yerlerine konularak bulunur.

$$\tan \varphi = \frac{B_C - B_L}{G}$$

$X_L < X_C$ durumunun vektör diyagramı şekil 4.10 (c) de çizilmiştir. Bu durumda endüktif reaktans, kapasitif reaktanstan küçük olduğu durumdur. Bu da I_C akımının I_L akımından küçük olduğu anlamına gelir. $X_L > X_C$ durumundaki formüllerde sadece $(I_C - I_L)$ yerine $(I_L - I_C)$ konulması ile tüm formüller çıkartılabilir.

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

burada ohm kanunundaki formüller kullanılarak devrenin empedans ve admidansı bulunur.

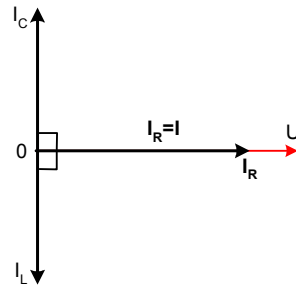
$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$$

akımla gerilim arasındaki faz açısı ve güç katsayısı formülü ise aşağıdaki şekilde

$$\tan \varphi = \frac{B_L - B_C}{G} \quad \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{B_L - B_C}{G} \right) \quad \cos \varphi = \frac{Z}{R}$$

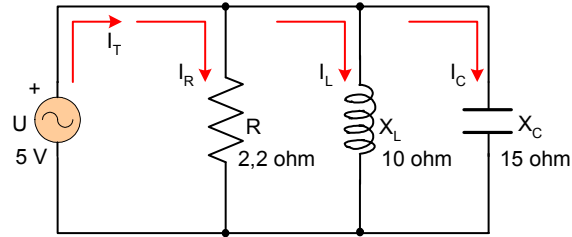
$X_L = X_C$ durumunda ise endüktif ve kapasitif kollardan eşit akımlar geçer. Bu akımlar arasında faz farkı 180° olduğu için, bu iki akımın aritmetik farkı sıfırdır. Dolayısıyla devrenin toplam akımı, omik R koldan geçen akıma eşittir ve güç katsayısı birdir. Bu devreye paralel rezonans devresi denir. Bu durumun vektörel şekil 4.11 deki gibidir.



Şekil 4.11

Örnek4.5

Şekil 4.12 de R-L-C elemanları paralel bağlanarak uçlarına efektif değeri 5v olan bir sinüzoidal bir gerilim uygulandığında kaynaktan çekilen akımlar, kol akımlarını ve akımla gerilim arasındaki faz farkı açısını buluruz.



Şekil4.12

Çözüm4.5

Elemanlar üzerinden geçen akım ohm kanunundan yararlanılarak bulunur.

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{5V}{2.2\Omega} = 2.27A \quad I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{5V}{5\Omega} = 1A \quad I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{5V}{10\Omega} = 0.5A$$

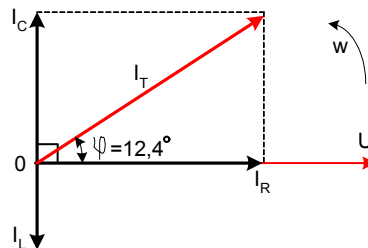
Kaynaktan çekilen toplam akım $X_L > X_C$ durumundaki formülden

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} = \sqrt{(2.27A)^2 + (1A - 0.5A)^2} = 2.32A$$

Kaynaktan çekilen akımla gerilim arasındaki faz farkı açısı ;

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{I_C - I_L}{I_R} \right) = \left(\frac{0.5A}{2.27A} \right) = 12.4^\circ$$

Devrenin vektör diyagramı şekil 4.13 de çizilmiştir.



Şekil4.13 vektör diyagramı

RLC elemanları bir devrede birer tane bulundukları gibi aynı elemandan birden fazlada olma durumları mevcuttur. Bu elemanların seri, paralel veya seri-paralel bağlantılarda olabilir. Bu devrelerde devreyi tek bir kondansatör, direnç ve bobin olarak eşdeğerleri hesaplanarak bulunur. Devre yine tek RLC devre haline gelir. Devre seri durumda ise seri devre özellikleri paralel ise paralel devre özellikleri uygulanılarak analizi yapılır.

4.4 R-L-C SERİ DEVRESİNDE GÜÇ

RLC seri devresinde; kapasitif reaktans ile endüktif reaktansın birbirlerine göre büyük, küçük ve eşit olması özelliğini değiştirir. RLC seri devresinde akım gerilimden φ kadar geride veya ileride olduğu gibi, akım ile gerilim aynı fazda yani $\varphi=0$ olabilir. Buna göre devrenin güç katsayısı $\cos\varphi$ ileri, be $\cos\varphi$ geri ve $\cos\varphi=1$ olur. Devreye uygulanan U geriliminden, devrenin I akımı φ kadar ileride veya geride ise ortalama güç P (aktif güç) ve reaktif güç Q aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$P = U.I.\cos\varphi$$

$$Q = U.I.\sin\varphi$$

BÖLÜM 5

KOMPLEKS SAYILARIN ALTERNATİF AKIM DEVRELERİNE UYGULANMASI

- 5.1 R-L (DİRENÇ – BOBİN) SERİ DEVRESİ
- 5.2 R-C (DİRENÇ – KONDANSATÖR) SERİ DEVRESİ
- 5.3 R-L-C (DİRENÇ – BOBİN – KONDANSATÖR) SERİ DEVRESİ
- 5.4 R-L (DİRENÇ – BOBİN) PARALEL DEVRESİ
- 5.5 R-C (DİRENÇ – KONDANSATÖR) PARALEL DEVRESİ
- 5.6 R-L-C (DİRENÇ – BOBİN – KONDANSATÖR) PARALEL DEVRESİ

GİRİŞ

Sinüzoidal emk'leri ve sinüzoidal akımları dönen vektörlerle gösterilmişti. Kompleks sayılarla vektörlerin toplanması, çıkarılması, çarpılması ve bölünmesi işlemlerini çabuk ve doğru olarak kolayca yapılabildiği matematik de incelendiğinde görülür. Burada kompleks sayıların nasıl olduğu anlatılmayacaktır. Bu herhangi bir matematik kitabından incelendiğinde anlaşılacağını umarım. Kompleks sayılar bize vektörlerin herhangi bir dereceden kuvvetlerini ve köklerini kolayca bulunabilme olanağı da sağlamaktadır. Alternatif akım devrelerinin çözümlerinde büyük kolaylıklar sağlayan bu sayıları devrelerin çözümlerinde sıkça kullanacağız. Vektörlerin toplanmasında ve çıkarılmalarda için dik bileşen vektörleri halinde bulunmaları gerekir. Dik bileşen vektörlerini çarpmak, bölmek ve bir kuvvete yükseltmek mümkündür. Fakat uzun ve zordur bu işlemleri kutupsal veya üslü vektörlerle yapmak daha kolay ve kısadır. Yalnız kutupsal ve üslü vektörlerle kök alma işlemi yapılabilir. Herhangi bir vektörün üç şekilde gösterilir.

Dik bileşenli vektör gösterilişi $A = Ax + jAy$

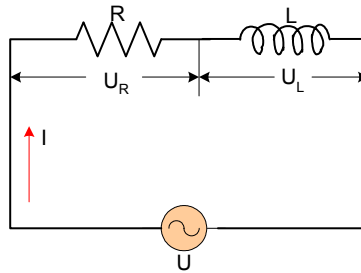
Trigonometrik gösterilişi $A = A(\cos \alpha + j \sin \alpha)$

Kutupsal gösterilişi $A = A \angle \alpha$

Bu hatırlatmalardan sonra önceki konularda incelenen devre bağlantı çeşitlerinin analizlerini kompleks sayılarla analizi yapılacaktır.

5.1 R-L (DİRENÇ – BOBİN) SERİ DEVRESİ

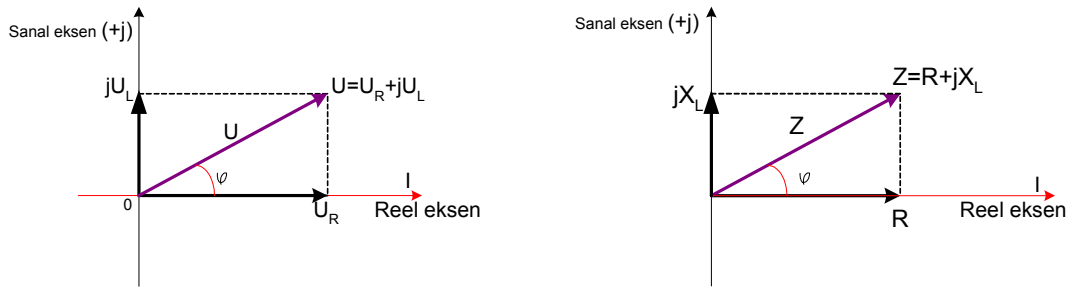
Şekil5.1 de seri bağlanmış olan RL devresi kirşofun gerilimler kanunundan, kaynağın gerilimi elemanlar üzerinde düşen gerilimlerin toplamına eşittir. Bu kompleks sayılarla ilk incelediğimiz alternatif akım devresi olduğundan açıklamalı olarak işlemleri ve formülleri çıkartalım.



Şekil5.1 RL Seri devresi

RL elemanı uçlarına bir alternatif bir U gerilimi uygulandığında bu kaynaktan bir akım çekilecektir. Devre seri olduğundan bu akım değeri devre elemanları

üzerinden aynen geçecektir. Fakat uçlarındaki gerilimle bu akım arasında elemanına göre bir faz farklılığı oluşturacaktır. Bunu önceki konularda elemanları devrede tek olarak bağladığımızdaki akımla gerilim arasındaki faz farklıklarını açıklamıştık. Direnç elemanı üzerinden geçen akım ve uçlarındaki gerilimle herhangi bir faz farkı oluşturmamakta fakat bobin üzerinden geçen akımla uçlarındaki gerilim düşümü ile 90° faz farkı oluşturmakta, akım gerilimden 90° geri fazda kalmakta olduğu önceki konulardan biliniyor. Seri devrede akım değişmediği için baz olarak veya başlangıç eksenini olarak akım alınır. Bu açıklamalarla gerilim ve empedans üçgenlerini oluşturalım.



Şekil 5.2 RL seri devresinin gerilim ve empedans üçgeni

Akım seri elemanlardan aynı aktığı için başlangıç ekseninde alınmış, U_R direnç akımla gerilim arasında faz farkı oluşturmadığı için U_R gerilimi de genliği kadar akımla aynı ekseninde çizilmiştir. Bobin elemanı üzerinden bir akım geçtiğinde uçlarındaki gerilim, akımdan 90° ilerde olduğundan sanal ekseninde jU_L olarak Şekil 5.2 de gösterilmiştir. Devre geriliminin dik bileşenler ve kutupsal gösterilişi aşağıdaki gibi olur.

$$U = U_R + jU_L = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{U_L}{U_R}\right)$$

RL seri devresinin eşdeğer empedansı ise Şekil 5.2 deki empedans üçgeninden dik bileşen ve kutupsal şeklinde gösterimi aşağıdaki şekildedir.

$$Z = R + jX_L = \sqrt{R^2 + X_L^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right)$$

Empedans üçgenine biraz matematiksel işlemler yapıldığında devrenin akımı ile gerilimi arasındaki faz farkı açısını, devrenin empedansı ve faz açısı bilindiğinde devre eleman değerlerinin bulunması gibi formüller ortaya çıkarılabilir.

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{X_L}{Z} \quad \varphi = \cos^{-1} \frac{R}{Z} \quad \varphi = \tan^{-1} \frac{X_L}{R}$$

$$X_L = Z \cdot \sin \varphi$$

$$R = Z \cdot \cos \varphi$$

$$X = R \cdot \tan \varphi$$

Örnek5.1

Alternatif akım devresinde R=2 ohm direnç ile L=0,01 H değerlerindeki iki eleman seri bağlanarak uçlarına 200 V, 50 Hz lik bir gerilim uygulandığında kaynaktan çekilen akımı bulunuz.

Çözüm5.1

Devrenin empedansının bulunabilmesi için endüktif reaktansın aşağıdaki şekilde bulunur, bulunan bu değer devrenin empedansında kullanılır.

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot (50 \text{ Hz}) \cdot (0,01 \text{ H}) = 3,14 \Omega \quad Z = R + jX_L = 2 + j3,14 = 3,723 \angle 57,5^\circ \Omega$$

$$I = \frac{200 \text{ V}}{(3,723 \angle 57,5^\circ \Omega)} = 53,72 \angle -57,5^\circ \text{ A}$$

Örnek5.2

250 V ,50 Hz lik bir gerilimle beslenen endüktif devreden 10 A geçmekte ve 750 W harcanmaktadır.R ve L değerleri ile sistemde görünen, harcanan ve reaktif güçleri bulunuz.

Çözüm5.2:

$Z = \frac{U}{I} = \frac{250 \text{ V}}{10 \text{ A}} = 25 \Omega$ $R = \frac{P}{I^2} = \frac{750 \text{ W}}{10^2} = 7,5 \Omega$ aktif güç direnç elemanı üzerinde harcadığı için buradan direnç değeri bulunur.

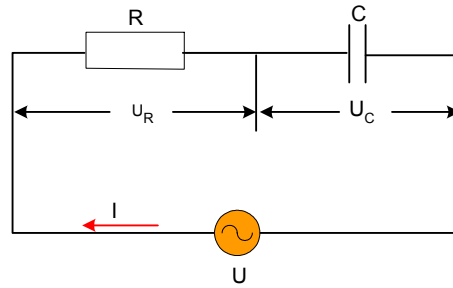
$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(25 \Omega)^2 - (7,5 \Omega)^2} = 23,85 \angle 72,54^\circ \Omega$ bulunur. Akımla gerilim arasındaki faz farkı açısı $\varphi = 72,54^\circ$ $\cos \varphi = 0,3$ (geri) $\omega = 314 \text{ rad/s}$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{23,85}{314} = 0,076 \text{ H} = 76 \text{ mH}$$

$S = U.I = 250V.10\angle -72,54^\circ A = 2500\angle -72,54^\circ = 750 + j2385VA$ buradan reel değer aktif gücü, sanal değer de reaktif gücü vereceğinden $P=750\text{ W}$, $Q=2385\text{ VAR}$

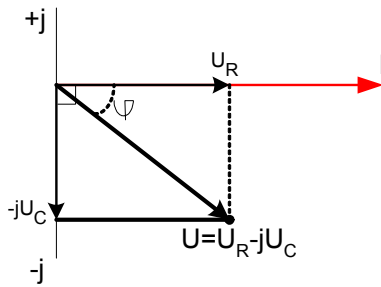
5.2 R-C (DİRENÇ – KONDANSATÖR) SERİ DEVRESİ

Şekil5.3 de görülen devrede direnç elemanı ile kondansatör elemanı seri bağlanıp uçlarına bir alternatif gerilim uygulandığında bu gerilimin devre elemanları üzerinde iki bileşeni vardır. Direnç elemanı üzerindeki gerilim düşümü akımla aynı fazda, kondansatör uçlarındaki gerilim düşümü ise akımdan 90° geri fazdadır.

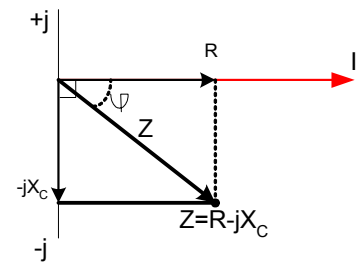


Şekil5.3

Bu açıklamalar doğrultusunda seri devre olduğundan akım referans ekseninde alınarak devre vektörü aşağıda şekil5.4 deki gibi çizilir.



Gerilim üçgeni



Empedans üçgeni

Şekil5.4

Şekil5.4 deki gerilim üçgeninden devrenin gerilim reel ekseninde olan U_R gerilimi ile sanal ekseninde olan U_C geriliminin toplamına eşit olacaktır.

$$U = U_R - jU_C = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \angle -\tan^{-1}\left(\frac{U_C}{U_R}\right)$$

gerilim değeri ve faz açısı buradan bulunur ve devrenin empedansı da şekil5.4 deki empedans üçgeninden dik bileşenler ve kutupsal gösterim şeklindeki formülü bulunur.

$$Z = R - jX_L = \sqrt{R^2 + X_C^2} \angle -\tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$$

Empedans formülü dikkat edilirse vektörel olarak bulduğumuz formülün aynısıdır. Burada reel değer direnç elemanını, sanal kısmını da kapasitif reaktans oluşturmaktadır. Kapasitif reaktansın X_C 'nin önüne $-j$ getirilmiştir. Bu da (-90°) ifade eder. Empedans üçgeninden devre ile ilgili aşağıdaki formüller çıkartılabilir.

Empedans değeri ve faz açısı bilindiği durumda devre elemanlarının değerleri bulunabilir.

$$X_C = Z \cdot \sin \varphi$$

$$R = Z \cdot \cos \varphi$$

$$X_C = R \cdot \tan \varphi$$

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{X_C}{Z} = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \tan^{-1} \frac{X_C}{R}$$

Örnek5.3

Saf bir R direnci ile bir kondansatör seri bağlanmıştır. Sisteme 120 volt, 100 Hz uygulandığı zaman devredeki akım 2,5 amper ve sistemde harcanan güç 240 W tır. R direnci ile C kapasitesinin değerini hesaplayınız.

Çözüm5.3

Direnç elemanının değerini devrede harcanan aktif güç bu eleman üzerinde harcandığı için güç formülünden direnç değeri bulunabilir.

$$P = I_2 \cdot R \rightarrow R = \frac{P}{I^2} = \frac{240W}{2,5^2 A} = 38,4 \Omega$$

Devre akım ve devre gerilimi bilindiğine göre devrenin empedansı ohm kanunundan faydalanılarak bulunur.

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{120V}{2,5A} = 48 \Omega$$

Empedans formülü kullanılarak, bu formülden kapasitif reaktans çekilirse kondansatörün kapasitif reaktansının değeri hesaplanabilir.

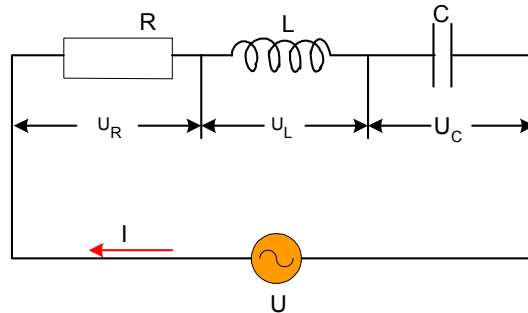
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \rightarrow X_C = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{48^2 - 38,4^2} = 28,8 \Omega$$

kapasitif reaktans formülünden kapasite çekilirse, buradan devreye bağlı olan kondansatörün değeri bulunur.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 28,8} = 55,29 \mu F \text{ bulunur.}$$

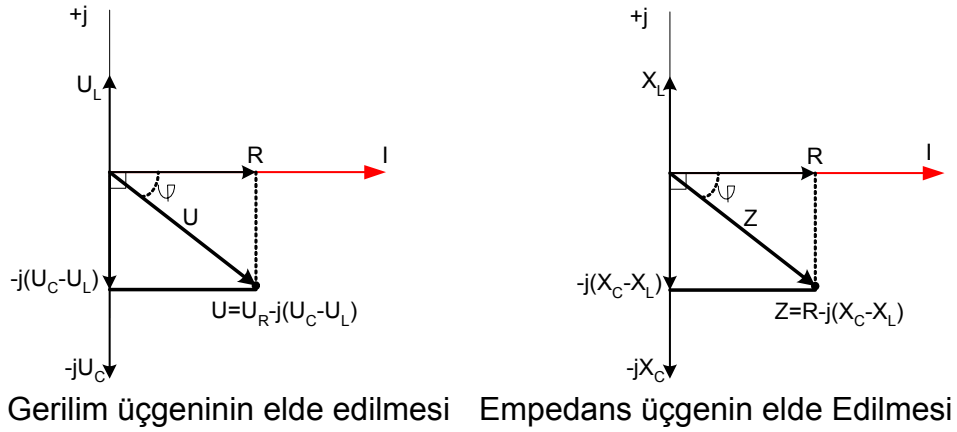
5.3 R-L-C (DİRENÇ – BOBİN – KONDANSATÖR) SERİ DEVRESİ

Alternatif akım devrelerinin çözümünde devrede direnç, bobin ve kondansatör seri veya paralel şekil5.4 de bağlandıklarında devre elemanları üzerlerinden geçirdikleri akımlarla bir faz farkı meydana getirdikleri bu ana kadar defalarca ifade edilmişti. Bunun açık olarak elemanların özelliklerine göre; direnç akımla gerilim arasında faz farkı sıfır, bobin elemanı uçlarındaki gerilim akımdan 90° ileri fazda ve kondansatör uçlarındaki gerilim akımdan 90° geri fazdadır. Buda kompleks sayılarla ifadesi biliniyor ki $+j$, 90° yi ve $-j$ de (-90°) ile gösterilmektedir. Bu durumda kapasitif reaktans değerinin önüne ($-jX_C$), endüktif reaktansın önüne ise ($+j$) konulacaktır. Bu gösterimde jX_L olur. Şekil5.5 de bu durum gösterimi yapılarak bu devrenin kompleks çözüm formülleri çıkartılmıştır.



Şekil5.5 RLC seri devresi

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda devrenin gerilim üçgeni ve empedans üçgenini çizerek RLC devresinin formülleri çıkartılır. RLC seri devresinde kapasitif reaktansın endüktif reaktansa eşit, büyük ve küçük olduğu durumlar mevcuttur. Bu önceki konularda açık bir şekilde incelemesi yapılmıştı. Bu hatırlatmalar ışığında $X_L < X_C$ durumunun empedans ve gerilim üçgeni şekil5.6daki gibi olur.



Şekil5.6 RLC seri devresinde $X_L < X_C$ durumu

Devre gerilimi, gerilim üçgeninden;

$$U = U_R - j(U_C - U_L) = \sqrt{U_R^2 + (U_C - U_L)^2} \angle -\tan^{-1}(U_C - U_L / U_R)$$

bulunur. devrenin empedansı, empedans üçgeninden bulunur.

$$Z = R - j(X_C - X_L) = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} \angle -\tan^{-1}((X_C - X_L)/R)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_C - X_L}{R}$$

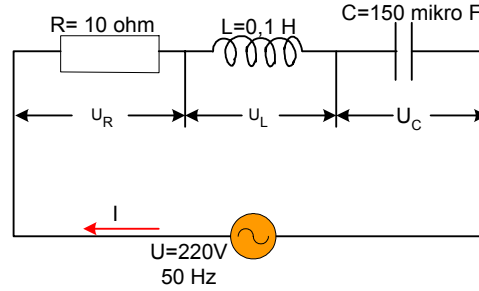
bu dik üçgenden matematik kurallar doğrultusunda güç katsayısı ve akımla gerilim arasındaki faz farkı açıları da bulunabilir. Bu vektörel çözümde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştı. Ayrıca devre elemanları uçlarındaki gerilim düşümlerinin değerleri de aşağıdaki gibi bulunur.

$$U_R = I.R \quad U_L = I.(jX_L) \quad U_C = I.(-jX_C)$$

dikkat edilirse $X_L < X_C$ durumu devrenin RC seri devre özelliği taşıdığını ve $X_L > X_C$ durumu ise devre R_L seri devre özelliği taşır.

Örnek5.4:

Şekil5.7 deki alternatif akım devresinde değerleri verilen RLC elemanları seri bağlanarak bu devreye alternatif bir gerilim uygulanmıştır. Bu devrede kaynaktan çekilen akımı, devrenin güç katsayısını, eleman üzerlerindeki gerilim düşümlerini bulunuz.



Şekil5.7

Çözüm5.4:

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,1 = j31,4 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} = -j21,23 \Omega$$

$$Z = R + j(X_L - X_C) = 10 + j10,17 = 14,26 \angle 45,48^\circ$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{14,26 \angle 45,48^\circ} = 14 \angle -45,48^\circ \text{ A}$$

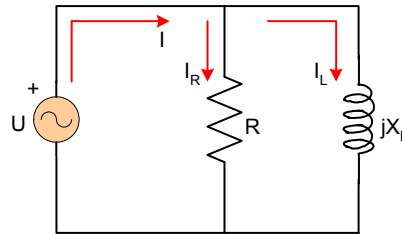
$$U_R = R \cdot I = 10 \cdot 14 \angle -45,48^\circ = 140 \angle -45,48^\circ \text{ V}$$

$$U_L = jX_L \cdot I = 31,4 \angle 90^\circ \cdot 14 \angle -45,48^\circ = 440 \angle 44,52^\circ \text{ V}$$

$$U_C = -jX_C \cdot I = 21,23 \angle -90^\circ \cdot 14 \angle -45,48^\circ = 297,22 \angle -135,48^\circ \text{ V}$$

5.4 R-L (DİRENÇ – BOBİN) PARALEL DEVRESİ

Seri devrelerde karmaşık sayıların alternatif akıma nasıl uygulandığı vektörel gösterimlerle açıklanmıştı. Paralel devrede de aynı kurallarla kompleks sayılar paralel devrede de uygulanarak devre çözümü yapılabilir. Paralel devre özellikleri kullanılarak paralel devrenin çözümü, elemanların bağlantılarına göre çözümü kompleks sayılarla yapalım. Şekil5.8 deki RL paralel devresinin devre empedans, kaynaktan çekilen akım, eleman üzerlerinden geçen akımların formüllerini çıkartalım.



Şekil5.8 RL paralel devresi

Devre elemanlarının toplam empedansının bulunması için, eleman değerlerinin tersi alınıp toplandığı da bulunur. Karışık devrelerde işlemlerin basit olması için devre elemanlarının isimlerini $Z_1(Z_1=R)$, $Z_2(Z_2=jX_L)$ gibi isim verilerek eşdeğer empedans formülü aşağıdaki gibi olur.

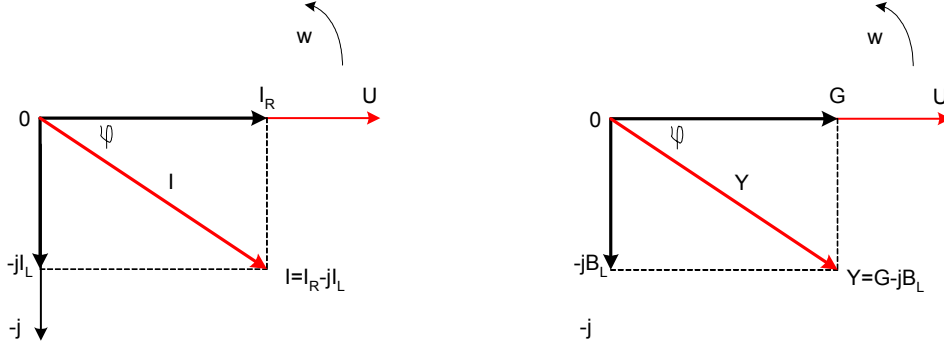
$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \dots \dots \dots \frac{1}{Z_n}$$

RL devresi için devre empedansı bu genel formülde yerine konularak aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{1}{Z_T} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L} \Rightarrow Z_T = \frac{R.(jX_L)}{R + jX_L}$$

Kaynaktan çekilen akım ve kol akımları ohm kanunundan faydalanılarak bulunur.

$$I = \frac{U}{Z_T} \quad I_R = \frac{U}{R} \quad I_L = \frac{U}{jX_L} = \frac{U}{X_L \angle 90^\circ}$$



Şekil5.9 RL paralel devresinin akım ve admidans üçgeni

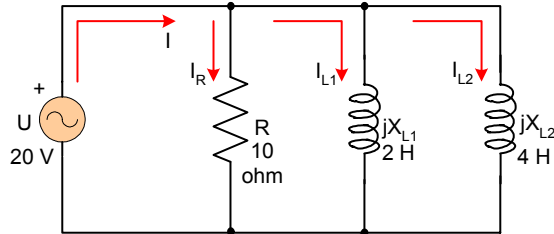
Paralel devrede Şekil5.9daki RL paralel devresi akımının dik bileşenler ve kutupsal gösterim olarak aşağıdaki gibi olur.

$$I = I_R - jI_L = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} \angle \tan^{-1} \left(-\frac{I_L}{I_R} \right)$$

Örnek5.5:

Şekil5.10 da verilen R_L paralel devresinin;

- 1- Devrenin admidansını
- 2- Devrenin empedansını
- 3- Kaynaktan çekilen akımı ve kol akımlarını hesaplayınız.



Şekil5.10

Çözüm5.5

Devreye bağlı olan elemanları $Z_1=R=10$ ohm, $Z_2=jX_{L1}=2$ H ve $Z_3=jX_{L2}$ olarak tanımlayalım.

a)

$$Y_1 = \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{R} = \frac{1}{10\Omega} = 0,1 S \quad Y_2 = \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{jX_{L1}} = \frac{1}{j2} = \frac{1}{2\angle 90^\circ} = 0,5\angle -90^\circ S = -j0,5 S$$

$$Y_3 = \frac{1}{Z_3} = \frac{1}{jX_{L2}} = \frac{1}{j4} = \frac{1}{4\angle 90^\circ} = 0,25\angle -90^\circ = -j0,25 S$$

$$Y_T = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0,1 S + (-j0,5) + (-j0,25) = 0,1 - j0,75 S = \sqrt{(0,1)^2 + (0,75)^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{-0,75}{0,1}\right) \\ = 0,756\angle -82,4^\circ S$$

b)

$$Y_T = \frac{1}{Z_T} \Rightarrow Z_T = \frac{1}{Y_T} = \frac{1}{0,756\angle -82,4^\circ S} = 1,32\angle 82,4^\circ$$

$$I_T = \frac{U}{Z_T} = U \cdot Y_T = 20V \cdot (0,756\angle -82,4^\circ S) = 15,12\angle -82,4^\circ A$$

$$I_R = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{R} = U \cdot Y_1 = 20V \cdot (0,1 S) = 2 A$$

c)

$$I_{L1} = \frac{U}{Z_2} = \frac{U}{jX_{L1}} = U \cdot Y_2 = 20V \cdot (0,5\angle -90^\circ S) = 10\angle -90^\circ A$$

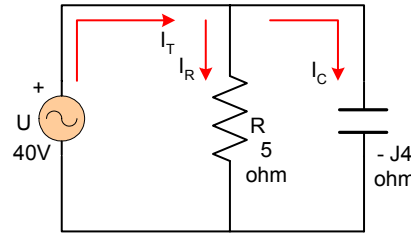
$$I_{L2} = \frac{U}{Z_3} = \frac{U}{jX_{L2}} = U \cdot Y_3 = 20V \cdot (-j0,25 S) = -j5 A = 5\angle -90^\circ A$$

5.5 R-C (DİRENÇ – KONDANSATÖR) PARALEL DEVRESİ

Şimdiye kadar direnç elemanının devre gerilimi ile bir faz farkı oluşturmadığı sadece alternatif akımın genliğini değiştirdiğini gördük. Fakat devrede bobin veya kondansatör seri veya paralel bağlansınlar bu akımla gerilim arasında bir faz farkı getirdiği bu faz farkından dolayı da kompleks sayıların sanal ekseninde yer aldığı görülmüş oldu. Artık şu açıklamayı yapmakta hiçbir sakınca yoktur. Eğer devrenin çözümü kompleks sayılarla çözülecekse endüktif reaktans değerinin önüne $+j$ ($+90^\circ$ yi ifade eder), kapasitif reaktan önüne ise $-j$ (-90° yi ifade eder) koyarak devrenin istenen değerleri kompleks çözümlerle bulunabilir. Şekil5.11deki RC paralel devresinin bu açıklamalarla çözümünü yapalım.

Örnek5.6

Şekil5.11 deki devrenin kaynaktan çekilen akımı, elemanlar üzerinden geçen akımları ve devrenin empedansını hesaplayınız.



Şekil5.11

Çözüm5.6

Paralel bağlı olduğundan, paralel devre özellikleri hatırlanırsa devre gerilimi eleman üzerlerinde aynen görülür. Bu duruma göre ohm kanunundan devreden çekilen akım ve kol akımları bulunur.

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{40V}{5\Omega} = 4A \quad I_C = \frac{U}{-jX_C} = \frac{20V}{-j4\Omega} = \frac{20V}{4\angle -90^\circ \Omega} = 5\angle 90^\circ A = j5A$$

paralel devrede kirşofun akımlar kanunu uygulanırsa devrenin kaynaktan çektiği I_T akımı bulunur.

$$I_T = I_R + I_C = 4A + j5A = \sqrt{4^2 + 5^2} \angle \tan^{-1} \frac{5}{4} = 6,4\angle 51,3^\circ A$$

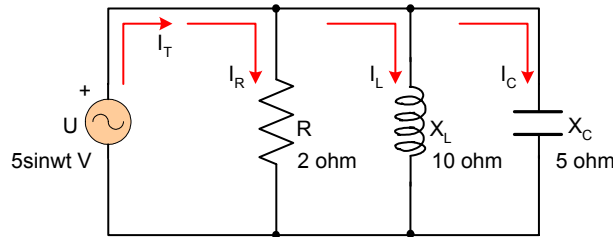
$$I = \frac{U}{Z} \Rightarrow Z = \frac{U}{I} = \frac{40}{6,4\angle 51,3^\circ} = 6,25\angle -51,3^\circ \Omega$$

5.6 R-L-C (DİRENÇ – BOBİN – KONDANSATÖR) PARALEL DEVRESİ

RL, RC paralel devresindeki yapmış olduğumuz açıklamalar RLC devresinde de geçerlidir. RLC devresinde sanal değer olarak her iki eleman bağlı olduğu için bu elemanlar arasında 180 faz farkı oluşturmaktadır. Kompleks eksenin bobin ve kondansatör sanal değerinin birisi pozitif diğeri ise aynı eksen üzerinde negatif de olmaktadır. Örnek5.7de RLC paralel devresini açıklamalı çözümünü yapalım.

Örnek5.7

Şekil5.12deki RLC paralel devresine $5\sin\omega t$ gerilimi uygulanmaktadır. Kol akımlarını, devrede harcanan gücü ve direnç üzerinden geçen akımı ampermetre ile ölçüldüğünde göstereceği değeri bulunuz.



Şekil5.12 RLC paralel devresi

Çözüm5.7

Kompleks sayılarla çözüm yapılacak olmasından dolayı kaynağın gerilimi dikkat edilirse $u=5\sin\omega t$ olarak verilmiştir. Bu kompleks gösterimde eşiti tepe değeri ve açı değeri olarak yazılır.

$$U = 5\angle 0^\circ V$$

Burada eğer gerilim değeri $u=10\sin(\omega t+45^\circ)$ verilmiş olsaydı bu durumda aşağıdaki şekilde yazılırdı.

$$U = 10\angle 45^\circ V$$

bu açıklamalardan sonra örnekte çözümü istenen kol akımları ohm kanunundan çözülür.

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{5V}{2\Omega} = 2,5A \quad I_L = \frac{U}{jX_L} = \frac{5V}{j10\Omega} = -j0,5A = 0,5\angle -90^\circ A$$

$$I_C = \frac{U}{-jX_C} = \frac{5V}{-j5\Omega} = jA = 1\angle 90^\circ A$$

Güç, kaynaktan çekilen akım ile gerilimin çarpımı o devrede harcanan gücü verdiği güç konusunda açıklanmıştı. Buna göre bu devrenin harcadığı gücü bulmak için kaynaktan çekilen akımı bulmak gerekir. Bu akımı da kirşofun akımlar kanunundan faydalanılarak bulabiliriz.

$$I = I_R + I_L + I_C = 2,5A + (-j0,5) + (j1A) = 2,5A + j0,5A = \sqrt{(2,5A)^2 + (0,5A)^2} \tan^{-1} \frac{0,5}{2,5}$$

$$I = 2,55\angle 11,3^\circ A$$

Devrenin görünür güç bulunarak, devre harcanan aktif ve reaktif güç bulunur.

$$S = U.I = 5V.2,55\angle 11,3^\circ A = 12,75\angle 11,3^\circ VA = 12,75(\cos 11,3^\circ + j \sin 11,3^\circ) \\ = 12,75(0,98 + j0,196) = 12,5 + j2,5VA$$

Görünür gücün kompleks sayıların dik bileşen şeklideki gösteriminde reel değer aktif (P, wattlı gücü), sanal değer ise reaktif (Q, VAr) gücü verir. Bu açıklamalardan sonra P=12,5W ve Q=2,5 VAr bulunur. Aktif güç direnç elemanı üzerinde harcanan güçtür.

Direnç üzerindeki akımın ölçü aleti ile ölçüldüğünde, ampermetre efektif akımı ölçeceğinden bulunan I_R akımı maksimum akımdır. Onun için bulunan akımın efektif değeri 0,707 ile çarpılması gerekir.

Ölçü aletinin göstermesi gereken I_R akımı aşağıdaki bulunan değer olması gerekir.

$I_R = 2,5A$ bu değer maksimum değer $I_R = 0,707.(2,5A) = 1,76A$ ölçü aletinin göstermesi gereken değer 1,76 A dir.

BÖLÜM 6

ALTERNATİF AKIM DEVRE YÖNTEM VE TEOREMLER İLE ÇÖZÜMÜ

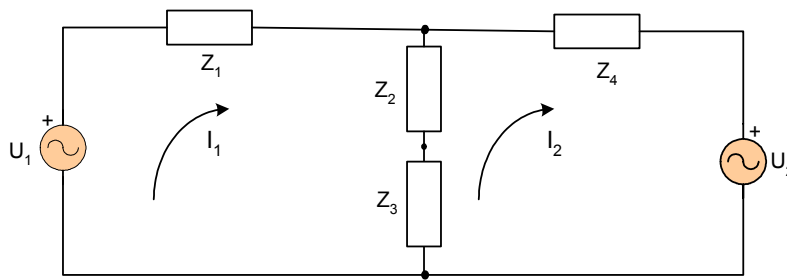
- 6.1 ÇEVRE AKIMLAR YÖNTEMİ
- 6.2 SÜPERPOZİSYON TEOREMİ
- 6.3 DÜĞÜM GERİLİMLER YÖNTEMİ
- 6.4 THEVENİN TEOREMİ
- 6.5 NORTON TEOREMİ

GİRİŞ

Alternatif akımın çözümünün yapılabilmesi için, doğru akım devrelerinde kullanılan devre analizi yöntemlerinin ve kanunlar alternatif akımda da aynen kullanılmaktadır. Devre analizi yöntemlerinin çözümünün kolay bir şekilde olması için karmaşık sayılarla işlemler yapılacaktır. Doğru akım devre analizi yapılırken eşdeğer direnç elemanı $R_{\text{eş}}$ ile alternatif akımda ise Z olarak isimlendirilir. Devre analizi yöntemlerinin anlaşılması kolay olan çevre akımlar yöntemi ile devrelerin analizi yapılmaya başlanacaktır.

6.1 ÇEVRE AKIMLAR YÖNTEMİ

Elektrik devrelerinin çözümlerinde bazı kanunlar kullanılarak devrelerin seri, paralel ve karışık bağlantılarının çözümünde kullanarak devre elemanlarının üzerlerinden geçen akım, uçlarında gerilim düşümünü ve kaynaktan çektikleri akımlar bu konuya kadar çeşitli devreler çözülmüştü. Fakat bazı devrelerde bu kanunların devrenin analizini yapmak için yeterli olmadığı durumlar oluşur. Bu durumlarda devre analizi yöntemlerinin herhangi birinin kullanılması gerekir. Bu analiz yöntemlerinden çevre akımları yöntemi kendine özgü bazı kurallar doğrultusunda kirşofun kanunları uygulanarak her gözün akımları bulunarak, bu akımlardan devre elemanlarının kol akımları bulunmuş olur. Kol akımları bulunduktan sonra kol uçlarındaki gerilim düşümü ve gücü de bu doğrultuda bulunmuş olacaktır. Devre analizi demek, devre elemanının akım, gerilim ve gücünün hesaplanması demektir. Çevre akımlar yönteminde göz akımları sayısı devrenin bağımsız kaç gözlü olduğu duruma göre değişmektedir. Devre eleman değeri verilmeden Şekil6.1 deki iki gözlü devrenin kirşofun gerilimler kanunundan faydalanılarak çevre akımlar denklemi çıkartılır.



Şekil6.1

Denklemi yazmadan devreye bağlanan gerilim kaynağının yönü ile ilgili bir açıklama yapmak gerekir. Devreye bağlı olan gerilim kaynağının pozitif ile gösterilen yönü çevre akımı yönü ile aynı yönlü ise gözdeki elemanlar

üzerindeki gerilim düşümlerinin toplamı sıfıra eşit veya kaynak gerilimi, eleman üzerinde düşen gerilim düşümlerinin toplamına eşittir. Bu açıklamalar ışığında bu devre için çevre akımlar denklemi aşağıdaki gibi olur. (Çevre akımlarının yönü istenildiği gibi seçilebilir. Sonuç pozitif çıkmış ise alınan yönde akım aktığını, negatif değer çıkmış ise alınan yönün tersi yönde akımın aktığı anlaşılması gerekir. Bulunan sonucun mutlak değeri alınarak bu akım kullanılacak yerlerde kullanılması gerekir.)

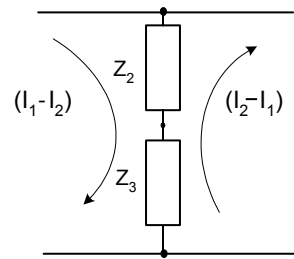
$$Z_1.I_1 + (Z_2 + Z_3).(I_1 - I_2) = U_1$$

$$(Z_2 + Z_3).(I_2 - I_1) + Z_4.I_2 = -U_2$$

çevre akımları denklemi düzenlendiğinde, düzenlenmiş denklem ortaya çıkar.

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3).I_1 - (Z_2 + Z_3).I_2 = U_1$$

$$-(Z_2 + Z_3).I_1 + (Z_2 + Z_3 + Z_4).I_2 = U_2$$



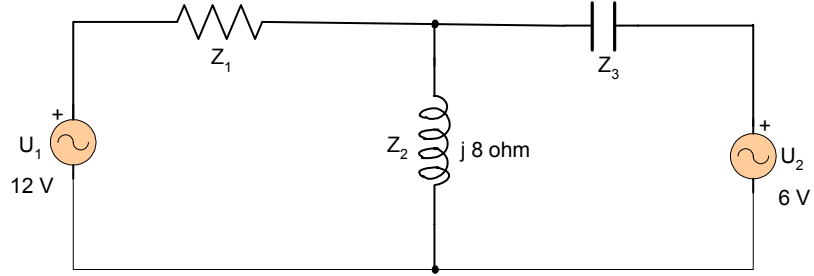
Her göz yazılırken o gözün akımının diğer göz akımından yüksek kabul edilerek Şekil6.2 de gösterildiği gibi yazılması gerekir. Akım yönleri aynı olmuş olsaydı, çıkarılmazdı toplanması gerekirdi.

Şekil6.2

Devre iki gözlü olduğundan iki denklem bulunmuştur. Bu denklemler matematik kuralları doğrultusunda çevre akımları bulunur. Bu kaynakta denklem çözümleri matris ve determinant yardımı ile çözümün bulunması sağlanacaktır. Çevre akımları bulunduktan sonra bu akımlardan kol akımları eşitlikleri bulunarak devre elemanlarının üzerinden geçen akımlar bulunur. Bu devrede Z_1 elemanının üzerinden I_1 akımı, (Z_2, Z_3) elemanlarından $(I_1 - I_2)$ veya $(I_2 - I_1)$ akımı ve Z_4 empedansı üzerinden ise I_2 göz akımı görülür.

Örnek6.1

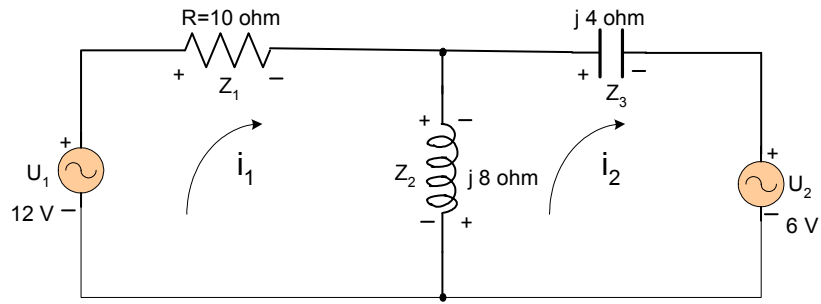
Şekil6.3 de verilen alternatif akım devresindeki göz akımlarını hesaplayınız.



Şekil6.3

Çözüm6.1

Şekil6.3 de verilen alternatif akım devresi iki gözlü bir devredir. Bundan dolayıdır ki iki göz akımı dolaşmaktadır. Şekil6.4 de göz akımlarının yönü gösterilerek gözler belirlenmiş ve bu göz akımları ile her göz için kirşofun gerilim kanununu uygulanmış ve çevre denklemi oluşturulmuştur.



Şekil6.4

$$Z_1 \cdot i_1 + (i_1 - i_2) \cdot Z_2 = U_1$$

$$Z_2 \cdot (i_2 - i_1) + Z_3 \cdot i_2 = -U_2$$

denklem düzenlendiğinde çevre akımlar denklemi aşağıdaki şekli alır.

$$(Z_1 + Z_2) \cdot i_1 + (-Z_2) \cdot i_2 = U_1$$

$$(-Z_2) \cdot i_1 + (Z_2 + Z_3) \cdot i_2 = -U_2$$

empedans değerlerini yerlerine yazarak denklemi tekrar yazarak, bu denklemin çözümünü matris ve determinantla çözümü yapılır.

$$(10 + j8).i_1 + (-j8).i_2 = 12$$

$$(-j8).i_1 + (j8 - j4).i_2 = -6$$

$$\begin{bmatrix} 10 + j8 & -j8 \\ -j8 & j4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ -6 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 10 + j8 & -j8 \\ -j8 & j4 \end{vmatrix} = (10 + j8).j4 - (-j8.-j8) = 32 + j40$$

$$i_1 = \frac{\begin{vmatrix} 12 & -j8 \\ -6 & j4 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(12.j4) - (-6.-j8)}{32 + j40} = \frac{0}{32 + j40} = 0A$$

$$i_2 = \frac{\begin{vmatrix} 10 + j8 & 12 \\ -j8 & -6 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(-6.(10 + j8)) - (-j8.12)}{32 + j40} = 1,5 \angle 90^\circ A$$

6.2 SÜPERPOZİSYON TEOREMİ

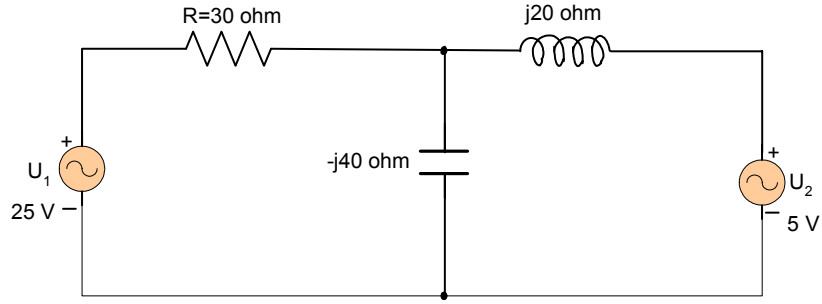
Birden fazla kaynak bulunan doğrusal ve çift yönlü bir elektrik devresinde herhangi bir koldan geçen akım veya kolun uçlarındaki gerilim süperpozisyon yöntemi ile bulunur.

Doğrusal ve çift yönü bir elektrik devresinde herhangi bir koldan geçen akım veya kolun uçlarındaki gerilim kaynaklardan her birinin ayrı ayrı bu koldan geçirdikleri akımların veya kolun uçlarında meydana getirdikleri gerilimlerin toplamına eşittir.

Bu yöntem, devre çözümlerinde çok işe yarar. Gerilim veya akım kaynakları ile beslenen lineer devrelere uygulanır. Devrede kaç aktif kaynak varsa, sıra ile kaynaklardan yalnız bir tanesi devrede bırakılarak diğerleri, gerilim kaynakları ise kısa devre, akım kaynakları ise açık devre yapılır. Örnek vermek gerekirse; kaynaklar gerilim kaynağı ise devredeki herhangi bir kolun akımı bulunması isteniyorsa sıra ile her gerilim kaynağının o koldan geçirdiği akımlar bulunur. Bu bulunan akımların toplamı kol üzerinden geçen akımı verir. (akımların yönleri dikkate alınır) Bu konu ile ilgili örnekler yaparak konunun anlaşılmasını sağlayalım.

Örnek6.2

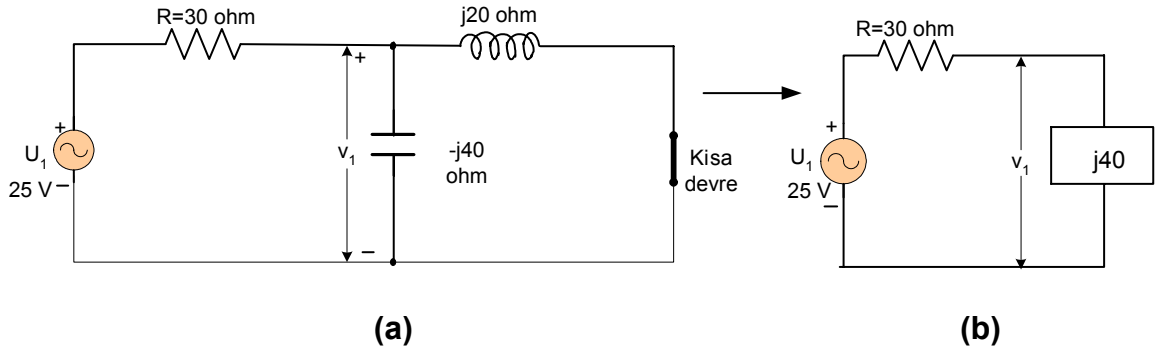
Şekil6.5 deki alternatif akım devresindeki kondansatör uçlarındaki gerilimi süperpozisyon yöntemi ile hesaplayınız.



Şekil6.5

Çözüm6.2

Süperpozisyon yöntemi ile çözülen ilk örnek olduğu için bu örnek açıklamalı bir şekilde çözüme gidilecektir. Süperpozisyon yönteminde devrede ne kadar aktif kaynak olursa olsun devrede tek kaynak kalacak şekilde devre tekrar çizilir. Devreden çıkartılan akım kaynağı ise açık devre, gerilim kaynağı çıkartılmış ise o uçlar kısa devre edilir. Pasif elemanların yerleri ve tüm elemanların değerleri değiştirilmezler. Bu devre için ilk U_1 kaynağını devrede bırakıp devreyi tekrar çizelim.

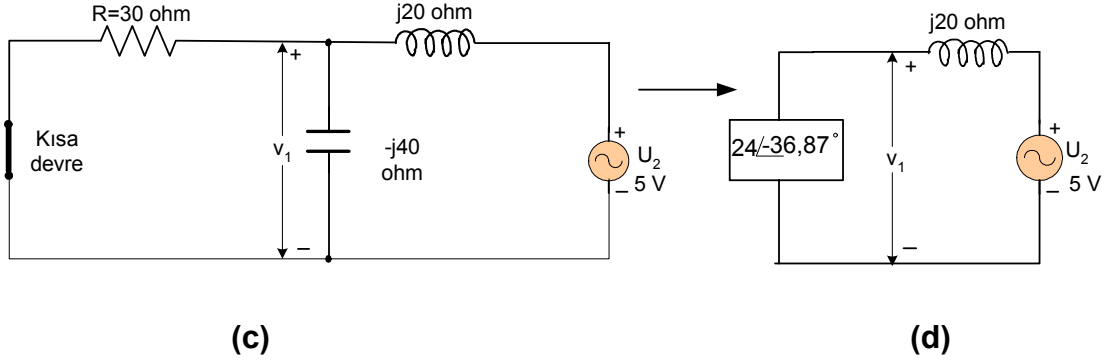


U_1 devre iken devrenin empedansı bulunarak kondansatör uçlarındaki gerilimi gerilim bölme yöntemi ile bulunur. Şekil6.5 (a) da akımın akışına göre kondansatör uçlarındaki gerilimin kutupları gösterilmiştir.

$$Z_1 = \frac{(20\angle 90^\circ) \cdot (40\angle -90^\circ)}{j20 - j40} = \frac{800\angle 0^\circ}{20\angle -90^\circ} = 40\angle 90^\circ$$

bu sonuç şekil6.5 (b) de gösterilmiştir. Gerilim bölme yöntemi bu devre için uygulanırsa 25V luk kaynağın kondansatör uçlarındaki gerilim düşümü aşağıdaki şekilde bulunur.

$$v_1 = \left(\frac{40 \angle 90^\circ}{30 + j40} \right) U_1 = \left(\frac{40 \angle 90^\circ}{50 \angle 53,13^\circ} \right) \cdot 25V = 20 \angle 36,87^\circ V = (16 + j12)V$$



Şekil6.5 (c) deki devrede U_2 gerilim kaynağı kalacak şekilde devre şekil tekrar çizilmiş U_1 kaynağı ise kısa devre edilmiştir. Devrede kalan kaynağın kondansatör üzerindeki gerilim düşümü değeri, önce eşdeğer empedans bulunarak gerilim bölme kaidesinden kondansatör üzerindeki gerilim düşümü bulunmuş olur.

$$Z_2 = \frac{(30 \angle 0^\circ) \cdot (40 \angle -90^\circ)}{30 - j40} = \frac{1200 \angle -90^\circ}{50 \angle -53,13^\circ} = 24 \angle -36,87^\circ \Omega$$

$$v_2 = \left(\frac{24 \angle -36,87^\circ}{24 \angle -36,87^\circ + j20} \right) U_2 = \left(\frac{24 \angle -36,87^\circ}{20 - j14,4 + j20} \right) U_2 = \left(\frac{24 \angle -36,87^\circ}{20 + j5,6} \right) U_2$$

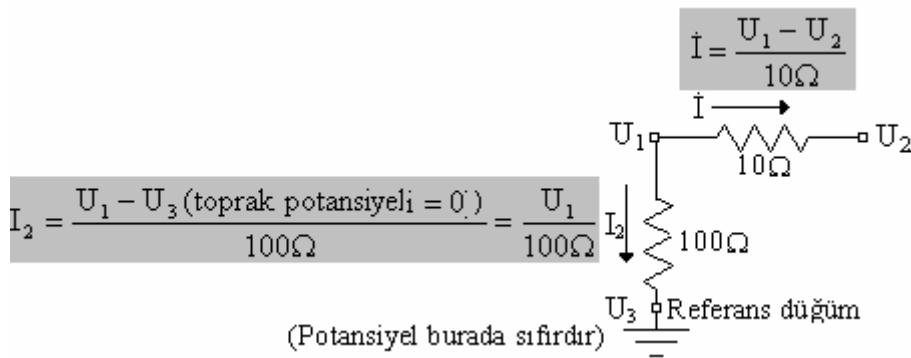
$$\left(\frac{24 \angle -36,87^\circ}{20,77 \angle 15,64^\circ} \right) \cdot 5V = 5,78 \angle -52,51^\circ V = (3,52 - j4,59)V$$

Her iki kaynağında gerilim düşümleri aynı kutup da olduğundan kondansatör uçlarındaki gerilim düşümleri toplanır. Farkı olsaydı çıkartılırdı. Buna göre kondansatör uçlarındaki gerilim düşümü aşağıdaki gibi olur.

$$U_C = v_1 + v_2 = (16 + j12)V + (3,52 - j4,59)V = (19,52 + j7,41)V = 20,88 \angle 20,79^\circ V$$

6.3 DÜĞÜM GERİLİMLER YÖNTEMİ

Düğüm gerilimleri ile devrelerin analizleri yapılabilir. Bu yöntemle devre analizi yapmak için analizi yapılacak devrede gerilim kaynakları bulunuyorsa bunun eşdeğeri olan akım kaynağına dönüşümü yapıp devre tekrar düzenlenmesi gerekir. Yeni oluşacak devrede düğümler belirlenip, en kalabalık düğüm noktası referans düğüm tayin edilerek o düğüm topraklanması gerekir. Aktif düğümlere bir isim verilerek (U_1 , U_2 veya U_A , U_B gibi) bu düğümlere kirşofun akımlar kanunu her düğüm için ayrı ayrı uygulanır. Düğüme giren akımları pozitif çıkan akımlara negatif mantığı düşünülürse; 1.düğümünden çıkan akım diğer düğüme giren olduğunu unutmamak gerekir. 1.düğümde aynı akım negatif durumunda iken diğer düğüme girdiği için pozitif olacaktır. Düğümlere giren aktif elemanların yönleri giren, çıkan durumunda bağlı ise aynı yönü almak zorunluluğu vardır. Fakat bağımsız kol akımlarını istediğiniz yönde alabilirsiniz. O kollar için seçiminizi hangi yönlü kullanmış iseniz sürekli aynı yönü o devrede o kol için kullanmak zorundasınız. Kolların üzerinden geçen akımları düğüm gerilimleri eşitinden yazarak oluşturduğunuz denklemde yerine yazarak düğüm gerilimlerini matematik kuralları ile çözümü yaparsınız. Düğüm gerilimleri bulunduktan sonra kol akımları ve o kolun gerilimleri bu şekilde bulma imkanına sahip olursunuz. İki düğüm arasındaki bir direncin üzerinden geçen akım ile referans düğüm arasında kalan bir direncin üzerinden geçen akımı düğüm gerilimleri eşiti aşağıdaki şekilsel ve teorik olarak gösterilmiştir. ($U_1 > U_2 > \dots > 0$)



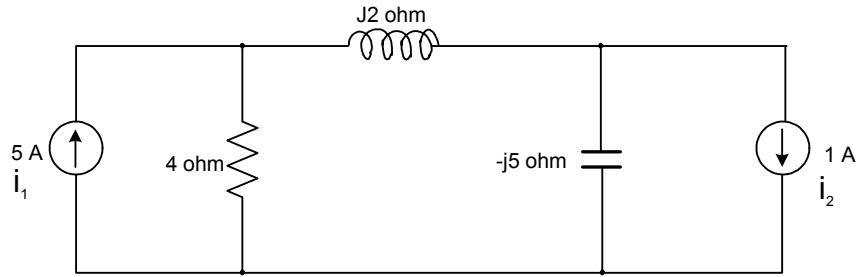
Şekil6.6

10Ω direncin bağlı olduğu düğümler U_1 ve U_2 düğümleri bu düğümlerin potansiyel farkı bu eleman üzerindeki gerilimi verir. Bu gerilimin direnç değerine bölümü (ohm kanunu) o kolun üzerinden geçen akımı verecektir. Burada dikkat edilirse 1.düğümün geriliminin yüksek potansiyelde olduğu

kabul edilmiştir. Referans düğüm tayin ettiğiniz düğümümü toprakladığınızdan o düğümün gerilimi sıfır olacaktır. Ondan dolayı 100Ω direncin uçlarındaki gerilim sadece 1.düğümün gerilimine eşittir. Bu sözle ifade ettiklerimizi bir örnek üzerinde uygulamasını yapalım.

Örnek6.3

Şekil6.7 deki alternatif akım devresinde düğüm gerilimler yöntemi ile endüktif reaktansın üzerinden geçen akımı hesaplayınız.



Şekil6.7

Çözüm6.3

Şekil6.7deki alternatif akım devresinde aktif düğümleri belirleyerek en kalabalık düğümü referans düğüm tayin edelim. Devre elemanlarının üzerlerinden geçirdikleri akımları ve yönlerini şekil6.8 de gösterilmiştir.

Kirşofun akımlar kanunundan düğüm denklemini admidans cinsinden yazılırsa;

$$i_1 = Y_1 U_1 + Y_2 (U_1 - U_2) \quad \text{1. düğüm denklemi}$$

$$(Y_1 + Y_2).U_2 = Y_3 U_2 + i_2 \quad \text{2. düğüm denklemi} \quad \text{bu denklemler düzenlenirse,}$$

$$(Y_1 + Y_2).U_1 + (-Y_2).U_2 = i_1$$

$$(-Y_2).U_1 + (Y_2 + Y_3).U_2 = -i_2$$

düğüm gerilimler denklemi elde edilir. Bu denklem kirşofun akımlar kanununda, bir düğüme giren akımlar çıkan akımlara eşit olduğunu ifade etmiş olduğundan bu kanunla çıkartılmıştır. Çevre akımlarında olduğu gibi bu denklem çözüldüğünde düğüm gerilimleri bulunur. bu denklemin çözümü matris ve determinant ile çözülebilir.

$$\begin{bmatrix} Y_1 + Y_2 & -Y_2 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \text{ bu matris determinantla çözülrse;}$$

$$\Delta = \det \begin{bmatrix} Y_1 + Y_2 & -Y_2 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_3 \end{bmatrix} = (Y_1 + Y_2)(Y_2 + Y_3) - Y_2^2 = Y_1.Y_2 + Y_1.Y_3 + Y_2^2 + Y_2.Y_3 - Y_2^2$$

$$= Y_1.Y_2 + Y_1.Y_3 + Y_2.Y_3$$

Değerler $Y_1 = 0,25 \angle 0^\circ$, $Y_2 = 0,5 \angle -90^\circ$ ve $Y_3 = 0,2 \angle 90^\circ$ bu değerler determinant da ki yerlerine konulur işlemler yapılırsa $\Delta = 0,125 \angle -36,87^\circ$ değeri bulunur. Δ bulunduktan sonra 1. düğüm gerilimi aşağıdaki şekilde bulunur.

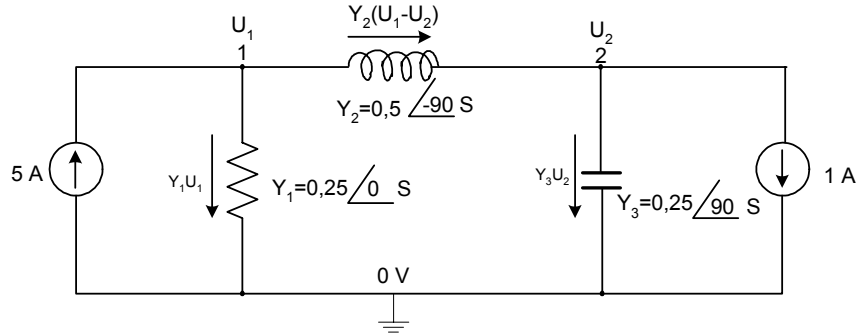
$$U_1 = \frac{\det \begin{bmatrix} i_1 & -Y_1 \\ -i_2 & Y_2 + Y_3 \end{bmatrix}}{\Delta} = \frac{i_1(Y_2 + Y_3) - i_2 Y_2}{\Delta} = \frac{(5 \angle 0^\circ)(0,5 \angle -90^\circ + 0,2 \angle 90^\circ) - (1 \angle 0^\circ)(0,5 \angle -90^\circ)}{\Delta}$$

$$= \frac{1 \angle -90^\circ}{0,125 \angle -36,87^\circ} = 8 \angle -53,13^\circ V = (4,8 - j6,4) V$$

$$U_2 = \frac{\det \begin{bmatrix} Y_1 + Y_2 & i_1 \\ -Y_2 & -i_2 \end{bmatrix}}{\Delta} = \frac{(Y_1 + Y_2)(-i_2) + Y_2.i_1}{\Delta} = \frac{(0,25 - j0,5)(-1) + (0,5 \angle -90^\circ)(5)}{\Delta}$$

$$= \frac{-0,25 + j0,5 - j2,5}{\Delta} = \frac{-0,25 - j2}{\Delta} = \frac{-(0,25 + j2)}{\Delta} = \frac{-2,016 \angle 82,87^\circ}{0,125 \angle -36,87^\circ}$$

$$= -16,12 \angle 119,74^\circ = 16,12 \angle -60,26^\circ V = (8 - j14) V$$



Şekil6.8

2. düğümün gerilimi bulunur. bobin elemanı 1. ve 2 düğüm gerilimleri arasında bağlı ve şekil6.8 de bobin üzerinden geçen akım denklemin de değerler yerlerine yazılarak bobin üzerinden geçen akım bulunur.

$$i_L = Y_2 \cdot (U_1 - U_2) = (0,5 \angle -90^\circ) \cdot (4,8 - j6,4) - (8 - j14)$$

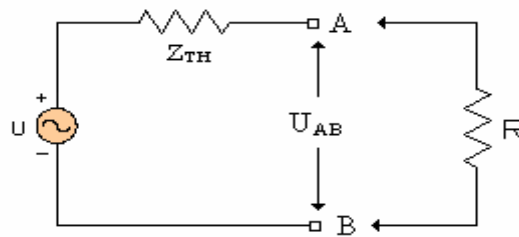
$$= -0,5(-3,2 + j7,6) = (3,8 + j1,6)A$$

$$= 4,12 \angle 22,83^\circ A$$

6.4 THEVENİN TEOREMİ

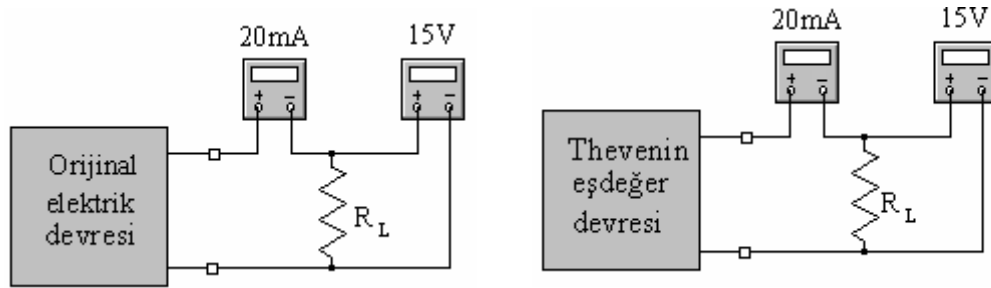
Thevenin teoremi; bir yada daha fazla gerilim kaynağı ile beslenen lineer devre çözümlerini kolaylaştıran bir yöntem olup, şu biçimde tanımlanır. A ve B gibi uçları olan bir devrenin bu uçlarına bir direncin bağlandığı zaman, bu

dirençten geçen akım $I = \frac{U_{AB}}{Z_{TH} + R}$ dir.



Şekil6.9

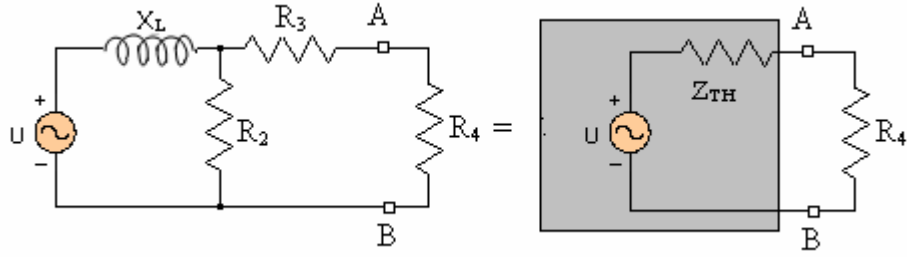
Burada U_{AB} ; A,B uçları arasında R direnci yokken bu uçlar arasındaki ölçülen potansiyel fark. R_T ; devredeki bütün gerilim kaynakları, kısa devre, akım kaynakları açık devre yapılarak elde edilen A,B uçları arasındaki toplam empedansdır. Böylece, Z_T ile U_{AB} seri bağlanarak elde edilen devreye AB arasında gözükten devrenin THEVENİN EŞDEĞER devresi denir. Şekil6.6de görüldüğü gibi elektrik devresinin AB uçlarındaki thevenin eşdeğerini verir. Buradaki U_{AB} gerilimine Thevenin eşdeğer gerilimi olan $U_{TH}=U_{AB}$ ve Z_T direncine ise Z_{TH} olarak kullanılacaktır. Orijinal devrede bağlı iken R, X_C veya X_L direnci üzerinden geçen ve uçlarındaki gerilim değeri ne bulunursa, o orijinal devrenin Thevenin eşdeğeri oluşturulur R, X_C veya X_L direnci thevenin eşdeğerine bağlanır ve hesaplanır. Veya ölçülerek de aynı değer bulunur.



Şekil6.10 Orijinal devre ve o devrenin Thevenin eşdeğeri

Elektrik, elektronik devreler karışık olabilir. Devrenin analizini thevenin teoremi ile yapılacak olursa hata yapılmayacaktır. Maddeler halinde açıklayalım.

- 1-** Analizi yapılacak kol orijinal devreden çıkartılır. Çıkarılan bu noktaya bir isim verilir. (A,B veya 1,2 gibi)
- 2-** Devreden bütün kaynaklar çıkartılır. Çıkarılan gerilim kaynağı ise o uçlar kısa devre, akım kaynakları ise açık devre yapılır. Çıkarılan (analizi yapılacak) kol uçlarından bakılarak o uçların eşdeğer empedansı bulunur. Bu bulunan eşdeğer empedans, çıkartılan kol uçlarının thevenin eşdeğer direnci(Z_{TH}) dir.
- 3-** Analizi yapılacak kolun (1.maddede çıkarılan kol) uçlarının Thevenin eşdeğer devresi çizilir.



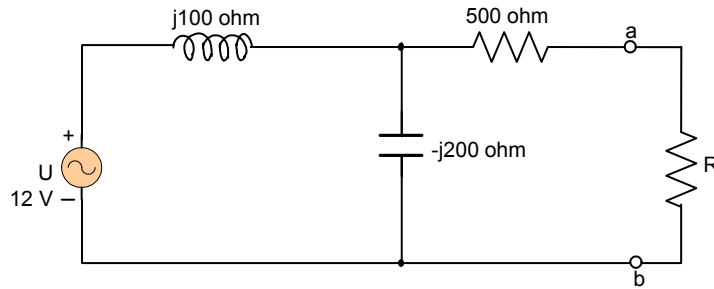
Şekil6.11 Orijinal devre ve AB uçlarının Thevenin eşdeğeri

- 4-** Çıkarılan kol thevenin eşdeğer devresine (AB uçlarına) bağlanır. Kırşofun gerilimler kanunu uygulanarak kol akımı bulunur.

Bu maddeleri uygulayarak bunu sayısal bir örnek üzerinde çözümünü thevenin yöntemi ile yapalım.

Örnek6.4

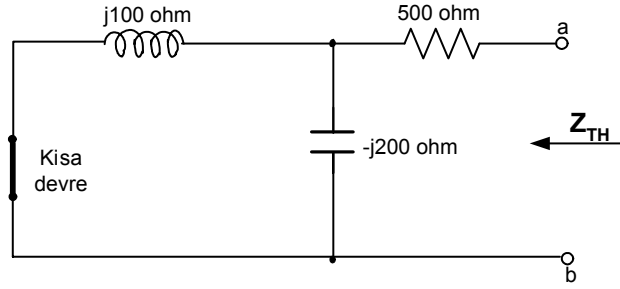
Şekil6.12 daki alternatif akım devresinde R direnci uçlarındaki (ab ile gösterilen kolun) thevenin eşdeğer devresini bulunuz.



Şekil6.12

Çözüm6.4

Thevenin eşdeğeri bulunacak kol devreden çıkartılarak devredeki tüm aktif kaynaklar devreden çıkartılır. Çıkarılan bu devre için gerilim kaynağı olduğundan bu uçlar kısa devre edilir. Şekil6.13 (a) de görüldüğü gibi thevenin eşdeğeri bulunacak kol uçlarından bakılarak thevenin eşdeğer empedansı bulunur.

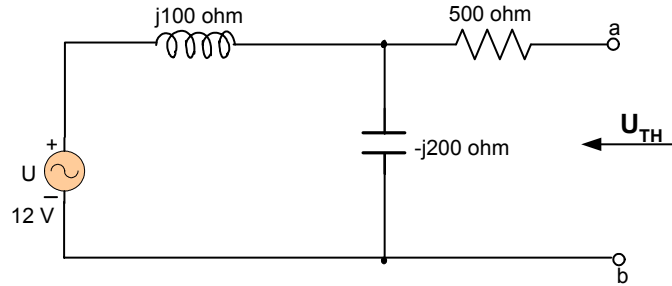


Şekil6.13(a)

$$Z_{TH} = 500 + \frac{(100\angle 90^\circ) \cdot (200\angle -90^\circ)}{j100 - j200} = 500 + \frac{2 \times 10^4}{100\angle -90^\circ}$$

$$= 500 + j200 \Omega = 538,52\angle 21,8^\circ$$

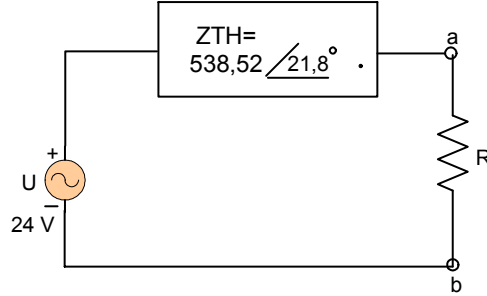
Çıkarılan kaynaklar devreye tekrar yerlerine bağlanarak kanun ve yöntemlerden faydalanılarak, thevenin eşdeğeri oluşturulacak uçların thevenin gerilim değeri bulunur. Şekil6.13(b) de gösterilmiştir.



Şekil6.13(b)

$$U_{TH} = \left(\frac{-j200}{j100 - j200} \right) \cdot 12V = \left(\frac{-j200}{-j100} \right) \cdot 12V = 24\angle 0^\circ$$

bulunan bu değerler thevenin eşdeğer devresinde yerine yazılarak ab uçlarının Thevenin eşdeğer devresi şekil6.13(c) deki gibi oluşturulmuş olur.



Şekil6.13(c) Devrenin Thevenin eşdeğeri

Direnç değeri 200 ohm değerinde bağlanmış olsaydı, direnç üzerindeki akımda aşağıdaki şekilde bulunurdu.

$$I = \frac{24V}{538,52 \angle 21,8^\circ + 200} = 6,59 \angle -15,95^\circ \text{ Amper}$$

6.5 NORTON TEOREMİ

Norton teoremi, thevenin teoreminin değişik bir biçimi(dualı) olup a ve b gibi iki ucu olan lineer aktif bir devrenin bir R_N direnci ile paralel bir I_N akım kaynağı biçimine sokulma olanağı verir. Bu biçimde elde edilen devreye NORTON EŞDEĞER akım kaynağı adı verilir. Bu akım kaynağının eşdeğer gerilim kaynağı ise Thevenin Eşdeğer gerilim kaynağıdır. Norton eşdeğer akım kaynağı devresinde;

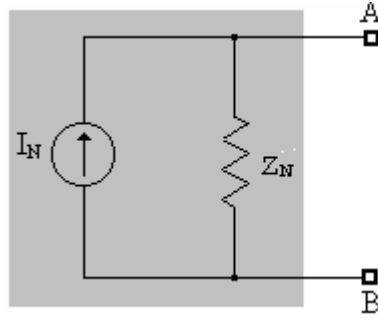
I_N : Verilen devrenin AB uçları kısa devre yapılması ile oluşan çevre akımıdır.

R_N : Devredeki gerilim kaynaklarının kısa devre, akım kaynaklarının açık devre yapılmalarından sonra AB arasındaki devrenin toplam direncidir.

Bir elektrik devresinde her hangi bir kolun analizi norton teoremi ile bulunması gerekirse aşağıdaki adımlar uygulandığı zaman devrenin çözümü daha sağlıklı olacaktır.

- 1- Analizi yapılacak kol devreden çıkartılır. Çıkartılan bu noktaya bir isim verilir. (Örneğin; A,B veya 1,2 gibi)
- 2- Devreden bütün kaynaklar çıkartılır. Çıkartılan gerilim kaynağı ise kısa devre, akım kaynağı ise açık devre yapılır. Çıkarılan(analizi yapılacak) kol uçlarından bakılarak o uçların eşdeğer direnci

- 3- bulunur. Bu bulunan eşdeğer direnç aynı zamanda Z_N eşdeğer direncidir.
- 4- Devreden çıkartılmış olan akım ve gerilim kaynakları devreye tekrar aynı yerlerine bağlanarak devreye bilinen konular veya teoremler uygulanarak analizi yapılacak kolun uçlarının kısa devre akımı bulunur. Bu bulunan kısa devre akımı aynı zamanda I_N akımıdır eşittir.
- 5- Analizi yapılacak kolun(1.maddede çıkarılan kol) norton eşdeğer devresi çizilir.



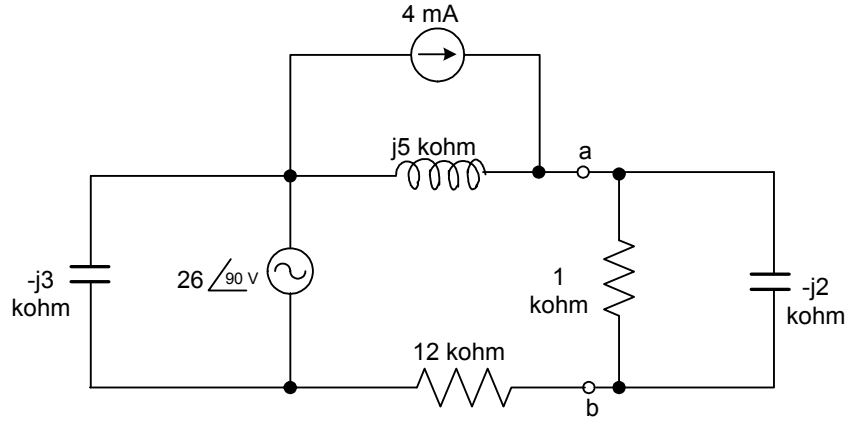
Şekil6.14 Norton eşdeğer devresi

- 6- Çıkartılan kol norton eşdeğer devresine (AB uçlarına) bağlanarak kirşofun akımlar kanunu uygulanır, kol akımı bulunur.

Bu maddeleri uygulayarak sayısal bir örnek çözülürse norton yöntemi daha anlaşılır ve devrelerin analizi yapılabilir.

Örnek6.5

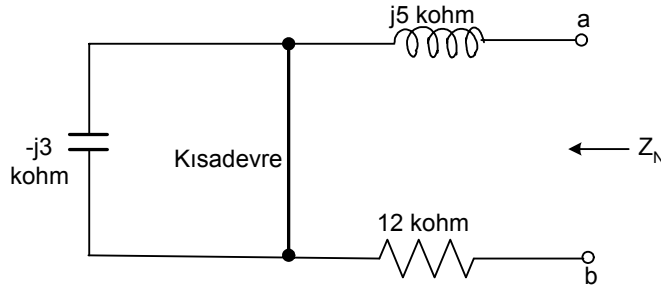
Şekil6.15(a)deki devrenin ab uçlarının norton eşdeğer devresini oluşturunuz.



Şekil6.15(a)

Çözüm6.5

Norton yöntemini açıklarken ab uçlardaki kolların çıkartılıp, çıkartılan kol uçlarının empedansının bulunması için devredeki tüm aktif kaynaklar devreden çıkartılarak (çıkartılan kaynak gerilim kaynağı ise kısa devre, akım kaynağı ise açık devre yapılır) devrenin o uçlarındaki eşdeğer empedansı bulunur denilmişti bu doğrultuda eşdeğer empedans Şekil6.15(b) de ve teori çözümü aşağıdaki gibi olur.

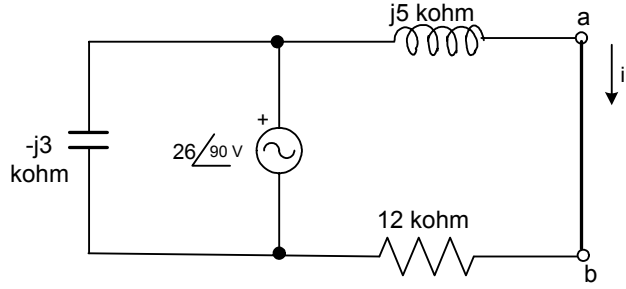


Şekil6.15(b)

Şekil6.15(b) görüldüğü gibi, gerilim kaynağı kısa devre edilince paralel bağlı olan $j3$ kohm'luk kapasitif reaktans kısa devre olmuştur. Devrenin ab uçlarındaki empedansı $j5$ k Ω ve 12 k Ω seri durumdadır.

$$Z_N = 12k\Omega + j5k\Omega = 13\angle 22,62^\circ k\Omega \text{ bulunur.}$$

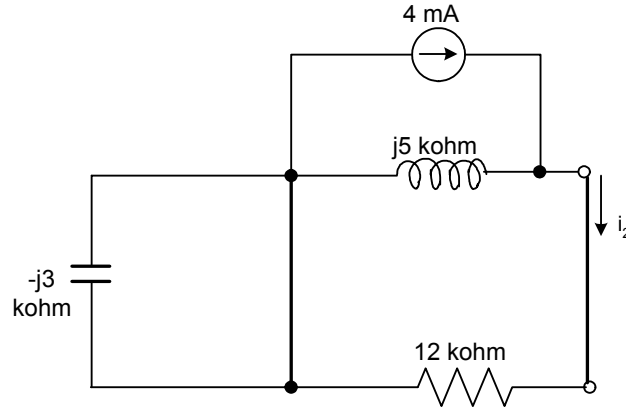
Devrenin ab uçlarının norton akımını süper pozisyon yöntemi ile bulabiliriz. Bu akımı istenilen kanun veya yöntemlerden yararlanarak bulunabilir.



Şekil6.15(c)

$i_1 = \frac{26\angle 90^\circ V}{12k\Omega + j5} = \frac{26\angle 90^\circ V}{13\angle 22,62^\circ} = 2\angle 67,38^\circ mA$ Şekil6.15(c) deki devren i_1 akımı bulunur.

Şekil6.15(d) devrede akım kaynağı kalacak şekilde ve gerilim kaynağı devreden çıkartılarak uçları kısa devre edilmiştir. Buna göre süperpozisyon yöntemi kullanılarak çözersek;



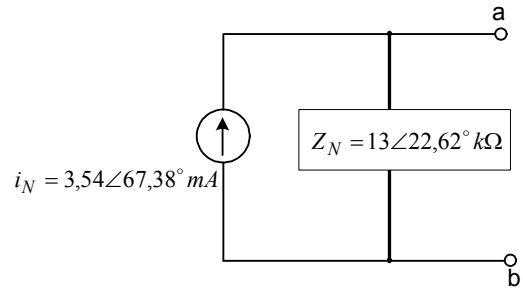
Şekil6.15(d)

$$i_2 = \left(\frac{5\angle 90^\circ k\Omega}{12k\Omega + j5k\Omega} \right) (4\angle 0^\circ mA) = \left(\frac{5\angle 90^\circ k\Omega}{13\angle 22,62^\circ} \right) \cdot 4\angle 0^\circ mA = 1,54\angle 67,38^\circ mA$$

Her iki kaynağın ab uçlarından geçirdikleri akımın yönleri aynı olduğu için bu iki akım toplanır. Bu akım ab uçlarının norton akımıdır.

$$i_N = i_1 + i_2 = 2\angle 67,38^\circ mA + 1,54\angle 67,38^\circ mA = 3,54\angle 67,38^\circ mA$$

bulunan bu akımlar ve norton eşdeğer devresi çizilerek değerleri üzerine yazılmış şekli, Şekil6.15(d) görülmektedir.



Şekil6.15(d): Norton eşdeğer devresi

BÖLÜM 7

REZONANS

7.1 SERİ REZONANS

7.2 PARALEL REZONANS

7. REZONANS

Herhangi bir sistemde rezonans olabilmesi için iki çeşit enerji depo edebilen elemanın mevcut olması gerekir. Örneğin mekanik bir sistemde kütle ile yayın, bir elektrik devresinde ise L ve C bulunması lazımdır. Eğer bir sistemde bir tane enerji depo edebilen eleman varsa, bu sistemde rezonans bahsedemeyiz. Örneğin, RL seri veya RL paralel devrelerde rezonanstan söz edilemez.

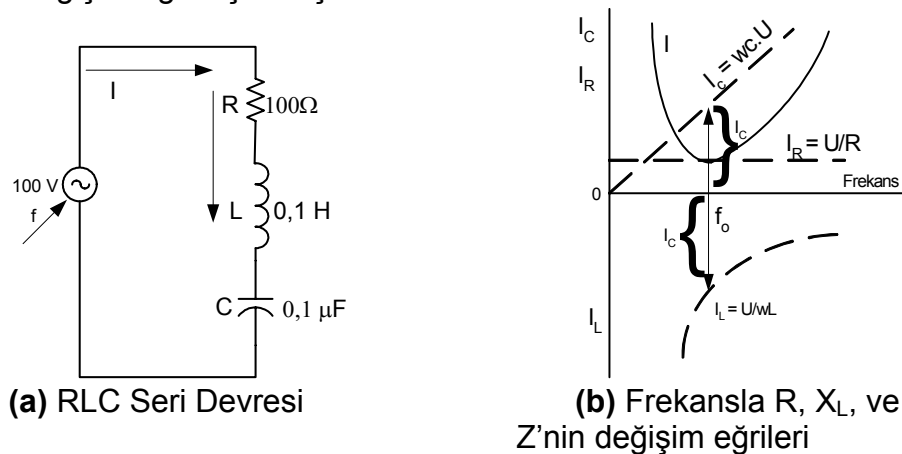
L ve C li bir elektrik devresinde uygulanan gerilim ile geçen akım aynı fazda ise, bu devre rezonans halindedir denir.

7.1 SERİ REZONANS

1. Frekans Değişiminin RLC Seri Devreye Etkisi

Şekil7.1 (a) daki RLC seri devreye uygulanan kaynağın gerilimi sabit kaldığı, frekansının değiştiğini kabul edelim. R direnci frekansla değişmez, sabit kalır. Endüktif reaktans $X_L = 2\pi fL$, frekansla doğru orantılı olarak değişir. $f=0$ iken $X_L = 0$, $f = \infty$ olduğunda $X_L = \infty$ olur. Kapasitif reaktans $X_C = 1/2\pi fc$, frekansla ters orantılıdır, $f = \infty$ olduğunda $X_C = 0$ ve $f = 0$, iken $X_C = \infty$ olur.

Şekil7.1 (b) de RLC devresindeki R, X_L ve X_C nin frekansla değişim eğrileri gösterilmiştir. Devrenin empedansı $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ her frekans için hesaplanarak değişim eğrisi çizilmiştir.



Şekil7.1

Şekil7.1 (a) daki RLC seri devresi çeşitli frekanslar için çözülerek değerler tablo 7.1 de gösterilmiştir.

F Hz	R Ω	X _L Ω	X _C Ω	X _L -X _C Ω	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	$\varphi = \arctan \frac{X}{R}$	i=E/ZA
159	100	100	10 k	-9900	9900	-89.4°	0.0101
660	100	415	2415	-2000	2002	-87.2°	0.0499
1245	100	781	1281	-500	509	-78.7°	0.1965
1515	100	952	1052	-100	141	-45°	0.707
1590	100	1000	1000	0	100	0°	1.000
1760	100	1105	905	200	223	63.4°	0.0488
2575	100	1618	618	1000	1005	84.3°	0.995
15900	100	10000	100	--00	9900	-89.4°	0.0101

Tablo 7.1

Şekil7.1 deki devrede endüktif reaktans kapasitif reaktansa f_0 frekansında eşit olur. Bu frekansta devrenin empedansı $Z=R$ olduğunda kaynaktan çekilen $I=U/Z=U/R$ akımı, gerilimle aynı fazdadır. f_0 'a devrenin **Rezonans Frekansı** denir.

RLC Seri Devresinin Rezonanstaki Özellikleri

- a) Endüktif reaktans, kapasitif reaktansa eşittir. $X_L = X_C$
- b) Empedans minimumdur ve devrenin direncine eşittir. $Z=R$
- c) Devreden geçen akım maksimumdur. $I=U/Z=U/R$
- d) Devre akımı gerilimle aynı fazdadır. $\phi=0$
- e) Kaynak gerilimi R direncinde düşen gerilime eşittir. $U_R=U$, Kondansatörün uçlarındaki gerilim bobinin uçlarındaki gerilime eşittir. $U_C=U_L$ $X_L=X_C$ durumunun sağladığı f_0 rezonans frekansını hesaplayalım.

$$2\pi \cdot f_0 \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f_0 \cdot C} \quad 4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot C \cdot L = 1$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}} \quad \text{Rezonans frekansı formülü}$$

L=Henri ; C=Farad; f_0 = Rezonans frekansı, Hertz

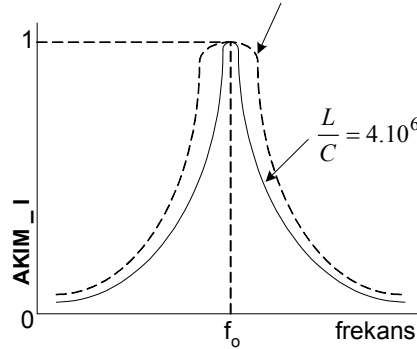
Rezonans frekansı L ve C nin çarpımına bağlıdır. L ve C nin çarpımları aynı olan L ve C si farklı devrenin rezonans frekansı aynı olacaktır. Şekil7.1 deki devrenin rezonans frekansı,

$$f_0 = 1/(2\pi\sqrt{0,1.0,1.10^{-6}}) = 1590 \text{ Hertz}$$

Bu devrede $\sqrt{LC} = \sqrt{0,1.0,1.10^{-6}} = 10^{-4}$ dür. L nin değeri 10 kat artırıldığında (L=1H) devrenin yine aynı frekansta ($f_0=1590$ Hz) rezonansa gelebilmesi için C'nin 10 kat küçük bir değerde olması (C=0.01 μ F) gerekir. Şu halde $\sqrt{LC}$ değeri 10^{-4} olan sayısız RLC devresi hazırlanabilir. Bütün bu devreler 1590 Hz de rezonansa gelir.

Şekil7.1(a) daki devrede L/C oranı 10^6 dir. Rezonansta $X_L=X_C=1000 \Omega$ dur. L iki kat artırılır ve C nin de yarısı alınır (iki kat küçültülürse), LC çarpımı sabit kaldığı için devrenin rezonans frekansı değişmediği halde rezonanstaki $X_L=X_C$ değeri iki kat artarak 2000Ω olur.

Şekil7.1(a) devresinin 1515 Hz deki $X_L=952 \Omega$, $X_C=1052 \Omega$ dur. Devrenin reaktansı $X=X_L-X_C= -100 \Omega$ olduğu halde L/C oranı 4 kat artırıldığında 1515 Hz deki reaktans $X= X_L-X_C = - 200 \Omega$ iki kat artmış olur. Dolayısıyla, L/C oranı arttıkça empedans büyüyeceğinden akım azalır. Akım eğrisi L/C oranı arttıkça sivrilir. Şekil 7.2 de farklı L/C oranlı devrelerdeki akımın değişim eğrisi görülüyor.



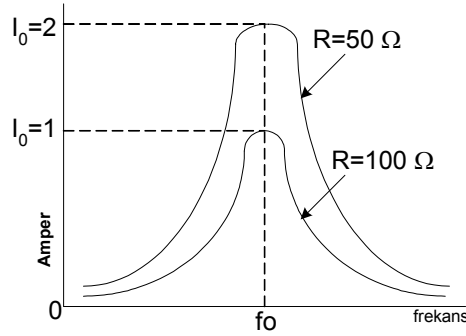
Şekil 7.2 RLC seri devrelerinde L/C oranları için akım değişim eğrileri

2. Direncin Etkisi

Rezonans frekansını veren formül incelendiğinde direncin frekansı etkilemediği görülür. R direncinin küçük veya büyük olması empedansın minimum değerini değiştirir. Dolayısıyla rezonansta devreden geçen

maksimum akımın değerini R direnci tayin eder. Örneğin şekil7.1 (a) daki devreden rezonansta geçen akım $I_0=100/100=1A$ dir. $R=50 \Omega$ iken aynı devreden rezonansta geçen akım $I_0=100/50=2A$ olur.

Şekil 7.3 de frekansla akımın değişim eğrisi görülüyor. R küçüldükçe akım eğrisi sivrileşir. R büyüdükçe de akım eğrisi yayılır, yani sivriliği gider.



Şekil 7.3 RLC Seri Devrede direncin akım eğrisi üzerindeki etkisi

3.Rezonans Devresinin Kalite Katsayısı: (Q)

Seri rezonans devresindeki R direncini azaltmak ve L/C oranını artırmak, devreden geçen akımın frekansla bağlı olarak değişimini veren eğrinin sivrileşmesine sebep olduğunu biliyoruz.

Endüktans ve kapasitansa sahip olan AA devresinde reaktif güç alış veriş bu iki devre elemanında olur. Kaynağın verdiği güç, endüktif güç ile kapasitif güç arasındaki fark kadar olur. Bu da devrenin eşdeğer reaktansında sarf edilen güce eşittir.

Rezonans halinde endüktansın reaktif gücü, kondansatörün reaktif gücüne eşittir. Bu durumda kaynak devrenin direncinde ısı şeklinde kaybolan hakiki gücü (aktif gücü) sağlar.

Seri RLC devresi rezonansta iken, endüktanstaki veya kapasitanstaki reaktif gücün hakiki güce oranına, rezonans devresinin kalite katsayısına veya Q'su denir.

Burada kullandığımız Q harfini, reaktif güç için ve elektrik yükü veya şarjı için kullanılan Q harfleri ile karıştırmamak gerekir. Kalite katsayısından bahsederken **devrenin Q katsayısı** deyimini kullanmak suretiyle öteki Q'lerden ayırt edilmiş olur.

$$Q = \frac{\text{Reaktif güç}}{\text{Hakiki güç}}$$

Genellikle seri rezonans devresinde R direnci bobinin direnci olduğundan Q katsayısı için **bobinin Q'su** ifadesini kullanırız.

Reaktif güç $= I^2 X_L$ ve hakiki güç $P = R \cdot I^2$ ifadesini Q formülde yerine koyalım.

$$Q = \frac{I^2 \cdot X_L}{I^2 R} ; \quad Q = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R}$$

$\omega L = 2\pi fL$ ve rezonans frekansı $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ yi Q de yerine koyarsak;

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{L/C}$$

RLC değerleri cinsinden bulunur. Bir rezonans devresinin Q katsayısı, devrenin R direncine ve L/C oranına bağlı bir katsayı olduğu Q formülü ifadesinden anlaşılır.

R direncinin ve L/C oranının rezonans eğrisi üzerindeki etkisine göre, Q katsayısı büyüdükçe rezonans eğrisinin sivrileceği sonucu çıkarılır. Dolayısıyla, devre bazı frekansları daha iyi seçebilir.

Örnek 9.1

Endüktansı $50\mu\text{H}$ ve direnci 5Ω olan bir bobine 200 pF lik bir kondansatör seri bağlanmıştır. Bu seri rezonans devresinin Q sünü bulunuz.

Çözüm 9.1

1. Çözüm Q formülden ,

$$Q = \frac{1}{5} \sqrt{\frac{50 \cdot 10^{-6}}{200 \cdot 10^{-12}}} = \frac{1}{5} \cdot 500 = 100$$

Çözüm 9.1

2. çözüm Devrenin rezonans frekansını bulduktan sonra $Q=X_L/R$ formülü kullanarak da bulunabilir.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{50.10^{-6}.200.10^{-12}}} = 1.59 \text{ MHz}$$

$$X_L = 2\pi f_o L = 2\pi.1.59.106.50.10^{-6} = 500\Omega$$

$$Q = X_L / R = 500 / 5 = 100$$

4. Rezonansta Gerilim Yükselişi

RLC seri rezonans devresinde frekans değiştikçe kondansatörün uçlarında düşen U_C ve U_L gerilimleri de değişir. Şekil7.1 (a) devresinde frekans değiştikçe devredeki U_R , U_L ve U_C gerilim düşümleri çeşitli frekanslar için hesaplanarak Tablo 7.2 hazırlanmıştır.

Tablo 7.2 Frekansla U_R , U_L , U_C gerilimlerinin Değişmesi ;

f Hz	$U_R=I_R$ volt	$U_L=I.X_L$ volt	$U_C=I.X_C$ volt
159	0,01	1,01	101
660	4,99	20,7	120
1245	19,65	153,5	252
1515	70,7	675	747
1590	100	1000	1000
1760	44,8	495	406
2575	9,95	161	61,5
15900	1,01	101	1,01

Tablo 7.2

Rezonansta endüktansın ve kondansatörün uçlarındaki gerilimler maksimum değere (1000 volt) çıkmakta, rezonansın ileri tarafındaki frekanslarda ise U_L ve U_C gerilimlerinin düşük olduğu tablodan görülmektedir.

Rezonansta endüktansın veya kondansatörün uçlarındaki gerilimin artışına **rezonanstaki gerilim yükselişi** denir.

$$U_L = I.X_L ; \quad U_C = I.X_C ; \quad I = E / Z = E / R$$

$$U_L = \frac{U}{R}.X_L = U.\frac{X_L}{R} ; \quad U_C = \frac{U}{R}.X_C = U.\frac{X_C}{R}$$

$X_L/R=Q$ yukarıdaki ifadelerde yerlerine konursa; rezonanstaki gerili yükselişi bulunur.

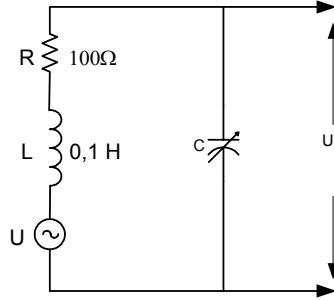
$$U_L = U.Q$$

$$U_C = E .Q$$

U, kaynağının rezonans frekansındaki emk'idir. Q katsayısı genellikle birden büyük olduğu için, Kondansatörün ve endüktansın uçlarındaki gerilimden çok büyüktür. **Q ye gerilim yükseltme katsayısı** da denir.

Rezonansta, U_L ve U_C gerilim düşümleri birbirine eşit ve zıt olduğu için, R direncinin uçlarındaki gerili kaynak gerilimine eşittir.

Rezonanstaki gerilim yükselişinden radyolarda istifade edilir. Radonun anten girişindeki akort devresi Şekil 7.4 de görülmüyor. Bu devredeki jeneratörün sembolü anten kuplajı ile meydana gelen sinyali gösterir. Bu devre bir seri rezonans devresidir. C varyabil (değişken) kondansatörünü ayar ederek devre rezonansa getirildiğinde, kondansatörün uçlarından alınan gerilim U sinyal geriliminin Q katı kadar olur. Böylece antenden gelen zayıf U Sinyali kuvvetlendirilmiş olur: Böyle bir devrenin Q su 100 civarında olabilir.

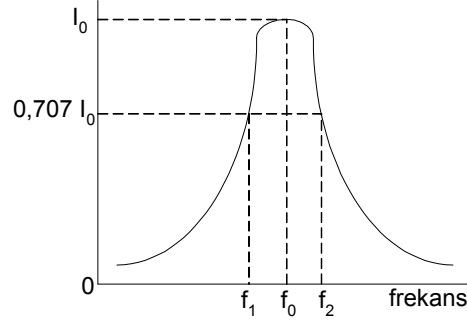


Şekil 7.4 Rezoanasta gerilim yükselişi Radyo anten akort devresi.

5. Seçicilik

Seri RLC devresinden geçen akımın frekansla değişimi Şekil 7.5 de görülmüyor. Rezonansta devreden geçen akım I_0 maksimumdur. Bu anda U_C ve U_L gerilimlerini de devreye uygulanan gerilimin Q katı kadardır. Frekans, (f_0) rezonans frekansından daha küçük oldukça devrenin empedansı

büyüyeceğinden devreden geçen akım azalmaya, dolayısıyla U_L ve U_C gerilimleri de küçülmeye başlar. Devreye uygulanan gerilimin frekansı rezonans frekansından itibaren arttıkça, yine empedans büyür ve akım azalmaya başlar.



Şekil 7.5 RLC seri devrede frekansla akımın değişim eğrisi.

f_1 ve f_2 frekanslarında devreden geçen akım, I_0 rezonans akımının $(1/\sqrt{2})$ veya 0.707 katı kadar olması bir akord devresi için yeterli kabul edilir f_1 den küçük ve f_2 den büyük frekanslı sinyaller bu akort devre tarafından yeterli şiddette alınmazlar.

f_1 ve f_2 frekanslarında devreden geçen akımların devrede sebep oldukları güç kaybı $P = R.I^2 = R\left(\frac{I_0}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{2}R.I_0^2$ vattır. Rezonanstaki güç kaybı $P=R.I_0^2$

olduğuna göre f_1 ve f_2 frekanslarındaki güç kayıpları rezonanstaki güç kaybının yarısına eşittir. Rezonans eğrisi üzerindeki f_1 ve f_2 frekanslarının verdikleri noktalara **yarı güç noktaları** denir.

(f_2-f_1) bize bant genişliğini verir. Rezonans frekansı f_1 ve f_2 frekanslarının geometrik ortalamasına eşittir.

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

f_1 frekansında devreden geçen akımı $I_1 = (1/\sqrt{2}) I_0$ olduğuna göre devrenin empedansı rezonanstaki değerinden $\sqrt{2}$ kadar artmış demektir. Rezonansta $Z=R$ olduğundan f_1 deki empedans da $Z_2=\sqrt{2} R$ dir. Empedansın $Z=\sqrt{R^2 + X_L - X_C} = \sqrt{2} R$ olması için $X_L-X_C=R$ olması gerekir.

Frekansın f_0 dan f_2 ye yükselmesinden dolayı X_L deki artış $(R/2)$ olduğu için bu iki değer arasındaki fark $(X_L/X_C) = R$ olur.

Frekans f_0 dan f_1 e düşünce X_L deki azalma ($R/2$), X_C deki artma ($R/2$) olduğu için $X_C - X_L = R$ olur.

f_2 deki X_L nin artması $R/2$, f_1 deki X_L nin artması $R/2$ olduğuna göre $X_{L2} - X_{L1} = R$ olur.

$$2\pi f_2 L - 2\pi f_1 L = R \quad ; \quad 2\pi L (f_2 - f_1) = R$$
$$(f_2 - f_1) = R / 2\pi L$$

Buraya kadar elde edilen ifade bize bant genişliğini verir. Elde edilen bant genişliği formülünde eşitliğin her iki tarafını (f_0) a bölerek ters çevirtelim.

$$\frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{2\pi f_0 L}{R}$$

Elde edilen bu ifadenin (formülün) eşitliğin sağ tarafı bize devrenin Q sunu verir.

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{2\pi f_0 L}{R}$$

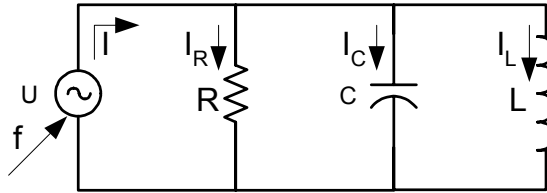
$$f_2 - f_1 = f_0 / Q$$

Devrenin Q su arttıkça, rezonanstaki gerilim yükselmesi artacağından devrenin duyarlılığı (sensivitesi) büyüdüğü gibi bant genişliği daralacağı için devrenin seçiliği (selektivitesi) de artar.

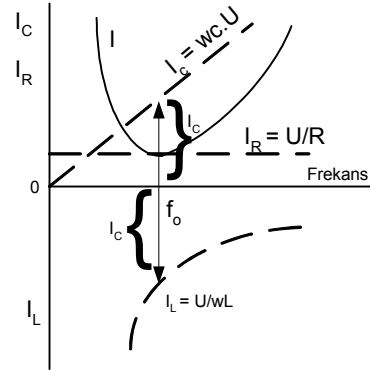
7.2 PARALEL REZONANS

1. Frekans Değişiminin RLC Paralel Devreye Etkisi

Şekil 7.6 saf R , L ve C elemanlarının paralel başladığı bir devreyi gösteriyor. Uygulanan kaynağın emri (U) sabit kaldığı halde frekansının değiştiğini kabul edelim. R direncinden geçen akım frekans değişikliğinden etkilenmeyeceği için sabit kalır. Frekans arttıkça L endüktansının reaktansı artacağı için bu koldan geçen akım azalmaya başlar. Frekans arttıkça C kondansatörünün reaktif direnci azalacağı için bu koldan geçen akım artar. Şekil 7.7 de kollarından geçen akımların frekansa bağlı olarak değişimleri görülüyor.

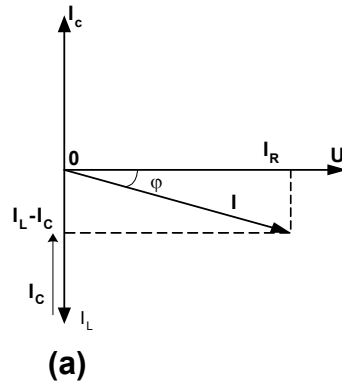


Şekil 7.6 RLC paralele devre

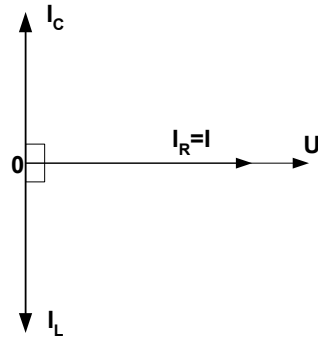


Şekil 7.7 RLC paralel devrede kollardan geçen akımların değişim eğrileri

RLC paralel devrede dirençten geçen I_R akımı, devreye uygulanan emk ile aynı fazda; L den geçen I_L akımı U den 90° ileridedir. kaynaktan çekilen akım I_R , I_L ve I_C kol akımlarının vektörel toplamına eşittir. Şekil 7.8 (a) da vektör diyagramı görülmüyor. Kaynaktan çekilen akım,



(a)



(b)

Şekil 7.8 RLC paralel devresinin vektör diyagramı

Şekil 7.6 daki RLC paralel devresinde kaynaktan çekilen akım ile $U =$ kaynak emk'i aynı fazda olduğunda, devre rezonans halindedir. Şekil 7.8 (b) de görülmüyor. Rezonansta $I = I_R$ dir, yani devre akımı minimumdur.

Şekil 7.7 de $I_L = I_C$ eşitliği f_0 frekansında sağladığı için bu frekansa rezonans frekansı denir. Devrenin rezonans frekansını $I_L = I_C$ eşitliğinden hesaplayalım.

$$E / 2\pi f_0 L = U \cdot 2\pi f_0 \cdot C$$

$$1 / 2\pi f_0 L = 2\pi f_0 \cdot C$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Paralel devrede rezonans frekansını veren formül, seri devrenin rezonans frekansını veren formülün aynısıdır.

RLC Paralel Devrenin Rezonanstaki Özellikleri

- a) Kaynaktan çekilen akım minimum, devrenin empedansı maksimumdur.
- b) $I_L = I_C$ olduğundan, $X_L = X_C$ olur.
- c) Kaynaktan çekilen akım R direncinin çektiği akımdır.
- d) Devre akımı, kaynak gerilimi ile aynı fazdadır. $\varphi = 0^\circ$
- e) L ve C dene geçen akımlar, kondansatörün ve endüktansın karşılıklı şarj ve deşarjından meydana gelir.
- f) Kaynaktan çekilen güç dirençte ısı şeklinde kaybolan güçtür

2.Rezonansta Akımın Yükselişi :

RLC paralel rezonans devresinde R direnci çok büyük seçilirse, rezonansta kaynaktan çekilen akım çok küçük olur. $I = I_R = U/R$. L ve C den geçen akımlar X_C ve X_L reaktif dirençler küçük seçilmek suretiyle artırılabilir. Bunun sonucunda L ve C dene meydana gelebilen kapalı devreden geçen akım (Tank akımı) kaynaktan çekilen akımdan çok büyük olur.

Paralel rezonans devresinde devrenin Q katsayısı, endüktanstaki veya kapasitansta ki reaktif gücün hakiki güce (dirençte ısı olarak kaybolan güce) oranıdır.

$$Q = \frac{\text{reaktif güç}}{\text{aktif güç}} = \frac{E^2 / X_L}{E^2 / R}$$

$$Q = \frac{R}{X_L}$$

Dikkat edilirse paralel rezonans devresinin Q katsayısı seri rezonans devresindeki Q nun tersine eşit olduğu görülür.

Paralel rezonans devresindeki I_L veya I_C akımı $I_L=U/X_L$ dir.

U yerine $U=I_R.R$ yazarsak, $I_L=I_R.R/X_L$ bulunur.

$I_R=I$, $Q =R/X_L$ ifadesini yerlerine yazarsak rezonansa L ve C den geçen akım (tank akımı) veren formül bulunur.

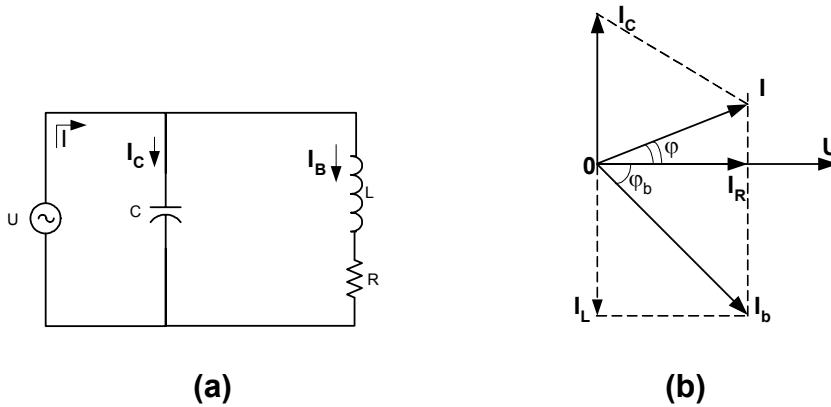
$$I_L=I.Q$$

$I_L=I.Q$ formülü, rezonansa endüktanstan veya kondansatörden geçen akımın yükselişini verir.

3. Pratik Paralel Rezonans Devresi

Kayıpsız saf bir self bobini yapmak imkansızdır.bobini meydana getiren İletkenlerin dirençlerinden dolayı ısı şeklinde bir güç kaybı meydana gelir.Gerçek bir self bobini endüktansa seri bağlı R direnci ile gösterilir.Bir kondansatörün dielektrikinde ısı şeklinde kaybolan güç çok küçük olduğu için ihmal edilebilir.Şekil9.9 (a) da pratik (gerçek) bir paralel rezonans devresi görülüyor.

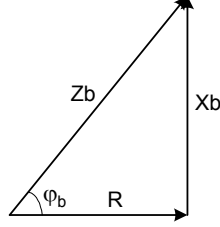
Kondansatörden geçen I_C akımını gerilimden I_C akımını gerilimden 90° ileride, bobinden geçen I_B akımı da gerilimden φ_B kadar geride alarak Şekil 7.9. (b) de görülen vektör diyagramını çizelim.



Şekil 7.9 Pratik paralel rezonans devresi ve vektör diagramı

Kaynaktan çekilen akım, I_B ve I_C akımlarının vektörel toplamına eşittir. I_b akımı I_R ve I_L bileşenine ayırılım. Bu devrenin rezonansa gelebilmesi için kaynaktan çekilen I akımı ve U geriliminin aynı fazda olması ($\varphi=0$) lazımdır. Şekil9.9 (b)

deki vektör diyagramı dikkatlice incelirse, bobinden geçen I_B akımının I_L bileşeninin I_C akımına eşit olduğunda I ile U nin aynı fazda olacağı görülür.



$$I_C = I_L \quad I_R = I_B \cdot \cos \phi_b$$

$$I_L \text{ akımı} \quad I_L = I_B \cdot \sin \phi_b$$

I_B ve $\sin \phi_b$ değerlerinin hesaplayıp $I_L = I_B \cdot \sin$

Şekil 7.10 empedans üçgeni ϕ_b ifadede yerlerine koyarak I_L yi bulalım.

Şekil 7.10 da bobinin empedans üçgeni görülüyor. Bu üçgenden,

$$Z_B = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \sin \phi_b = X_L / Z_B = \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

yazılır. Bobinden geçen akım,

$$I_B = U / Z_B \quad I_B = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

I_B akımının I_L bileşeni,

$$I_L = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \cdot \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = U \cdot \frac{X_L}{R^2 + X_L^2}$$

bulunur. Kondansatörden geçen akım $I_C = U/X_C$ dir.

$$U \cdot \frac{X_L}{(R^2 + X_L^2)} = U / X_C$$

$\frac{X_L}{R^2 + X_L^2} = \frac{I}{X_C}$ ifadeden rezonans frekansını hesaplayalım.

$$\frac{2\pi f_0 L}{R^2 + (2\pi f_0 L)^2} = \frac{I}{1 / 2\pi f_0 C}$$

$$L / C = R^2 + 4\pi^2 f_0^2 L^2 ,$$

$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{CR^2}{L}}$ nolu ifadede R yerine $R = 2\pi f_0 L / Q$ ifadesini koyarak f_0 hesaplayalım.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{Q^2}{1 + Q^2}}$$

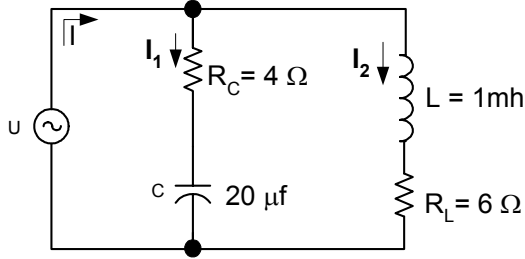
- a) Rezonans frekansını veren formüller incelendiğinde şu neticeler çıkartılabilir.
- b) Gerçek paralel rezonans devresinin rezonans frekansı, ideal paralel devrenin rezonans frekansından biraz küçüktür.
- c) Seri ve ideal rezonans devrelerinin rezonans frekansları devrenin direncine bağlı olmadığı halde pratik paralel rezonans devresinde rezonans frekansı devrenin direncine bağlıdır.
- d) Eğer $CR^2/L > 1$ olursa rezonans formüldeki kök içindeki ifade negatif çıkar. Bu devrenin rezonans frekansı yoktur. Şöyle ki bu devrede hiçbir frekansa rezonans gelmez.
- e) Eğer bobinin Q su 10 dan büyük ise ($Q > 10$) formülün kök içi 1 alınabilir. Böyle bir durumda rezonans frekansı $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ olur.

Örnek 7.2

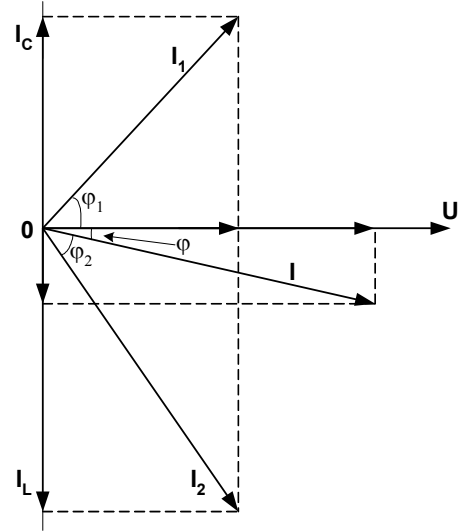
Şekil 7.11 deki paralel devre hangi frekansta rezonansa gelir.

Çözüm 7.2

Şekil 7.11 den geçen akımların vektör diyagramını çizelim, Şekil 7.12 Bu devrenin rezonansa gelmesi yani E ile I nın aynı fazda olması için $I_L = I_C$ olmalıdır.



Şekil 7.11 Paralel Devre



Şekil 7.12 Vektör Diyagramı

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{R_C^2 + X_C^2}}, \sin \phi_1 = \frac{I}{\sqrt{R_C^2 + X_C^2}} \quad \text{den;}$$

$$I_C = E \cdot X_C / (R_C^2 + X_C^2) I^2 = E / \sqrt{R_C^2 + X_L^2}; \quad \sin \phi_2 = X_L / \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad \text{ifade sin den;}$$

$$I_L = E \cdot \frac{I}{R_L^2 + X_L^2} \quad \frac{X_L}{(R_L^2 + X_L^2)} = \frac{X_C}{R_C^2 + X_C^2}$$

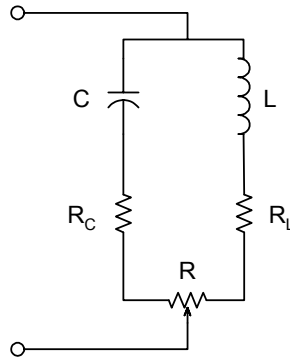
$$f_o = \frac{I}{2\pi\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{\frac{R_L^2 + L/C}{R_C^2 - L/C}} \quad \text{Devrenin rezonans frekansı,}$$

$$f_o = \frac{I}{2\pi\sqrt{10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-6}}} \cdot \sqrt{\frac{6^2 - 10^{-3} / (20 \cdot 10^{-6})}{4^2 - 10^{-3} / (20 \cdot 10^{-6})}} = 722 \text{ Hz}$$

formül incelenirse şu neticeler çıkarılır.

- $R_L^2 > L/C$ ve $R_C^2 > L/C$ ise devrenin rezonans frekansı vardır.
- $R_L^2 < L/C$ ve $R_C^2 < L/C$ ise kök içi pozitif olacağından devre yine rezonans gelebilir.

- c. $R_L^2 < L/C$ ve $R_C^2 > L/C$ ise kök içi negatif olacağından devre hiçbir frekansta rezonansa gelmez.
- d. $R_L^2 = R_C^2 = L/C$ olduğunda devre her frekansta rezonans halindedir.
- e. Rezonans frekansı devrenin R_L ve R_C dirençleri ile değişir. Şekil 7.13 de bir dirençle rezonansa getirilen paralel rezonans devresi görülüyor.



Şekil 7.13 Direnç akortlu paralel rezonans devresi

BÖLÜM 8

GÜÇ VE GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ

8.1 GÜÇ ÜÇGENİ

8.2 GÜÇ KATSAYISI

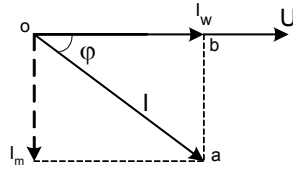
8.3 GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ

8.4 GÜÇ KATSAYISININ KONDANSATÖRLERLE DÜZELTİLMESİ

8. GÜÇ VE GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ

8.1 GÜÇ ÜÇGENİ

Alternatif akım devrelerinde, devreye uygulanan şebeke gerilimi ile devre akımı arasındaki φ açısının, devrede bulunan omik veya reaktif dirençlere bağlı olarak değiştiğini biliyoruz.



Şekil 8.1

Şekil 8.1 deki vektör diyagramında, akım gerilimden φ kadar geridedir. I akımını dik bileşenlere ayıralım. I_w bileşeni gerilimle aynı fazda ve I_m bileşeni de U gerilimine diktir.

$$I_m = I \cdot \sin \varphi \quad I_w = I \cdot \cos \varphi$$

Gerilimle aynı fazda olan I_w akımının, U gerilimi ile çarpımı, Watt olarak hakiki (aktif) gücü verir.

$$P = I_w \cdot U \quad I_w \text{ yerine } (I \cos \varphi) \text{ yazalım.} \quad P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Alternatif akım devrelerinde hakiki gücü veren bu ifadeyi daha önce bulmuştuk. I_w bileşenine Watt'lı akım veya aktif akım denir

$$\text{Reaktif Güç } Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Reaktif gücün birimi Volt-Amper-Reaktif'tir. Kısaca VAR olarak gösterilir. $1000 \text{ VAR} = 1 \text{ kVAR}$ ve $10^6 \text{ VAR} = 1 \text{ megaVAR (MVAR)}$ Akımın gerilime dik olan I_m bileşenine reaktif akım (vatsız akım veya mıknatıslama akımı) denir.

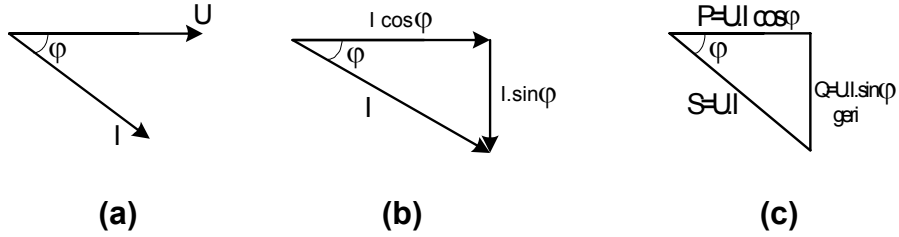
Bir alternatif akım devresine uygulanan U gerilimi ile devre akımı I'nın çarpımına görünür güç veya zahiri güç denir. Görünür gücün birimi VoltAmper(VA) dir. S harfi ile gösterilir.

$$1000 \text{ VA} = 1 \text{ kVA} \text{ ve } 10^6 \text{ VA} = 1 \text{ MVA (Mega Volt Amper)}$$

$$S = U \cdot I$$

Şekil 8.1 deki oab akımlar üçgenini çizelim. Şekil 8.2 (b) deki akımlar üçgenin her kenarı U ile çarptığımızda, kenarları ($U.I.\cos\phi$) ve ($U.I.\sin\phi$) ve $U.I$ olan güç üçgeni elde edilir.

Şekil8.2 (c)



Şekil 8.2 Akım geride olduğu duruma göre güç üçgeni
Güç üçgeninde reaktif, aktif ve görünür güçler arasında ilişki yazılabilir.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Alternatif akım devrelerinde akım, uygulanan gerilimden geride olduğu gibi ileride de olabilir .

8.2 GÜÇ KATSAYISI

Bir alternatif akım devresindeki hakiki (aktif) gücün ,görünür güce oranına devrenin “Güç Katsayısı” denir.

$$\text{Güç katsayısı} = P/S = U.I.\cos\phi/U.I = \cos\phi$$

Güç katsayısı $\cos\phi$ ile gösterilir. ϕ açısı, alternatif akım devresine uygulanan U gerilimi ile I akımı arasındaki açıdır. ϕ açısının sinüsüne, kör güç katsayısı veya reaktif güç katsayısı denir.

$$\sin\phi = Q / S$$

Bir alternatif akım devresinde ,akım gerilimden ileride veya geride olduğu gibi ,akım ile gerilim aynı fazda da olabilir.Buna göre güç katsayıları $\cos\phi$ ileri $\cos\phi= 1$ ve $\cos\phi$ geri olmak üzere üç şekilde ifade edilir.

Alternatif akım kaynakların bağlanan çeşitli alıcıların çektikleri akım ile uçlarındaki gerilim arasındaki faz farkı , alıcının yapısına göre değişir.

Eğer alıcının çektiği akım, uçlarındaki gerilimden ileride ise bu alıcıya ileri güç katsayılı yük denir. Eğer alıcının çektiği akım, uçlarındaki akım ile aynı fazda ise bu alıcıya güç katsayısı 1 olan yük denir. Bir alıcının çektiği akım, uçlarındaki gerilimden geri kalırsa, bu alıcıya geri güç katsayılı yük denir.

Bir alternatif akım şebekesindeki saf bir selften geçen akım, uçlarındaki gerilimden 90° geri kalır. $\varphi = 90^\circ$ olduğuna göre güç katsayısı $\cos\varphi = \cos 90 = 0$ olur. Şu halde, saf bir self güç katsayısı sıfır geri olan bir yük durumundadır.

Bir alternatif akım şebekesine bağlanan kondansatörden geçen akım, uçlarındaki gerilimden 90° ileridedir. $\cos 90 = 0$ olduğuna göre, kondansatör güç katsayısı sıfır ileri olan bir yüküdür.

Bir fazlı Alternatif akım devrelerinde kullanılan güç formüllerini bir arada yazalım:

Hakiki Güç :	$P = U.I.\cos\varphi = I^2.R = U^2/R$
Kör Güç :	$Q = U.I.\sin\varphi = I^2.X_e = U^2/X_e$
Görünür Güç :	$S = U.I = I^2.Z = U^2/Z$
Güç Katsayısı :	$\cos\varphi = P/S = P/E.I = R/Z$
Reaktif Güç Katsayısı :	$\sin\varphi = Q/S$

Örnek 8.1

120 Voltluk AA kaynağından 2 amper çeken tek fazlı bir motorun güç katsayısı 0,85 dir. Motorun çektiği hakiki ve görünür gücü hesaplayınız.

Çözüm 8.1

$$P = U.I.\cos\varphi = 120.2.0,85 = 204 \text{ watt}$$

$$S = U.I = 120.2 = 240 \text{ VA}$$

Örnek 8.2

Tek fazlı bir alternatörün devresindeki voltmetreden 220 V ampermetreden 20A ve fazmetreden $\cos\varphi = 0,8$ değerleri okunmuştur. Buna göre alternatörün:

- a) Aktif gücünü
- b) Görünür gücünü
- c) Kör gücünü
- d) Kör güç katsayısını hesaplayınız .

Çözüm 8.2

a-) $P = U.I.\cos\varphi = 220.20.0,8 = 3520 \text{ watt}$

b-) $S=U.I =220.20 = 4400 \text{ VA}$

c-) $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ den $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ $Q= \sqrt{4400^2 - 3520^2} = 2640 \text{ VAR}$

d-) $\sin\phi = Q/S = \frac{2640}{4400} = 0,6$

8.3 GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ

Endüktif (selfli) bir yükün küçük olan güç katsayısının daha büyük bir değere yükseltilmesi için yapılan işlemlerin tümüne, güç katsayısının düzeltilmesi veya kompanzasyon denir.

Güç katsayısı düşük (0,3-0,5) olan endüktif yüklere, motorlar, transformatörler, bobinler, flüoresan lamba balastları örnek gösterilebilir.

Düşük güç Katsayısının Sakıncaları :

1. Alternatör ile transformatörlerin güçleri ve verimleri düşer. 240 KVA lık ve 1200 V luk tek fazlı bir alternatörü ele alalım. Alternatörün akımı $I = 40000/1200=200\text{A}$ dir. Değişik güç katsayılı yükler bağlayarak alternatörden çekilen aktif güçleri hesaplayalım:

a-) Güç katsayısı 1 olan omik bir yük bağlandığında alternatör en büyük aktif gücünü verir.

$$P= U.I. \cos\phi = 1200.200.1.10^{-2} = 240 \text{ KW}$$

b-) R-L elemanlarından meydana gelen ve güç katsayısı 0,80 olan endüktif bir yük bağlandığında alternatörden çekilen aktif güç:

$$P=1200.200.0,80.10^{-2} = 192 \text{ KW olur.}$$

Görülüyor ki, düşük güç katsayılı bir yük bağlandığı zaman, alternatör normal akımını(200A) verdiği halde normal gücünü verememektedir. Dolayısıyla, daha düşük güçte çalıştığından verimi de düşer.

2. Güç katsayısının düşmesi oranında, şebekeyi besleyen alternatör ve trafonun görünür güçlerinin büyümesi gerekir. Örneğin, bir atölyedeki motorların toplam gücü 80 KW ve güç katsayısı 0,80 olsun. Bu motorların besleyecek olan trafonun görünür gücü

$$S = P/\cos\phi = 80 / 0,80 = 100 \text{ kVA olmalıdır.}$$

Toplam güç yine 80 KW, fakat güç katsayısı 0,60'ya düşerse trafonun görünür gücü,

$$S_2 = 80 / 0,60 = 133 \text{ KVA olmalıdır.}$$

Demek ki, güç katsayısı düşünce aynı aktif gücü, görünür gücü daha yüksek olan bir trafo ile beslemek gerekecektir.

3. Besleme hatlarındaki güç kayıpları ve gerilim düşümleri artar. Örneğin ,gücü 1 KW ve gerilimi 200 V olan tek fazlı bir alternatöre güç katsayısı 0,90 olan bir yük bağlanırsa çekilen akım:

$$I_1 = P/U.\cos\varphi = 1000/200.0,90=5,55 \text{ A olur.}$$

Aynı alternatöre güç katsayısı 0,60 olan bir yük bağlandığında çekilen akım:

$$I_2 = 1000/200.0,60 = 8,35 \text{ A olur.}$$

Görülüyor ki, her iki durumda da gerilim ve harcanan güç aynı olmasına rağmen, güç katsayısının küçülmesi nedeniyle çekilen akım artmaktadır. Dolayısıyla, yükü besleyen hattaki ($R.I^2$) ısı kaybı daha büyük olacak ve hattaki gerilim düşümü artacaktır. Bunu önlemek için daha büyük kesitli iletken kullanmak gerekecektir. Aynı zamanda , sigorta ve şalter akımları da yükseleceği için tesisatın maliyeti artar.

Yukarıda açıklanan sakıncaları gidermek için güç katsayısının yükseltilmesi gerekir. Uygulamada, güç katsayısının yükseltilmesi için genellikle kondansatörler kullanılır. Çünkü, küçük ve hafiftirler, dönen parçaları olmadığından bakımları kolaydır. Fiyatları ucuzdur, işletme gücünün büyümesi halinde devreye ek kondansatörler kolaylıkla bağlanabilirler.

Güç Katsayısı'nın yükseltilmesi ile elde edilen kazançları özetleyelim:

- 1-** Alternatörün ve trafonun görünür güçleri küçülür.
- 2-** Aynı kablolardan (iletim hatlarından) daha fazla aktif enerji iletilir.
- 3-** Enerji iletim hatlarındaki kayıplar azalır.
- 4-** Reaktif güç için ödenmesi gereken meblağ tasarruf edilir.

8.4 GÜÇ KATSAYISININ KONDANSATÖRLERLE DÜZELTİLMESİ

1. Kondansatörün Seri Bağlanması:

Şekil 8.3 (a) da görülen motorun devresine Şekil 8.3(b) deki gibi 308 mF lık bir kondansatörü seri bağlayalım.

$$\text{Motorun empedansı } Z_M = U/I = 120/10 = 12 \, \Omega$$

$$\text{Güç katsayısı, } \cos \varphi = 0,70 \quad \varphi = 45,6^\circ$$

$$\text{Motorun omik direnci, } R = Z_m \cdot \cos \varphi_m = 12 \cdot 0,70 = 8,4 \, \Omega$$

$$\text{Motorun reaktif direnci, } X_m = Z_m \cdot \sin \varphi = 12 \cdot \sin 45,6^\circ = 8,6 \, \Omega$$

$$\text{Kapasitif reaktans, } X_c = 10^6 / \omega C = 10^6 / 2\pi \cdot 60 \cdot 308 = 8,6 \, \Omega$$

$$\text{Seri devrenin toplam (eşdeğer) empedansı, } Z_e = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

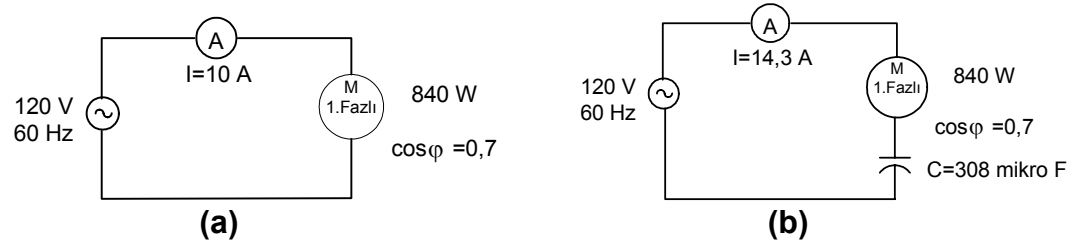
$$Z_e = \sqrt{8,4^2 + (8,6 - 8,6)^2} = 8,4 \, \Omega. \text{ Omik yük, çünkü } X_L = X_C \text{ 'dir}$$

$$\text{Şebekeden çekilen akım, } I = U/Z = 120 / 8,4 = 14,3 \, A$$

$$\text{Akım ile gerilim arasındaki açı } \varphi = 0 \text{ dır}$$

$$\text{Devrenin güç katsayısı, } \cos \varphi = \cos 0 = 1$$

$$\text{Motorun uçlarındaki gerilim, } U_m = Z_m \cdot I = 12 \cdot 14,3 = 172 \, V$$



Şekil 8.3

Gücü 840 W ve Güç katsayısı 0,70 geri olan bir motorun devresine seri olarak 308mF lık bir kondansatör bağladığımızda, devrenin güç katsayısını 1'e çıkarmış oluyoruz. Yalnız, bu arada şebekeden çekilen akım 14,3 amper'e ve motorun uçlarındaki gerilim de 172 Volt'a yükselmiş olur. Bu da motor için tehlikelidir, hiç arzu edilmez. Şu halde, bir kondansatörü yüke seri bağlayarak güç katsayısını düzeltmeye çalışmamalıyız.

2.Kondansatörün Paralel Bağlanması :

Güç katsayısının düzeltmede, alternatif akım devresine kapasitif reaktif güç vererek, şebekeden çekilen görünür gücü azaltırken, yükten geçen akımın ve uçlarındaki gerilimin sabit kalmasını sağlamak gereklidir.

Paralel devrenin özelliklerinden biri, kollarından birindeki değişiklik, toplam akımı değiştirdiği halde, öteki kollarından geçen akımları etkilememesidir.

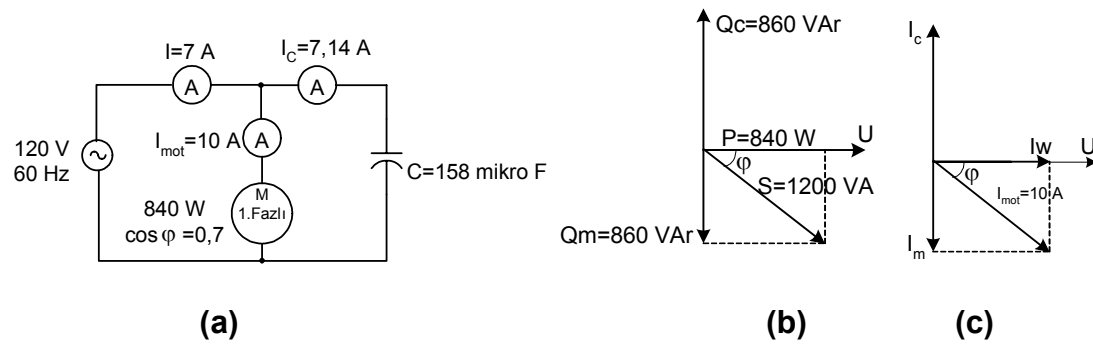
Motora uygulanan gerilim ve geçen akımı sabit tutabilmek için şekil8.5 te görüldüğü gibi, kondansatörü paralel bağlamak gerekir.

Örnek 8.3

840 W, $\cos\phi = 0,70$ geri güç katsayılı bir motor 120 V 60 Hz Frekanslı bir şebekeye bağlıdır.

a-) Sistemin Güç katsayısını 1'e çıkarmak için kaç μF lık kondansatörü motor uçlarına paralel bağlamak gerekir.

b-) Ampermetrelerin gösterecekleri değerleri bulunuz.



Şekil 8.4

Çözüm8.3

a-) Motorun çektiği görünür güç,

$$Q_m = S \cdot \sin \varphi = 1200 \sqrt{1 - 0,70^2} = 860 \text{ VAR}$$

Güç katsayısının 1 olması için şebekeden reaktif güç çekilmemelidir. Motora lazım olan 860 VAR lık gücü kondansatörün sağlaması gerekir.

$$Q_c = Q_m = 860 \text{ VAR olur.}$$

Kondansatörün reaktif gücü,

$$Q_c = I_c^2 \cdot X_c = U_c^2 / X_c \quad 860 = 120^2 / X_c, X_c = 120^2 / 860 = 16,7 \Omega$$

Kondansatörün kapasitesi :

$$X_c = 10^6 / \omega C \text{ den } C = 10^6 / \omega X_c = 10^6 / 2\pi \cdot 60 \cdot 16,7 = 158 \mu F \text{ olarak bulunur.}$$

b-) Şekil 8.4(c) deki vektör diyagramından.

$$I_{mot} = P / U \cdot \cos \varphi = 840 / 120 \cdot 0,70 = 10 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_m = 0,70, \varphi_m = 45,6^\circ$$

Motorun çektiği reaktif akım,

$$I_m = I \cdot \sin \varphi_m = 10 \cdot \sin 45,6 = 7,14 \text{ A.}$$

Kondansatörün akımı , motorun reaktif akımına eşit olmalıdır

$$X_c = 16,7 \Omega \text{ olduğuna göre, } I_c = U / X_c = 120 / 16,7 = 7,14 \text{ A}$$

Şebekeden çekilen akım, motor akımının I_w bileşeni olan Wattlı akıma eşit olmalıdır. Çünkü $\cos \varphi = 1$ dir.

I_c , I_m ve I_w akımlarının vektörel toplamı da şebekeden çekilen akımı verir.

$$I = \sqrt{I_w^2 + (I_m - I_c)^2} = I_w.$$

$$I = I_w = I_{mot} \cdot \cos \varphi$$

Sonuç

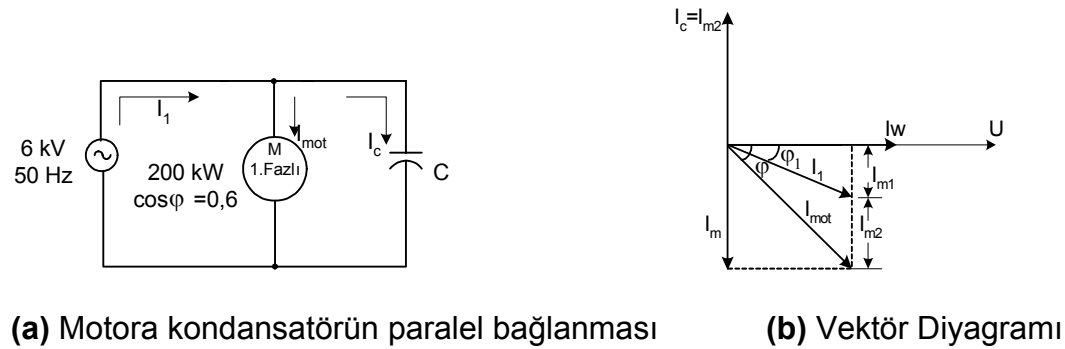
158 μF 'lık kondansatör, motorun çektiği 860 VAR reaktif gücü sağladığı için şebekeden yalnız 840 Watt'lık aktif güç çekilir. Dolayısıyla sistemin güç katsayısı 1'e yükselmiş olur.

Ekonomik sebeplerden dolayı güç katsayısının 1'e değil 0,90'a yükseltilmesi istenir.

Bunu bir örnekle açıklayalım .

Örnek 8.4

6KV ve 50 Hz'lik şebekeden beslenen bir fabrikadaki motorların toplam gücü 2000KW ve güç katsayısı 0,60 Geri'dir. Fabrikanın güç katsayısını (a)0,90 ve (b) 1'e yükseltmek için şebeke girişine bağlanması gereken kondansatörün kapasitesini hesaplayınız.



Şekil 8.5

Problemi çözmeden önce, kondansatörün kapasitesini veren genel formülü Şekil 8.5(b) deki akımlar vektör diyagramına göre çıkaralım.

$$\tan \phi = I_m / I_w, \quad I_m = I_w \cdot \tan \phi$$

$$\tan \phi_1 = I_{m1} / I_w, \quad I_{m1} = I_w \cdot \tan \phi_1$$
$$I_{m2} = I_m - I_{m1}$$

$$I_{m2} = I_w \cdot \tan \phi - I_w \cdot \tan \phi_1 \text{ veya } I_{m2} = I_c$$

$$I_c = I_{m2} = I_w (\tan \phi - \tan \phi_1)$$

Aynı zamanda , $I_c = w \cdot U \cdot C / 10^6$ ve $I_w = P_{\text{mot}}/U$ 'dur

$$w . U . C / 10^6 = (P_{mot} / U) . (tg\varphi - tg\varphi_1)$$

$$C = \frac{P_{mot} . 10^6}{w . U^2} . (tg\varphi - tg\varphi_1)$$

P_{mot} = Motorun gücü, (düşük $\cos\varphi$ li yük)W, ω = Açısal hız, raydan/saniye, U =şebeke gerilimi (Volt), $tg\varphi$ = (motorların) güç katsayısı açısının tanjantı, $tg\varphi_1$ =kompanzasyondan sonraki güç katsayısı açısının tanjantı, C =Paralel bağlanacak kondansatörün kapasitesi μF .

$$\cos\varphi = 0,6 ; \varphi = 58^\circ 10' ; tg\varphi = 1,335$$

$$\cos\varphi_1 = 0,9 ; \varphi_1 = 25^\circ 50' ; tg\varphi_1 = 0,484$$

$$\cos\varphi_1 = 1 ; \varphi_1 = 0^\circ ; tg\varphi_1 = tg0^\circ = 0$$

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ rad/saniye}$$

$$C = \frac{P . 10^6}{w . U^2} . (tg\varphi - tg\varphi_1)$$

$$C = \frac{2000000 . 10^6}{314 . 6000^2} \cdot (1,335 - 0,448) = 150 \mu F$$

$$\text{b-)} \quad C = \frac{2000000 . 10000000}{314 . 6000 . 6000} \cdot (1,335 - 0) = 177 \mu F$$

Sonuç

Güç katsayısını 1 yapmak ile 0,9 yapmak arasında elektriki bir fark yoktur. Fakat kondansatörler arasında 27 μF 'lık bir kapasite farkı vardır. Kondansatörlerin fiyatları kapasitelerine göre tespit edildiğinden, $\cos\varphi$ 'nin 0,9'a yükseltilmesi daha ekonomik olur.

BÖLÜM 9

ÜÇ FAZLI DEVRELER

9.1 VEKTÖRLERİN ÇİFT HARFLERLE GÖSTERİLMESİ

9.2 İKİ FAZLI AKIM

9.3 ÜÇ FAZLI SİSTEM

9.4 GÜÇ ÖLÇMEK

9.5 ÜÇ FAZLI SİSTEMDE GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ

9.6 KARIŞIK ÖRNEK PROBLEMLER

9. ÇOK FAZLI AKIMLAR

Alternatif akım üreten jeneratörlere Alternatör denir. Eğer bir alternatör yalnız bir sinüs dalgası şeklinde emk üretirse, 1 fazlı alternatör denir. Şimdiye kadar incelediğimiz elektrik devrelerindeki kaynaklar hep 1 fazlı kaynaklardı. Eğer bir alternatör 90 derece faz farklı iki sinüsoidal emk üretiyorsa buna iki fazlı alternatör denir. Eğer bir alternatör aralarında 120'şer derece faz farkı bulunan üç sinüsoidal emk üretiyorsa, böyle bir kaynağa da üç fazlı alternatör denir.

Enerjinin iletimi ve üretimi bakımından çok fazlı sistemin bir fazlı sistem üstünlükleri :

a-) Aynı boyuttaki iki veya üç fazlı alternatör bir fazlıdan daha fazla güç verir.

b-) Çok fazlı alternatörde kilowatt–saat başına enerjinin maliyeti bir fazlıdan daha düşüktür.

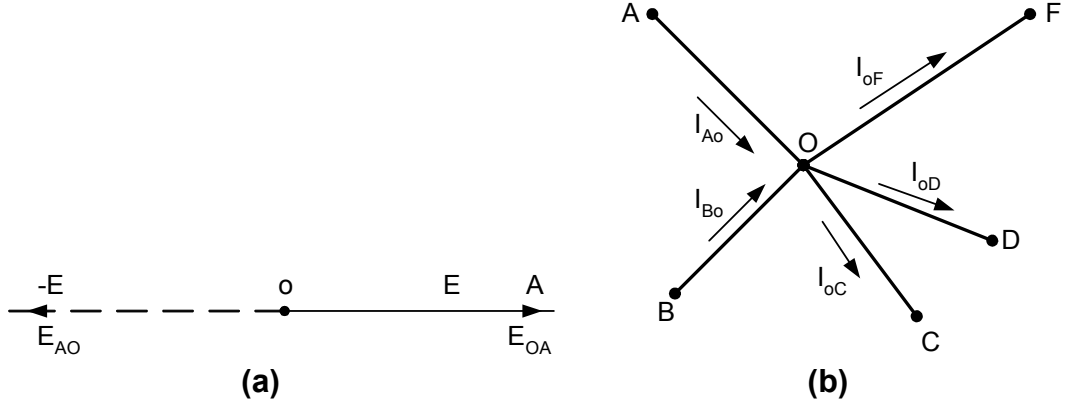
c-) Çok fazlı enerji iletim hatları bir fazlı hatlardan daha ucuzdur. Örneğin üç fazlı enerji iletim hattının bakır ağırlığı eşdeğer 1 fazlı hattın $\frac{3}{4}$ 'ü kadardır.

9.1 VEKTÖRLERİN ÇİFT HARFLERLE GÖSTERİLMESİ

Birden fazla gerilim ve akım kaynağı veya 2 ve 3 fazlı gerilim kaynaklarını ihtiva eden akım ve gerilim vektörleri için sistemli bir gösterme şekli kabul edilirse problemlerin çözümünde hata yapma ihtimali azalır.

Şekil 9.1 (a) daki E vektörünü ele alalım. Bu vektörün başlangıcı O ve uç kısmında A'dır vektörün yönü O'dan A'ya doğrudur. Bu vektörü çift harfle (E_{OA}) şeklinde gösterebiliriz. (OA) harfleri bize vektörün yönünü de göstermiş olur. E vektörünün tersi olan (180 derece faz farklı) $-E$ vektörü çift harflerle (E_{AO}) şeklinde gösterilir. Bir vektörün alt yanındaki harflerinin yeri değişirse vektör 180°derece döndürülmüş olur.

$$E_{AO} = -E_{OA}$$



Şekil 9.1. Vektörlerin çift harfle gösterilişi

Şekil 9.1 (b)'deki O düğüm noktasına gelen ve giden akımların yönleri işaretlenmiş ve vektöryel olarak gösterilmiştir. Düğüm noktasına gelen akımların vektöryel toplamı, ayrılan akımların vektöryel toplamına eşittir.

$$I_{AO} + I_{BO} = I_{OC} + I_{OD} + I_{OF}$$

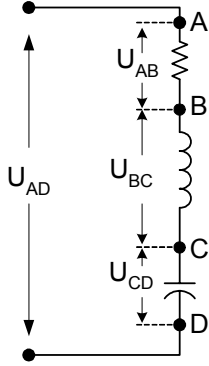
Eşitliğin bir tarafını diğer tarafa taşıyalım,

$$I_{OA} + I_{OB} + I_{OC} + I_{OD} + I_{OF} = 0$$

Dikkat edilirse, akım vektörleri eşitliğin bir tarafına veya öteki tarafına aktarıldığında başlangıç veya son harflerin yer değiştirdiği görülür.

Şekil 9.2'deki seri RLC devresinde AD uçlarındaki gerilim, her elemanın uçlarındaki gerilimlerin vektöryel toplamına eşittir.

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

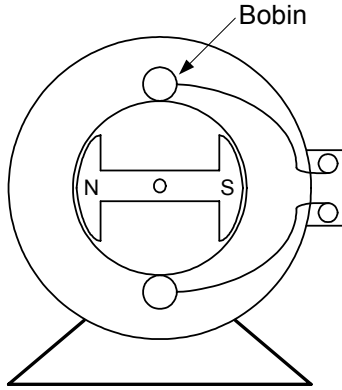


Dikkat edilirse bileşke vektörün ilk harfi birinci vektörün ilk harfi, bileşke vektörün ikinci harfi'de üçüncü vektörün ikinci harfi olduğu görülür. Toplanan vektörlerden birinci (U_{AB}) vektörünün ikinci harfi (B), ikinci (U_{BC}) vektörün birinci harfi (B) ve ikinci harf C, üçüncü U_C vektörünün ilk harfi de C'dir

Şekil 9.2 Seri RLC devre

9.2 İKİ FAZLI AKIM

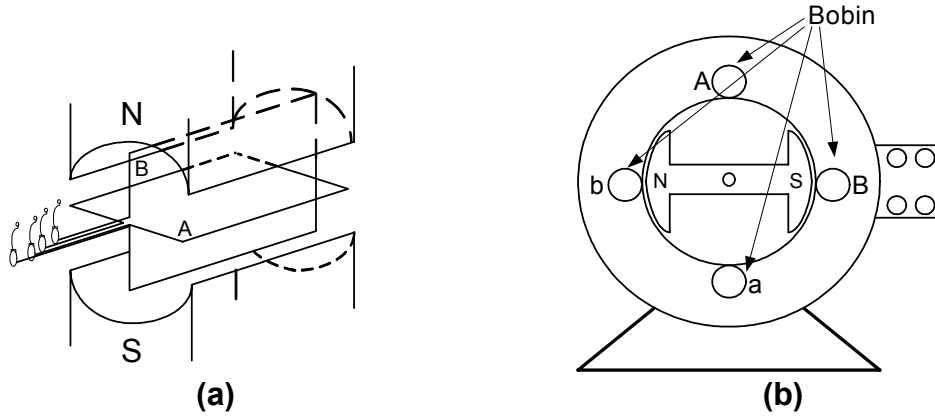
NS kutupları arasında döndürülen bir bobinde sinüsoidal bir emk indüklenir. Şekil 9.3'te görüldüğü gibi stator'a bir bobin yerleştirilir ve ortadaki NS kutbu döndürülürse , kutupların manyetik akısı tarafından kesilen bobinde sinüsoidal bir emk indüklenir. Pratikte kullanılan alternatif akım jeneratörlerinin büyük güçlü ve yüksek gerilimli olanları hep bu tipte yapılarla yani bobinler sabit tutularak kutuplar döndürülür.



Şekil 9.3

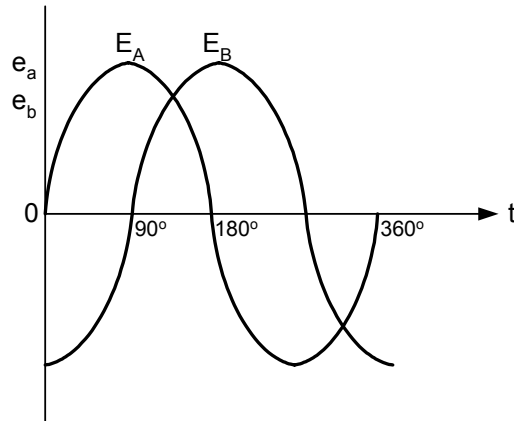
Şekil 9.4 (a) da görüldüğü gibi NS kutupları arasın birbirine dik iki bobin yerleştirilir, bobinlerin uçları mildeki 4 bileziğe bağlanırsa, kutuplar döndürüldüğünde A bobininde ve B bobininde indüklenen sinüsoidal emk'lar arasında da 90°'ar derece faz farkı olur.

Şekil 9.4 (b) de görüldüğü gibi , A ve B bobinleri birbirine dik olarak statora yerleştirilir, ortadaki NS kutupları döndürülürse, A ve B Bobinlerinin uçlarından 90 derece faz farklı sinüsoidal iki emk alınır.



Şekil 9.4 İki fazlı alternatif emk'nın elde edilmesi.

A ve B bobinlerinde indüklenen emk'ların değişim eğrisi Şekil 9.5'te görülüyor. Bobinlerin sarım sayıları birbirine eşit olursa, emk'ların da genlikleri dolayısıyla etkin değerleri birbirinin aynı olur. Şekil 9.5'te A bobininin emk'sı B'den 90° derece ilerdedir.



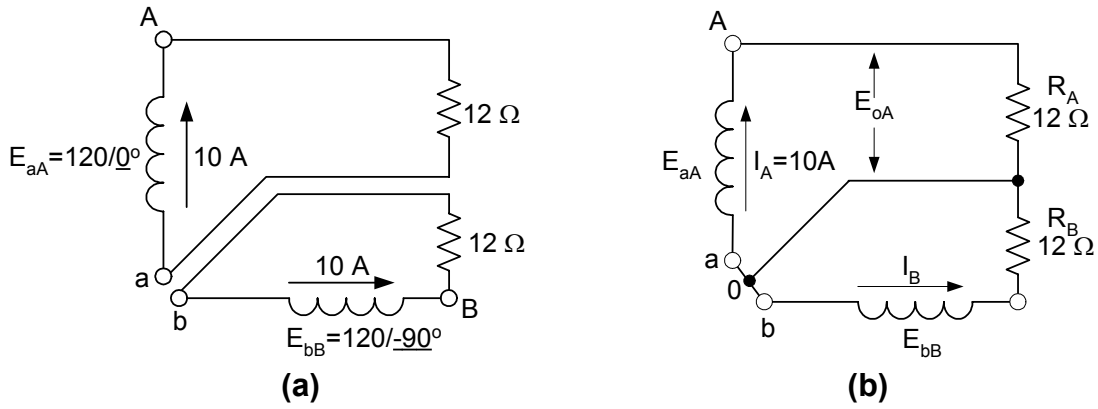
Şekil 9.5 Sinüsoidal A ve B emk'ları

Şekil 9.4'deki jeneratörlere iki fazlı alternatörler ve elde edilen emk'lere de iki fazlı alternatif akım denir. Emk ların herhangi bir andaki değerleri

$$e_a = E_m \cdot \sin \omega t$$

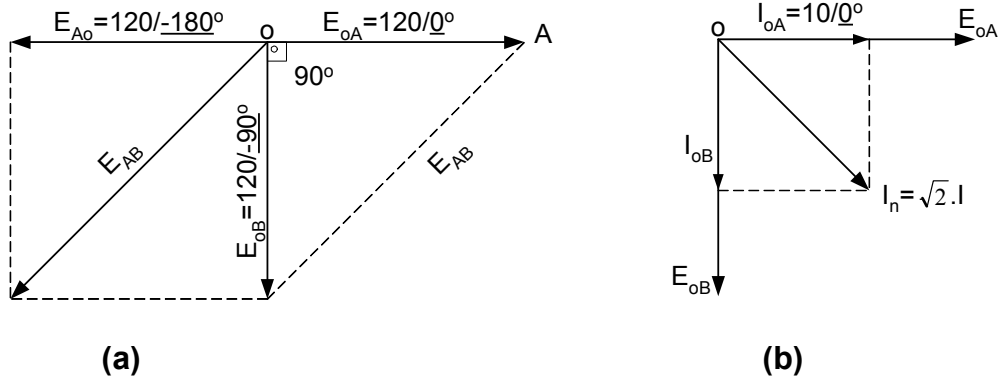
$$e_b = E_m \cdot \sin (\omega t - 90^\circ)$$

İki fazlı jeneratördeki A ve B bobinlerinde indüklenen emk'ların etkin değerlerinin 120 Volt ve bobinlerin uçlarına bağlanan omik dirençlerin 12'şer ohm olduğunu kabul edelim. Şekil 9.6 (a) da görüldüğü gibi fazlardan 10 amper akım çekilir.



Şekil 9.6 İki fazlı sistem

Her iki fazın yan yana olan dönüş iletkenleri yerine A B uçları birleştirilerek tek bir hat çekilirse, Şekil 9.6 (b) elde edilir. E_{aA} gerilimi ile I_{aA} akımı, E_{bB} gerilimi ile I_{bB} akımı aynı fazdadır. Çünkü, omik dirençle $\cos \varphi = 1$ olan yükler bağlıdır. Şu halde, I_{aA} akımı ile I_{bB} akımı arasındaki faz farkı 90° derecedir. Müşterek olan dönüş iletkenine (Nötr hattı) denir. Nötr hattından geçen akım, 90° derece faz farklı I_{aA} ve I_{bB} akımlarının vektöryel toplamına eşittir. İki dış hat arasındaki potansiyel farkı da vektöryel işlemle bulunabilir.



Şekil 9.7 İki fazlı sistemde gerilim ve akım vektör diyagramları.

İki fazlı sistemde iki dış hatlar arasındaki gerilim Şekil 9.7 (a) daki vektör diyagramından bulunur.

$$E_{oA} = E_{oB} = E_f \text{ olduğundan, } E_{AB} = E_{AO} + E_{OB}, \quad E_{AB} = \sqrt{2} \cdot E_f$$

$$E_{AB} = \sqrt{2} \cdot 120 = 170 \text{ Volt .}$$

Şekil 9.7 (b)'deki vektör diyagramından nötrden geçen akımı hesaplayalım.

$$I_n = \sqrt{2} \cdot I$$

$$I_n = \sqrt{I_A^2 + I_B^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{2} \cdot 10 = 14,14 \text{ A.}$$

Şu halde iki fazlı bir sistemde iki dış hat arasındaki potansiyel farkı faz emk'lerinin $\sqrt{2}$ katına, nötr akımı da faz akımının $\sqrt{2}$ katına eşittir.

İki fazlı sistemde güç bir faz gücünün iki katına eşittir.

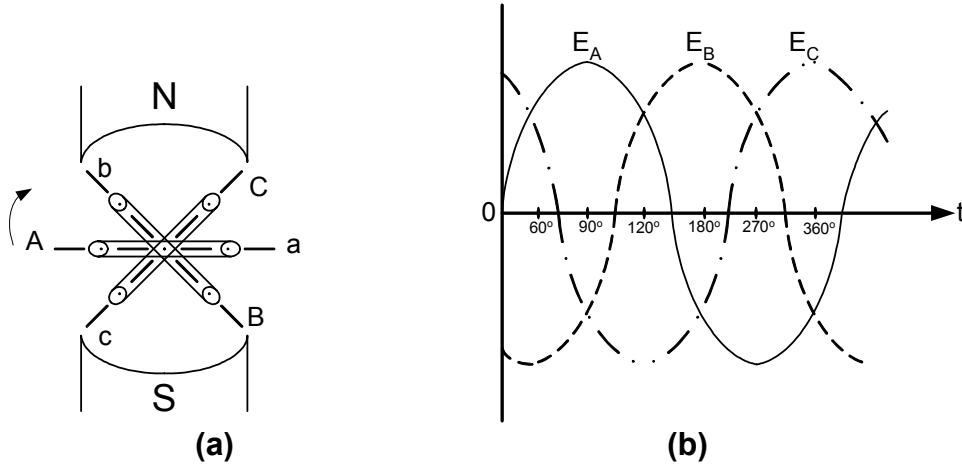
$$P = 2 \cdot E \cdot I \cdot \cos \varphi$$

E = faz gerilimi, I = Faz akımı, $\cos \varphi$ = yükün güç katsayısı

9.3 ÜÇ FAZLI SİSTEM

1.ÜÇ FAZLI EMK'İN ELDE EDİLİŞİ

NS kutupları arasına Şekil 9.8 (a) da görüldüğü gibi üç tane bobin 120° 'şer derece faz farklı olarak yerleştirilerek döndürülürse, aralarında 120° şer derece faz farkı olan üç tane sinüsoidal emk elde edilir. Her bobinin uçları mildeki altı bileziğe bağlanırsa, bileziklere sürtünen fırçalarla bobinlerde indüklenen emk lar dışarıya alınarak yükler bağlanabilir. Şekil 9.8 (b) de A, B ve C bobinlerinde indüklenen 120° 'şer derece faz farklı emk'ların değişim eğrileri görülmüyor.



Şekil 9.8 Üç fazlı emk'in elde edilişi ve emk'lerin değişim eğrisi

A, B ve C bobinlerinin sarım sayıları bir birine eşit olursa indüklenen emk'lerin maksimum değerleri, dolayısıyla etkin değerleri de bir birine eşit olur. Bu 120° şer derece faz farklı ve maksimum değeri aynı olan üç eğri aşağıdaki gibi ifade edilir.

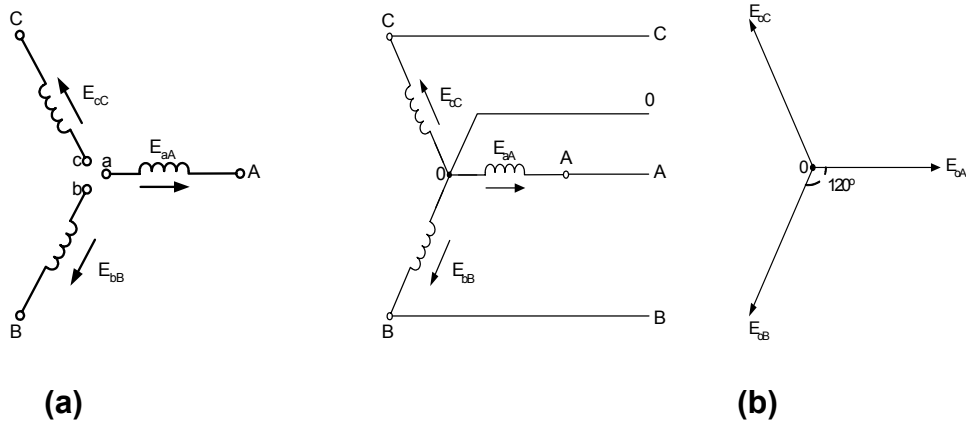
$$\begin{aligned} e_A &= E_m \cdot \sin \omega t \\ e_B &= E_m \cdot \sin (\omega t - 120^\circ) \\ e_C &= E_m \cdot \sin (\omega t - 240^\circ) \end{aligned}$$

Şekil 9.8 incelendiğinde, A bobininde indüklenen emk (+Em) değerini aldıktan 120° sonra B bobininde indüklenen emk (+Em) değerini alır. B den 120° sonra C bobininde indüklenen emk (+Em) değerine ulaşır. C bobinindeki emk A bobinindeki emk dan 240° geri veya 120° ileridedir. C bobinindeki emk A bobinindeki emk dan 240° geri veya 120° ileridedir.

2. Yıldız (Y) Bağlı sistem

Şekil 9.9 (a) da A , B ve C bobinlerinin durumu indüklenen emklerin vektör yel gösterilişleri çizilmiştir. Bobinlerin son uçları (a,b ve c) birleştirilirse, şekil 12.9 (b)'de Y bağlı sistem ve vektör diyagramı elde edilir.

Şekil 9.9 (b)'de görüldüğü gibi, 120 derece faz farklı üç bobinin son uçları birleştirilerek elde edilen noktaya (o) denir ve A, B ve C uçlarından ve o'dan birer hat çıkarırsak, ABC faz hatlarını ve sıfır hattını ilave eden bir sistem elde ederiz. Buna yıldız sistem denir. Faz hatları ile nötr arasındaki gerilimler birbirine eşit ve 120°şer derece faz farklıdır. Herhangi bir faz hattı ile nötr arasındaki gerilime <<**Faz Gerilimi**>> denir.



Şekil 9.9 Üç fazlı emk'ların yıldız bağlanması ve vektör diyagramı

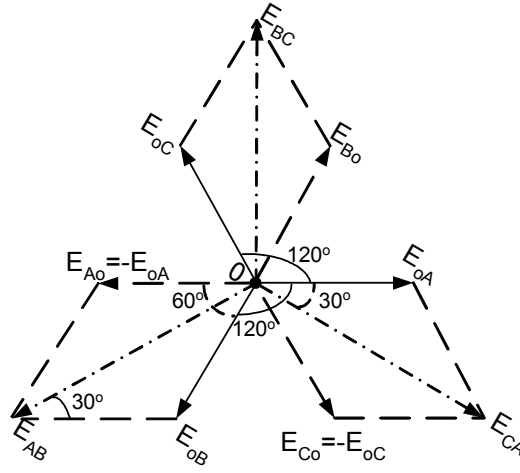
a. Fazlar Arası Gerilim (Hat Gerilimi) :

A,B ve C fazları arasındaki gerilimlerin vektör diyagramlarını çizmeye ve fazlar arası gerilimin mutlak değerini faz gerilimi ile ifade etmeye çalışalım.

Şekil 9.9 (b)'deki devrede AB faz hatları arasındaki E_{AB} gerilimi, E_{OA} ve E_{OB} faz gerilimlerinin vektörel toplamına eşittir.

$$E_{AB} = E_{AO} + E_{OB}$$

Şekil 9.10'da E_{AB} vektörü $E_{AO} = -E_{OA}$ vektörü ile E_{OB} vektörünün bileşkesi alınarak çizilmiştir. BC faz hatları arasındaki E_{BC} gerilimi $E_{BC} = E_{BO} + E_{OC}$ dir. CA faz hatları arasındaki gerilim de



Şekil 9.10 Yıldız sistemde faz ve fazlar arası emk'lar vektör diyagramı

$E_{CA} = E_{CO} + E_{OA}$ vektörel toplamına eşittir. Şekil 9.10'da E_{BC} ve E_{CA} fazlar arası gerilimlerin çizilişleri görülüyor. Vektör diyagramı incelendiğinde E_{AB} , E_{BC} ve E_{CA} fazlar arası gerilimlerinin de (hat gerilimlerinin) arasında 120°'şer derecelik faz farkı olduğu görülüyor.

E_{AB} vektörünün genliği (mutlak değeri) vektör diyagramından hesaplanabilir.

$$E_{AB} = 2(E_{OB})\cos 30^\circ = 2.(E_{OB})\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} . (E_{OB})$$

Faz gerilimleri birbirine eşit olduğu için fazlar arası gerilimlerde birbirine eşittir. $E_{AB} = E_{BC} = E_{CA} = E$. Fazlar arası gerilim faz geriliminin $\sqrt{3}$ katına eşittir.

$$E = \sqrt{3} . E_f$$

b. Yanlış yıldız bağlama

Üç fazlı emk'nın indüklendiği A,B ve C faz bobinlerini yıldız bağlarken son uçlarını (a,b,c) bir köprü ile birleştirmemiz gereklidir. Yıldız köprüsünü yaparken fazlardan her hangi birinin uçlarını karıştırmamız neticesinde son ucu diye başlangıç ucunu diğer fazların son uçları ile birleştirebiliriz. Şekil 9.11 (a)'da görüldüğü gibi üçüncü fazın uçlarını karıştırmak başlangıç ucu C'yi diğer birinci ve ikinci fazların son uçları ile birleştirelim. Birinci faz emk'yı E_{OA} vektörü ile, ikinci faz emk'sı birinci faz vektöründe 120 derece geride E_{OB} vektörü ile gösterilir. Üçüncü fazın emk'sı birinciden 120 derece ileride veya ikinci fazdan 120 derece geridedir. Üçüncü fazın uçlarını ters bağlamakla bu fazın emk'sı 180 derece döndürülmüş olur. Şekil 9.9(b)'deki üçüncü faz emk'sını gösteren E_{OC} vektörü 180 derece döndürülünce şekil 9.11(b)'deki vektör diyagramındaki gibi E_{cC} vektörü ile gösterilir. Şekil 9.9(b) ve şekil 9.11(b) vektör diyagramları karşılaştırıldığında, tek fark E_{OC} vektörünün ters olarak çizilmesidir.

Üç fazlı bir alternatör yıldız bağlandıktan sonra fazlar arası emk'lerini bir voltmetre ile ölçerek yıldız bağlanmanın doğru veya yanlış olduğu hemen bulunabilir

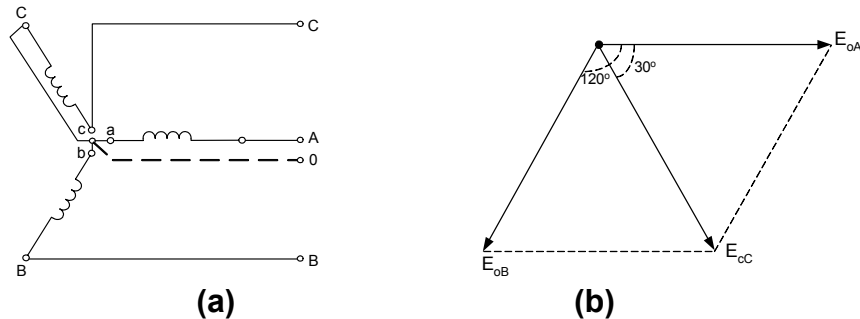
Doğru yıldız bağlamada fazlar arası emk'da faz emk'larının $\sqrt{3}$ katına eşittir. Şekil 9.11 (b)'deki vektör diyagramında görüldüğü gibi yanlış yıldız bağlamada fazlar arası emklardan biri faz emk'sının $\sqrt{3}$ katına eşit olduğu halde diğer fazlar arası emk'lar faz emklarına eşittir.

$$E_{AB} = \sqrt{3} \cdot E_f$$

$$E_{AC} = E_f$$

$$E_{BC} = E_f$$

Şu halde fazlar arası emk'lar faz emk'sının $\sqrt{3}$ katına eşit ise alternatör (alternatif akım jeneratörü) doğru yıldız bağlıdır. Fazlar arası emk'lardan ikisi faz emk'sına eşit ise alternatör yanlış yıldız bağlıdır.



Şekil 9.11 yanlış yıldız bağlı sistem

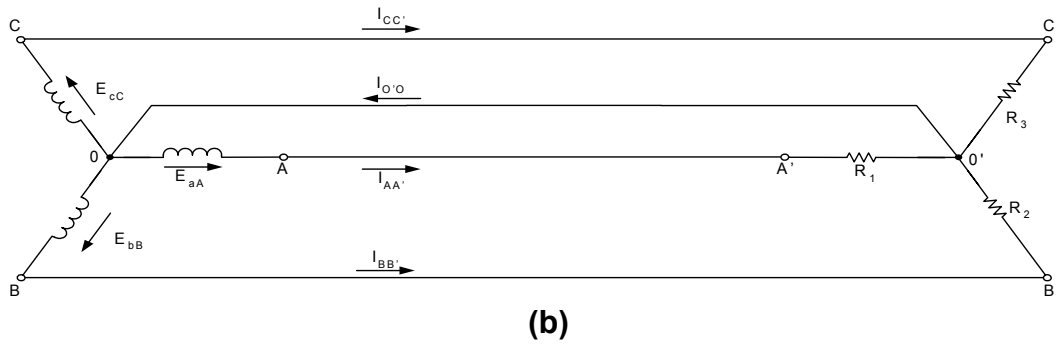
c. Yıldız Sistemde Akımlar

A,B ve C faz emk'lerini şekil 9.12 (a)'da görüldüğü gibi üç eşit omik direnç bağlayalım. Fazların dönüş iletkenleri yerine dirençlerin üç ucunu ve fazların a,b ve c sonuçlarını birleştirerek tek bir iletken çekelim. Bu iletkene "Nötr" hattı denir. Şekil 9.12(b)'deki yıldız sistem elde edilir. Burada kaynak ve yük yıldız bağlanmış, 0 noktaları da bir hatla birleştirilmiştir.

$R_1 = R_2 = R_3$ olduğundan her fazdan çekilen I_{OA} , I_{OB} ve I_{OC} akımları birbirine eşittir. Yük omik olduğu için her faz akımı kendi fazının emk'sıyla aynı fazdadır. Faz emk'ları 120° 'şer derece farklı olduklarına göre, faz akımları arasında da 120° 'şer derece faz farkı vardır. Şekil 9.13'de faz emk'larının ve faz akımlarının vektör diyagramı görülüyor.

Şekil 9.12 (b)'de görüldüğü gibi yıldız sistemde faz akımı hat akımına eşittir. Faz akımları bir birine eşit olduğu için hat akımları da bir birine eşittir.

$$\begin{aligned} |I_{OA}| &= |I_{OB}| = |I_{OC}| = I_f \\ |I_{AA'}| &= |I_{BB'}| = |I_{CC'}| = I \\ I_{\text{hat}} &= I_{\text{faz}} \end{aligned}$$



Şekil 9.12 Yıldız Sistem ve yıldız dengeli yükün bağlantısı.

Üç eşit dirençli yükün yıldız bağlanması ile meydana gelen üç fazlı yüke << **Üç fazlı dengeli yük** >> denir. Yıldız sistemde hat akımları faz akımlarına eşittir.

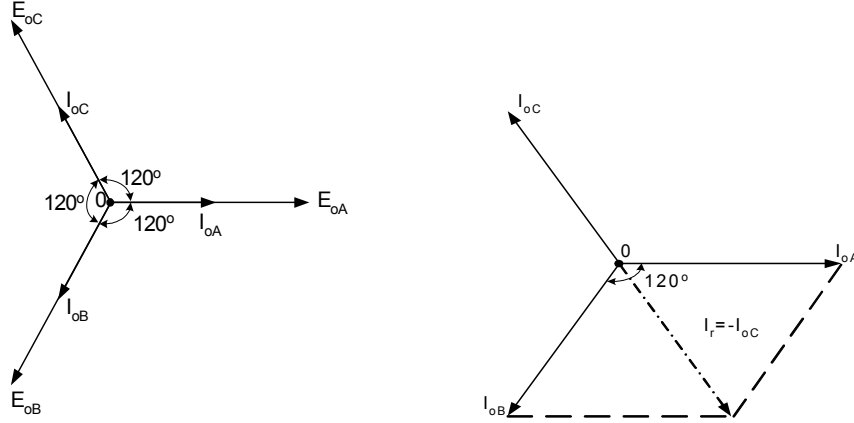
Kaynağın sıfır noktası (0) ile yükün sıfır noktası (0') nü birleştiren iletkene "Nötr Hattı" demiştik. Bu hattan geçen $I_{OO'}$ nötr akımını (0) veya (0') düğüm noktalarına Kirişof'un akım kanununu uygulayarak bulabiliriz.

$$I_{OA} + I_{OB} + I_{OC} = I_{O'O}$$

$$I_{A'O'} + I_{B'O'} + I_{C'O'} = I_{O'O'}$$

Bir birine eşit 120° faz farklı üç akım vektörünün bileşkesi sıfırdır.

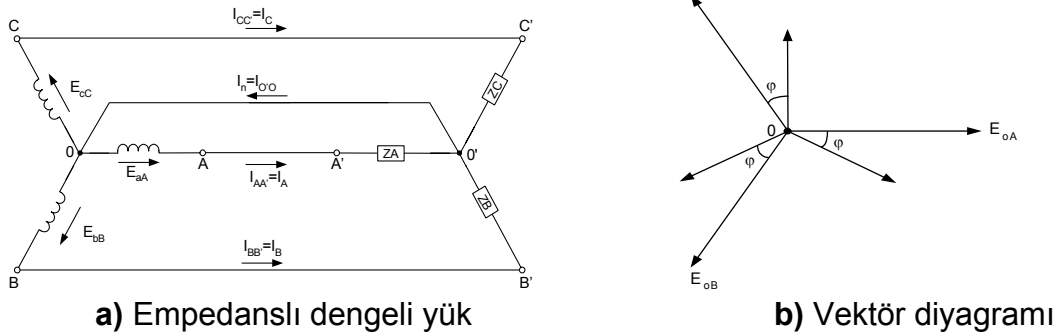
Şu halde dengeli yüklü yıldız sistemde nötrden geçen akım sıfırdır.



a) Faz EMK'ları ve faz akımları vektör diyagramı b) Akımların vektörel toplamı

Şekil 9.13

Üç fazlı Y bağlı bir kaynağa, faz empedansları bir birine eşit üç fazlı yıldız bir yükü bağlayalım, şekil 9.14 (a).



a) Empedanslı dengeli yük

b) Vektör diyagramı

Şekil 9.14

Her fazdan yükün çektiği faz akımları faz emk'lerinden empedansın açısı kadar geri kalır. Şekil 9.14 (b) de faz emk'lerinin ve faz akımlarının vektör diyagramı görülüyor. I_A , Z_A empedansından geçen akım; I_B , Z_B den geçen akım ve I_C de Z_C den geçen akımdır. Nötrden geçen akım 120° farklı I_A , I_B ve I_C akımlarının vektör yel toplamına eşittir.

$$I_A = \frac{E_{OA}}{Z_A} \quad I_B = \frac{E_{OB}}{Z_B} \quad I_C = \frac{E_{OC}}{Z_C}$$

$$I_n = I_A + I_B + I_C$$

Örnek 9.1

Şekil 9.14 (a) da ki devrede yükün empedansları $Z_A = Z_B = Z_C = 30\Omega\angle 30^\circ$ dir. Üç fazlı Y bağlı alternatörün faz emkları $E_{OA} = 120V\angle 0^\circ$, $E_{OB} = 120V\angle -120^\circ$, $E_{OC} = 120V\angle 120^\circ$ dir.

- a) Hat akımlarını, b) Nötrden geçen akımını hesaplayınız. c) Faz emk'lerini ve hat akımlarını gösteren vektör diyagramını çiziniz.

Çözüm 9.1

$$a) I_A = \frac{E_{OA}}{Z_A} = \frac{120\angle 0^\circ}{30\angle 30^\circ} = 4\angle -30^\circ A$$

$$I_B = \frac{E_{OB}}{Z_B} = \frac{120\angle -120^\circ}{30\angle 30^\circ} = 4\angle -150^\circ$$

$$I_C = \frac{E_{OC}}{Z_C} = \frac{120\angle 120^\circ}{30\angle 30^\circ} = 4\angle 90^\circ$$

b)

$$I_n = I_A + I_B + I_C = 4\angle -30^\circ + 4\angle -150^\circ + 4\angle 90^\circ$$

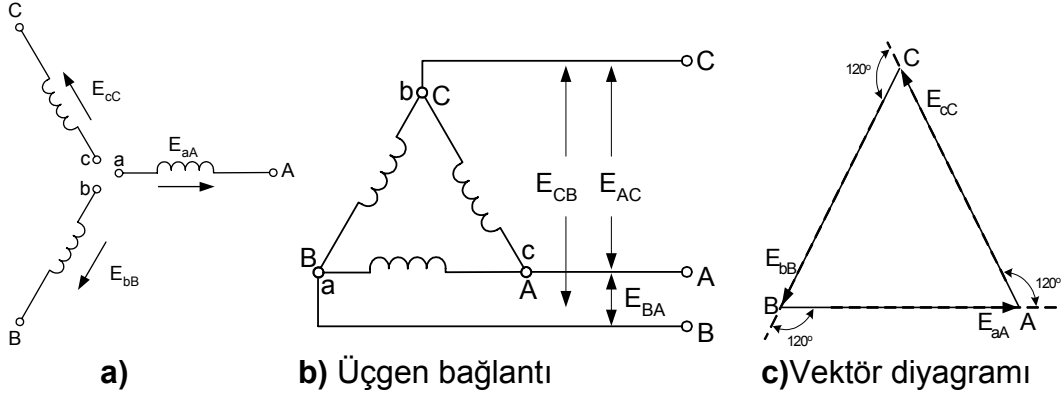
$$I_n = (3,46 - j2) + (-3,46 - j2) + (0 + j4) = 0 + j0$$

$$I_n = 0 A$$

c) Vektör diyagramı, şekil 9.14 deki diyagramı benzeridir. Yalnız, $\phi = 30^\circ$ alınacaktır.

3. Üçgen (Δ) Bağlı Sistem

Şekil 9.15 (a) daki üç fazlı alternatörün faz bobinlerinin uçları şekil 9.15 (b) deki gibi bağlandığında üçgen (Δ) bağlantı elde edilir. Üçgen bağlı bir alternatörün emk lerinin vektör diyagramı şekil 9.15 (c) de görülüyor



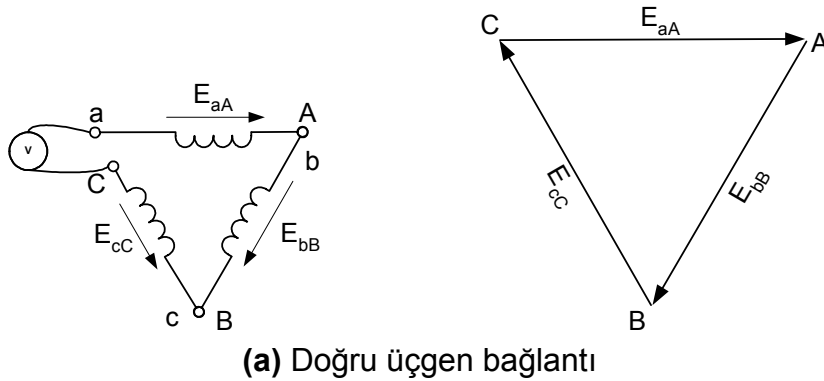
Şekil 9.15 üçgen bağlı sistem

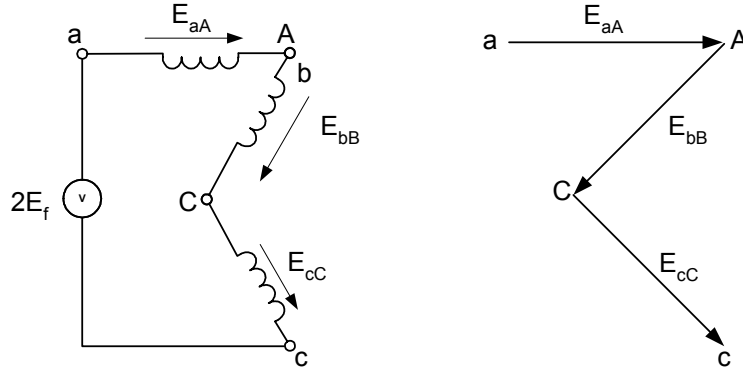
Üç fazlı alternatör üçgen bağlandıktan sonra A, B ve C faz hatları arasındaki emk lerin faz emk lerine eşit olduğu diyagramından görülüyor.

Şu halde, üçgen bağlı bir jeneratörde fazlar arası emk ler faz emk'lerine eşittir.

$$E = E_{faz}$$

Üç fazlı bir jeneratörün üçgen bağlanmasında herhangi bir yanlışlığı önlemek için, fazlar arasındaki üç bağlantıdan ikisi yapılır. Üçüncü bağlantı yapılmadan önce şekil 9.16 (a) da görüldüğü gibi açık iki uca bir volt metre bağlayarak uçlar arasındaki gerilim ölçülür. Uçlar arasındaki gerilim sıfır ise bağlantı doğrudur. Açık olan bu iki uç bir birine bağlanarak üçgen bağlantı tamamlanır. Eğer volt metreden bir faz geriliminin iki katı okunursa bağlantı şekil 9.16 (b) deki gibi yanlıştır. Bu iki uç bağlanırsa alternatörün sargıları arasında aşırı bir akım dolaşır.





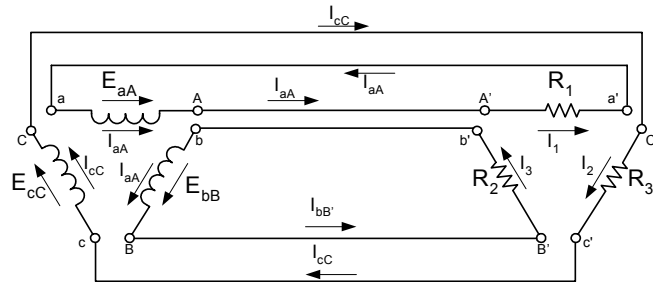
(b) Yanlış üçgen bağlantı

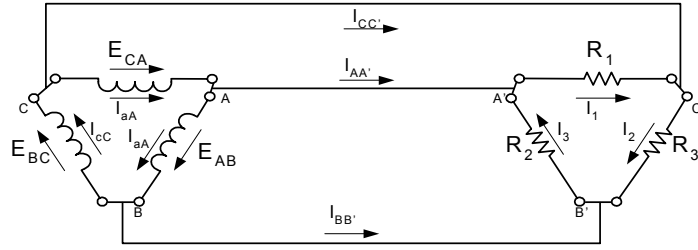
Şekil 9.16 Üçgen sistem

a.Üçgen Sistemde Akımlar

Üç fazlı bir jeneratörün A,B ve C fazlarının uçlarına değerleri bir birine eşit üç tane omik direnç bağlayalım Şekil 12. 17 (a) da görülen üç fazlı devre elde edilir. $R_1=R_2=R_3$ faz emk leride bir birinin eşit olduğu için her fazdan aynı değerde akımlar çekilir. A fazından çekilen I_{aA} akımı faz emk' i E_{aA} ile aynı fazdadır. I_{bB} faz akımı faz emk'i E_{bB} ile, I_{cC} üçüncü faz akımı da E_{cC} faz emk'i ile aynı fazdadır.

Şekil 9.17 (a) daki devrede yan yana çekilen çift iletkenleri birleştirerek tek hat çektiğimizde şekil 9.17 (b) deki devre elde edilir. Burada jeneratör üçgen R_1 R_2 ve R_3 yük dirençleri de üçgen bağlanmış olur. Δ bağlı alternatörden çıkan üç hat (A, B ve C hatları) Δ bağlı R_1 R_2 ve R_3 dirençlerine bağlıdır.





Şekil 9.17 Üçgen sistem

Şekil 9.17 (b) deki (Δ) üçgen sistemde AA' iletkeninden $I_{AA'}$ akımı, (a) devresindeki iki iletkeninden geçen akımların vektör yel farkına eşit olduğu görülür.

$$I_{AA'} = I_{aA} - I_{bB}$$

$I_{AA'}$ akımını Şekil 9.17 (b) devresindeki A düğüm noktasına Kirşofun akım kanununu uygulayarak da bulabiliriz.

$$I_{AA'} + I_{bB} = I_{aA}$$

$$I_{AA'} = I_{aA} - I_{bB}$$

BB' hattından geçen $I_{BB'}$ akımı ile CC' hattından geçen $I_{CC'}$ akımı da aynı şekilde bulunabilir.

B noktasına uygulanan Kirşof kanunundan,

$$I_{BB'} = I_{bB} - I_{cC}$$

C noktasına uygulanan Kirşof kanunundan,

$$I_{CC'} = I_{cC} - I_{aA}$$

Alternatörü yüke bağlayan üç hattan geçen $I_{BB'}$, $I_{AA'}$ ve $I_{CC'}$ akımlarına kısaca HAT AKIMI denir. Alternatörün faz sargılarından geçen akımlara da FAZ AKIMI denir. Şekil 9.17 (a) dan (b) ye geçildiğinde faz emk'leri ile fazlar arası emk'ler arasında şu ilişkiler yazılabilir ;

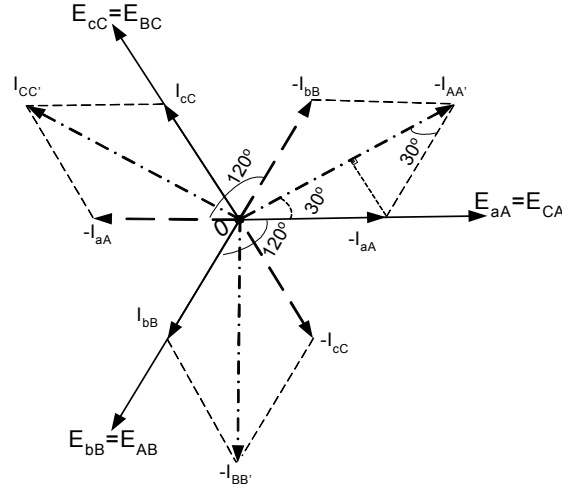
$$E_{aA} = E_{CA},$$

$$E_{bB} = E_{AB},$$

$$E_{cC} = E_{BC}$$

Faz emk'leri ile aynı fazda olan faz akımlarının vektör diyagramını çizdikten sonra, vektöryel işlemlerini yaparak, hat akımlarının da vektör diyagramını Şekil 9.17 (c) de görüldüğü gibi çizebiliriz.

Faz akımları bir birine eşit ve 120 şer derece faz farklı olduğu gibi, hat akımları da bir birine eşit ve 120 şer derece faz farklıdır. $I_{AA'}$ hat akımını vektör diyagramındaki ikiz kenar üçgenden hesaplayalım;



Şekil 9.17 (c) Üçgen sistemde hat ve faz akımları vektör diyagramı

$$|I_{AA'}| = 2 - |I_{aA}| \cos 30^\circ = 2 |I_{aA}| - \sqrt{\frac{3}{2}}$$

$$|I_{AA'}| = \sqrt{3} \cdot |I_{aA}|$$

$$|I_{aA}| = |I_{bB}| = |I_{cC}| = I_f \quad (\text{faz akımı})$$

$$|I_{AA'}| = |I_{BB'}| = |I_{CC'}| = I \quad (\text{hat akımı}) \text{ olduğundan genel olarak,}$$

$$I = \sqrt{3} \cdot I_f \text{ olur.}$$

Üçgen sistemde, üç fazlı alternatörün fazları dengeli yüklü ise alternatörden çekilen hat akımı, faz akımının $\sqrt{3}$ katına eşittir. Üç fazlı alternatör için söylediğimizi üç fazlı yük içinde söyleyebiliriz. Üç fazlı dengeli bir yükün faz akımı, jeneratörden çektiği hat akımının $(1/\sqrt{3})$ üne eşittir.

Hat akımlarını veren yukarıdaki formülleri alt alta yazarak topladığımızda sıfır bulunur.

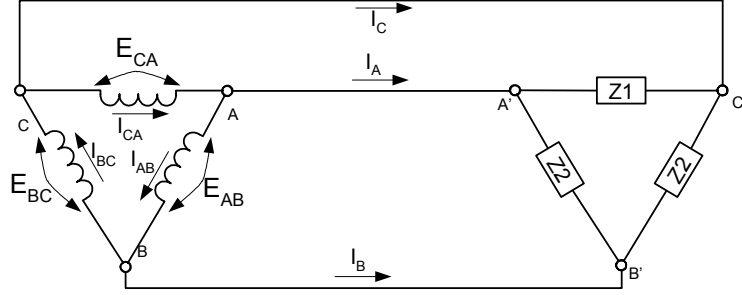
$$I_{AA'} + I_{BB'} + I_{CC'} = 0$$

Şu halde, üçgen sistemde üç hat akımının vektör yel toplamı sıfırdır.

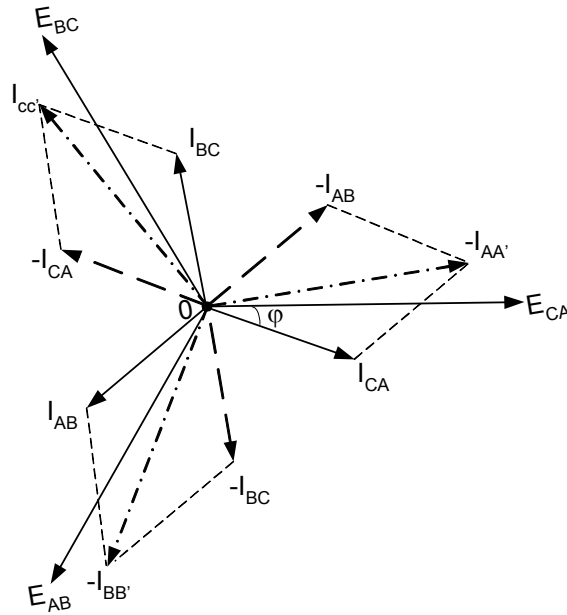
Şekil 9.17 (c) deki vektör diyagramında , bir birine eşit ve 120 şer derece faz farklı hat akımı vektörleri görülüyor.

Üçgen bağlı üç fazlı bir alternatöre empedansları bir birine eşit üçgen bir yükü şekil 9.18 (a) da ki gibi bağlayalım Faz empedanslarının açıları ϕ ise,

alternatörün her fazından geçen akım, faz geriliminden ϕ kadar geri kalır. Alternatörün faz ve fazlar arası gerilimlerini, faz ve hat akımlarını gösteren vektör diyagramı şekil 9.18 (b) de görülüyor.



Şekil 9.18 (a) Empedanslı dengeli üçgen yükün üçgen bağlı alternatörden beslenişi



Şekil 9.18 (b) üçgen sistemde emk'ler ve faz ile hat akımları vektör diyagramı

4.Üç Fazlı Sistemde Güç

a. Dengeli yüklü Yıldız Sistemde Güç

Bir fazlı A.A da güç $P = U.I \cdot \cos \phi$ vattır. Üç fazlı Y bağlı dengeli bir yükte harcanan güç, bir fazın gücünün 3 katına eşittir.

$$P_y = 3 U_f \cdot I_f \cdot \cos \phi$$

Üç fazlı yüke sarf edilen gücü, hat akımı ve fazlar arası gerilimle ifade edebilmek için $U_f = U / \sqrt{3}$; $I_f = I$ değerlerini eşitlikteki yerlerine yazalım;

$$P_y = 3 (U / \sqrt{3}) . I . \cos\phi$$

$$P_y = \sqrt{3} . U . I . \cos\phi$$

P_y = Dengeli yüklü Y sisteminde güç, vat (W)

U = Fazlar arası gerilim, volt (V)

I = Hat akımı, amper.

b. Dengeli Yüklü Üçgen Sistemde Güç

Dengeli yüklü üçgen bağlı bir alternatörden çekilen güç veya üçgen bağlı dengeli bir yükte sarf edilen güç, bir fazda sarf edilen gücün 3 katına eşittir.

$$P_{\Delta} = 3U_f . I_f . \cos\phi$$

U_f yi fazlar arası gerilim, I_f yi de hat akımı cinsinden ifade ederek formülde yerine yazalım;

$$P_{\Delta} = \sqrt{3} . U . I . \cos\phi$$

Y ve Δ bağlı dengeli yüklerin çektikleri toplam güçleri veren formüllerle karşılaştırılırsa aynı oldukları görülür. Şu halde, dengeli yüklü Y ve Δ sisteminde güç;

($P = \sqrt{3} . U . I . \cos\phi$) formülü ile hesaplanır.

5.Faz Sırası

Üç fazlı bir sistemde Y bağlı bir alternatörün ürettiği 120 şer derece Faz farklı A, B ve C (R,S,T) faz emk'lerinin sırasını bilmek dengeli ve dengesiz üç fazlı yüklerin faz ve hat akımlarının hesabı ve vektör diyagramının çizimi için gereklidir.

Şekil 9.19 (a) da üç fazlı Y bağlı bir alternatörden A,B,C ve O (R,S,T ve O) hatlarının çıkışı görülüyor. Şekil 9.19 (b) deki vektör diyagramı faz emkleri arasındaki ilişkiyi gösteriyor. A fazının E_{OA} faz emk'i, B fazı E_{OB} emk'inden 120° ileride veya E_{OB} , E_{OA} den 120° geridedir. B fazının E_{OB} emki C fazının E_{OC} emk'inden 120° ileridedir. Bu sistemde faz sırası A B C dir.

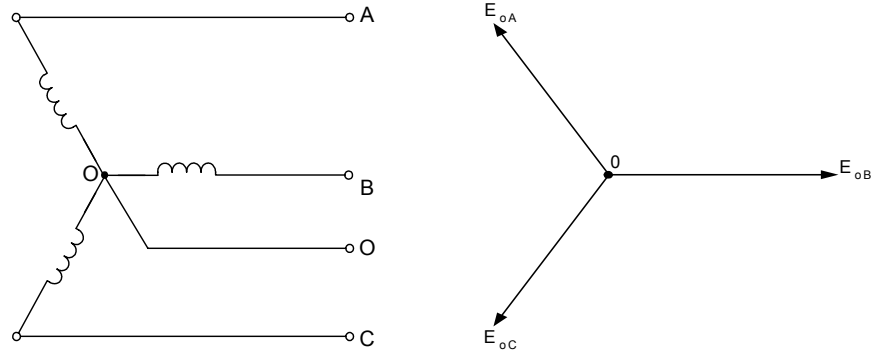
$$E_{OC} = E \angle 120^\circ, E_{OB} = E \angle 0^\circ, E_{OA} = E \angle -120^\circ$$

Şekil 9.20 (a) da görüldüğü gibi alternatörün A ve C fazlarının uçlarını değiştirirsek, (b) deki vektör diyagramında görüldüğü gibi faz sırası C B A (ACB) olur. E_{OB} , E_{OC} den 120° geride, E_{OA} da E_{OB} den 120° geridedir.

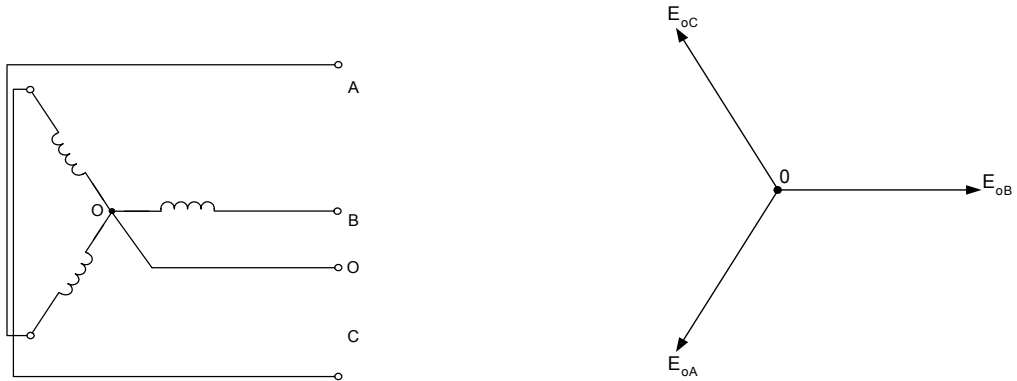
$$E_{OC} = E \angle 120^\circ, E_{OB} = E \angle 0^\circ, E_{OA} = E \angle -120^\circ$$

Şekil 9.21 (b) de görüldüğü gibi fazlar arası emk'leri gösteren vektör diyagramı incelendiğinde faz sırasının A B C olduğu görülür. E_{AB} den 120° geride E_{CA} vektörü gelir. E emk'lerin altındaki birinci harflere bakılırsa faz sırasının A B C olduğu anlaşılır.

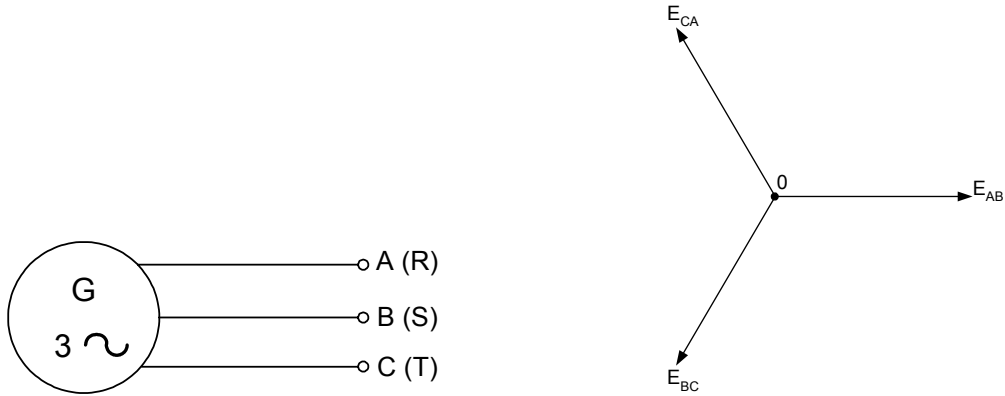
$$E_{AB} = E \angle 0^\circ, E_{BC} = E \angle -120^\circ, E_{CA} = E \angle 120^\circ$$



Şekil 9.19 Yıldız bağlı alternatörün faz sırası ABC



Şekil 9.20 Üç fazlı sistemde faz sırası CBA



Şekil 9.21 Faz sırası ABC

6. Dengeli Üç Fazlı Yükler

Üç fazlı bir A.A şebekesine bağlanan dengeli yıldız ve üçgen yüklerden geçen faz ve hat akımlarının bulunmasını, akım ve gerilim vektör diyagramlarının çizilmesini ve şebekeden çekilen gücün hesaplanmasını örnek problemler çözerek açıklamaya çalışalım

Örnek9.2

Faz gerilimi 120V olan üç fazlı Y bağlı bir alternatöre bağlanan dengeli 3 fazlı yük 40 kW çekiliyor. Yükün güç katsayısı 0,855 geridir. Hat ve faz akımlarını hesaplayınız.

Çözüm9.2

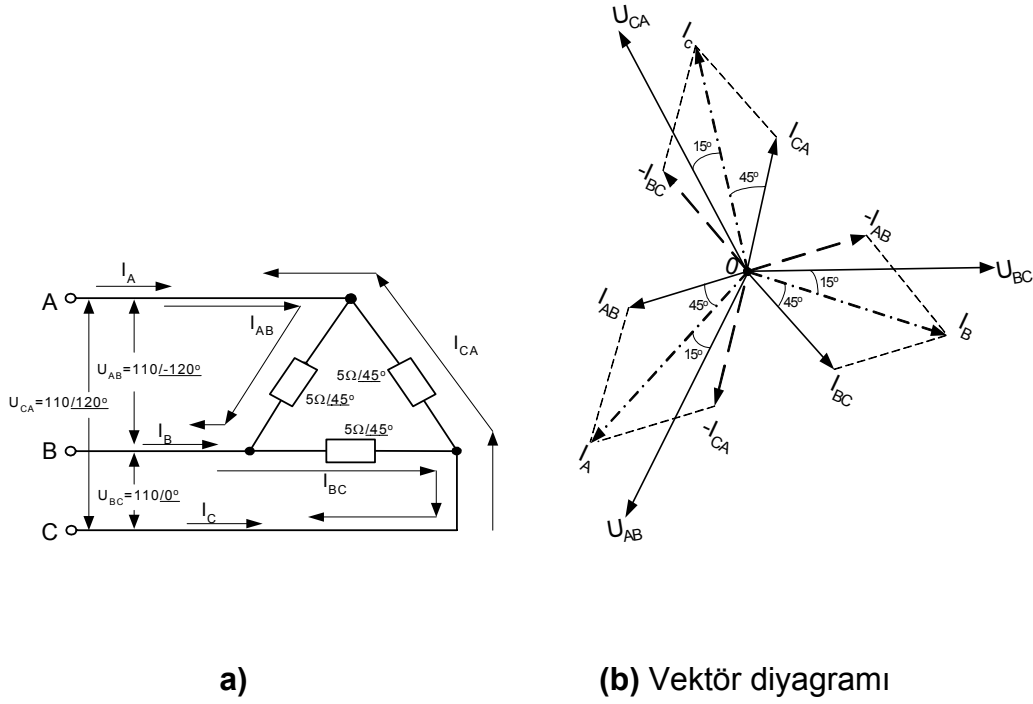
$$U = \sqrt{3} U_f = \sqrt{3} \cdot 120 = 208V$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{40 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 208 \cdot 0,855} = 130 A$$

$$I = I_f = 130 A$$

Örnek 9.3

Şekil 9.22 deki dengeli 3 fazlı Δ yükün 3 fazlı şebekeden çektiği hat akımını ve yükün fazlarından geçen akımları hesaplayınız. Gerilim ve akımlar vektör diyagramını çiziniz.



Şekil 9.22 3 fazlı dengeli yük ve vektör diyagramı

Çözüm 9.3

Üçgen yükün her fazından geçen akımları bulalım .

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z} = \frac{110\angle -120^\circ}{5\angle 45^\circ} = 22A\angle -165^\circ = -21,2 - j5,7$$

$$I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z} = \frac{110\angle 0^\circ}{5\angle 45^\circ} = 22A\angle -45^\circ = 15,55 - j15,55$$

$$I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z} = \frac{110\angle 120^\circ}{5\angle 45^\circ} = 22A\angle 75^\circ = 5,7 + j21,2$$

Yükün üç köşesine kirşofun akım kanunu uygulayalım ,

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} = 22\angle -165^\circ - 22\angle 75^\circ = 38,1\angle -135^\circ$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB} = 22\angle -45^\circ - 22\angle -165^\circ = 38,1\angle -15^\circ$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC} = 22\angle 75^\circ - 22\angle -45^\circ = 38,1\angle 105^\circ$$

Örnek 9.4

Örnek problem 9.3 ü kompleks sayıları kullanmadan çözünüz.

Çözüm 9.4

Üçgen bağlı yükün her fazına uygulanan gerilim şebekenin fazlar arası gerilimine eşittir.

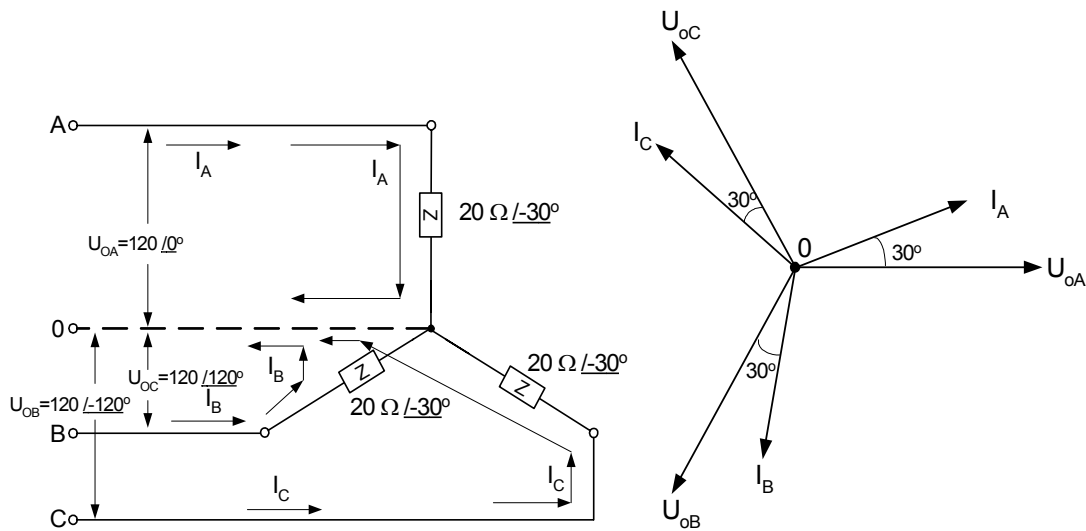
$$\text{Faz akımı, } I_f = \frac{U}{Z} = \frac{110}{5} = 22 \text{ A}$$

Yükün her fazından 22A geçtiğinde şebekeden çekilen hat akımları bir birine eşit ve faz akımının $\sqrt{3}$ katı olacaktır.

$$U = 22 \cdot \sqrt{3} = 38,1 \text{ A}$$

Faz empedanslarının açısı 45° olduğuna göre faz akımları gerilimden 45° geri kalır. 120° faz farklı hat gerilimlerinden 45° şer derece geri kalan faz akımları arasında da 120 şer derece faz farkı olur. Gerilimler ve faz akımları vektör yel olarak gösterildikten sonra çizim yolu ile de I_A , I_B ve I_C hat akımları şekil 9.22 (b) de görüldüğü gibi çizilebilir.

Örnek 9.5: Şekil 9.23 (a) daki dengeli yıldız yükün, (a) şebekeden çektiği akımları ve nötr akımını (b) çekilen gücü bulunuz. (c) vektör diyagramını çiziniz.



Şekil 9.23 Dengeli yıldız yük ve vektör diyagramı

Çözüm 9.5

(a) I_A faz akımı (hat akımı) U_{OA} faz geriliminden (30°) ileride olur. Çünkü, empedansın açısı (-30°) olduğuna göre bu empedans seri R C den meydana gelmiştir. Yükün diğer faz empedansları da aynı olduğu için öteki faz akımları da faz gerilimlerinden 30° ar derece ileride olurlar.

$$I_A = I_B = I_C = \frac{120}{20} = 6A$$

Nötrden geçen akım I_0 , 120° faz farklı I_A , I_B ve I_C akımlarının vektör yel toplamına eşittir. Bu toplamda sıfırdır. $I_0 = 0$

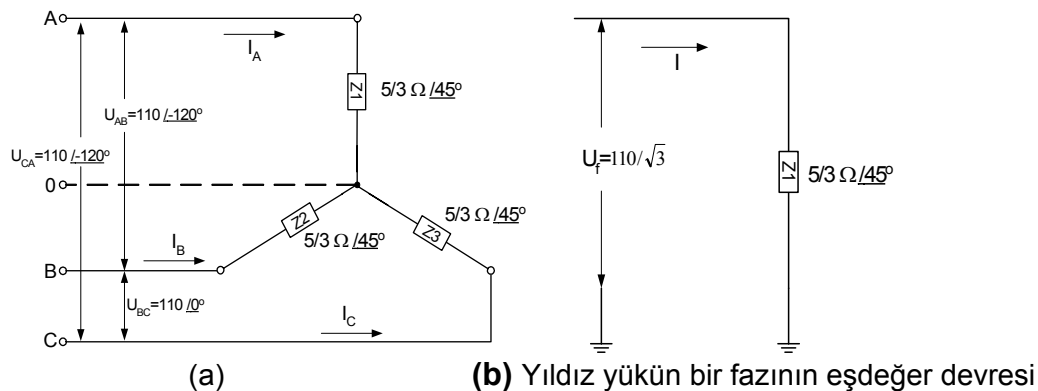
b) $P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos \phi = 3 \cdot 120 \cdot 6 \cdot \cos 30^\circ = 1870 \text{ vat}$

c)Vektör diyagramının çizimi: U_{OA} vektörü referans ekseninde alınır. U_{OB} 120° geride, U_{OC} de 120° ileride vektörlerle gösterilir. 6A lik faz akımları da faz gerilimlerinden 30° ileride alınır.

Örnek 9.6 : Şekil 9.22 (a) da ki dengeli üçgen yükün şebekeden çektiği hat akımını üçgen yükü eşdeğer yıldız yüke çevirerek bulunuz.

Çözüm 9.6 : Dengeli üçgen yükün faz empedansı $Z_\Delta = 5\Omega \angle 45^\circ$ olduğuna göre, eşdeğer yıldız yükün faz empedansları $Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3} = \frac{5}{3} \angle 45^\circ$ olur. Şekil 9.24 (a) da eşdeğer yıldız yükün şebekeye bağlanması görülüyor.

Şekil 9.24 (a) da ki Y yükün her fazına uygulanan gerilim fazlar arası gerilimin ($1/\sqrt{3}$) üne eşit olduğuna göre bir fazın eşdeğer devresini şekil 9.24 (b) de ki gibi çizebiliriz. Bu eşdeğer devreden hat akımı kolayca bulunur.



Şekil 9.24 Eşdeğer yıldız yük

$$I = \frac{U_f}{Z} = \frac{\frac{110}{\sqrt{3}}}{\frac{5}{3} \angle 45^\circ} = 38,1 \angle -45^\circ A$$

Her fazın 38,1A lik hat akımları, faz gerilimlerinden 45° geri kalır.

7 . Dengesiz Üç Fazlı Yükler

Üç fazlı A.A şebekesine bağlanan dengesiz yıldız ve üçgen yüklerden geçen faz ve hat akımlarının ve yükün çektiği gücün hesaplanması, vektör diyagramının çizilmesi gibi konuları örnek problemler çözerek açıklayalım.

Örnek 9.7

Üç fazlı üçgen bağlı bir ısıtıcının omik dirençleri $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 40\Omega$ ve $R_3 = 25\Omega$ dur. Fazlar arası 400V olan üç fazlı şebekeye bağlanan yükün çektiği hat akımını ve yükün fazlarından geçen akımları hesaplayınız.

Çözüm 9.7

Şekil 9.25 (a) da yükün şebekeye bağlantısı görülüyor. R_1 direncinden geçen I_1 akımı U_{RS} fazlar arası gerilimi ile aynı fazdadır.

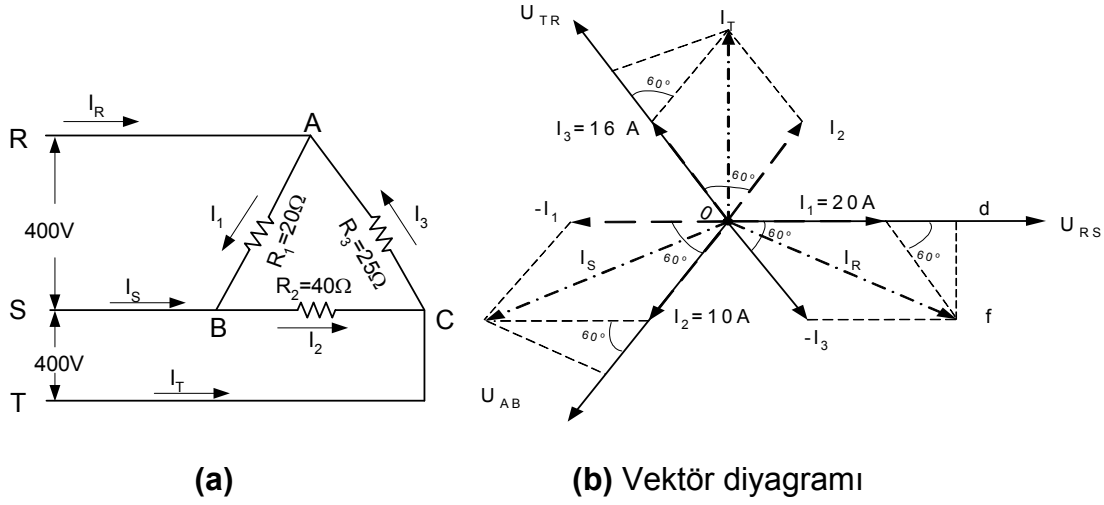
$$I_1 = \frac{400}{20} = 20 A$$

R_2 direncinden geçen I_2 akımı U_{ST} fazlar arası gerilimi ile aynı fazdadır.

$$I_2 = \frac{400}{40} = 10 A$$

R_3 direncinden geçen I_3 akımı da U_{TR} fazlar arası gerilimi ile aynı fazdadır.

$$I_3 = \frac{400}{25} = 16 A$$



Şekil 9.25 Dengesiz üçgen yük

U_{RS} gerilimini referans ekseninde alarak , U_{ST} ve U_{TR} gerilim vektörlerini çizdikten sonra gerilimlerle aynı fazda olan faz akımlarının da vektörlerini çizdiğimizde şekil 9.25 (b) de görülen vektör diyagramı elde edilir.

A,B ve C düğüm noktalarına Kirşofun akım kanununu uygulayarak hat akımlarını bulalım:

$$\begin{aligned} \text{A düğüm noktası : } I_R &= I_1 - I_3 & (\text{vektörel}) \\ \text{B düğüm noktası : } I_S &= I_2 - I_1 & (\text{vektörel}) \\ \text{C düğüm noktası : } I_T &= I_3 - I_2 & (\text{vektörel}) \end{aligned}$$

$I_R = I_1 + (-I_3)$ yazılabilir. I_1 vektörü ile $(-I_3)$ vektörünün toplamı I_R akımını verir. Diğer akımlar içinde aynı işlemler yapılır. Şekil 9.25 (b) deki vektör diyagramında bu vektör yel toplamalar gösterilmiştir.

I_R akımını, odf dik üçgenine Pisagor teoremini uygulayarak bulabiliriz.

$$\begin{aligned} &\sqrt{I_1 + I_3 \cdot \cos 60^\circ)^2 + (I_3 \cdot \sin 60^\circ)^2} \\ &\sqrt{(20 + 16 \cdot 0,5)^2 + (16 \cdot 0,866)^2} = \sqrt{28^2 + 13,85^2} = 31,34 \end{aligned}$$

I_R akımının I_x ve I_y bileşenlerini, I_1 ve $(-I_3)$ vektörlerinin x ve y eksenindeki bileşenlerinden bularak , I_R akımını $I_R = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$ formülü ile de hesaplayabiliriz.

$$I_S = \sqrt{(I_2 + I_1 \cdot \cos 60^\circ)^2 + (I_1 \cdot \sin 60^\circ)^2} = \sqrt{(10 + 20 \cdot 0,5)^2 + (20 \cdot 0,866)^2}$$

$$I_S = \sqrt{20^2 + (17,32)^2} = 26,5 A$$

$$I_T = \sqrt{(I_3 + I_2 \cdot \cos 60^\circ)^2 + (I_2 \cdot \sin 60^\circ)^2} = \sqrt{(16 + 10 \cdot 0,5)^2 + (10 \cdot 0,866)^2}$$

$$I_T = \sqrt{21^2 + 8,66^2} = 22,7 A$$

Örnek 9.8

Şekil 9.26 (a) da görüldüğü gibi yıldız bağlı dengesiz bir yük, fazlar arası gerilimi 380V olan üç fazlı dört hatlı bir şebekeye bağlanmıştır. a) Her fazdan geçen akımı b) nötr hattından geçen akımı c) Yükün çektiği toplam gücü bulunuz.

Çözüm 9.8

a) R₁ direncinden geçen I_A akımı U_{OA} faz gerilimi ile aynı fazdadır.

$$I_A = \frac{220}{10} = 22 A$$

R₂ direncinden geçen I_B faz akımı U_{OB} faz gerilimi ile aynı fazdadır.

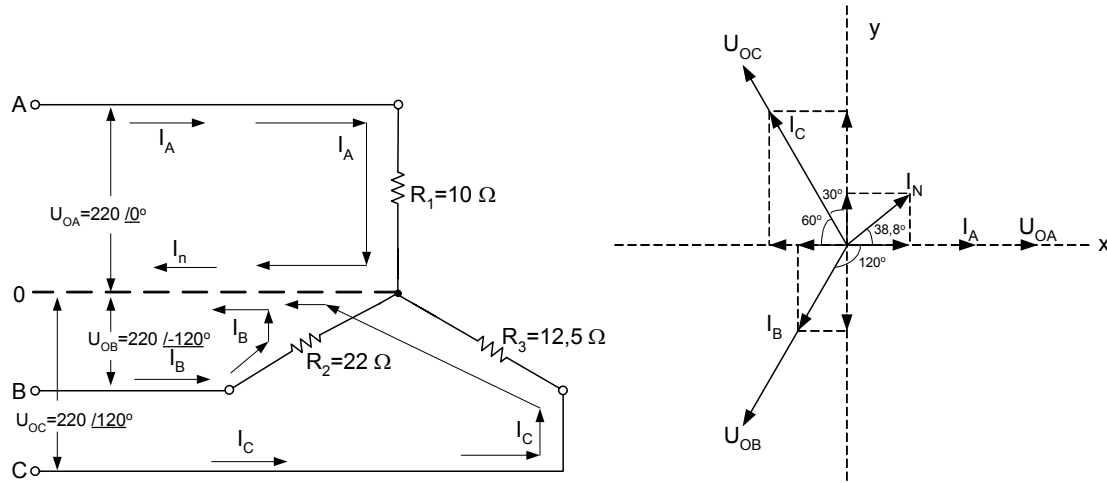
$$I_B = \frac{220}{22} = 10 A$$

R₃ direncinden geçen I_C faz akımı U_{OC} faz gerilimi ile aynı fazdadır.

$$I_C = \frac{220}{12,5} = 17,6 A$$

U_{OA}, U_{OB} ve U_{OC} faz gerilimlerini 120şer derecede faz farklı üç vektörle gösterildikten sonra, I_A, I_B ve I_C akımlarını da vektör yel olarak çizdiğimizde şekil 9.26 (b) de ki vektör diyagramı elde edilir.

b) Nötr hattından geçen akım I_A, I_B ve I_C akımlarının vektör yel toplamına eşittir. Faz akımlarının x ve y eksenlerindeki bileşenlerine ayırılım. Şekil 9.26 (b) Nötr akımının x eksenindeki bileşeni I_{xn} = I_A - (I_B + I_C) Cos 60°



Şekil 9.26 Dengesiz yıldız yük ve vektör diyagramı

$$I_{xn} = 22 - 10 \cdot 0,5 - 17,6 \cdot 0,5 = 8,2 \Omega$$

Nötr akımının y eksenindeki bileşeni

$$I_{yn} = I_c \sin 60^\circ - I_B \sin 60^\circ = 17,6 \cdot 0,866 - 10 \cdot 0,866 = 6,59 \Omega$$

$$I_N = \sqrt{(8,2)^2 + (6,59)^2} = 10,5 A$$

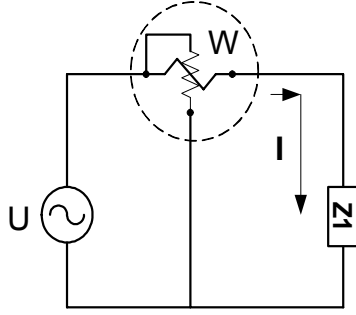
b. Şebekeden çekilen toplam güç, her fazın çektiği güçlerin toplamına eşittir.

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

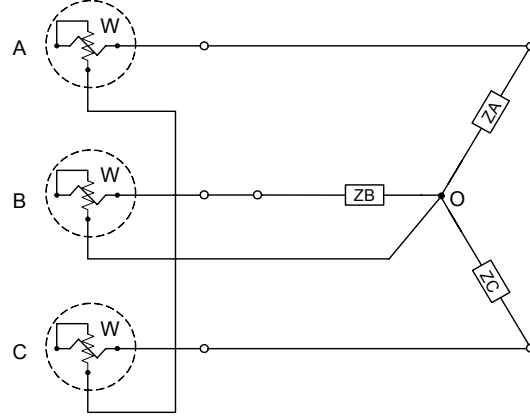
$$P = 220 \cdot 22 + 220 \cdot 10 + 220 \cdot 17,6 = 10912 \text{ vat}$$

9.4 GÜÇ ÖLÇMEK

Herhangi bir yükün şebekeden çektiği güç vat metre ile ölçülür. Bir fazlı bir yükün çektiği gücü ölçmek için vat metrenin akım bobini devreye seri, vat metrenin gerilim bobini de devreye paralel olarak şekil 9.27 de görüldüğü gibi bağlanır. Vat metrenin akım bobininden yükün çektiği akım geçtiği, gerilim bobinine de yükün uçlarındaki gerilim uygulandığı için ölçü aletinin ibresi vat olarak yükün çektiği gücü gösterir.



Şekil 9.27 Vatmetre ile güç ölçmek



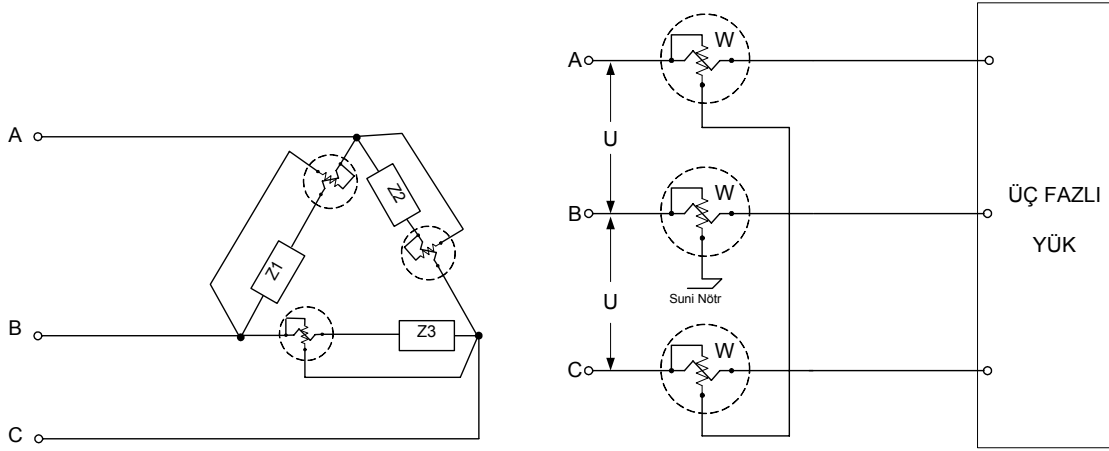
Şekil 9.28a) Yıldız yükün faz güçlerinin ölçülmesi

Üç fazlı yıldız bağlı bir yükün üç fazlı A.A şebekesinden çektiği toplam gücü ölçmek için yükün her fazına şekil 9.28 (a) da görüldüğü gibi birer vatmetre bağlanır.

Üç fazlı üçgen bağlı bir yükün şebekeden çektiği toplam gücü ölçmek için de yükün her fazına şekil 9.28 (b) de görüldüğü gibi birer vat metre bağlanır. Yıldız veya üçgen bağlı yük dengeli ise, vat metrelerin gösterdiği faz güçleri bir birine eşit olur. Şebekeden çekilen toplam güç vat metrelerden birinin gösterdiği değerin (bir fazın gücü) üç katına eşit olur. Yükler dengesiz ise, şebekeden çekilen toplam güç vat metrelerin gösterdiği değerlerin toplamına eşittir.

Dengeli yükün çektiği toplam güç : $P = 3.P_1$

Dengesiz yükün çektiği toplam güç : $P = P_1 + P_2 + P_3$



(b) Üç fazlı yükün çektiği gücün üç vat metre ile ölçülmesi

(a) Üçgen yükün faz güçlerinin ölçülmesi

Şekil 9.28 Üç fazlı yükün gücünü ölçmek

Yıldız yükün sıfır noktası klemens tablosuna (uç bağlantı noktasına), üçgen yükün de faz uçları ayrı ayrı klemens tablosuna çıkarılmamış ise, her fazın gücünü ölçecek şekilde vat metreleri şekil 9.28 de görüldüğü gibi bağlayamayız.

Bu durumda yıldız ve üçgen yüklerin şebekeden çektiği gücü ölçmek için üç tane vat metre şekil 9.28 (c) deki gibi bağlanır. Burada üç tane eş vat metrenin gerilim bobinlerinin birer uçları fazlara gerilim bobinlerinin diğer uçları da bir birine bağlanmıştır. Böylece meydana getirilen suni nötr noktası ile her vat metrenin gerilim bobinine ($U/\sqrt{3}$) gerilimi uygulanmış olur. Vat metre bir tane ise , eşit üç direnci y bağlayıp ABC fazları uygulandığında yıldız noktası suni nötr olur. Vatmetre ile her fazın gücü ölçülebilir.

Yük dengeli olursa, vatmetrelerin akım bobinlerinden geçen hat akımları aynı olacağı için vatmetrelerin gösterdiği değerler de bir birine eşit olur. Vatmetrelerden birinin gösterdiği değerın üç katı şebekeden çekilen toplam gücü verir. Yük dengesiz olursa, vatmetrelerin akım bobinlerinden geçen akımlar farklı olacağı için vatmetrelerin gösterecekleri değerlerde farklı olur. Vatmetrelerden okunan değerlerin toplamı şebekeden çekilen toplam gücü verir.

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

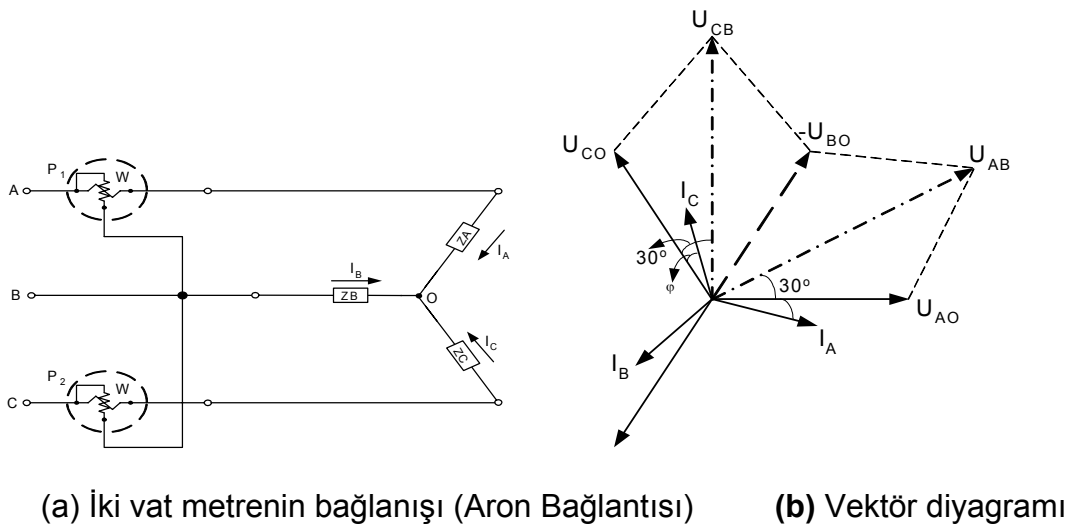
a) İki Vat metre Metodu (Aron Bağlantısı)

Üç fazlı dengeli ve dengesiz yüklerin şebekeden çektiği güçlerin ölçülmesinde en çok kullanılan iki vatmetre metodudur. Bu metodun diğer metotlara üstünlükleri şunlardır:

- a) Yıldız ve üçgen yüklere aynı bağlantı uygulanır.
- b) Dengeli ve dengesiz yüklerin çektikleri güçleri üç değil iki vatmetre ile ölçmemizi sağlar.
- c) Dengeli yüklerin güç katsayıları vatmetrelerin gösterdiği değerlerden bulunabilir.

1. Dengeli Yıldız Yük

Dengeli yıldız şebekeden çektiği gücü ölçmek için iki vatmetre şekil 9.29 (a) da görüldüğü gibi bağlanır. Birinci vatmetrenin akım bobininden geçen akım I_A gerilim bobinine uygulanan gerilim de U_{AB} dir. İkinci vatmetrenin akım bobininden geçen akım I_C , gerilim bobinine de U_{CB} fazlar arası gerilimi uygulanmıştır. Vatmetrelerin gösterdiği değerleri bulmak için akımları ve gerilimleri gösteren vektör diyagramını çizmeye çalışalım. Dengeli yıldız yükün geri güç katsayılı olduğunu kabul edelim. Yük dengeli olduğu için U_{AO} , U_{BO} , U_{CO} faz gerilimleri bir birine eşit ($U/\sqrt{3}$) ve 120° şer derece faz farklıdır. 120° faz farklı üç vektörle faz gerilimleri çizildikten sonra her faz akımı faz geriliminden ϕ kadar geride olarak alınır. Birinci vat metreye uygulanan U_{AB} gerilimi U_{AO} ve U_{OB} faz gerilimlerinin vektör yel toplamı alınarak çizilir. İkinci vat metreye uygulanan U_{CB} gerilimi de, U_{CO} ile U_{OB} faz gerilimlerinin vektör yel toplamı alınarak çizildiğinde şekil 9.29 (b) deki vektör diyagramı elde edilir.



Şekil 9.29 Dengeli yıldız yükün iki vat metre ile gücünün ölçülmesi

Vektör diyagramı incelendiğinde, U_{AB} fazlar arası gerilimi ile U_{AO} faz gerilimi, U_{CB} fazlar arası gerilimi ile U_{CO} faz gerilimi arasında 30'ar derecelik faz farkı olduğu görülür. Birinci vat metreye uygulanan U_{AB} gerilimi ile I_A akımı arasındaki faz farkı $(30+\varphi)$, ikinci vat metreye uygulanan U_{CB} gerilimi ile I_C akımı arasındaki faz farkı da $(30-\varphi)$ dir.

$$P_1 = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos(30+\varphi)$$

İkinci vat metrenin gösterdiği değer;

$$P_2 = U_{CB} \cdot I_C \cdot \cos(30-\varphi)$$

Güç formülündeki U_{AB} ve U_{CB} mutlak değeri yerine U ve I_A ile I_C mutlak değerleri yerinede I yazalım.

Birinci vat metrenin gösterdiği değer;

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos(30+\varphi)$$

$$P_2 = U \cdot I \cdot \cos(30-\varphi)$$

Vat metrelerin gösterdiği değerleri toplayalım.

$$P_1 + P_2 = U \cdot I \cdot (\cos (30+\varphi) + \cos (30-\varphi))$$

İki açı toplamının ve farkının kosinüsü,

$$\cos (\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \pm \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

Formülü ile hesaplanır. Güç ifadesindeki kosinüsleri bu formüle göre açalım.

$$P_1 + P_2 = UI \cdot (\cos 30^\circ \cdot \cos \varphi - \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi + \cos 30^\circ \cos \varphi + \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi)$$

$$P_1 + P_2 = U \cdot I \cdot 2 \cos 30^\circ \cdot \cos \varphi$$

Bulunur. $2 \cos 30^\circ = 2 \cdot \sqrt{3}/2 = \sqrt{3}$ yerine alınırsa

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Bulunur. Bu formül dengeli üç fazlı sistemde toplam gücü veren formüldür. Şu halde, iki vat metrenin gösterdiği değerlerin toplamı bize, üç fazlı dengeli yükün şebekeden çektiği gücü verir.

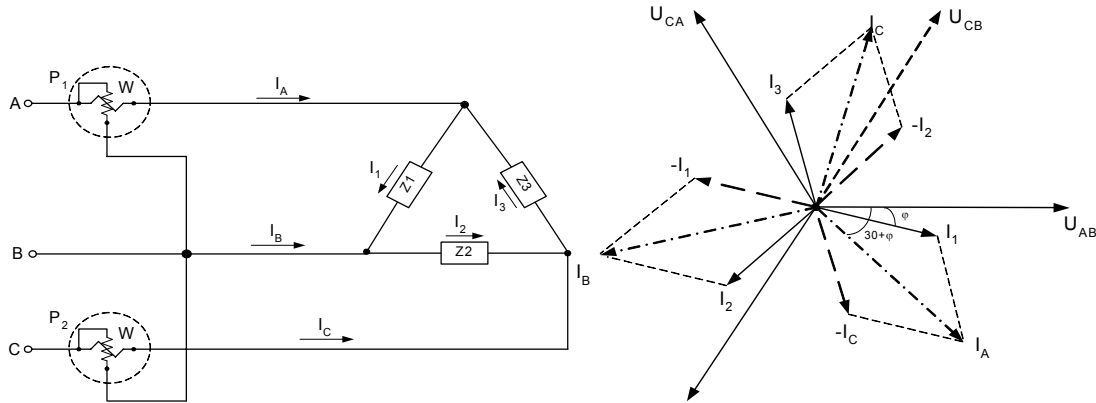
2. Dengeli Üçgen Yük

Şekil 9.30 (a) da dengeli üçgen yüke iki wattmetre'nin bağlantısı görülüyor. Şekil9.29 (a)'daki yıldız yüke wattmetrelerin bağlantısı ile karşılaştırıldığında wattmetre bağlantılarında bir fark olmadığı görülür. Birinci wattmetrenin gerilim bobinine U_{ab} gerilimi uygulanmış ve akım bobininden I_a hat akımı

geçmektedir. İkinci wattmetrenin akım bobininden I_c hat akımı geçmekte ve gerilim bobinine de U_{cb} gerilimi uygulanmıştır.

Vektör diyagramının çiziminde şu yol takip edilir

U_{ab} fazlar arası gerilimi referans eksenini (x eksenini) üzerinde alınır. U_{ab} 'den 120 derece geride U_{bc} ve U_{ab} 'den 120 derece ileride U_{ca} vektörleri çizilir. Dengeli üçgen yükün güç katsayısı $\cos\phi$ geri olarak kabul edelim. Bu durumda yükün I_1 , I_2 ve I_3 faz akımları faz gerilimlerinden ϕ açısı kadar geri kalırlar. U_{ab} 'den ϕ kadar geride I_1 akım vektörü, U_{bc} 'den ϕ kadar geride I_2 vektörü, U_{ca} 'dan ϕ kadar geride I_3 vektörü çizilir. A ve C düğüm noktalarına Kirschhoff'un akım kanununu uygulayarak I_a ve I_c hat akımları bulunabilir. I_a akımı, I_1 ve $(-I_3)$ vektörlerini toplayarak; I_c akımı da I_3 ve $(-I_2)$ vektörlerini toplayarak bulabiliriz. U_{cb} gerilim vektörü U_{bc} 'nin tersi olarak alındığında Şekil 9.30 (b)'deki vektör diyagramı elde edilir. Vektör diyagramı incelendiğinde I_1 ile I_a arasındaki açı 30 derece, I_a ile U_{ab} arasındaki açının da $(30 + \phi)$ olduğu görülür. I_c ile $(-I_2)$ arasındaki açı 30 derece, U_{cb} gerilimi ile I_c arasındaki açı da $(30 - \phi)$ derecedir. Yük dengeli olduğu için I_a , I_b ve I_c hat akımları birbirine eşit ve 120'şer derece faz farklıdır.



Şekil 9.30

Birinci wattmetreden okunan güç, $P_1 = U.I.\cos(30+\phi)$

İkinci wattmetreden okunan güç $P_2 = U.I.\cos(30 - \phi)$

Bu iki güç toplanır ve gerekli trigonometrik işlemler yapılırsa formül elde edilir.

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} U.I.\cos\phi$$

3.Dengesiz Yıldız ve Üçgen Yükler :

İki vat metrenin gösterdiği değerlerin cebirsel toplamını dengesiz yıldız ve üçgen yüklerin şebekeden çektiği toplam güce eşit olduğunu ispatlayalım.

Şekil 9.29 (a)'daki yıldız yükün dengesiz olduğunu kabul edelim. Herhangi bir anda yükün şebekeden çektiği güç, fazların ani güçlerinin toplamına eşittir

$$P = U_{AO} \cdot I_A + U_{BO} \cdot I_B + U_{CO} \cdot I_C$$

Kirschhoff'un akım kanununa göre herhangi bir anda O noktasına gelen akımların geometrik toplamı 0'dır.

$$I_A + I_B + I_C = 0$$
$$I_B = -(I_A + I_C)$$

Akımları güç ifadesindeki yerine yazalım.

$$P = U_{AO} \cdot I_A - U_{BO} \cdot (I_A + I_C) + U_{CO} \cdot I_C$$
$$P = (U_{AO} - U_{BO}) \cdot I_A + (U_{CO} - U_{BO}) \cdot I_C$$

bulunur. Elde edilen güç ifadesinde birinci terimi birinci vat metrenin, ikinci terimi de ikinci vat metrenin gösterdiği değerlerdir .

$$(U_{AO} - U_{BO}) \cdot I_A = P_1$$
$$(U_{CO} - U_{BO}) \cdot I_C = P_2$$

Şu halde, şebekeden çekilen gücün ani değeri vat metrelerin gösterdikleri ani güçlerin toplamına eşittir.

Şekil 2.30(a)'daki üçgen yükün dengesiz olduğunu kabul edelim. Yükün şebekeden çekeceği herhangi bir andaki güç, her fazın çektiği ani güçlerin toplamına eşittir.

$$P = U_{AB} \cdot I_1 + U_{BC} \cdot I_2 + U_{CA} \cdot I_3$$

Kirschhoffun gerilim kanununa göre kapalı üçgen bir devrede gerilim düşümlerinin geometrik toplamı 0'dır.

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = 0$$

Gerilim denklemindeki eşitlikten U_{CA} yı bulup güç eşitliğinde yerine yazalım.

$$\begin{aligned}U_{CA} &= -(U_{AB} + U_{BC}) \\P &= U_{AB} \cdot I_1 + U_{BC} \cdot I_2 - (U_{AB} + U_{BC}) \cdot I_3 \\P &= (I_1 - I_3) \cdot U_{AB} + (I_2 - I_3) \cdot U_{BC}\end{aligned}$$

$U_{BC} = -U_{CB}$ ifadesini yerine koyalım

$$P = (I_1 - I_3) \cdot U_{AB} + (I_3 - I_2) \cdot U_{CB} \quad \text{bulunur.}$$

İfadenin birinci terimi birinci vat metrenin, ikinci terimi de ikinci vat metrenin gösterdiği değerlerdir.

Şu halde, herhangi bir dengeli veya dengesiz yükün şebekeden çektiği toplam güç, iki vat metrenin gösterdiği değerlerin cebirsel toplamına eşittir.

Üç fazlı dört hatlı şebekelerde iki vat metre ile dengesiz yüklerin güçleri ölçülemez. Vat metrelerin bağlı olmadığı faza, yeni yükler ilave edildiğinde birinci ve ikinci vat metrelerden geçen akımlar ve vat metrelerin gerilim bobinlerine uygulanan şebeke gerilimi sabit kaldığı için, vat metrelerin gösterecekleri değerler değişmez. Dolayısı ile, fazın birine yeni yükler ilave edildiği halde, vat metrelerin gösterdiği toplam güç sabit kalmıştır.

4. Güç Katsayısını Vatmetrelere Etkisi

Dengeli üç fazlı yüklerde iki vat metre ile yapılan Aron bağlantısında (şekil 9.29 (a) ve şekil 9.30 (a)) vat metrelerin gösterdiği değerlere veren formülleri yeniden yazalım.

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos(30^\circ + \varphi) \quad P_2 = U \cdot I \cdot \cos(30^\circ - \varphi)$$

Çeşitli güç katsayıları olan yüklerde vat metrelerin göstereceği değerleri inceleyelim.

- a) $\cos \varphi = 1$ olan yük :** Güç katsayısı bir olan dengeli bir yükte birinci ve ikinci vatmetrelerin gösterdiği değerler bir birine eşittir.

$$P_1 = P_2 = U \cdot I \cdot \cos 30^\circ \quad P_1 = P_2 = (\sqrt{3}/2) U \cdot I$$

bulunur.

Vat metrelerin her biri toplam gücün yarısını gösterir.

- b) $\cos \phi = 0,866$ ileri ve geri olan yük :** Güç katsayısı 0,866 ileri olunca $\phi = 30^\circ$ olur. Güç formüllerine $\phi = 30^\circ$ yazalım.

$$P_1 = U \cdot I \cos(30^\circ + 30^\circ) = U \cdot I \cos 60^\circ = U \cdot I / 2$$

$$P_2 = U \cdot I \cos(30^\circ - 30^\circ) = U \cdot I \cos 0^\circ = U \cdot I \quad \text{bulunur.}$$

Birinci vat metre toplam gücün (1/3) ünü, ikinci vat metre ise toplam gücün (2/3) ünü gösterir.

Güç katsayısı 0,866 geri olursa, $\phi = -30^\circ$ olur. Birinci vat metreden $P_1 = U \cdot I \cos 0^\circ = U \cdot I$ değeri, ikinci vat metreden de $P_2 = U \cdot I \cos 60^\circ = (1/2) U \cdot I$ değeri okunur.

- c) $\cos \phi = 0,5$ geri olan yük :** $\cos \phi = 0,5$, $\phi = -60^\circ$ olur. Vat metrelerin gösterdikleri değerler.

$$P_1 = U \cdot I \cos(30^\circ - 60^\circ) = U \cdot I \cos(-30^\circ) = (\sqrt{3}/2) U \cdot I$$

$$P_2 = U \cdot I \cos(30^\circ + 60^\circ) = U \cdot I \cos 90^\circ = 0 \quad \text{bulunur.}$$

İkinci vatmetre 0 değerini gösterirken birinci vat metre yükün çektiği toplam gücü gösterir

- d) $\cos \phi < 0,5$ olan yük :** Yükün güç katsayısı 0,5 den küçük olursa, ϕ açısı 60° den büyük olacağı için güç ifadesindeki $\cos(30^\circ + \phi)$ değeri 90° den büyük olur

90° den büyük açılarının kosinüsü negatif olduğu için vatmetrelerden birinin gösterdiği değer negatiftir. Bu, vat metrelerden birinin ters sapması demektir. Birinci veya ikinci vat metrelerden hangisinin ters sapacağı güç katsayısının ileri veya geri (yani ϕ açısının + veya -) oluşuna göre değişir.

Yükün çektiği toplam gücü bulmak için ters sapan vat metrenin gerilim bobininin uçları değiştirilir. Ve vat metrenin gösterdiği değer okunur. Diğer vat metrenin gösterdiği değerden ters sapan vat metreden okunan değer çıkarılarak toplam güç bulunur.

5. İki Vatmetre İle Güç Katsayısını Ölçmek

Dengeli üç fazlı yüklerde vat metrelerin gösterdiği P_1 ve P_2 değerlerinden yüklerin katsayıları bulunabilir. Vat metrelerin gösterdiği değerler,

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos(30^\circ + \phi)$$

$$P_2 = U \cdot I \cdot \cos(30^\circ - \phi) \quad \text{bu iki değer farkı ;}$$

$$P_2 - P_1 = U \cdot I \cdot \cos(30^\circ - \phi) - U \cdot I \cdot \cos(30^\circ + \phi)$$

Gerekli trigonometrik işlemlerle sadeleştirelim .

$$P_2 - P_1 = U \cdot I (\cos 30^\circ \cdot \cos \varphi + \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi - \cos 30^\circ \cdot \cos \varphi + \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi)$$

$$P_2 - P_1 = U \cdot I \cdot 2 \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi$$

$\sin 30^\circ = 1/2$ değerini yerine yazalım.

$P_2 - P_1 = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ bulunur. Vat metrelerin gösterdiği değerlerin toplamını daha önce bulmuştuk.

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Vat metrelerden okunan değerlerin farkını toplamına bölelim.

$$\frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi}$$

$$\frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \tan \varphi$$

$$\tan \varphi = \sqrt{3} \cdot \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}$$

$\tan \varphi$ hesaplandıktan sonra trigonometrik cetvellerden φ ve $\cos \varphi$ bulunur.

Örnek 9.9

Üçgen yük 200V üç fazlı bir şebekeye bağlanmıştır. Yükün birinci fazında 10Ω luk direnç, ikinci fazında 8Ω luk endüktans ve üçüncü fazında 7Ω luk bir kapasitans vardır. Yükün çektiği toplam gücü iki vat metre metodu ile ölçmek için gerekli bağlantı yapılmıştır. (şekil 9.31) a) Yükün şebekeden çektiği faz ve hat akımlarını, b) A ve C faz hatlarına bağlı olan vat metrelerin gösterdikleri değerleri hesaplayınız.

Çözüm 9.9

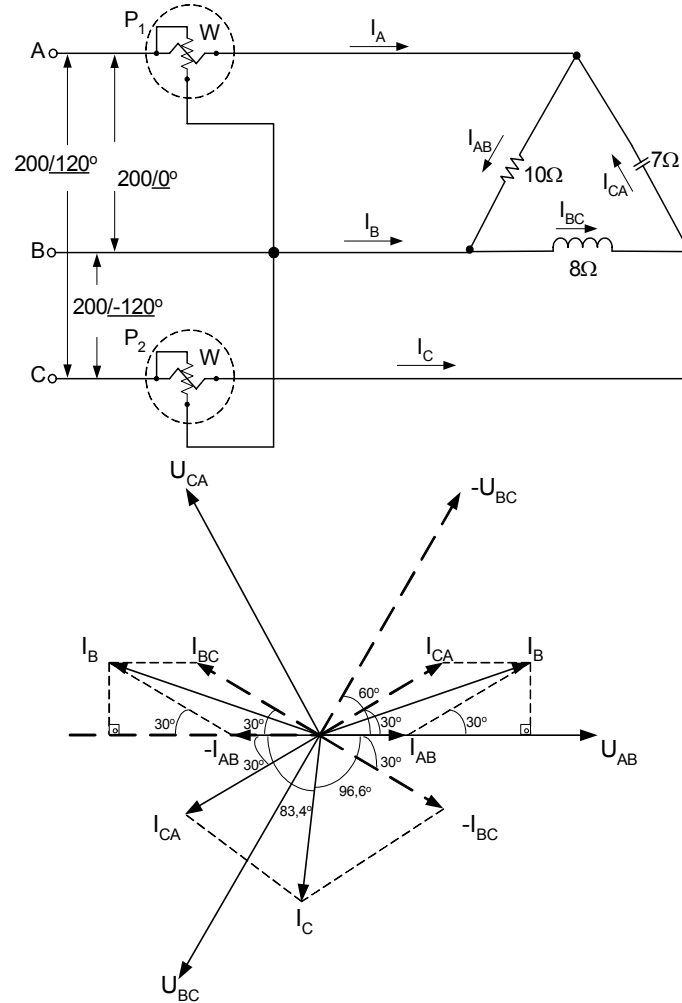
Her fazdan geçen akım ve faz gerilimleri ile faz akımları arasındaki açılar bulalım.

$$a) I_{AB} = \frac{200}{10} = 20 A, \quad U_{AB} \text{ ile aynı fazda}$$

$$I_{BC} = \frac{200}{8} = 25 A, \quad U_{BC} \text{ den } 90^\circ \text{ geride}$$

$$I_{CA} = \frac{200}{7} = 28,57, \quad U_{CA} \text{ dan } 90^\circ \text{ ileride}$$

Şekil 9.31 (b) deki vektör diyagramında 120° faz farklı U_{AB} , U_{BC} ve U_{CA} faz gerilimleri çizildikten sonra faz akımları açılarına göre çizilmiştir.



Şekil 9.31 Dengesiz üçgen yük, akım ve gerilim vektör diyagramı

A, B ve C noktalarına Kirşofun akım kanununu uygulayarak hat akımlarını hesaplayalım.

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} \quad , \quad I_B = I_{BC} - I_{AB} \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

Bu vektöryel toplamları vektör diyagramı üzerinde yapalım.

$$I_A = \sqrt{(20 + 28,5 \cdot \cos 30^\circ)^2 + (28,5 \cdot \sin 30^\circ)^2} = 46,97 A$$

$$I_B = \sqrt{(20 + 25 \cdot \cos 30^\circ)^2 + (25 \cdot \sin 30^\circ)^2} = 43,46 A$$

$$I_C = \sqrt{(28,5 \cdot \cos 30^\circ - 25 \cdot \cos 30^\circ)^2 + (28,5 \cdot \sin 30^\circ + 25 \cdot \sin 30^\circ)^2} = 26,96 A$$

b) Birinci vat metrenin gösterdiği değer,

$$U_{AB} \text{ ile } I_A \text{ arasındaki açı, } \tan \varphi_1 = 14,25/43,7 = 0,32 \quad \varphi_1 = 17,7^\circ$$

$$P_1 = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos \varphi_1 = 200 \cdot 46,97 \cdot \cos 17,7^\circ = 8949 \text{ watt}$$

İkinci vat metrenin gösterdiği değer ,

$$U_{CB} = -U_{BC} = -200 \angle -120^\circ = 200 \angle 60^\circ \quad \arctg \frac{26,7}{3} = 83,4^\circ$$

$$I_C = 26,9 \angle -96,6^\circ$$

$$U_{CB} \text{ ile } I_C \text{ arasındaki } \varphi_2 = 60^\circ + 96,6^\circ = 156,6^\circ$$

$$P_2 = 200 \times 26,96 \cdot \cos 156,6^\circ = 200 \cdot 26,96 \cdot (-0,918) = -4949 \text{ vat}$$

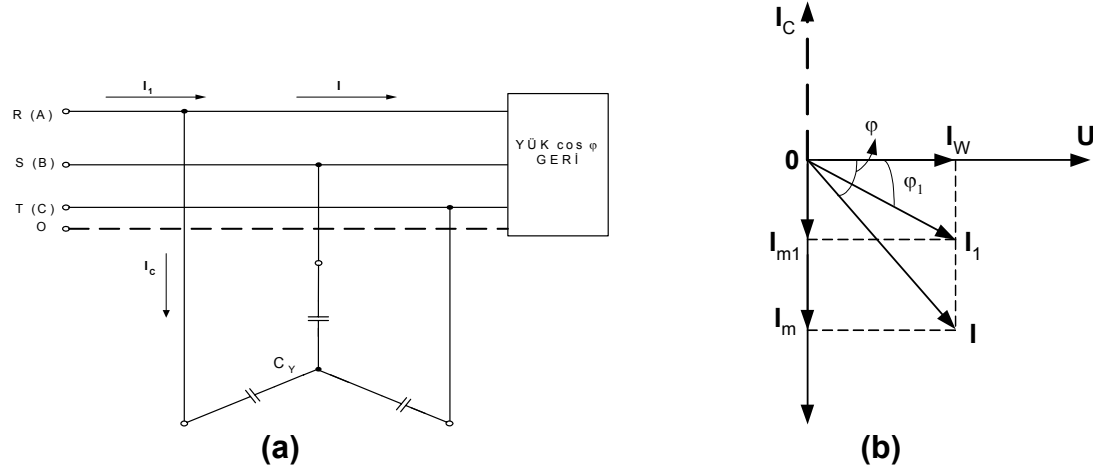
$$\text{Yükün çektiği toplam güç , } P = 8949 - 4949 = 4000 \text{ vat.}$$

Üçgen yükteki şelfin ve kondansatörün çektiği güçler sıfırdır. O halde şebekeden çekilen güç 10Ω luk dirençte ısı şeklinde sarf olur.

$$P = R \cdot I_{AB}^2 = 10 \cdot (20)^2 = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ vat}$$

Şu halde, yukarıda vat metrelerin gösterdiği değerlerle bulduğumuz güç doğrudur.

9.5 ÜÇ FAZLI SİSTEMDE GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ



Şekil 9.32 Güç katsayısının Y bağlı kondansatörle düzeltilmesi

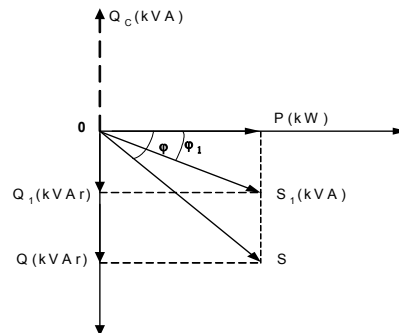
Güç katsayısı çok küçük olan üç fazlı dengeli bir yükün güç katsayısını, Şekil 9.32(a) da görüldüğü gibi, kondansatör bağlayarak düzeltmek istiyoruz. Yükün güç katsayısı $\cos \phi$ geri ve çektiği hat akımı da I dır. Şekil 9.32 (b) deki vektör diyagramında görüldüğü gibi I akımı faz geriliminden ϕ kadar geridedir. I akımı gerilimle aynı fazda olan I_W (vatlı akım veya reel akım) ve gerilime 90° dik I_m (mıknatıslama akımı) bileşenlerine ayrılır. Sistemin güç katsayısını $\cos \phi_1$ e yükseltebilmek için devreye bağlanan kondansatörün çekeceği akım $I_c = I_m - I_{m1}$ olmalıdır.

Yükün şebekeden çektiği,

Görünür güç (zahiri güç) , $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot 10^{-3} \text{ kVA}$

Hakiki güç (aktif güç) , $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cos \phi \cdot 10^{-3} \text{ kW}$

Reaktif güç (kör güç) , $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \phi \cdot 10^{-3} \text{ kVAr}$



Şekil 9.33 Görünür, aktif ve reaktif güçler vektör diyagramı

Şekil 9.33 de güçler vektör diyagramı çizilmiştir. Hakiki güç referans (x eksen) ekseninde, reaktif güç y ekseninde alındıktan sonra bu iki değerin vektörel toplamı alınarak görünür güç bulunur.

Yükün katsayısı $\cos \phi_1$ e yükseldiğinde şebekeden çektiği hakiki güç aynı kalır. Şebekeden çekilen reaktif güç Q_1 değerine düşer. Devreye bağlanan kondansatörlerin vereceği Q_c reaktif gücü, yüke lazım olan Q reaktif gücün bir kısmını karşıladığı için şebekeden çekilen reaktif güçte azalma olur. Dolayısıyla güç katsayısı da büyür.

Yükün katsayısı $\cos \phi$ den $\cos \phi_1$ e çıkarmak için gerekli olan Q_c reaktif gücü ($Q - Q_1$) dir.

$$Q_c = Q - Q_1$$

Yıldız bağlı kondansatörün şebekeden çektiği hat veya faz akımı I_c , fazlar arası gerilim U olduğuna göre kondansatörlerin verdiği toplam reaktif gücü bulalım.

$$Q_c = 3 \cdot U_f \cdot I_c = 3 \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right) \cdot I_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_c$$

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

Yıldız bağlı kondansatör grubunun bir fazından geçen akım,

$$I_c = \frac{U_f}{X_c} = \frac{\frac{U}{\sqrt{3}}}{\frac{1}{\omega C_y}} \quad , \quad I_c = \frac{3}{\sqrt{3}} \omega C_y \text{ bulunur.}$$

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right) \omega C_y \quad , \quad Q_c = U^2 \cdot \omega \cdot C_y$$

Yıldız bağlı kondansatör grubunun bir fazındaki kondansatörlerin kapasitesi yukarıdaki formülden bulunur.

$$C_y = \frac{Q_c}{U^2 \omega} \quad C_y = \text{farad} \quad , \quad Q_c = \text{reaktif güç, VAr (volt amper reaktif)}$$

$$\omega = \text{açısal hız} \quad , \quad 2\pi f \quad ; \quad U = \text{fazlar arası (hat) gerilimi, volt}$$

Kondansatör grubunun verdiği güç kvar (kVAr) ile ifade edersek, mirofarad olarak her fazın kapasitesi,

$$Q_y = \frac{Q_c \cdot 10^9}{U^2 \omega} \mu f \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

Şekil 9.32 de yükün güç katsayısını düzeltmede kullanılan kondansatörler yıldız bağlıdır. Kondansatörler üçgen bağlı olduklarına göre, Şekil 9.34 de ki gibi, kondansatör grubunun bir fazının kapasitesini veren formülü çıkartalım. VA olarak kondansatör grubunun gücü,

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_c$$

$$\text{Hat akımı } I_c = \left(\frac{U}{X_c} \right) \sqrt{3}$$

$$I_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot \Omega C$$

yazalım.

I_c nin bu değerini (61) de yerine

$$Q_c = 3 \cdot U^2 \cdot \omega C \Delta$$

$$\text{Bir fazının kapasitesi } C \Delta = \frac{Q_c}{3U^2 \omega}$$

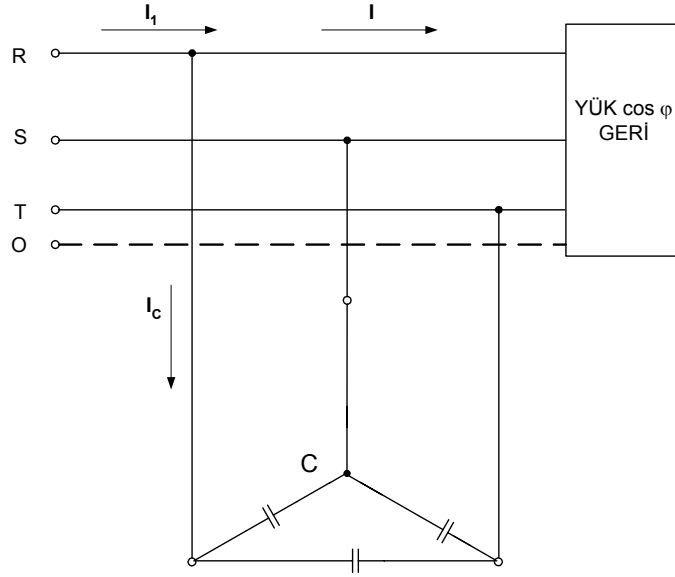
$C \Delta$ = farad, Q_c = VA (volt amper), U = fazlar arası gerilim, volt ω = açısal hız, radyan/saniye,

Kapasiteyi mikrofara ve Q_c yi de (kva) olarak ifade edelim.

$$C \Delta = \frac{Q_c \cdot 10^9}{3U^2 \omega} \mu f$$

$C_y = \frac{Q_c}{U^2 \omega}$ formülü $C \Delta = \frac{Q_c \cdot 10^9}{3U^2 \omega} \mu f$ ile karşılaştırılırsa, toplam güçleri aynı olan kondansatörlerin yıldızdaki bir fazının kapasitesinin üçgen bağlamadaki faz kapasitesinin 3 katı olduğu görülür.

$$C_y = 3 C \Delta$$



Şekil 9.34 Üçgen bağlı kondansatörlerle güç katsayısının düzeltilmesi

Bir fabrikanın şebekeden çektiği hakiki güç P kilovat ve güç katsayısı $\cos \phi$ geridir. Fabrikanın güç katsayısını $\cos \phi_1$ e yükseltmek istiyoruz. Fabrikaya monte edeceğimiz yıldız veya üçgen bağlı kondansatör gurubunun kapasitesini hesaplamaya çalışalım.

Şekil 9.33 deki güçler vektör diyagramındaki Q , Q_1 reaktif güçlerini P (kw), ϕ ve ϕ_1 bilinenleri yardımı ile bulalım.

$Q = P \cdot \tan \phi$, $Q_1 = P \cdot \tan \phi_1$ gerekli olan kondansatör gurubunun gücü; $Q_c = Q - Q_1$, $Q_c = P (\tan \phi - \tan \phi_1)$

Yıldız bağlı kondansatör gurubunun bir fazının kapasitesini (C_y) bulmak için Q_c yerine yazalım.

$$C_y = \frac{P \cdot 10^9}{U^2 \cdot \omega} \cdot (\tan \phi - \tan \phi_1)$$

C_y = Bir fazının kapasitesi, (mikrofarad)

P = Fabrikanın veya her hangi bir yükün hakiki gücü, kw (kilovat)

U = Üç fazlı şebekenin fazlar arası gerilimi (hat gerilimi), volt

$\omega = 2 \pi f$, A.A. in açısal hızı, radyan/saniye

ϕ = Fabrikanın düşük olan güç katsayısının açısı, derece

ϕ_1 = Sistemin düzelttiği güç katsayısının açısı, derece

Üçgen bağlı kondansatör gurubunun bir fazının kapasitesini $C\Delta$ bulmak için Q_c yerine ifadeyi yazalım.

$$C\Delta = \frac{P \cdot 10^9}{3 \cdot U^2 \omega} \cdot (tg \varphi - tg \varphi_1)$$

Örnek 9.11

1000 kw, $\cos \varphi = 0,6$ geri olan bir fabrika 380/220 volt, 50 Hz li üç fazlı bir şebekeden besleniyor. Fabrikanın güç katsayısını $\cos \varphi_1 = 0,9$ 'a çıkartmak için kondansatör kullanmak istiyoruz. a) Fabrikadaki şebeke girişine bağlayacağımız kondansatör gurubunun kva olarak gücünü, b) Kondansatör gurubu (Y) bağlı olduğuna göre bir fazının kapasitesini $C_y = ?$, c) Kondansatörler üçgen bağlandığında bir fazın kapasitesini $C\Delta = ?$ hesaplayınız.

Çözüm 9.11

a) $P = 1000 \text{ kw}$, $\cos \varphi = 0,6$ $\cos \varphi_1 = 0,9$ un trigonometri cetvelinden açılarını ve tangentlerini bulalım.

$$\varphi = 53^\circ \quad ; \quad tg 53^\circ = 1,33 \quad ; \quad \varphi_1 = 26^\circ \quad ; \quad tg 26^\circ = 0,488$$

$$Q_c = P (tg \varphi - tg \varphi_1) = 1000 (1,33 - 0,488) = 832 \text{ kva}$$

$$b) C_y = \frac{Q_c \cdot 10^9}{U^2 \cdot \omega} = \frac{842 \cdot 10^9}{380^2 \cdot 2 \pi \cdot 50} = 18500 \mu f$$

$$c) C\Delta = \frac{Q_c \cdot 10^9}{3 \cdot U^2 \cdot \omega} = \frac{842 \cdot 10^9}{3 \cdot 380^2 \cdot 2 \pi \cdot 50} = 6166,6 \mu f$$

$$C\Delta = \frac{C_y}{3} = \frac{18500}{3} = 6166,6 \mu f$$

9.6 KARIŞIK ÖRNEK PROBLEMLER

Örnek 9.12

Üç fazlı bir alternatörün faz gerilimi 231 V ve faz akımı 38 A dir. Hat gerilimi ve hat akımını alternatör a) üçgen b) yıldız bağlandığına göre hesaplayınız.

Çözüm 9.12 :

$$\Delta \text{ bağlantı : } U = U_f = 231 \text{ V} \\ I = \sqrt{3} \cdot I_f = 1,73 \cdot 38 = 65,8 \text{ A}$$

$$Y \text{ bağlantı : } U = \sqrt{3} \cdot U_f = 1,73 \cdot 231 = 400 \text{ V} \\ I = I_f = 38 \text{ A}$$

Örnek 9.13

3 fazlı bir elektrikli ısıtıcının her fazının direnci $12,5\Omega$ dur. 380 V luk hat geriliminde ısıtıcı a) Yıldız b) üçgen bağlandığına göre faz gerilimini, faz ile hat akımlarını ve güçlerini hesaplayınız.

Çözüm

Y bağlantı

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V} \quad I_f = \frac{U_f}{R} = \frac{220}{12,5} = 17,6 \text{ A}$$

$$I = I_f = 17,6 \text{ A}$$

$$P_y = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 380 \cdot 17,6 = 11600 \text{ vat}$$

Δ bağlantı

$$U_f = U = 380 \text{ V} \\ I_f = \frac{U_f}{R} = \frac{380}{12,5} = 30,4 \text{ A} \quad I = \sqrt{3} \cdot I_f = 1,73 \cdot 30,4 = 52,7 \text{ A} \\ P_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 380 \cdot 52,7 = 348000 \text{ vat}$$

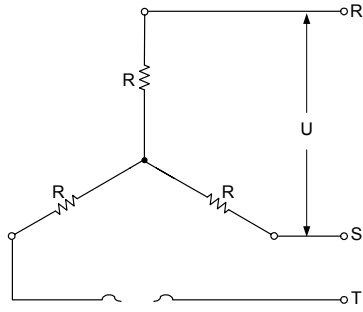
Örnek 9.14

Örnek 9.13 deki üç fazlı ısıtıcının beslenmesinde şekil 9.35 deki gibi hattın biri kesildiği zaman hat akımları ve güçler ne olur?

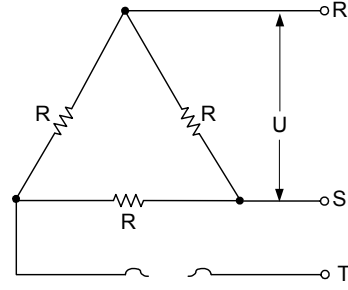
Çözüm

Y bağlantı

$$R_e = 2 R = 2 \cdot 12,5 = 25\Omega \\ I_1 = \frac{U}{R_e} = \frac{380}{25} = 15,2 \text{ A} \\ P_{1y} = U \cdot I_1 = 380 \cdot 15,2 = 5776 \text{ vat}$$



a) Y bağlantı



b) Üçgen bağlantı

Şekil 9.35

Δ bağlantı :

$$R_e = \frac{R \cdot (R + R)}{R + R + R} = \frac{25 \cdot 12,5}{12,5 + 12,5 + 12,5} = 8,33 \Omega$$

$$I_1 = \frac{U}{R_e} = \frac{380}{8,33} = 45,6 A$$

$$P_{1\Delta} = U \cdot I_1 = 380 \cdot 45,6 = 17328 \text{ vat}$$

Örnek 9.15

223 V 3 fazlı bir şebekeden üçgen bağlı bir ısıtıcının çektiği hat akımı 15,4 A olduğuna göre faz dirençlerini ve gücünü hesaplayınız.

Çözüm 9.15

$$R_f = \frac{U}{\frac{I}{\sqrt{3}}} = \frac{223}{\frac{15,4}{\sqrt{3}}} = 25,1 \Omega$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 223 \cdot 15,4 = 5950 \text{ vat}$$

Örnek 9.16

127/220 V, üç fazlı bir şebekeye üçgen bağlı olan bir su ısıtma cihazının hat akımı 14,7 A dır. a) ısıtıcının faz direncini ve gücünü b) hat gerilimi 380 V olan üç fazlı şebekeye bu ısıtıcı nasıl bağlanır? Hat akımı ne olur? c) (b) deki

bağlantı hattının biri kesilince akım ve güç ne olur? d) (c) durumundaki güç normal gücün yüzde kaçıdır?

Çözüm 9.16

$$\text{a) } I_f = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{14,7}{1,73} = 8,48 A \quad U_f = U = 220 V$$

$$R = \frac{U}{I_f} = \frac{220}{8,48} = 25,9 \Omega \quad P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 220 \cdot 14,7 = 5600 W$$

b) 380 V luk şebekeye ısıtıcı yıldız bağlanırsa normal çalışır. Çünkü faz gerilimi yine 220 voltur.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{5600}{1,73 \cdot 380} = 8,48 A$$

$$\text{c) } I_1 = \frac{U}{2R} = \frac{380}{2 \cdot 25,9} = 7,33 A \quad P_1 = U \cdot I_1 = 380 \cdot 7,33 = 2790 W$$

$$\text{d) } \%P = \frac{P - P_1}{P} \cdot 100 = \frac{5,6 - 2,79}{5,6} = \%50,1$$

Örnek 9.17

3 fazlı bir motorun etiketinden şu değerler alınmıştır. 12 PS; 30 A; 220 V (Δ): $\cos \phi = 0,89$; verim 0,867 a) motor hangi 3 fazlı şebekelerde Y ve Δ çalışır mı? b) motorun çektiği görünür gücü ve yıldız ile üçgen bağlamalardaki hat akımlarını bulunuz. c) kör ve hakiki güçleri hesaplayınız.

Çözüm 9.17

$$\text{a) } Y = \frac{220}{380} V ; \quad \Delta : \frac{127}{220} V, \text{ veya } 220 V \text{ üç hatlı şebeke}$$

$$S = \frac{12,0736}{0,867 \cdot 0,59} = 11,45 kVA \quad I_Y = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{11450}{\sqrt{3} \cdot 380} = 17,4 A$$

$$I_{\Delta} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{11450}{1,73 \cdot 220} = 30 A$$

b) $\cos \varphi = 0,89$; $\varphi = 27^\circ$; $\sin \varphi = 0,454$
 $P = S \cdot \cos \varphi = 11,45 \cdot 0,89 = 10,2 \text{ kW}$
 $Q = S \cdot \sin \varphi = 11,45 \cdot 0,454 = 5,2 \text{ k VAR}$