



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

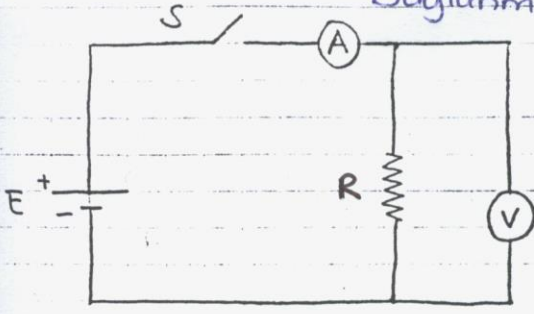
DEVRE TEORİSİ

Ders Notu-1


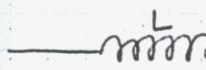

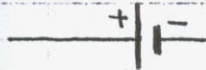
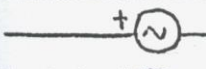

- **GİRİŞ VE TEMEL KAVRAMLAR
(Akım, gerilim, güç,...)**

Doç. Dr. Recep YUMURTACI

Elektrik Devresi: Belirli bir işlevi gerçekleştirmek üzere birbirine bağlanmış bulunan elemanlar topluluğu



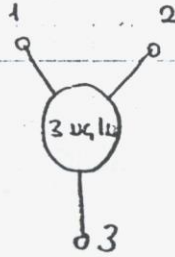
→ Devre Elemanları

-  Direnç
-  bobin (self) = endüktans
-  kondansatör
-  Gerilim kaynağı (dc)
-  Gerilim " (ac)
-  Akım kaynağı

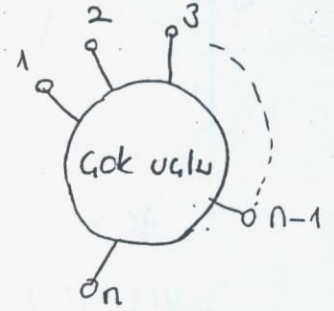
Devre elemanları "uç"ları yardımıyla devreye bağlanır. Elemanlar uç sayılarına göre tanımlanır.



2 uçlu eleman



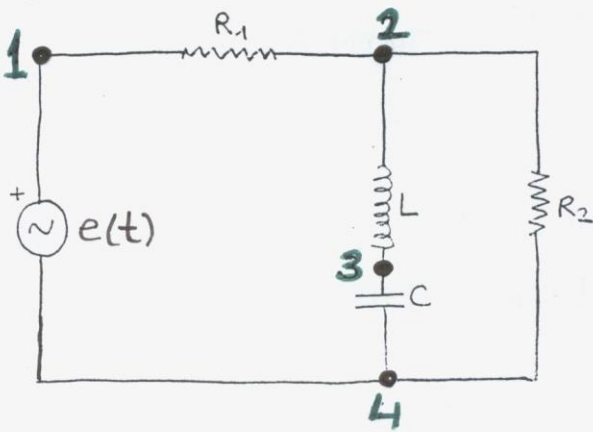
3 uçlu eleman



Çok uçlu

2'den fazla ucu olan elemana "çok uçlu eleman" denir.

* **Düğüm:** iki ve ikiden fazla elemanın bağlandığı noktalar

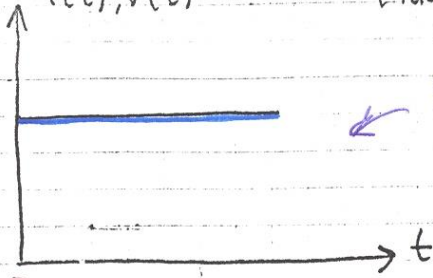


4 düğümden oluşan bir devre

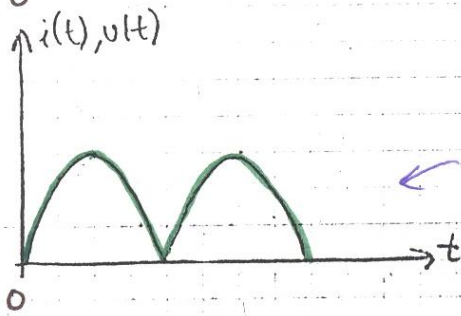
Akım ve gerilim dalga şekilleri

Doğru Akım (Direct Current) (DC)

$i(t), v(t)$ (ideal doğru akım; akümülatörlerde ve pillerde)



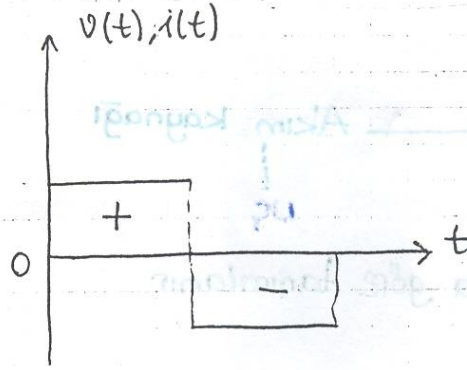
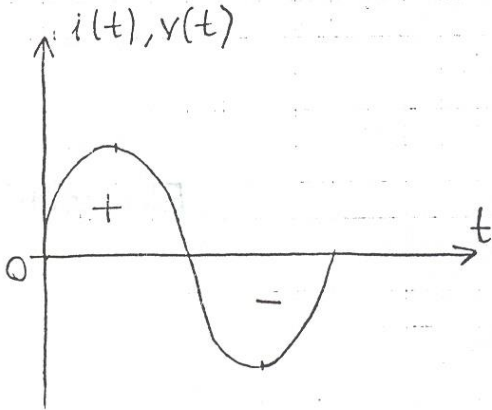
← ideal doğru akım



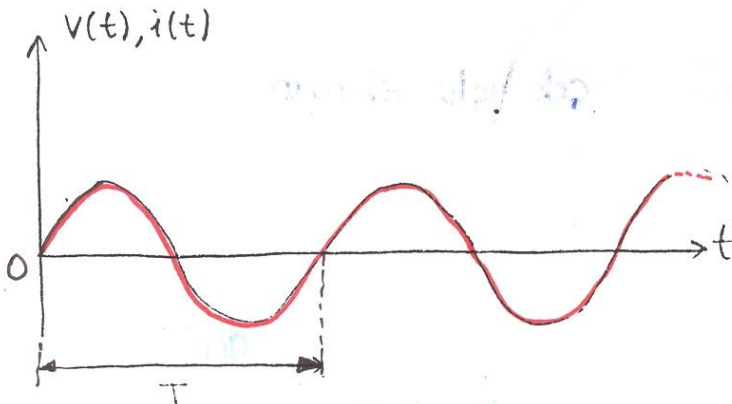
* Akım ve gerilimin yönü zamanla değişmez.

← Dalgalı doğru akım

Alternatif Akım (Alternating Current) (AC)



* Yönü ve değeri zamanla değişir



T : periyod (s)

$$f = \frac{1}{T}$$

Türkiye'de 50 Hz, ABD'de 60 Hz

1 sn'de 50 kere tekrarlıyor

Elemanların özelliklerinin ve bağlantı biçiminin matematik diline dönüştürülmesine "matematiksel modelleme" denir

1. DEVRE TEORİSİNİN TEMEL KAVRAMLARI

1.1 Devre Teorisi (circuit theory)

Devre teorisi, elektromagnetik alan teorisinin bir özel durumudur ve elektrik mühendisliğinin tüm dalları için gerekli olan temel kavramları, kuralları ve yöntemleri içerir.

Elektrik devrelerinin incelenmesinde, elektromagnetik alan teorisinin uygulanması ilk bakışta uygun olacaktı gibi görünse de, ileri matematik yöntemlerinin kullanılmasını ve uzun matematiksel işlemleri gerektireceği için basitleştirici yaklaşımlar kullanan devre teorisi yöntemleri tercih edilir.

Devre Teorisi Yöntemlerinin Üstünlükleri

- (1) Pratik devrelerin kurulmasında ve çözümlenmesinde kolaylık sağlar;
- (2) Elektrik sistemlerini "bileşenler" (components) adı verilen basit alt sistemlerle ifade ederek, bu sistemlerin çözümlenmesinde ve tasarımında kolaylık sağlar. Devredeki her öğenin uçları arasında gösterdiği davranıştan yararlanarak devrenin tümünün davranışı elde edilebilir.
- (3) Geniş elektrik şebekelerinin çözümlenmesi için gerekli yöntemlerin temelini oluşturur. Bu yöntemler, statik, mekanik, hidrolik gibi alanları da içeren diğer mühendislik uygulamalarında tasarım ve çözümleme kolaylığı sağlar.
- (4) Bir çok elektriksiz sistemin geliştirilmesi, devre teorisi alanındaki çalışmalarda yapılan ilerlemeye bağlanabilir.

Devre teorisi her ne kadar elektromagnetik alan teorisinin bir özel durumu ise de, devre teorisinin öğrenilmesi ve uygulanması için elektromagnetik alan teorisi bilmek gerekmez; fizik derslerinde öğrenilen elektriksiz ve magnetik olaylar hakkında bilgi sahibi olmak yeterlidir.

Devre Teorisindeki Temel Varsayımlar:

- (1) Elektrik yüklerinin hareketleri elektrik akımını oluşturur. Elektrik yükleri ışık hızında ya da ışık hızına yakın bir hızda hareket ederler. Devre teorisinde, fiziksel sistem yeterince küçük varsayıldığı için elektrik yüklerinin hareket süresi ihmal edilebilir. Fiziksel boyutların ihmal edilmesi, sistemlerin "toplu - parametre sistemleri (lumped-parameter systems)" olarak tanımlanabilmesini olanaklı kılar. Böylece, sistemler "bileşenler ya da öğeler (components)" adı verilen basit alt sistemlerin bağlantısı olarak ele alınabilirler.
- (2) Sistemdeki her devre elemanı üzerindeki toplam yük sıfırdır. Bazı devre elemanları (kapasitörler), üzerlerinde eşit miktarda zıt kutuplu yükler tutabilirler.
- (3) Sistemdeki devre öğeleri arasında magnetik etkileşim olmadığı varsayılır. İlerideki konularda görüleceği gibi, bir devre öğesinin kendi içinde magnetik etkileşim olabilir (transformatörler gibi).

1 No.lu varsayıma daha yakından bakarsak, bir sistemin toplu - parametre sistemi olarak tanımlanabilmesi için boyutlarının ne olması gerektiği sorusu ile karşılaşırız. Bu sorunun cevabını vermek için elektriksel olayların dalgalarla yayıldığına hatırlamamız gerekir. Eğer elektriksel değişikliğin dalga boyu sistemin fiziksel boyutlarından büyükse, sistem "toplu parametre sistemi" olarak tanımlanabilir. Elektriksel işaretin dalga boyu $\lambda = c/f$ 'dir. Burada c ışık hızıdır ($c = 3 \times 10^8$ m/s), f ise elektriksel işaretin frekansıdır (elektrik şebekesi için 50 Hz). Örneğin elektrik şebekesindeki elektriksel değişimin dalga boyu

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6 \times 10^6 \text{ m} = 6000 \text{ km}$$

dir. Örneğin, 10^9 Hz frekansında yayın yapan bir radyo vericisinde dalga boyu $\lambda = 3 \times 10^8 / 10^9 = 0.3 \text{ m}$ 'dir. Bu tür yüksek

frekanslı sistemlerde, fiziksel boyutlar önem kazanır. Elektriksel sistemin boyutları ile sistemdeki elektriksel değişikliklerin dalga boyu birbirlerine yakın değerlerde ise sistem çözümlenmesinde elektromagnetik alan teorisi uygulanır. Bu derste, sadece devre teorisi konusu işlenecek ve toplu -parametre devreleri (lumped parameter circuits) ele alınacaktır.

1.2. Devre Analizine İlişkin Temel Tanımlar

Devre (circuit) : Elektriksel sistemlerin matematiksel modellerine devre denir.

Bileşen (component) : Elektriksel sistemleri oluşturan fiziksel alt sistemlere bileşen ya da "öge" denir.

İdeal devre elemanı (ideal circuit element) : Bileşenlerin matematiksel modellerine ideal devre elemanı denir.

Devre analizi (circuit analysis) : İdeal devre elemanlarının davranışlarının bu elemanların akım ve gerilimleri türünden ifade edilmesini, ve ideal devre elemanlarının birbirlerine bağlanmalara sonucunda oluşan elektrik devrelerindeki akım ve gerilimlerin incelenmesini amaçlayan çalışmalara devre analizi ya da devre çözümlemesi denir. Devre analizi yöntemleri devre teorisi temelinde dayanır.

1.3. Gerilim ve Akım (voltage and current)

Bazı maddelerde, maddeyi oluşturan atomların en dış yörüngelerindeki elektronları atomlarına çok zayıf bağlıdır. Bunlar, atomlar arasında serbest olarak dolaşabilirler. Bu elektronlara iletim elektronları (conduction electrons) ya da özgür elektronlar (free electrons) denir. Bu tür elektronlar metallerde çok miktarda bulunur. Ayrıca, yarı-iletken öğelerde (diyot, transistör gibi), katkı maddesinin miktarına bağlı olarak p-tipi maddede sınırlı miktarda serbest elektron, n-tipi maddede sınırlı miktarda

"boşluk (hole)" bulunur. Elektronlar eksi, boşluklar ise artı elektrik yükleridir. Boşluk atomun dış yörüngesinde bir elektron eksilmesiyle oluşur. Bir atomun elektronu ile komşu atomun boşluğu yer değiştirdiği zaman elektron hareketi ve boşluk hareketi oluşur. Bu iki hareket birbirine göre ters yönlüdür.

Elektiriksel olayların tanımı, elektrik yükü (electric charge) kavramına dayanır:

- (1) Elektiriksel olaylar, artı ve eksi değerli elektrik yükleri türünden tanımlanır.
- (2) Elektrik yükleri, elektron yükünün (birim yük = 1.6022×10^{-19} coulomb) tam sayı katları olarak ortaya çıkarlar.
- (3) Elektiriksel olaylar elektrik yüklerinin ayrılmasını (artı ve eksi yüklerin birbirlerinden ayrılması) ve elektrik yüklerinin hareketini içerir.

Devre teorisinde, yüklerin ayrılması elektrik gerilimini (voltage), yüklerin hareketi ise elektrik akımına (current) oluşturur.

Burada Video-1 (elk.nasil oluşur?) gösterilecek

Gerilim (voltage)

Gerilim, birim elektrik yükünü bir noktadan diğerine götürmek için gereken enerjinin ölçüsüdür. Bu tanıma aşağıdaki oran ile türevsel biçimde ifade edebiliriz.

$$v = \frac{dw}{dq}$$

(1.1)

Burada,

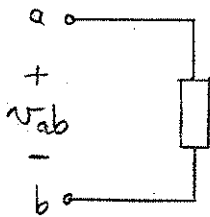
- v : gerilim (volt)
- w : enerji (joule)
- q : yük (coulomb)

dir.

Gerilim iki nokta ile ilgili bir kavram olduğundan "gerilim farkı (voltage difference)" ya da "potansiyel farkı (potential difference)" terimleri de kullanılır.

Gerilimin birimi "volt" tur. Eğer bir coulomb'luk elektrik yükünü (yani 6.24×10^{18} elektronu) bir noktadan diğerine taşımak için bir joule'lük enerji gerekiyorsa, bu iki nokta arasındaki gerilim farkı bir volt'tur.

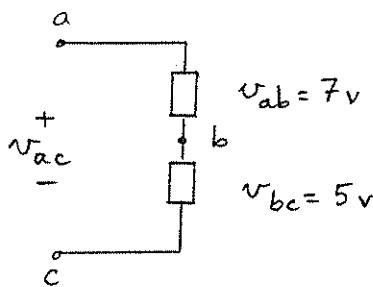
Örneğin, bir devre elemanının a ucundaki gerilim b ucundaki gerilimden 1 volt yüksek ise, a ve b noktaları arasındaki gerilim farkı (ya da söz konusu devre elemanı üzerindeki gerilim) $V_{ab} = 1$ volt olarak ifade edilir ve devre elemanı üzerinde aşağıdaki biçimde gösterilir:



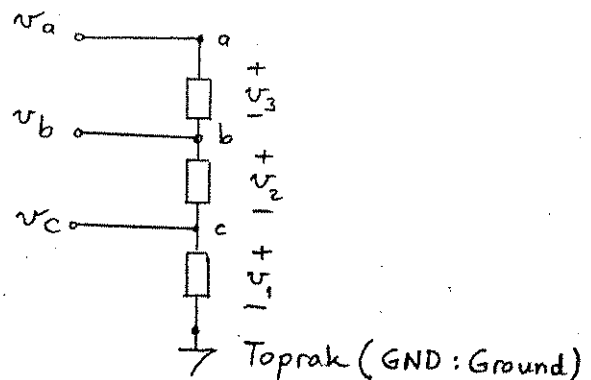
$$V_{ab} = 1 \text{ volt ya da } V_{ba} = -1 \text{ volt}$$

Bu örnekte, bir coulomb'luk bir elektrik yükünü düşük gerilimdeki b noktasından yüksek gerilimdeki a noktasına getirmek için bir joule'lük enerji harcanır.

Gerilimlerin toplanması vektörel toplamaya benzer. yani toplama yaparken gerilimlerin yönlerini de göz önünde tutmak gerekir. Örneğin,



$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc} \\ = 7 + 5 = 12 \text{ V}$$



$$V_c = V_1 \\ V_b = V_1 + V_2 \quad ; \quad V_a = V_1 + V_2 + V_3$$

Akım (current)

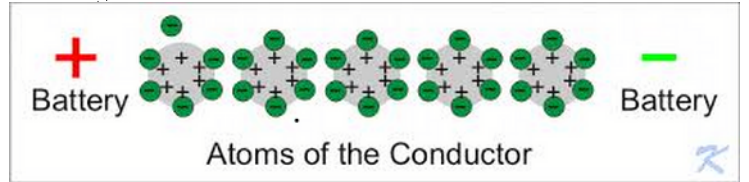
Elektrik akımı (electric current), elektrik yükü hareketinin zamana göre değişiminin bir ölçüsüdür ve türevsel biçimde

$$i = \frac{dq}{dt}$$

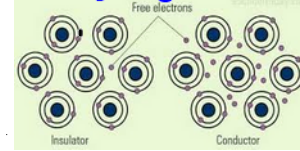
(1.2)

olarak ifade edilir. Burada,

- i : akım (amper)
- q : yük (coulomb)
- t : zaman (saniye)

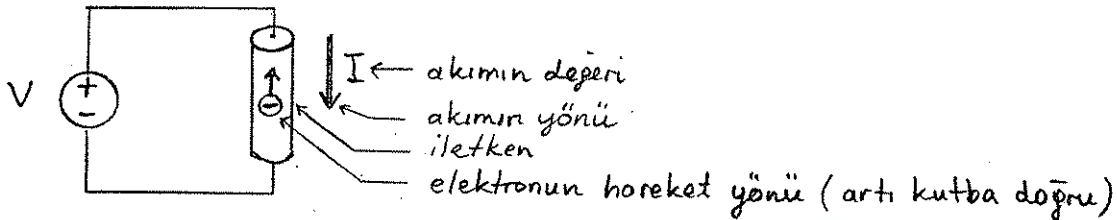


*elektronların akışını gösteren GIF gösterilecek



dir. Elektrik akımının iki önemli özelliği değeri ve yönüdür:

- (1) Değeri : Bir iletken kesitinden bir saniyede geçen elektronların sayısına bağlıdır. Akımın birimi amper'dir. Eğer bir iletken kesitinden bir saniyede bir coulomb'luk elektrik yükü geçerse, o iletkenden geçen akımın değeri bir amper'dir.
- (2) Yönü : Elektronların hareket yönünün tersi elektrik akımının yönü olarak kabul edilmiştir. Akım yönünün bu şekilde seçilmesi "pasif işaret kuralı"na uygundur.



Burada Video-2 (akım) ve Video-3 (gerilim) gösterilecek

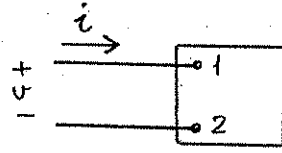
1.4 İdeal Temel Devre Elemanı (ideal basic circuit element)

İdeal temel devre elemanları, elektrik sistemlerinin devre modellerinin kurulmasında kullanılan temel yapı taşlarıdır. Bunlar, gerilim kaynakları, akım kaynakları, dirençler, endüktörler ve kapasitörler olmak üzere beş çeşittir.

İdeal temel devre elemanlarının özellikleri :

- (1) Bu elemanların iki terminalleri vardır
- (2) Bu elemanlar, üzerlerindeki gerilim ve akım değişkenleri türünden matematiksel ifadelerle tanımlanırlar.
- (3) Bu elemanlar daha küçük alt elemanlara bölünemezler

İdeal temel devre elemanının gösterimi Şekil 1.5'de verilmiştir.



Şekil 1.5 İdeal temel devre elemanı

Bu şekilde devre elemanının türü belirtilmediği için kutunun içi boş gösterilmiştir. Kutunun terminalleri arasındaki gerilim v ile, terminal-leri arasından geçen akım i ile gösterilmiştir. Gerilimin referans kutuplanması artı ve eksi işaretleriyle, akımın referans yönü ok işaretiyle gösterilmiştir. ^{Hesaplamalar sonucunda,} v 'nin değeri artı çıkarsa, 1 no.lu ucun gerilimi 2 no.lu ucun gerilim değerinden yüksek demektir (1 no.lu uçtan 2 no.lu uca gerilim düşmesi vardır). eğer v 'nin değeri eksi çıkarsa, 1 no.lu uçtan 2 no.lu uca gerilim yükselmesi var demektir; eğer i 'nin değeri artı çıkarsa, 1'den 2'ye artı yük akışı ya da 2'den 1'e elektron akışı var demektir; eğer i 'nin değeri eksi çıkarsa, 2'den 1'e artı yük akışı ya da 1'den 2'ye elektron akışı var demektir. Zıt kutuplu yüklerin ters yönde hareketleri aynı yönde elektrik akımı oluşturur.

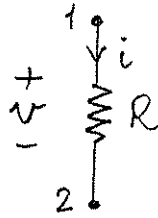
Devre elemanları üzerindeki akım ve gerilim yönleri rastgele seçilebilir. Bir kez bu seçim yapıldığında, devre analizi yapmak için gerekli eşitliklerin yazılmasında seçilen akım ve gerilim yönlerine sadık kalmak gerekir. Akım ve gerilim yönlerinin seçiminde kullanılan en yaygın yöntem "pasif işaret kuralı"dır.

Pasif İşaret Kuralı (passive sign convention)

Devre elemanı üzerindeki referans gerilim düşmesi ile devre elemanı içinden geçen akımın referans yönü aynı yönde seçilirse, devre elemanının akım ve gerilim ilişkisini tanımlayan matematiksel ifade için artı işaret kullanılır. Tersi durum için ifadenin işareti eksi olur.

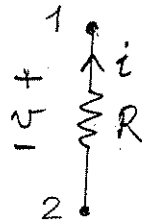
Bu ders kapsamındaki tüm çözümlerde pasif işaret kuralı uygulayacağız. Şekil 1.5'deki devre elemanı için seçilen referans akım ve gerilim yönleri pasif işaret kuralına uygundur. Şekil 1.6(a)'da akımın referans yönü gerilim düşmesi yönünde (1'den 2'ye doğru); Şekil 1.6(b)'de akımın yönü gerilim yükselmesi yönünde (2'den 1'e doğru) seçilmiştir.

Örneğin, bir direnc üzerindeki akım-gerilim ilişkisinin (Ohm yasası) artı işaretli olarak (yani $v = Ri$) kullanılabilmesi için akım ve gerilimlerin referans yönleri Şekil 1.6(a)'da gösterildiği gibi seçilmelidir. Referans yönlerin ters seçilmesi durumunda $v = -Ri$ ifadesi kullanılmalıdır.



$$v = Ri$$

(a)



$$v = -Ri$$

(b)

Şekil 1.6 Pasif işaret kuralının uygulanması.

Pasif işaret kuralı, temel devre elemanının türüne ya da diğer temel devre elemanları ile bağlantı türüne göre değişmez; her zaman aynı şekilde uygulanır. Bu kural güç hesaplamaları ile ilgili paragrafta tekrar ele alınacaktır.

ideal temel devre elemanı ifadesindeki "ideal" kelimesi, temel devre elemanının gerçekleştirilebilir bir fiziksel bileşen (realizable physical

component) olmadığını belirtmek için kullanılmıştır. "ideal" kelimesi, devre elemanı üzerindeki akım ve gerilimin kesin bir matematiksel ilişki ile tanımlanabileceğini belirtir. ideal temel devre elemanları, fiziksel sistemlerin devre modellerinin kurulmasında temel yapı taşları olarak kullanılırlar, fakat kendileri başka tür elemanlar ile modellenemezler.

1.5. Güç ve Enerji (power and energy)

Elektrik sistemlerinin faydalanılabilen çıkışları genellikle elektriksel olmayan enerji türündendir (ısı, ışık, mekanik enerji gibi). Bu durumlarda, sistem çıkışlarının güç ve enerji türünden ifade edilmesi uygun olur. (2000 watt'lık elektrik sobası, 100 watt'lık ampul, 300 watt'lık hopartör gibi güç ifadesi ve 5000 watt-saat'lik enerji tüketimi gibi). Ayrıca, elektrik aygıtlarının ve öğelerinin dayanabileceği güç sınırları vardır. Bu sınırların üzerine çıktığında aygıtlar ve öğeler bozulurlar. Bu nedenlerle, devre çözümlerinde ve devre tasarımlarında sadece akım ve gerilimin hesaplanması yeterli değildir; güç ve enerji hesaplamalarına da gereksinim duyulur.

Şimdi güç ve enerjinin gerilim ve akım türünden ve pasif işaret kuralına göre nasıl tanımlandığını inceleyelim.

Güç (power)

Güç, enerjinin akış hızını tanımlar.

Matematiksel olarak birim zamandaki enerji türevsel biçimde şöyle ifade edilir :

$$P = \frac{dw}{dt}$$

(1.3)

Burada ,
 p : güç (watt)
 w : enerji (joule)
 t : zaman (saniye)

Eşitlik (1.3)'den, $1 \text{ watt} = 1 \text{ joule / saniye}$ olduğu görülür.

Elektrik akımı ile oluşan güç, elektrik yüklerinin hareketi ile ilgili olan gerilim ve akım türünden ifade edilebilir. Eşitlik (1.3) aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$p = \frac{dw}{dt} = \left(\frac{dw}{dq} \right) \left(\frac{dq}{dt} \right) = v i \quad (1.4)$$

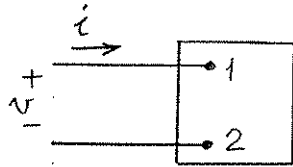
$$= \left(\frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} \right) \left(\frac{\text{coulomb}}{\text{saniye}} \right) = \frac{\text{joule}}{\text{saniye}} = \text{watt}$$

Burada, p : devre elemanının ürettiği ya da tükettiği güç (watt türünden)
 v : devre elemanı üzerindeki gerilim (volt türünden)
 i : devre elemanı içinden geçen akım (amper türünden)

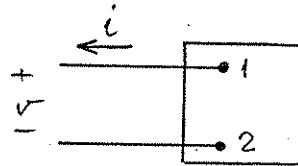
Böylece, bir devre elemanının ürettiği ya da tükettiği gücü, devre elemanı üzerindeki gerilim ve akımın çarpımı türünden ifade edebiliyoruz.

Bir devre elemanının güç ürettiğini ya da tükettiğini söyleyebilmek için "pasif işaret kuralı"nu uygulamak ve işlem sonunda elde edilen güç değerinin cebirsel işaretini incelemek gerekir.

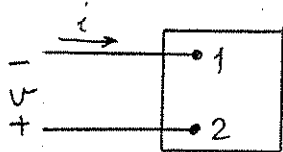
Şekil 1.6'da gücün akım ve gerilim türünden ifadesi, devre elemanı üzerinde seçilen gerilim ve akım referans yönlerine göre verilmiştir.



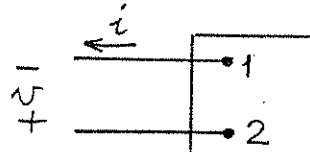
$$(a) \quad p = v i$$



$$(b) \quad p = -v i$$



$$(c) \quad p = -v i$$



$$(d) \quad p = v i$$

Şekil 1.6 Referans gerilim ve akım yönleri ve güç ifadesi.

Pasif işaret kuralına uygun olarak yapılan güç hesaplamaları sonucunda elde edilen güç değerinin cebirsel işareti aşağıdaki şekilde yorumlanır:

- Güç artı değerli ise ($p > 0$), devre elemanı güç tüketiyor.
- (yani kutu içindeki devreye güç veriliyor) demektir.
- Güç eksi değerli ise ($p < 0$), devre elemanı güç üretiyor (yani kutu içindeki devreden güç veriliyor) demektir.

Örneğin, referans yönleri Şekil 1.6 (a)'daki gibi seçtiğimizde, gerilim akım değerlerinin hesaplamalar sonucunda

$$v = -10 \text{ V} \quad \text{ve} \quad i = -4 \text{ A}$$

olarak elde edildiğini varsayalım. 1 ve 2 no.lu uçlara bağlı devre elemanı üzerindeki güç

$$p = v \cdot i = (-10)(-4) = 40 \text{ W}$$

Elde edilen gücün işareti artı olduğu için bu devre elemanının güç tükettiği sonucuna varılır.

Aynı devre elemanı üzerindeki gücü bir kez de Şekil 1.6(b)'deki referans yönlerine göre hesaplayalım. Bu durumda, gerilim ve akım değerleri

$$v = -10 \text{ V} \quad \text{ve} \quad i = 4 \text{ A}$$

olarak elde edilir. Burada akım yönü gerilimin yükselme yönünde seçildiğinden, 1 ve 2 no.lu uçlara bağlı devre elemanı üzerindeki güç

$$p = -v \cdot i = -(-10)(4) = 40 \text{ W}$$

bulunur. Görüldüğü gibi her iki yöntem de aynı sonucu verir.

Bir devrede üretilen ve tüketilen güçlerin toplamı sıfıra eşittir:

$$\sum p = 0 \quad (1.5)$$

ya da

$$\text{üretilen toplam güç} = \text{tüketilen toplam güç} \quad (1.6)$$

Buna "enerjinin korunumu ilkesi (conservation-of-energy principle)" denir.

Enerji (energy)

Enerji zamanın işlevidir ve belirli bir süre içinde üretilen ya da tüketilen enerji matematiksel olarak gücün tümlevine eşittir:

$$w(t) = \int_0^t p dt$$

Enerjinin birimi "joule (J)" dir.

$$\begin{aligned} 1 \text{ joule} &= 1 \text{ watt} \cdot \text{saniye (Ws)} \\ &= (10^{-3} \text{ kW}) \left(\frac{1}{3600} \text{ saat} \right) \\ &= \frac{10^{-6}}{3.6} \text{ kWh} \end{aligned}$$

ya da

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ joule}$$

1.6 Uluslararası Birim Sistemi (International System of Units)

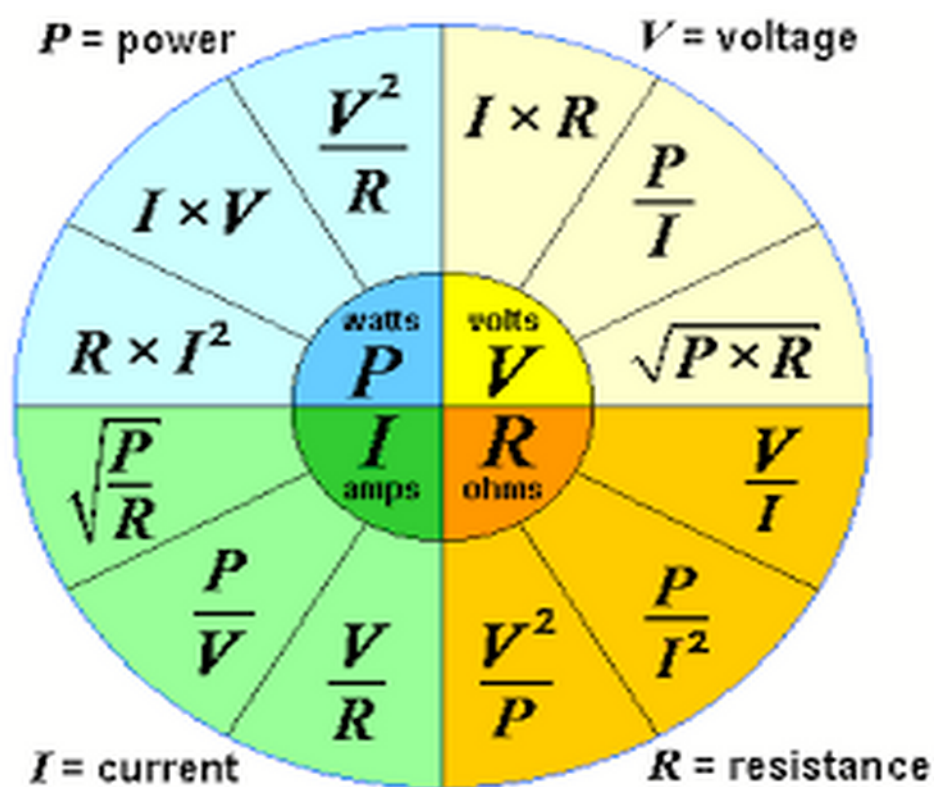
<u>Temel Nicelikler</u>	<u>Temel Birim</u>	<u>Sembol</u>
Uzunluk	Metre (meter)	m
Kütle	Kilogram (kilogram)	kg
Zaman	Saniye (second)	s
Elektrik akımı	Amper (ampere)	A
Termodinamik sıcaklık	Kelvin (Kelvin)	K
Aydınlatma şiddeti	Kandela (candela)	cd

<u>Türetilmiş Nicelikler</u>	<u>Temel Birim</u>	<u>Sembol</u>
Gerilim	Volt	V
Kuvvet	Newton	N
Güç	Watt	W
Enerji	Joule	J
Kapasitans	Farad	F
Endüktans	Henry	H
Elektrik yükü	Coulomb	C

Temel Birimlerin Alt ve Üst Katları

<u>Temel birime eklenecek önek</u>	<u>Sembol</u>	<u>Önekin ifade ettiği çarpan</u>
atto (atto)	a	10^{-18}
femto (femto)	f	10^{-15}
piko (pico)	p	10^{-12}
nano (nano)	n	10^{-9}
mikro (micro)	μ	10^{-6}
mili (milli)	m	10^{-3}
santi (centi)	c	10^{-2}
desi (deci)	d	10^{-1}
deka (deka)	da	10
hekto (hecto)	h	10^2
kilo (kilo)	k	10^3
mega (mega)	M	10^6
giga (giga)	G	10^9
tera (tera)	T	10^{12}

Örneğin, pF: pikofarad , mV : milivolt ; kW : kilowatt ,
MHz : megahertz , μ A : mikroamper , cm : santimetre gibi .



ÖRNEK:

(Nilsson, Prob 1.24)

artı(+) işaretli akım-gerilim ilişkisi kullanılacak şekilde,

- (a) Aşağıdaki devrede, hangi elemanlar üzerindeki akım ve gerilim referans yönlerinin, pasif işaret kuralına göre seçildiğini belirtiniz.
- (b) Akım ve gerilimlerin değerleri verildiğine göre devrede üretilen ve tüketilen toplam güçleri hesaplayınız.

$$v_a = 5V, i_a = 2A$$

$$v_b = 1V, i_b = 3A$$

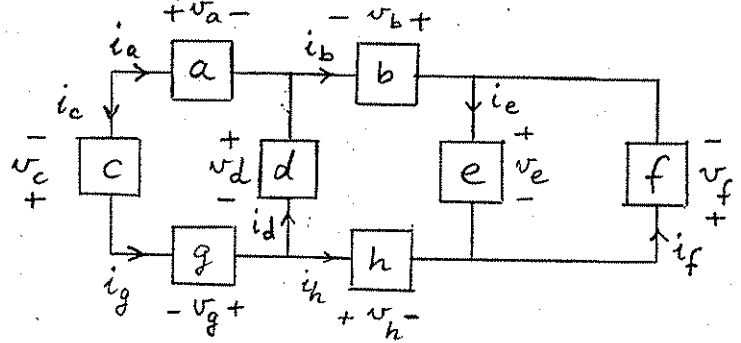
$$v_c = 7V, i_c = -2A$$

$$v_d = -9V, i_d = 1A$$

$$v_e = -20V, i_e = 5A$$

$$v_f = 20V, i_f = 2A$$

$$v_g = -3V, i_g = -2A; v_h = -12, i_h = -3A$$

**ÇÖZÜM:**

(a) a, e, f, h elemanları üzerindeki akım ve gerilim referans yönleri pasif işaret kuralına uygun olarak seçilmiştir.

(b)

$$\begin{aligned}
 P_a &= v_a i_a = (5)(2) = 10 \text{ W} && \text{tüketiliyor} \\
 P_b &= -v_b i_b = -(1)(3) = -3 \text{ W} && \text{üretiliyor} \\
 P_c &= -v_c i_c = -(7)(-2) = 14 \text{ W} && \text{tüketiliyor} \\
 P_d &= -v_d i_d = -(-9)(1) = 9 \text{ W} && \text{tüketiliyor} \\
 P_e &= v_e i_e = (-20)(5) = -100 \text{ W} && \text{üretiliyor} \\
 P_f &= v_f i_f = (20)(2) = 40 \text{ W} && \text{tüketiliyor} \\
 P_g &= -v_g i_g = -(-3)(-2) = -6 \text{ W} && \text{üretiliyor} \\
 P_h &= v_h i_h = (-12)(-3) = 36 \text{ W} && \text{tüketiliyor.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tüketilen toplam güç} &= \sum P_{(\text{tüketilen})} = P_a + P_c + P_d + P_f + P_h \\
 &= 10 + 14 + 9 + 40 + 36 = 109 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Üretilen toplam güç} &= \sum P_{(\text{üretilen})} = |P_b| + |P_e| + |P_g| \\
 &= 3 + 100 + 6 = 109 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Tüketilen toplam gücün üretilen toplam güce eşit olduğu görülmektedir.

ÖDEV:

(Nilsson, Prob. 1.25)

Bir elektrik devresi için elde edilen akım ve gerilim değerlerinin doğruluk kontrolünün yapılmasında uygulanan bir yöntem de devrede üretilen ve tüketilen toplam güçlerin eşit olup olmadığının kontrol edilmesidir. Aşağıdaki devrede devre elemanları üzerindeki akım ve gerilim referans yönleri ve değerleri verilmiştir. Üretilen ve tüketilen toplam güçleri hesaplayarak eşit olup olmadıklarını belirtiniz.

$$v_a = 160 \text{ V}, i_a = -10 \text{ A}$$

$$v_b = -100 \text{ V}, i_b = 20 \text{ A}$$

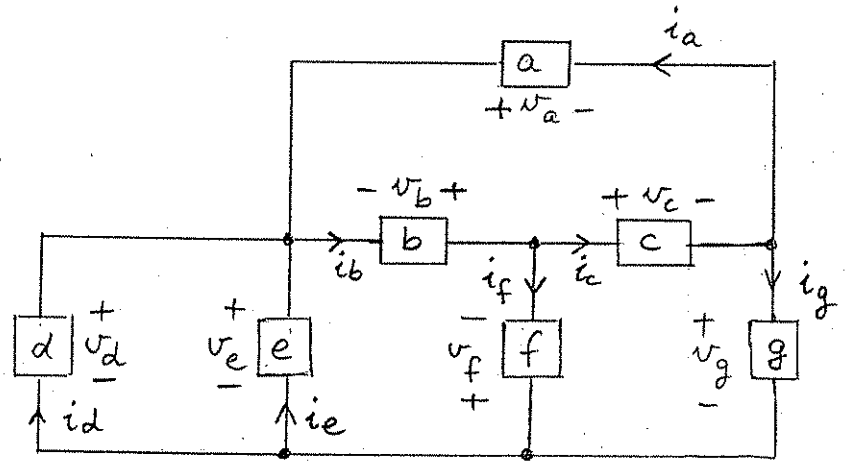
$$v_c = 60 \text{ V}, i_c = 6 \text{ A}$$

$$v_d = 800 \text{ V}, i_d = 50 \text{ A}$$

$$v_e = 800 \text{ V}, i_e = -20 \text{ A}$$

$$v_f = -700 \text{ V}, i_f = 14 \text{ A}$$

$$v_g = 640 \text{ V}, i_g = 16 \text{ A}$$



Sonuç: $P_{\text{tük}} = P_{\text{ür}} = 40 \text{ kW}$

2. DEVRE ELEMANLARININ TANIMI

Beş ideal temel devre elemanının

1. Gerilim kaynakları
2. Akım kaynakları
3. Dirençler
4. Endüktörler
5. Kapasitörler

olduğunu Paragraf 1.4'de belirtmiştik. Temel devre analizi yöntemlerini ilk üç elemanı içeren devreler üzerinde incelemeye başlayacağız.

Endüktör ve kapasitör içeren devrelerin ^{zaman alanındaki çözümleri} türevsel ve tümevsel eşitliklerin çözümünü gerektirlerinden ve temel yöntemlerin basit elemanlarda ve basit matematiksel işlemlerle daha kolay öğrenileceğinden, endüktör ve kapasitör içeren devreler ileriki çalışmalara bırakılmıştır.

dolmakta olan bir akümülatör ise elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürür.

2.1. Gerilim ve Akım Kaynakları (voltage and current sources)

Genel olarak, bir elektriksel kaynak, elektriksel olmayan bir enerjiyi elektrik enerjisine ya da tersine dönüştürebilen bir aygittir.

Örneğin, deşarj olan (boşalmakta olan) bir akümülatör ya da pil kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür; Örneğin, dinamo mekanik enerjiyi elektrik enerjisine ya da tersine dönüştüren bir aygittir. Eğer dönüşüm mekanik enerjiden elektrik enerjisi elde edilmesi yönünde ise, buna üretici (generator) denir. Eğer dönüşüm tersi yönde ise (yani elektriksel enerjiden mekanik enerji elde ediliyorsa), buna elektrik motoru denir. Elektriksel kaynakların iki yönde enerji dönüşümü yapabilmeleri, bu kaynakların elektriksel güç verebildiklerini (deliver power) ya da çekebildiklerini (absorb power) ifade eder.

uygulamada, elektrik kaynakları ya sağladıkları gerilimi ya da sağladıkları akımı korumaya yöneliktirler. Uygulamadaki kaynakların bu davranışları "ideal gerilim kaynağı" ve "ideal akım kaynağı" olarak adlandırılan ideal temel devre elemanlarının tanımlanmasına yol açmıştır.

Gerilim ve akım kaynakları da kendi içlerinde "bağımsız" ve "bağımlı" olmak üzere iki türe ayrılırlar.

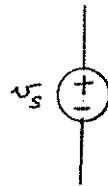
Bağımsız kaynaklar, içinde buldukları devrenin herhangi bir yerindeki akım ya da gerilim değerine bağımlı olmayan kaynaklardır.

Bağımlı kaynaklar ise, içinde buldukları devrenin bir yerindeki akım ya da gerilim değerine bağımlı olan kaynaklardır.

İdeal bağımsız gerilim kaynağı (ideal independent voltage source)

Üzerinden geçen akımın değerine bağılı olmaksızın uçları arasında belirli değerlerde gerilim veren bir devre elemanıdır. İçinden geçen akımın belirli bir değerde ya da sıfır olması durumunda da ideal bağımsız gerilim kaynağı, uçları arasında belirtilen değerdeki gerilimi üretmeye devam eder. Şekil 2.1'de gösterilen devre sembolü üzerinde kaynağın sağladığı gerilim değeri v_s ile, gerilimin referans kutuplanma yönü ise daire içindeki artı ve eksi işaretleriyle tanımlanır.

Yani, bir ideal bağımsız gerilim kaynağının uçları arasındaki gerilim, kaynağın içinden geçen akımın işlevi değildir.



Şekil 2.1 İdeal bağımsız gerilim kaynağının devre sembolü.

Burada Video-4 (Pil-DC gerilim kaynağı) gösterilecek

İdeal bağımsız akım kaynağı (ideal independent current source)

Üzerinde oluşan gerilimin değerine bağılı olmaksızın uçları arasından belirli değerlerde akım veren bir devre elemanıdır. Uçları arasındaki gerilimin belirli bir değerde ya da sıfır olması ideal bağımsız akım kaynağının sağladığı akımı etkilemez. Yani, uçları arasından geçen akım uçları arasındaki gerilimin işlevi değildir. Şekil 2.2'de gösterilen devre sembolü üzerinde kaynağın sağladığı akım i_s ile, akımın referans yönü ise daire içindeki ok işareti ile tanımlanır.

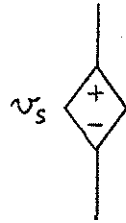


Şekil 2.2 İdeal bağımsız akım kaynağının devre sembolü.

İdeal bağımlı gerilim kaynağı (ideal dependent or controlled voltage source)

İdeal bağımlı gerilim kaynağı, uçları arasındaki gerilimi devrenin bir başka yerindeki gerilim ya da akım değerine bağlı olan devre elemanıdır.

İdeal bağımlı gerilim kaynakları gerilim denetimli (voltage controlled) ya da akım denetimli (current controlled) olmak üzere iki türe ayrılırlar. Bağımlı kaynakların devre sembolleri eşkenar dörtgen şeklindedir. Şekil 2.3'de devre sembolü gösterilen ideal bağımlı gerilim kaynağının sağladığı gerilim değeri v_s ile, gerilimin referans kutuplanma yönü ise eşkenar dörtgen içindeki artı ve eksi işaretleri ile tanımlanır.



Şekil 2.3 İdeal bağımlı gerilim kaynağının devre sembolü.

İdeal bağımlı gerilim kaynağının sağladığı gerilim değeri, gerilim kontrollü ya da akım kontrollü oluşuna göre sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilir:

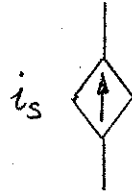
$$v_s = \mu v_x \quad \text{ya da} \quad v_s = \rho i_x$$

Burada, v_x ve i_x kontrol değişkenini tanımlar; μ ve ρ sabit çarpanlardır. μ boyutsuzdur, ρ volt/amper (ya da ohm) türündendir.

Bağımsız ya da bağımlı bir gerilim kaynağının uçları arasından geçen akım ile kaynağın sağladığı gerilim arasında hiç bir bağıntı yoktur.

İdeal bağımlı akım kaynağı (ideal dependent or controlled current source)

İdeal bağımlı akım kaynağı, uçları arasındaki akıma devrenin bir başka yerindeki gerilim ya da akım değerine bağlı olan devre elemanıdır. İdeal bağımlı akım kaynakları da gerilim denetimli ve akım denetimli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Devre sembolü Şekil 2.4'de gösterilen ideal bağımlı akım kaynağının sağladığı akım değeri i_s ile, akımın referans yönü ise eşkenar dörtgen içindeki ok işareti ile tanımlanır.



Şekil 2.4 İdeal bağımlı akım kaynağının devre sembolü.

KAYNAK: Devre Teorisi Ders Notları (2005)-Yrd.Doç.Dr. Demir ÖNER (istanbul Üni.)

İdeal bağımlı akım kaynağının sağladığı akım değeri, gerilim kontrollü ya da akım kontrollü oluşuna göre sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$i_s = \alpha v_x \quad \text{ya da} \quad i_s = \beta i_x$$

Burada, v_x ve i_x kontrol değişkenini tanımlar; α ve β sabit çarpanlardır. β boyutsuzdur, α amper/volt (ya da mho) türündendir.

Bağımsız ya da bağımlı bir akım kaynağının uçları arasındaki gerilim ile kaynağın sağladığı akım arasında hiç bir bağıntı yoktur.

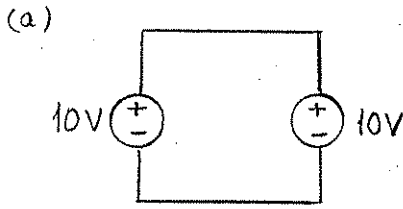
Bağımsız kaynaklar özellikle elektronik devre öğelerinin (transistör gibi) devre modellerinin elde edilmesinde kullanılır.

Gerek bağımsız gerekse bağımlı kaynaklar elektrik enerjisi üreten aygıtların devre modelleri olduğundan bunlara aktif elemanlar (active elements) da denir. Diğer üç temel devre elemanı (direns, endüktör, kapasitör) elektrik enerjisi üretmedikleri için bunlar pasif elemanlar (passive elements) olarak bilinirler.

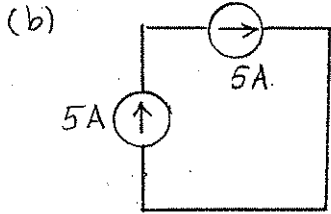
Aşağıdaki örnek, ideal bağımsız ve bağımlı kaynakların özelliklerinin kaynakların bağlantı biçimlerine nasıl sınırlama getirdiklerini açıklar.

ÖRNEK:

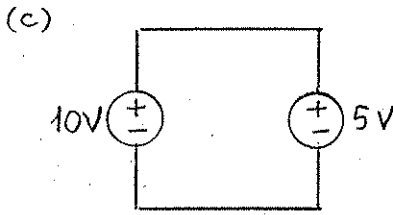
İdeal bağımsız ve bağımlı akım ve gerilim kaynaklarının özelliklerinden yararlanarak aşağıdaki bağlantıların hangisinin tanımlara uyg hangisinin tanımlara aykırı olduğunu nedenleriyle açıklayınız.



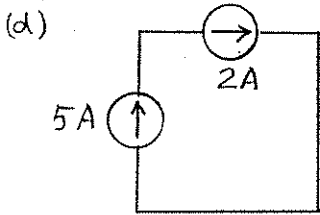
Uygun ✓ Çünkü her iki kaynak gerilimi de aynı değerde.



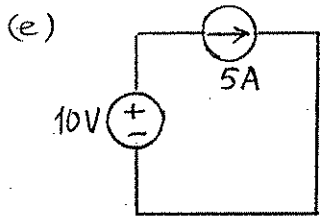
Uygun ✓ Çünkü her iki kaynak akımı da aynı değerde.



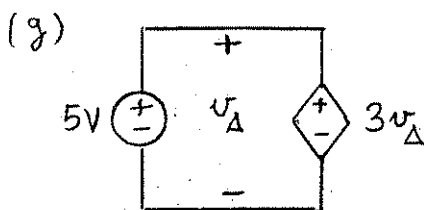
Uygun değil ! Çünkü kaynak gerilimleri farklı değerlerde. İki nokta arasındaki gerilimin hem 10V hem de 5V olması olanaksız.



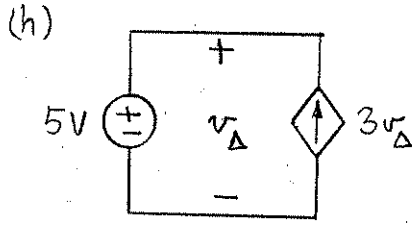
Uygun değil ! Çünkü kaynak akımları farklı değerlerde. Devre içinde bir noktadan geçen akım hem 5A hem de 2A olamaz.
aynı anda



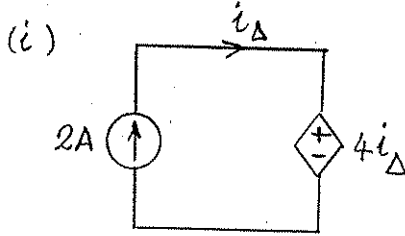
Uygun ✓ Çünkü ideal gerilim kaynağının üzerindeki gerilim içinden geçen akımın değerine bağlı değildir. Aynı zamanda ideal bir akım kaynağının akımı üzerindeki gerilim değerine bağlı değildir.



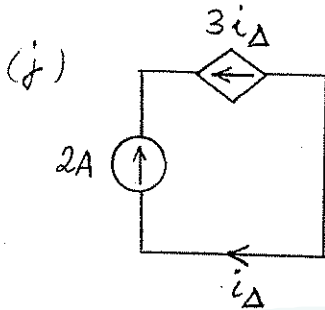
Uygun değil ! Çünkü gerilim kaynakları farklı değerlerde. v_A gerilimi hem 5V hem de 15V değerinde olamaz.
aynı anda



Uygun ✓ Çünkü bir ideal bağımsız gerilim kaynağının gerilimi, içinden geçen akımdan bağımsızdır ve bir ideal bağımlı akım kaynağının akımı, üzerindeki gerilime bağlı değildir.



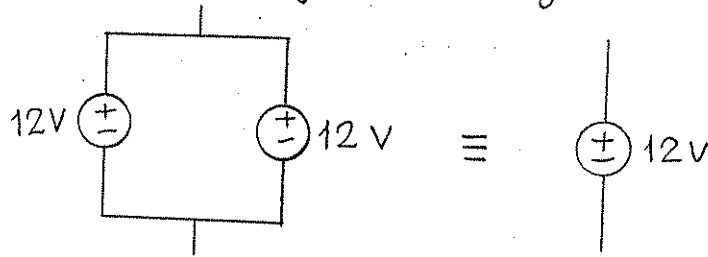
Uygun ✓ Çünkü bir ideal bağımsız akım kaynağının akımı, üzerindeki gerilime bağlı değildir ve bir ideal bağımlı gerilim kaynağının içinden geçen akım, kaynağın gerilimini etkilemez.



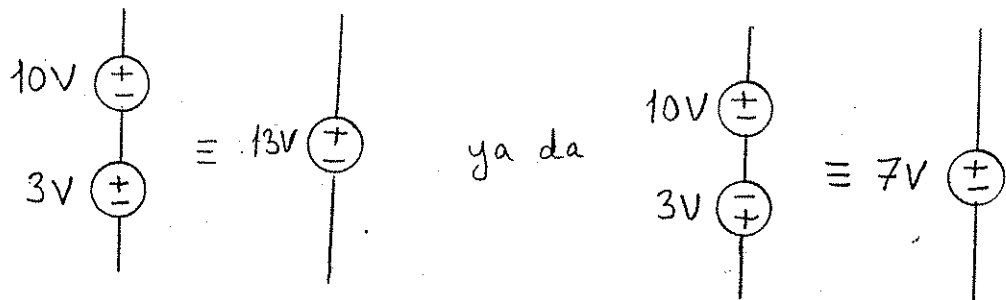
Uygun değil! Akım kaynakları farklı değerlerde. i_{Δ} akımı hem 2A hem de 6A olamaz. aynı anda.

İdeal kaynakların bağlanmasına ilişkin bazı kurallar

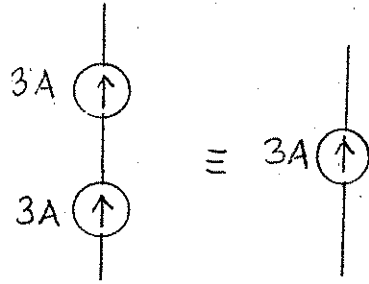
1. Ancak aynı değerdeki ideal gerilim kaynakları kutuplanmaları aynı yönde olacak şekilde paralel bağlanabilir. Örneğin,



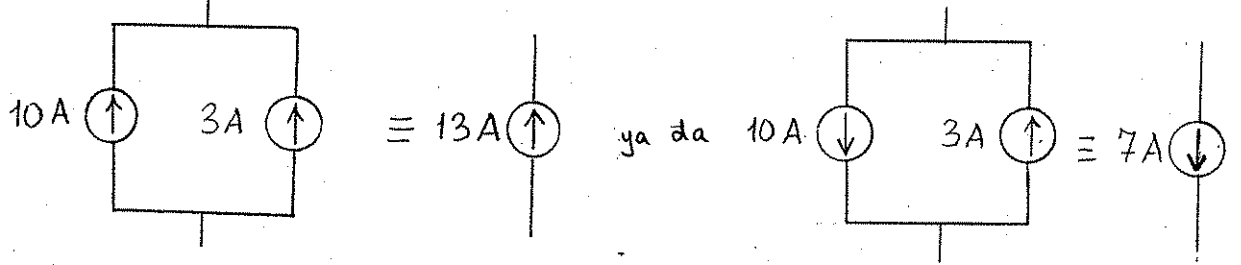
2. Farklı değerlerdeki ideal gerilim kaynakları aynı kutuplanma yönünde ya da ters kutuplanma yönünde seri bağlanabilir. Örneğin,



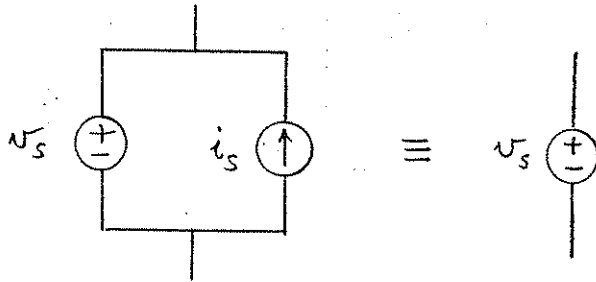
3. Ancak aynı değerdeki ideal akım kaynakları aynı yönde akım sağlayacak şekilde seri bağlanabilir. Örneğin,



4. Farklı değerlerdeki ideal akım kaynakları aynı yönde ya da ters yönde paralel bağlanabilir. Örneğin,

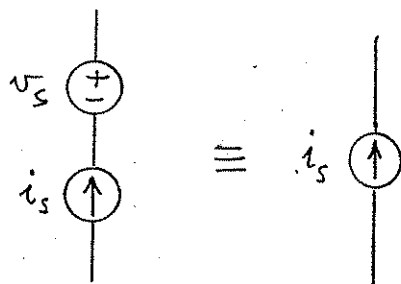


5. Bir ideal akım kaynağıyla bir ideal gerilim kaynağı paralel bağlanabilirler. Ancak bu durumdaki ideal akım kaynağının devrenin geri kalanı üzerinde hiç bir etkisi yoktur. Örneğin,



Bu sadeleştirme, devrenin geri kalanı üzerinde akım, gerilim ve güç hesaplamaları yapmak için geçerlidir.

6. Bir ideal akım kaynağıyla bir ideal gerilim kaynağı seri bağlanabilirler. Ancak bu durumdaki ideal gerilim kaynağının devrenin geri kalanı üzerinde hiç bir etkisi yoktur. Örneğin,



Bu sadeleştirme, devrenin geri kalanı üzerinde akım, gerilim ve güç hesaplamaları için geçerlidir.

2. Direnç (R) (resistance)

Maddelerin elektrik yükü akımına karşı gösterdikleri direnme özelliği "direnç" olarak tanımlanır.

Günlük yaşamımızda kullandığımız bir çok elektrikli aygıt elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürmektedir. Bunlar arasında, elektrikli sobası, ütü ve tost makinesi en çok karşılaşılan örneklerdir. Bu tür aygıtlar, metaller içinden elektrik yükü akması sonucunda ısı enerjisinin ortaya çıkmasından yararlanırlar. Yük akışı ne kadar fazla ise ortaya çıkan ısı enerjisi de o derece fazla olur. Bakır ve alüminyum gibi metallerin bu davranışları, maddenin elektrik yükü akımına karşı direnç göstermesi olarak bilinir. Bu davranışı modellemek için kullanılan devre modeline "direnç (resistor)" adı verilir. Dirençin devre modeli ve R ile tanımlanan direnç değeri Şekil 2.5 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Değeri R olan dirençin devre sembolü.

İçinden elektrik akımı geçen bir maddenin direnç değeri aşağıdaki bağıntı ile belirlenir:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

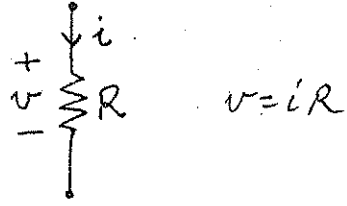
ρ : maddenin özgül direnci (ohm-m)

l : maddenin uzunluğu (m)

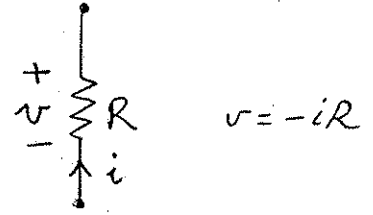
A : maddenin kesit alanı (m^2)

R : direnç değeri (resistance), (ohm)

Devre çözümü yapabilmek için devredeki dirençler üzerindeki akım ve gerilimler için referans yönler tanımlamamız gerekir. Bunun için pasif işaret kuralını uygulayabiliriz. Direnç üzerindeki akım ve gerilimin referans yönleri Şekil 2.6 'da gösterilmiştir. Akım ya da gerilim referans yönlerinden biri rastgele seçildikten sonra diğerinin yönü yapılan seçime göre belirlenir.



(a) Akım referans yönünün gerilim düşmesi yönünde alınması (akım yönünün gerilimin artı ucundan girecek şekilde seçilmesi)



(b) Akım referans yönünün gerilim yükselmesi yönünde alınması (akım yönünün gerilimin eksi ucundan girecek şekilde seçilmesi)

Şekil 2.6 Direnç üzerindeki akım ve gerilim referans yönlerinin seçilmesi

Direnç üzerinde oluşan gerilim ile direnç içinden geçen akım arasındaki ilişki Şekil 2.6 (a) için

$$v = iR \quad (2.1)$$

Şekil 2.6 (b) için

$$v = -iR \quad (2.2)$$

dir. Genellikle Şekil 2.6(a) ve Eşitlik (2.1) tercih edilir. Bu eşitliklerde

v : direnç üzerindeki gerilim (volt)

i : direnç içinden geçen akım (amper)

R : direnç değeri (ohm)

dir. Direnç değeri R artı işaretlidir. Bazı devre modellerinde eksi işaretli direnç değerine (negative resistance) rastlanabilir. Bu tür aygıtlar enerji üreten kaynaklar içerirler. Biz bu dersde sadece artı değerli dirençleri ele alacağız.

Esitlik (2.1) ve (2.2), Alman fizikçisi George Simon Ohm tarafından 19. yüzyılda doğruluğu kanıtlandıktan sonra, "Ohm yasası" olarak bilinir.

OHM YASASI (Ohm's Law): (OY)

Bir direnç içinden geçen akım ile direnç üzerinde oluşan gerilim arasındaki cebirsel ilişkiyi tanımlar. $R=V/I$ $I=V/R$ $V=R.I$

Burada Video-5 (Ohm Kanunu) gösterilecek

Direnç birimi "ohm" olarak kabul edilmiştir ve bu birim için kabul edilen standard sembol omega (Ω)'dur.

İletkenlik (conductance)

Direnç değerinin evriğine (reciprocal) iletkenlik denir. İletkenliğin sembolü G ve birimi mho (ohm'un tersi) dir; mho'nun sembolü omeganın ters çevrilmiş olan Υ işaretidir. Örneğin, 8Ω 'luk bir dirençin iletkenliği $G=1/8=0.125$ mho ya da 0.125Υ 'dur.

İdeal dirençin önemli özellikleri

- (1) Direnç değeri sabittir; üzerindeki akım ya da gerilimin bir işlevi değildir. Doğrusal ve zamanla değişmeyen (linear time-invariant) özelliğe sahiptir.
- (2) Direnç "iki taraflı (bilateral)" bir devre elemanıdır. Üzerine uygulanan gerilimin yönü tersine çevrilirse, içinden geçen akımın yönü de tersine döner, ya da tersi durum. Tüm elektriksel öğeler "iki taraflı" değildir. İdeal temel pasif devre elemanları (dirençler, endüktörler, kapasitörler) iki taraflı elemanlardır.
- (3) Direnç bir "toplu eleman (lumped element)" dir; yani, uzaysal boyutlara ait bilgi içermez.

Direnç üzerinde oluşan gücün hesaplanması

Bir direnç üzerindeki güç, direnç üzerindeki gerilim ile direnç içinden geçen akımın çarpımına eşittir; Şekil 2.6(a)'daki akım ve gerilim referans yönleri için

$$p = v i \quad (2.3)$$

Şekil 2.6(b)'deki akım ve gerilim referans yönleri için

$$p = -v i \quad (2.4)$$

dir.

Esitlik (2.1)'deki $v = iR$ ifadesini Esitlik (2.3)'de yerine koyarsak,

$$p = vi = (iR)i = i^2R \quad (2.5)$$

ve Esitlik (2.2)'deki $v = -iR$ ifadesini Esitlik (2.4)'de yerine koyarsak,

$$p = -vi = -(-iR)i = i^2R \quad (2.6)$$

Esitlik (2.5) ve (2.6)'dan da görüldüğü gibi direnç üzerindeki güç daima artı işaretlidir. Bu da direnç üzerindeki akım ve gerilim yönlerine bağlı olmaksızın daima güç tükettiğini gösterir.

Direnç üzerinde tüketilen gücü direnç üzerindeki gerilim ve direnç değeri türünden elde etmek için güç ifadesinde $i = v/R$ ilişkisini yerine koymak yeterlidir. Böylece, direnç üzerindeki güç

$$p = \frac{v^2}{R} \quad (2.7)$$

olarak da ifade edilebilir. Ayrıca, Esitlik (2.6) ve (2.7)'deki güç ifadelerinde $R = 1/G$ ifadesini yerleştirirsek, direnç üzerinde tüketilen gücü direncin iletkenliği türünden aşağıdaki biçimlerde ifade edebiliriz.

$$p = \frac{i^2}{G} \quad (2.8)$$

ve

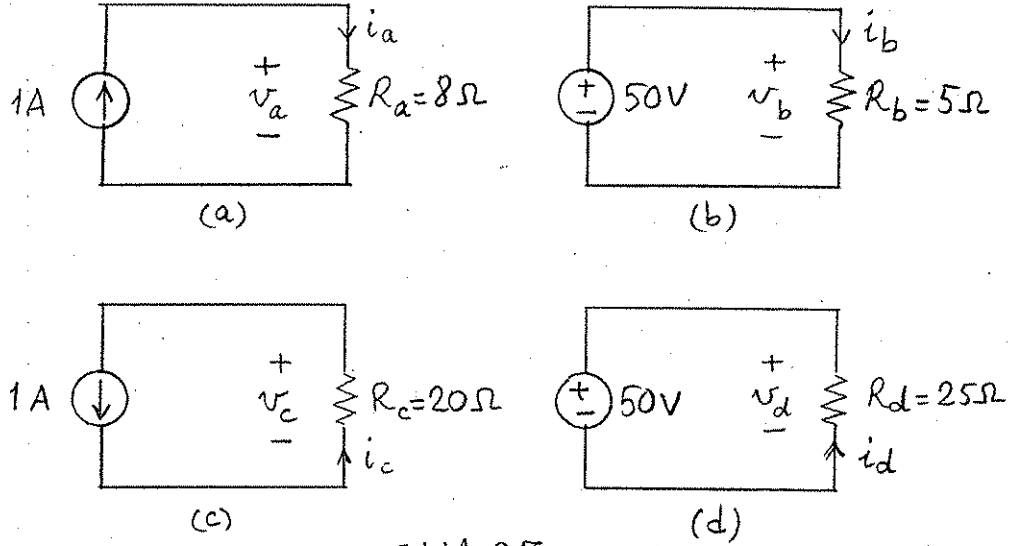
$$p = v^2 G \quad (2.9)$$

ÖRNEK:

Şekil 2.7'deki dirençler üzerindeki akım ya da gerilim değerleri verilmiştir.

(a) v_a , i_b , v_c ve i_d değerlerini bulunuz.

(b) Her direnç üzerinde tüketilen gücü hesaplayınız.



Şekil 2.7

Çözüm:

$$(a) \quad v_a = i_a R_a = (1)(8) = 8 \text{ V}$$

$$i_b = \frac{v_b}{R_b} = \frac{50}{5} = 10 \text{ A}$$

$$v_c = -i_c R_c = -(1)(20) = -20 \text{ V}$$

$$i_d = -\frac{v_d}{R_d} = -\frac{50}{25} = -2 \text{ A}$$

$$(b) \quad P_a = i_a^2 R_a = (1)^2(8) = 8 \text{ W}$$

$$P_b = i_b^2 R_b = (10)^2(5) = 500 \text{ W}$$

$$P_c = i_c^2 R_c = (1)^2(20) = 20 \text{ W}$$

$$P_d = i_d^2 R_d = (-2)^2(25) = 100 \text{ W}$$

Güç hesaplamaları için $p = v i$ ya da $p = \frac{v^2}{R}$ eşitlikleri de aynı kolaylıkla kullanılabilir.