

ELEKTRİK DEVRE TEMELLERİ

Elektrik Devresi: Geçitli devre elementlerinin uygun biçimde bağlanmasıyla elde edilen akım yoludur.

Akım: maddelerin yörüngeindeki elektronların sayılarına göre iletken, yarı iletken ve yalıtkan özellik gösterirler. iletken malzemelerde normalde hareketsiz duran serbest elektronlar devreye bir gerilim uygulanması sonucu oluşan elektrik alanının etkisiyle hareket ederler. Böylece elektrik akımı olusur. Elektrik akımı bir iletkenin herhangi bir kesitinden birim zamanda geçen yük miktarıdır.

$$I = \frac{q}{t} \rightarrow \begin{matrix} q & \rightarrow \text{kolomb} \\ t & \rightarrow \text{saniye} \end{matrix} \rightarrow \text{Amper}$$

Buna göre; bir iletkenin herhangi bir kesitinden 1 sn'de 1 C'luk yük geçerse akım değeri 1A olur.

$$1 \text{ kolumb} \bar{e} \text{ yükü} = 6,28 \cdot 10^{18} \bar{e}'\text{un toplam yük miktarı}$$

$$1 \bar{e} \text{ taşıdığı yük} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ kolumb}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A} \quad 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} \quad 1 \text{ KA} = 10^3 \text{ A}$$

→ Bir devredeki elektrik yük miktarı ve akım zamanla bağlı olarak değişiyorsa bu durumda akım yük miktarının değişim hızıyla orantılıdır.

$$I \rightarrow \text{sabit akım} \quad i(t) \rightarrow \frac{di}{dt}$$

$$i(t) \rightarrow \text{zamanla bağlı akım}$$

→ Elektrik akımının yönü; elektron hareket yönünün tersidir. (+ \rightarrow -)

$$\rightarrow R_i \approx 0$$

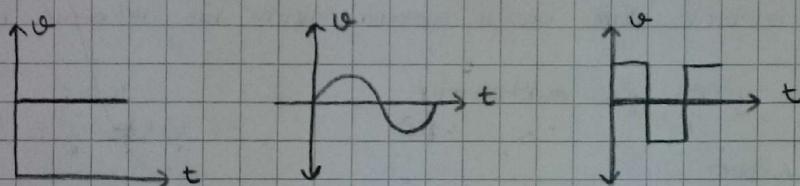
→ Ampermetre devreye seri bağlanır (ic direnci çok küçüktür.) Paralel bağlanırsa kısa devre akımını ölçeceğinden zarar görür, multimetre akım ve gerilim ölçer

Gerilim: Bir elektrik devresinde, elektrik alanı meydana getirip serbest elektronları harekete geçirerek elektrik akımını meydana getiren kuvvete gerilim denir. (potansiyel farklı)

$$U = \frac{W}{q} = \frac{\text{Enerji? (Joule)}}{\text{Elektrik yükü (coulomb)}} = \text{volt}$$

→ Bir elektrik devresinde 1 couomb'luk elektrik yükünden bir noktadan başka bir noktaya hareket ettirmek için gereken enerji 1J ise bu iki nokta arasındaki V (gerilim) 1V'tur.

→ Gerilim voltmetreyle ölçülür. Voltmetrenin iç direnci çok büyük olduğundan seri bağlanırsa açılıc devre gerilimini ölçer.



Enerji: iş yapabilme yeteneğidir. Bir işin yapılabilmesi için enerji harcanması gereklidir. Fırın, e. sobası, ütü gibi direnç, ızelligine sahip malzemeler elektrik energisini ısı enerjisine dönüştürür. Elektrik motorları ise elektrik energisini mekanik enerjiye çevirerek bir iş yapmış olur.

$$W = U \cdot q = I \cdot t \cdot U \quad (\text{volt, amper, saniye}) \\ (\text{Joule})$$

Güç: Birim zamanda yapılan işdir. Güçün büyüklüğü elektrik cihazının birim zamanda harcadığı enerjiyi veya yapacağı işi ifade ettiğinden önemlidir.

$$P = I \cdot U \quad P = \frac{W}{t} \quad (\text{watt})$$

1 watt çok küçük birimidir. Bu nedenle uygulamada watt saat, kWh kullanılır.

$$P(t) = U(t) \cdot I(t) \quad P(t) = \frac{dW}{dt}$$

Direnç: Elektrik devrelerinde bir iletkenin içinden geçen elektrik akımında gösterdiği zorluga direnç denir. Yapılan deneyler iletken bir telin direncinin iletkenin fiziksel boyutlarına, cinsine ve ortam sıcaklığına bağlı olduğunu göstermiştir.

$$R = f \cdot \frac{l}{S}$$

boy
kesit alanı
öz direnç

$$[\text{Ohm}] = \left[\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \right] \left[\frac{\text{m}}{\text{mm}^2} \right]$$

20°C oda sıcaklığı için (1m) birim uzunluk ve kesitle $[1\text{mm}^2]$

$$\rho_{\text{cm}} = 0,0178$$

$$K_{\text{cm}} = 56$$

$$\rho_{\text{ag}} = 0,016 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$$

$$K_{\text{ag}} = 62,5$$

$$\text{öz iletken } K = 1/\rho$$

$$\rho_{\text{al}} = 0,0285$$

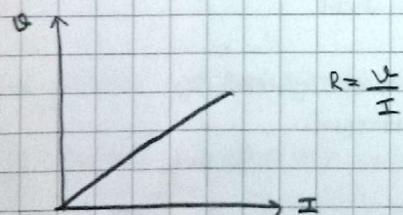
$$K_{\text{al}} = 35$$

$$\text{öz iletken } k = K (\text{m} / \Omega \text{ mm}^2)$$

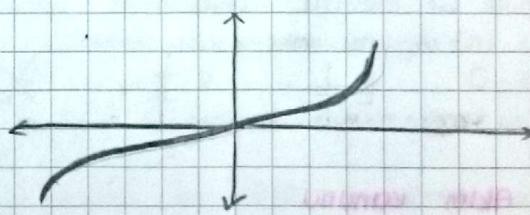
→ iletkenin direnci sıcaklıkla orantılı olarak artar. C elektroniklik iletkenlerde ve bazı metal alaşımaların direnci ise sıcaklıkla azalır.

→ Bir iletkenin uclarına uygulanan gerilimin üzerindeki geçen akıma oranı daima sabittir. Ve o iletkenin direncine eşittir.

OHM KANUNU:

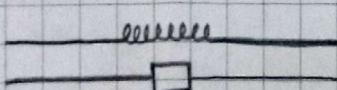


lineer direnç

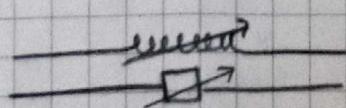


lineer olmayan direnç

(elektron tüpü, yan iletken diyon)



sabit değerli direnç



ayarlı direnç

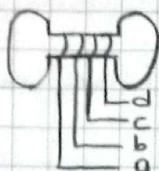
$$G_I = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad (\text{siemens } \Omega^{-1})$$

↓
kondüktans

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

$$\frac{1}{R} = \frac{I}{U}$$

- Direnç Özelliğine sahip elementler aldığıları enerjinin tamamını harcarlar (isit, isit..)
- Yüksek güçlü dirençler (wattlı direnç) devrelerde ısıkçı olarak kullanılır. Direnç değerleri düşük, güçleri ve çektiği akım büyük olup güçlü olmayan dirençler elektronik devrelerde kullanılır.



$$R = abc \times 10^c + \%d$$

$$R = abc \times 10^d + \%e$$

\curvearrowleft 5 renkli ise

Tolerans değeri verilmeyenlerde %20 alınır.

skakta

sayınam

gibi

		<u>c (karpım değeri)</u>
siyah	0	10^0
kahve	1	10^1
kırmızı	2	10^2
turuncu	3	10^3
sarı	4	10^4
yeşil	5	10^5
mavi	6	10^6
mor	7	10^7
gri	8	10^8
beyaz	9	10^9

d tolerans değeri

kırmızı - kırmızı - kırmızı

$$2,2 \cdot 10^2 \pm \%20$$

kahverengi - siyah - turuncu

$$\underline{10} \cdot 10^3 = 10.000 \Omega = 10 k\Omega$$

sarı - mor - kırmızı

$$\underline{47} \cdot 10^2 = 4700 \Omega = 4,7 k\Omega \pm \%20$$

Kirchoff Kanunu

Kapalı bir elektrik devresinde gerilimler toplamı 0'dır.

$$\Sigma U = 0$$

$$\Sigma U = 0 \quad E \frac{1}{T^-} + R \cancel{\downarrow} \quad \cancel{\times K} \quad \Sigma I gelen = \Sigma I giden$$

Akım Kanunu

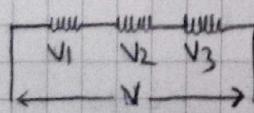
Bir elektrik devresinde bir düğüme giren ve çıkan akımların cebirsel toplamı 0'dır.

$$\Sigma I = 0$$

$$\Sigma I = 0$$

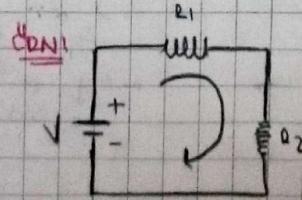
Direnç Bağlantıları

1) Seri Bağlantı:



$$I_1 = I_2 = I_3$$

gerilim bölgüsü devre = seri bağlı devre



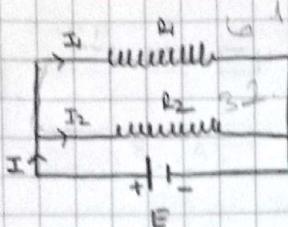
$$I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

$$V_{R1} = R_1 I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V$$

Kirman Sınav - 1. Yarıyıl V - mervit

26 N (D)

2) Paralel Bağlantı:



akım böülüü devre = paralel bağlı devre

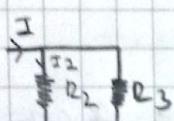
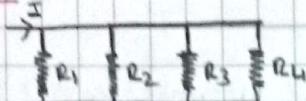
$$I = I_1 + I_2 \quad \text{R}_1 = \text{R}_2 = \dots \text{ise;}$$

$$\frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} \quad R_T = \frac{R}{n}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_{R1} = \frac{E}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I \rightarrow \text{akım böümme işlemi}$$

ÖRN:



$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I$$

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_T = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

= Direncde Gür ve Enerji İfadeleri =

$$P = U \cdot I = i \cdot R$$

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

$$W = P \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

$$P(t) = U(t) \cdot I(t)$$

$$W(t) = \int P \cdot dt$$

Dirençlerin hem seri hem de paralel

olarak bağlanmasıdır.

Hem dc hem uc gerilimler lineer

ÖRN:

300 wattlık gerilim altında, 2 saatte 2 kWh enerji tüketen bir elektrik sobasının direnci ve gectigi akim degeri?

dirence ait akim ve gerilim arasındaki ilişkisi sabittir. Bu nedenle güç (ani güç) daima pozitiftir, yani direnç aldığı enerjinin tamamını harcar.

$$20 \text{ kWh} = 20.000 \text{ Wh}$$

$$R = \frac{U^2 \cdot t}{W} = \frac{300^2 \cdot 2h}{20.000 \text{ Wh}} = 9 \Omega$$

$$I = \frac{U}{t} = \frac{300}{2} = 33,33 \text{ A}$$

ÖRN:

Yeşil, siyah, kırmızı renklerindeki bir dirence

100 volt gerilim uygulandığında gecen akım degeri ve harcanan güç = ?

$$R = 50,10^2 = 5000 \Omega = 5 k\Omega$$

$$100 = 5000 \cdot I$$

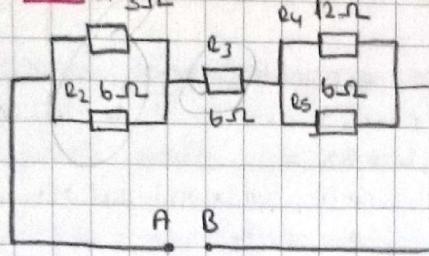
$$I = 20 \text{ mA}$$

$$P = I^2 \cdot R = (20 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 5 \cdot 10^3 \\ = 2 \text{ watt}$$

ATLAS

264

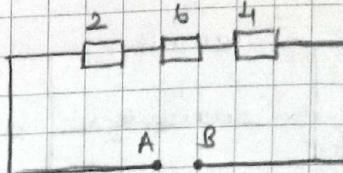
182

Soru:

Fekildeki devrede A-B uclarinda görülen esdeğer direnç?

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

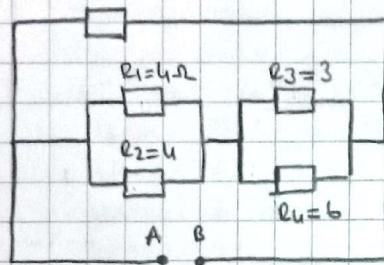
$$R_{p1} = 2\Omega, R_{p2} = 4\Omega$$



$$R_T = 2 + 6 + 4 = 12\Omega$$

Soru:

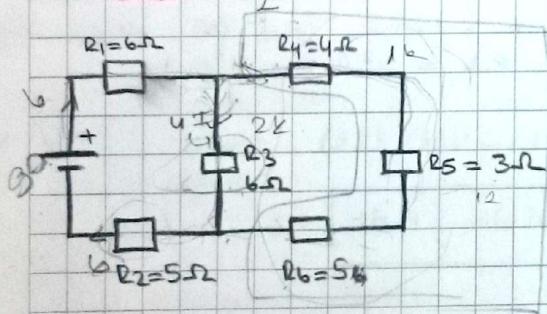
$$R_S = 12\Omega$$



A-B uclarinin esdeğer direnci? iletkenlik nedir? ($G = ?$)

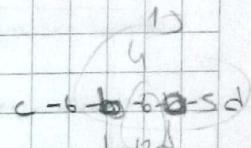
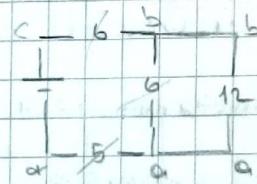
$$R_T = 3\Omega$$

$$G = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{3} \approx 0,33$$

Soru:

$$R_S = R_4 + R_5 + R_6 = 4 + 3 + 5 = 12\Omega$$

Devrede



$$A) \text{ Toplam direnç } \rightarrow 15$$

$$\frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12}$$

$$B) \text{ Toplam iletkenliği } \rightarrow \frac{1}{15}$$

C) Toplam devre akımını ve tüm elementlerin akımlarını,

D) Her bir elementin gerilimini bulunuz.

$$R_p = \frac{R_3 \cdot R_S}{R_3 + R_S} = 4\Omega$$

$$I_{R_1} = I_T = 6A$$

$$U_{R_1} = 36V$$

$$G_T = \frac{1}{R_T} \approx 0,0665$$

$$I_{R_2} = I_T = 6A$$

$$U_{R_2} = 30V$$

$$E = U_{R_1} + U_{R_2} + U_{AB}$$

$$\frac{90}{15} = 6A$$

$$U_{AB} = 90 - (36 + 30) = 24V$$

$$U_{R_3} = U_{AB} = 24V$$

$$I = I_{R_3} + I_3 = 6 + 4 = 10A$$

$$I_{R_3} = \frac{24}{6} = 4A$$

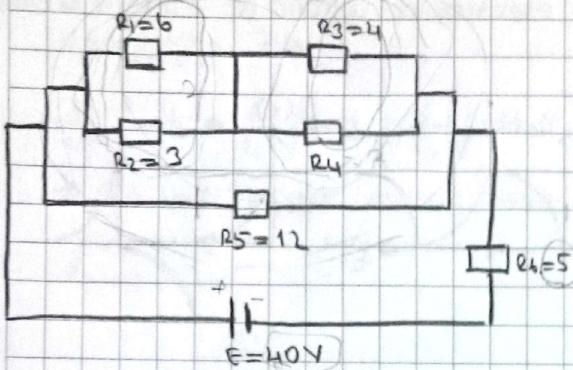
$$I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3} = 2A$$

$$U_{R_4} = 8V, U_{R_5} = 24V = 6V$$

$$U_{R_6} = 10V$$

$$U_{AB} = U_{R_4} + U_{R_5} + U_{R_6} = 10V$$

Soru:



Jekildeki devrede toplam devre akımı

5A ise R_4 direncinin değerini bulunur.

$$I_T = 5A$$

$$V = IR$$

$$I_4 = 5 \cdot R$$

$$R = 8$$

$$R_T = \frac{40}{5} = 8$$

$$3 \Omega = \frac{R_3 \cdot 12}{R_3 + 12} \Rightarrow R_3 = 4 \Omega$$

Kapasite: Elektrikle yükülü cisimlerin etrafındaki bölgeye elektrik alanı denir. Bu alanı kuvvet cızgileriyle gösterilir. Elektrikli alanın varlığı yükülü cisimlere yaptığı kuvvet etkisiyle anlaşılar. Coulomb kanunuyla belirtilen bu kuvvet yüklerin büyükliğinde doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. İletkenin yük miktarının ucları arasındaki gerilime orantılı "kapasite" denir ve pasite elektrik yükünü depolayabilme özelliğidir.

$$C = \frac{Q}{U} = \text{sabit}$$

$1 \text{nF} = 10^{-9} \text{F}$ $1 \text{pF} = 10^{-12} \text{F}$

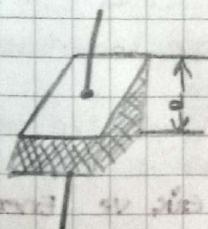
Farad

Kondansör: Elektrik alanı içinde uclarındaki gerilime orantılı elektrik energisini depo etme özelliğine sahip devre elementi.

Yalıtkan malzeme dielektrik (yalıtkanlık) sabiti $\rightarrow \epsilon$ (F/m)

İletken levha yüzeyi $\rightarrow S$ (m^2)

İletken levhalar arası mesafe $\rightarrow d$ (m)



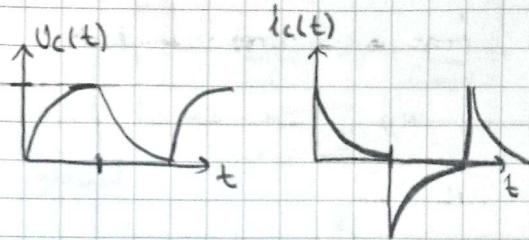
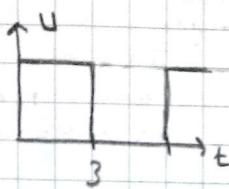
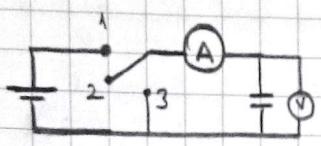
Malzemelerin bu değerleri çok küçük olduğundan bağılı dielektrik sabiti ($\epsilon_T = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$) kullanılır.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \text{ F/m} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} = 8,85 \text{ pF/m}$$

Yalıtkan
malzeme
 \uparrow
 \downarrow
 ϵ_0
boşluğun
mesafesi

Düzenli Akımda (DC) Kondansatörde Enerji Depolanması

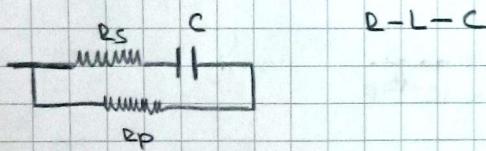
İletken malzemelerde son yörüngeleerde serbest elektronlar varolur. Bir elektrik akımı içinde hareket edip atomu terk edebilirler.



$$i(t) = C \cdot \frac{du}{dt}$$

Yük değişimi olduğu sürece devreden akım geçer. (sorg, desorg sırasında) fürekli hale geldildikten sonra açık devre haline gelir.

Ideal koşipsiz bir kondansatörde sorg edildikten sonra ısları açık devre edilmiş halinde yükü korur. Ancak uygulamada yalıttan malzeme içinden akın sınırlı nedenyle yük bozulur.



Kondansatörler elektrik ve elektronik devrelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

(Filtre, rezonans devreleri)

Bir kondansatör 2 parametreyle ifade ederiz. Kapasite
Maksimum gerilim değer.

Kağıt, mika, seramik, yağlı, elektrolitik (kutulu kondansatör, büyük kapasiteli kond.)

Gür ve Enerji =

$$P(t) = U(t) \cdot i(t) = C \cdot U \cdot \frac{dU}{dt} \quad P(+) \text{ enerji alıp depolar} \\ P(-) \text{ enerji devreye verilir}$$

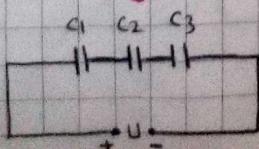
$$P = U \cdot \frac{dU}{dt}$$

$$W = \int_{-\infty}^t p(t) dt = \int_{-\infty}^t C \cdot U \cdot \frac{dU}{dt} dt = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2(t) \quad [\text{Joule}]$$

$$P = U \cdot C \cdot \frac{dU}{dt}$$

Kapasite Bağlantıları $W = \frac{1}{2} q(t) \cdot U(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2(t)}{C} \quad I = \frac{Q}{t} \quad Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n$

→ Seri Bağlantı:



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

$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad \text{veya}$$

$$\int C(t) dt = C \int u(t) dt = C \cdot \frac{du}{dt}$$

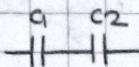
$$i_1(t) = i_2(t) = i_3(t)$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$U_T = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$\frac{1}{C_T} \int idt = \frac{1}{C_1} \int idt + \frac{1}{C_2} \int idt + \dots + \frac{1}{C_n} \int idt$$

→ Seri bağlı kapasite devresi gerilim bölgüsü devre olarak çalışır.

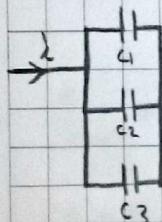


$$C_T = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad Q_T = C_T \cdot U = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot U$$

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_T}{C_1} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot U$$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q_T}{C_2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot U$$

→ Paralel Bağlantı:



$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

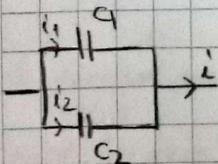
$$i_T = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n$$

$$C_T U = C_1 U + C_2 U$$

$$C_T \cdot \frac{du}{dt} = C_1 \cdot \frac{du}{dt} + C_2 \cdot \frac{du}{dt}$$

$$C_T = C_1 + C_2 + \dots$$

→ Paralel bağlı kapasite devresi akım bölgüsü devre olarak çalışır.



$$i_1 = C_1 \cdot \frac{du}{dt}$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{C_1 + C_2} \cdot i_T$$

$$i_T = i_1 + i_2 = (C_1 + C_2) \cdot \frac{du}{dt}$$

$$i_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot i_T \quad i_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot i_T$$

→ Karışık Bağlantı:

Devrenin toplam enerjisi



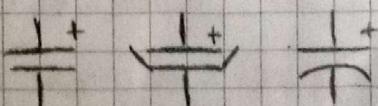
$$W_T = W_1 + W_2 + \dots + W_n$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q_T^2}{C_T}$$

$$W_T = \frac{1}{2} C_T \cdot U^2$$

$$(R_S \rightarrow 0, R_P = \infty)$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot Q_1 \cdot U$$



Kütüphane kondansatör

$$i(t) = C \frac{du}{dt}$$

$$Q = C \cdot U$$

500 μF yükselti kondansatörü $t=0$ anında $U(t) = 200 \sin 100t$ değerinde değişken gerilim uygulanmaktadır.

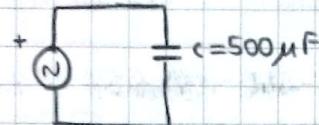
$$\rightarrow i(t) \rightarrow u(t) \rightarrow P(t)$$

$$P = I^2 \cdot R = U \cdot I$$

a) Elemanlara ait aktif, yük ve güç ifadelerini elde ediniz.

$$U = I \cdot R$$

b) $t_1 = 10ms$ $U_1 = ?$ $i_1 = ?$



$$i = C \frac{du}{dt} = 500 \cdot 10^{-6} \frac{d}{dt} (200 \sin 100t)$$

$$i = 10 \cdot \cos 100t \text{ (A)}$$

$$i = C \frac{du}{dt} = 500 \cdot 10^{-6} \frac{d}{dt} (200 \sin 100t)$$
$$= 500 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot \cos 100t$$

a)

$$Q(t) = C \cdot U(t) = 100 \cdot \sin 100t \text{ mC}$$

$$P(t) = U(t) \cdot i(t)$$

$$P(t) = 200 \cdot \sin 100t \cdot 10 \cdot \cos 100t$$

$$P(t) = 1000 \cdot \sin 200t \text{ (watt)}$$

$$G = C \cdot V = 500 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot \sin 100t$$
$$= 100 \sin 100t \text{ mC}$$

$$P(t) = 200 \sin 100t \cdot 10 \cdot \cos 100t$$

b) $U(t_1) = 200 \sin(100 \cdot 10 \cdot 10^{-3})$

$$U_1(t_1) = 168,3 \text{ V}$$

$$i(t) = 10 \cdot \cos(100 \cdot 10 \cdot 10^{-3})$$

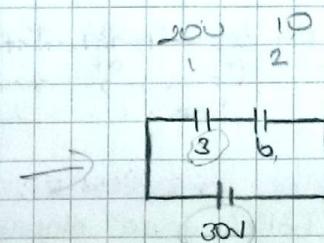
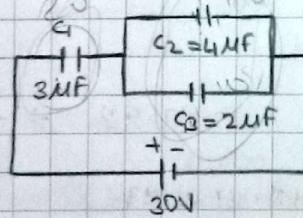
$$i(t) = 5,4 \text{ A}$$

$$P(t) = U(t) \cdot i(t)$$

$$P(t) = 200 \sin 100t \cdot 10 \cos 100t$$

$$= 1000 \sin 200t$$

SORU:



$$C_T = 4 + 2 = 6 \mu F$$

$$Q_T = V \cdot C_T = 30 \cdot 2 = 60 \mu C$$

$$C_T = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)^{-1} = 2 \mu F$$

$$V_1 = \frac{Q_T}{C_1} = \frac{60}{3} = 20 \text{ V}$$

$$V_2 = \frac{Q_T}{C_2} = \frac{60}{2} = 10 \text{ V}$$

$$Q_2 = V_2 \cdot C_2 = 10 \cdot 4 = 40 \mu C$$

$$Q_3 = V_3 \cdot C_3 = 10 \cdot 2 = 20 \mu C$$

$$V = I \cdot R$$

$$V = I \cdot R$$

$$Q = U \cdot C$$

$$20 \cdot 3 \cdot 10^{-6}$$

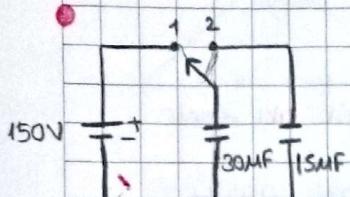
$$10 = \frac{2}{I} \cdot 5$$

$$Q_2 = U \cdot C$$

$$10 \cdot 4 \cdot 10^{-6}$$

$$Q_3 = 10 \cdot 2 \cdot 10^{-6}$$

Sınav Sorusu:

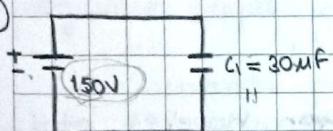


Kondansatörler başta

yüksürdürü. Anahatlar önce 1 konumuna alınıyor, C_1 yükleniyor, sonra 2 konumuna alınıyor.

Bu elementlerin yük durumu
ve gerilimi ne olur?

①

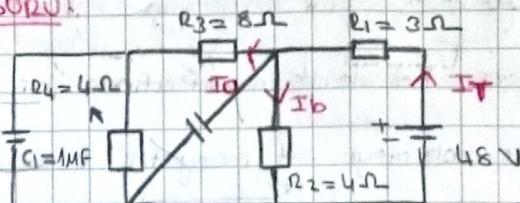


$$U_C = U_1 = 150V$$

$$Q_T = U \cdot C = 150 \cdot 30 = 4500 \mu C$$

50 150

Soru:



Sürekli halde tüm elementlerin akım
ve gerilim değerlerini bulunuz.

$$R_T = [(R_3 + R_4) // R_2] + R_1 = 6\Omega$$

$$I_T = \frac{48}{6} = 8A = I_{R_1}$$

$$I_{R_2} = \frac{(R_3 + R_4)}{(R_3 + R_4 + R_2)} \cdot I_T = 6A$$

$$I_{R_3} = 8 - 6 = 2A$$

$$V_{R_1} = 3 \cdot 6 = 24V$$

$$V_{R_2} = 4 \cdot 6 = 24V$$

$$V_{R_3} = 8 \cdot 2 = 16V$$

$$V_{R_4} = 4 \cdot 2 = 8V$$

$$C_1 \Rightarrow V_{C_1} = V_{R_4} \quad V_{C_1} = 8V \quad I_{C_1} = 0$$

$$C_2 \Rightarrow V_{C_2} = V_{R_4} + V_{R_3} = V_{R_2}$$

$$V_{C_2} = 24V \quad I_{C_2} = 0$$

(Sürekli hal olduğu için akımlar 0'dır.)

Enerji depolama

1) Kapasite enerjisi depolar, okik deute olur

2) Devrede kapasite (C) ve endüktans (L)

olması durumunda tüm elementlerin akım

ve gerilimlerinde geçici hal ve sürekli

hal bölgeleri mevcuttur. Yukarıdaki sonuçlar

büyükliklerin sürekli halde ulaşığı değerleri

gösterir.

* Anahatlar tekrar 1 konumuna alınıyor, C_1 yükleniyor ve sonra tekrar 2 konumuna alınıyor. Bu durumlarda gerilim ve yükleri bulunuz.

$$\textcircled{1} \quad 150V \quad c_1 = 30\mu F \quad Q_1 = C \cdot V = 4500 \mu C$$

(Değişen şey yük toplamlarıdır.)

$$\textcircled{2} \quad Q_1 + Q_2 = 4500 + 1500 = 6000 \mu C$$

$$V_1'' = V_2'' \quad \frac{Q_1''}{C_1} = \frac{Q_2''}{C_2}$$

$$\frac{Q_1''}{30} = \frac{6000 - Q_1''}{15} \quad Q_1'' = 4000 \mu C$$

$$Q_2'' = 2000 \mu C$$

$$V_1 = V_2 = \frac{Q_T}{C_T} = \frac{6000}{30+15} = 133V$$

Babin (L) (Endüktans):



Bir mıknatısın etkili olduğu bölgeye **manyetik alan** denir. İçinden akım geçen her iletkenin etrafında bir manyetik alan meydana gelir.

Bir malzemeye ait manyetik kuvvet çizgilerinin tamamına **manyetik akı** denir.

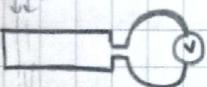
$$[\Phi \text{ (+)} \quad (\text{Vs} = \text{weber})]$$

Birim yüzeyden dik olarak geçen manyetik kuvvet çizgilerinin sayısına **manyetik akı yoğunluğu** denir.

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (\text{Manyetik akı yoğunluğu} = \text{Tesla})$$



Sabit manyetik alan içine konan bir iletken hareket etti-



rildiğinde iletkenin manyetik kuvvet çizgilerini kesmesi sonucu ilet-



kenin iki ucu arasında bir gerilim endüklenecektir. Bu gerilime **elektromanyetik endüksiyon** denir. Endüksiyonla elde edilen bu gerilime **elektromotor kuvvet (emk)** denir.

İletkeni sabit tutup manyetik alanı hareket ettirerek de bu emk'ı gerçekleştirebiliriz.

Alternatif akım transformatörler bu yolla çalışır.

Faraday kanunu göre $e = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$

\rightarrow elektromanyetik endüksiyonda oluşan gerilimin büyüklüğü

N sarımından oluşan bir iletkende emk'yi

$N \rightarrow$ sarım sayısı

meydana getiren akı (holikalma akısı)

$\frac{d\Phi}{dt} \rightarrow$ manyetik akı değişim hızı

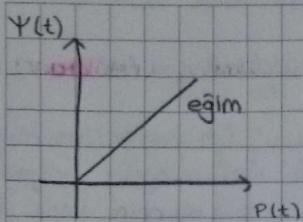
$$I(t) = N \cdot g(t) \quad e = \frac{d \cdot I}{dt}$$

Manyetik alan içinde endüklenen iletkenin iki ucu bir yük üzerinden bittesi-

tirilirse iletkenden bir akım akar. Akım yönü Lenz kanunu ile belirlenir. (sağ el)

Endüksiyon ile oluşan akım kendisini oluştururan manyetik alanındaki değişimlere

karşı kayacak yönedir. Endüklenen emk'nin yönü akımdaki değişimleri öne-
yecek yönedir.



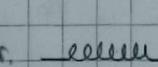
$$\frac{\Phi(t)}{I(t)} = \text{eğim} = L_{\parallel}$$

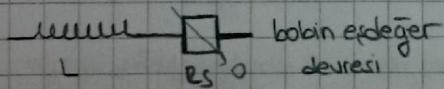
$\frac{[\text{Volt sn}]}{[\text{Amper}]}$ = henry
 $L = \text{kobinin degeri}$

\downarrow volt ve üst katları olabilir
(mikro vs.)

Endüktans, bir iletkendeki değişimlere karşı koyma karakteristigidir. Genel olarak endüktans bir devredede akının mevcut durumunu korumaya çalışır. Bu etkisi üzerinde endüktanen emk ile yazar lens kanununa göre bu emk'nin yönü içinde gelen akının değişimine engel olacak şekilde oluşturduğundan bu gerilime \pm emk de denir.

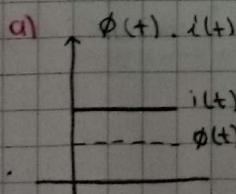
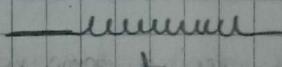
Bir iletkenden geçen akımda 1 sn'de 1A'luk değişimde olduğunda iletkende endüktanen gerilim 1V ise bu iletkenin endüktansı 1 Henry'dir.

Manyetik alanın siddetini artırmak için (endüktans etkisini artırmak için) iletkenler bobin şeklinde sıralırlar.  bobinden akım geçtiğinde etrafında ve her sarmıtı çevreleyen bir manyetik alan meydana gelir. Genişleyen cemberler şeklindeki manyetik kuvvet hatları bobindeki her sarmıtı keser ve dolayısıyla bir sarmadaki akı diger sarmaları da etkiler.

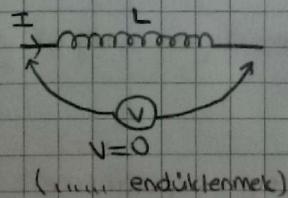


bolin esdeğer
devresi

ideal bobinde $R_s = 0$



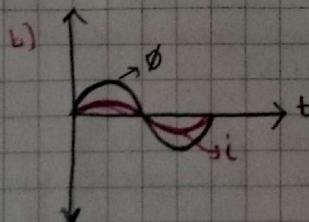
$I \rightarrow \text{sabit}$
 $\Phi \rightarrow \text{sabit}$



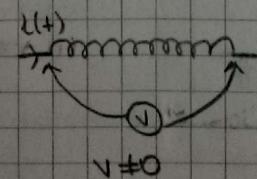
bolin hareketsiz

$I \rightarrow \text{sabit}$
 $\Phi \rightarrow \text{sabit}$

akım olmasına rağmen gerilim olmaz.
(sürekli halde)

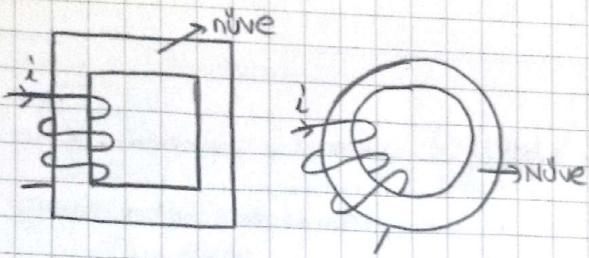


$I \rightarrow \text{değişken}$
 $\Phi \rightarrow \text{değişken}$



$I \rightarrow \text{değişken}$
 $\Phi \rightarrow \text{değişken}$

! Manyetik alanı güçlendirmek için iletkenler bir malzeme üzerine sıralırlar. iletkenin sıradığı malzemeye **Nüve (göbek)** denir.



Manyetik akının geçişine karşı malzemelerin

gösterdiği zorlukla manyetik direnç (relüktans) denir.

$$\text{Lm} \quad (1/N) \quad \text{Lm} = \frac{l}{M_s S} \quad (\rightarrow \text{növenin uzunluğu (m)})$$

$M_s \rightarrow$ manyetik gerilgenlik katsı
 $S \rightarrow$ növenin kesiti (H/m^2)

$$L = \frac{N^2}{\text{Lm}} \Rightarrow \frac{N^2 \cdot M_s \cdot S}{l} \quad (\text{Bobinin endüktansı})$$

$N \rightarrow$ Bobindesteki sarım sayısı

$M_s \rightarrow$ növenin manyetik gerilgenliği (H/m)

$S \rightarrow$ növenin kesiti (m^2)

$$M_r = \frac{M}{M_0} \rightarrow \text{növenin man. gerilgenliği (kimdir)}$$

$M_0 \rightarrow$ boşluğun man. ger.

$$L = M_r M_0 \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

$$M_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

\rightarrow boşluğun değeri

M_r çok küçük bir sayı olduğundan boşluğun referans alınır ve diğer malzemelerin gerilgenliğinin boşluğun konusunda olduğunu ifade eden bölgelere manyetik geç. kullanılır (M_r)

Bobinin sanıldığı mal. göre isimlendirilir.

\rightarrow Hava nüvelli bobin

\rightarrow Manyetik nüvelli bobin

$$\begin{array}{ll} \text{mili} \times 10^{-3} & \text{nano} \times 10^{-9} \\ \text{mikro} \times 10^{-6} & \text{piko} \times 10^{-12} \end{array}$$

ÖRNEK:



$$r_1 = 6 \text{ cm}$$

$$r_2 = 10 \text{ cm}$$

$$N = 500$$

$$M_r = 1000$$

$$L = ?$$

$$L = M_r M_0 \frac{N^2 \cdot S}{l} = \frac{1000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (500)^2 \cdot \pi \cdot (10^{-4})}{18\pi \cdot (10^{-2})} = 175 \text{ mH}/\text{m}^2$$

$$r_0 \rightarrow \text{halkanın ortalama yarıçapı} = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{18}{2} = 9 \text{ cm}$$

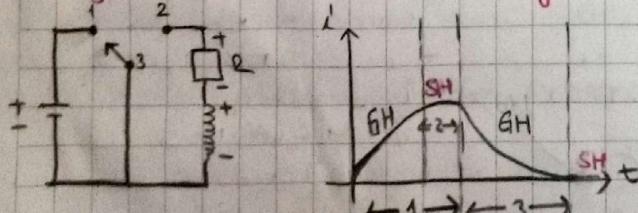
$$l \rightarrow 2\pi r_0 = 2\pi \cdot 9 = 18 \text{ cm}$$

$$S = \pi \left(\frac{r_2 - r_1}{2} \right)^2 = \pi \text{ cm}^2$$

$I = 0 \quad V = 0$ (kısa devre) bobin \rightarrow kısa devre kapasite \rightarrow açık devre

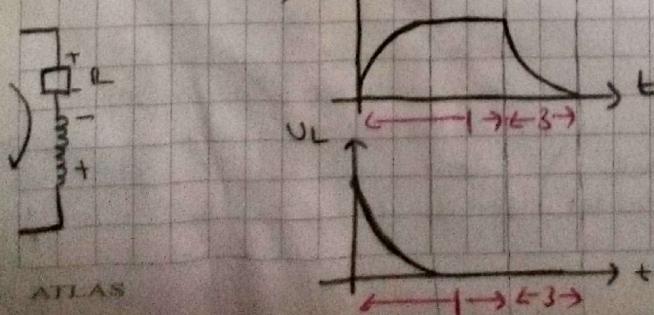
Endüktans \rightarrow Akımdaki değişimle karşı koyma istedigif. Her değişimle karşı kalande bir geriye aktırılmış (Lenz kanunu)

Dogru Akımda Bobinde Enerji Depolanması



SH \rightarrow sürekli hal
GH \rightarrow geçici hal

3 noyu konumda; U_L



Dogru akımda geçici hal bölgesinde bobinin akımı ve gerilimleri değişikendir.

Sürekli halde ise bobinin kısa devre özelligini (tel gibi) gösterir

$$P(t) = C \cdot \frac{du}{dt} \quad u = \frac{1}{C} \int i \cdot dt \quad (\text{kapasite denklemi})$$

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u(t) \cdot dt \quad u = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (\text{bobin denklemi})$$

Endüktansın J4 Denklemi

İçinden akım geçen endüktansta meydana gelen manyetik akı değişikine üzerinde bir emk endüklənir.

$$i(t) = I_L(0) + \frac{1}{L} \int u(t) \cdot dt \quad P(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Endüktansın Hesabı ve Enerji

$$P(t) = u(t) \cdot i(t) = L \cdot i(t) \cdot \frac{di}{dt}$$

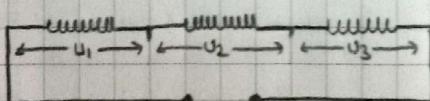
$$W = \int_{-\infty}^t P(t) \cdot dt = \int_{-\infty}^t L \cdot i(t) \cdot \frac{di}{dt} \cdot dt = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i(t)^2 \quad (\text{joule})$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \Psi(t) \cdot i(t) \quad W = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Psi(t)^2}{L}$$

Endüktans Bağlantılıları

Toplam endüktansın bulunma şekli akım ve gerilim bölmə kuralları direncle aynı formattadır.

ÖRN:

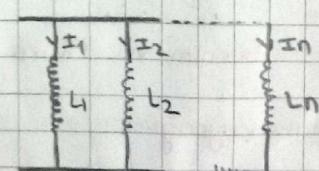


$$U(t) = U_1(t) + U_2(t) + U_3(t) \quad l = \text{ortak}$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

$$U_2 = \frac{L_2}{L_1 + L_2 + \dots + L_n}, \quad U_T \text{ (gerilim düşümü)}$$

Paralel



$$r = \frac{1}{L} \quad (\text{Hers endüksiyon}) \quad \left(\frac{1}{\text{Henry}} \right)$$

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

İşlemler \Rightarrow bobin = direnç \neq kapasite

SÖNÜTLER

1) 20 sarımlı bir bobinin uçlarına 100 ms 100 t (volt) şeklinde bir gerilim uygulanmıştır.

Bobine ait manyetik akı değişimini bulunuz ($\Phi(t) = ?$)

$$e(t) = \frac{d\Phi}{dt} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

i = ortak

$$\Phi(t) = \frac{1}{N} \int e \cdot dt \quad \text{volt}$$

$$\Phi(t) = \frac{1}{N} \int e \cdot dt = \frac{1}{20} \int 100 \cos 100t \cdot dt$$

$$\Phi(t) = \frac{100}{20 \cdot 100} \sin 100t = \frac{1}{20} \sin 100t$$

$$= 0,05 \sin 100t \text{ (weber)} = 50 \sin 100t \text{ m wb}$$

2) Değeri 200 mH olan bobine ilişkin toplam arı fonksiyonu $100 \sin 200t \text{ m wb}$

şeklindedir. Bobine ilişkin akım gerilim ve enerji fonksiyonlarını elde ediniz.

$$e(t) = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt} (100 \sin 200t \cdot 10^{-3}) = 20 \cos 200t \text{ (volt)}$$

$$i = \frac{d\Phi}{dt}$$

$$i(t) = \frac{\Phi(t)}{L} = \frac{0,1 \sin 200t}{200 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \sin 200t \text{ (A)}$$

$$I = \frac{d\Phi}{dt} = 20 \cos 200t$$

veya

$$i(t) = \frac{1}{L} \int e(t) \cdot dt = \frac{1}{200 \cdot 10^{-3}} \int 20 \cos 200t \cdot dt = 0,5 \sin 200t \text{ (A)}$$

$$i(t) = \frac{\Phi}{L} = \frac{-}{200 \cdot 10^{-3}}$$

$P(t) = V(t) \cdot i(t)$ güç;

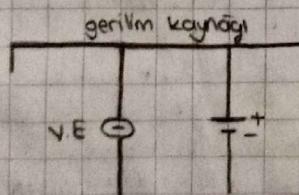
$$= 20 \cdot 0,5 \sin 200t \cdot \cos 200t = 5 \sin 400t \text{ (watt)}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i(t)^2 = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 10^{-3} (0,5 \sin 200t)^2 = 25 \sin^2 200t \text{ m J}$$

Gerilim ve Akım Kaynakları

Gerilim Kaynağı

Devreji besleyen veya enerji veren aktif元件lere kaynak denir

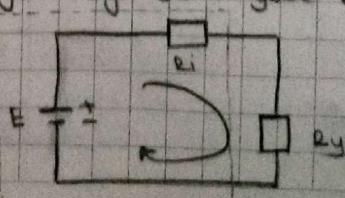
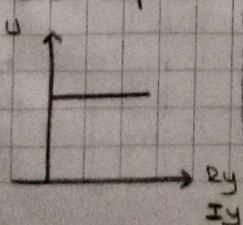
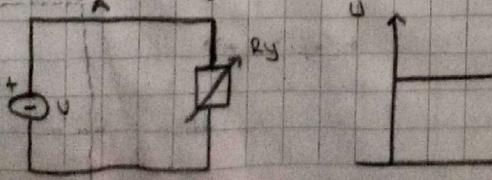


$V = \text{sabit}$
 $I = \text{değişken}$

Akım Kaynağı

$I = \text{sabit}$
 $V = \text{değişken}$

Kaynağın ürettiği gerilim sabit olup devreye verdiği akım yükle bağılidır

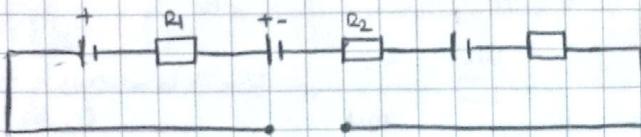


$$I_y = \frac{E}{R_i + R_y}$$

gerçek bağımsız gerilim kaynağı

→ Gerilim kaynağı bağlantıları

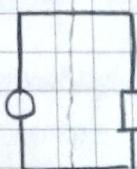
1) Seri bağlama (Amac: gerilimi artırmak)



$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \text{ (Direnç)}$$

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 \text{ (Gerilim)}$$

* Akım kaynağı

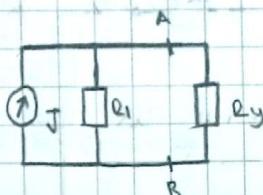


Akım kaynağı, gerilim kaynağı gibi doğrudan ifade edilemez. Ideal

ideal bağımsız akım kaynağı uclarına bağlanan yük ve dolayısıyla uclarındaki
akım ne olursa olsun sabit akım veren devre elemanıdır.

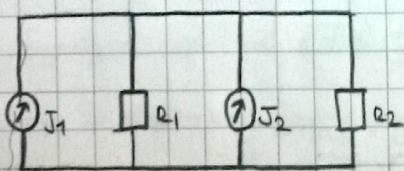
$$V_y = I_y \cdot R_y$$

$$U_{AB} = I_y \cdot R_y$$



$$I_y = \frac{R_1}{R_1 + R_y} \cdot 3$$

! Toplam akımı artırmak için kaynaklar paralel bağlanır
" gerilimi seri

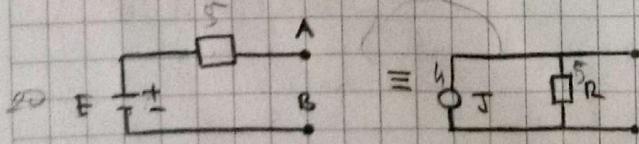


$$J_T = J_1 + J_2$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

2) Kaynak Dönüşümleri

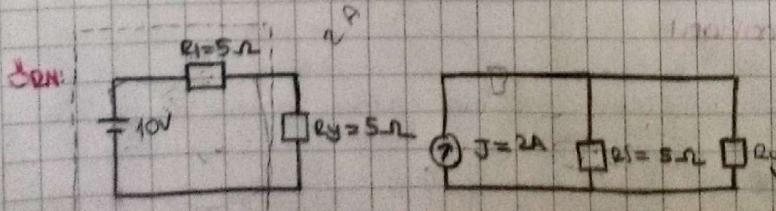
Hem gerilim hem akım kaynağı bulunan devreleri basitleştirmek için dönüşümler kullanılır. Seri durumda gerilim kaynakları, paralel durumda ise akım kaynaklarını toplamak daha kolaydır.



$$E = J \cdot R$$

$$J = \frac{E}{R}$$

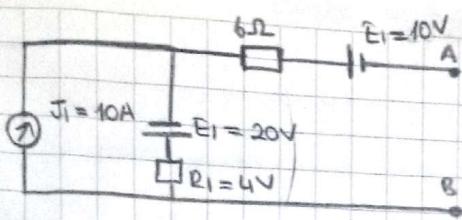
gerilime seri } direnç
akıma paralel } bağlantı



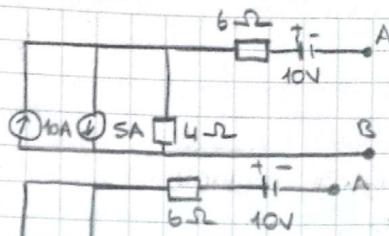
$$J = \frac{10}{5} = 2A$$

$$I_y = 1A \quad I_y = \frac{R_1}{R_1 + R_y} \cdot J$$

ÖRN:

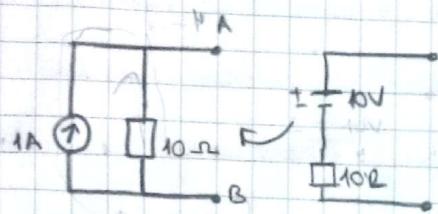


=

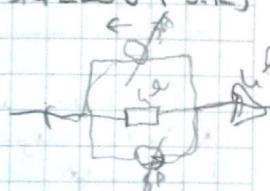
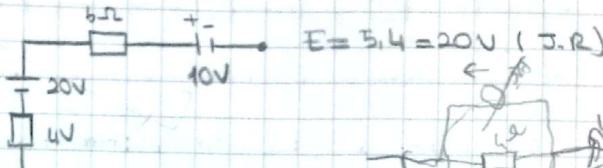


devrenin sonunda baslar

(10-5)

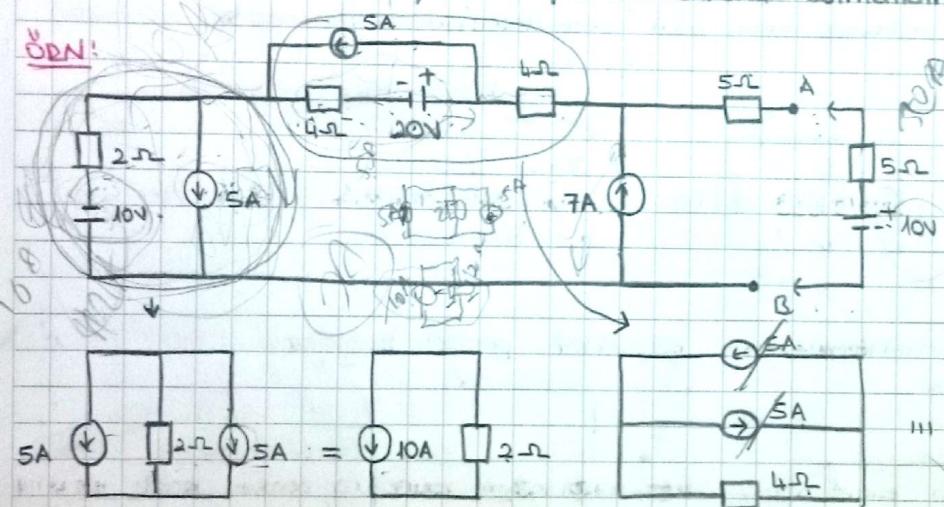


=



Daima devrenin solundan başla, hem gerilim hem akım varsa akıştırerek devam et. Gerilime seri, akıma paralel direnç kılmalısın.

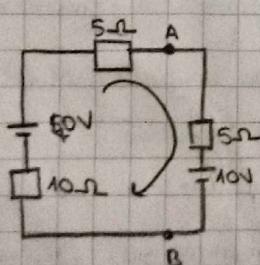
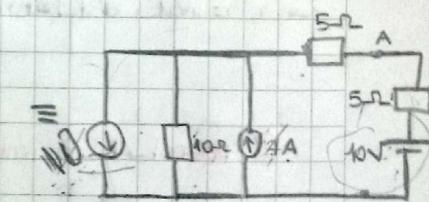
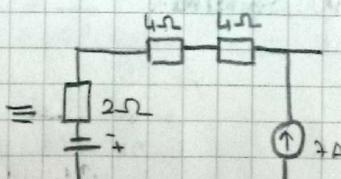
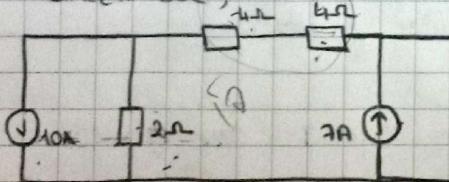
ÖRN:



$$U_{AB} = ?$$

$$I = ?$$

birleştirincek;



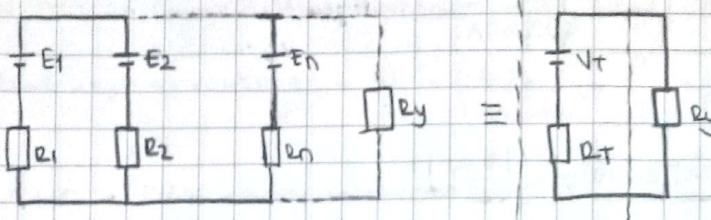
$$I = \frac{50-10}{5+10+10} = 2A //$$

$$V_{AB} = 5 \cdot 2 + 10 = 20V //$$

(seri)

2) Paralel Bağlantı (Gerilim Kaynakları)

Milliman Teoremi = Toplam devre akımını artırmak için gerilim kaynaklarını paralel bağlanırız.



Gerilim kaynakları, akım kaynaklarına çevirilir. Dirençlerin yerlerine iletkenlikleri yazılır.

Bunların toplamı sistemin es değer akım kaynağını gerilim kaynağını devreder.

$$J_1 = \frac{E_1}{R_1} \quad J_2 = \frac{E_2}{R_2} \quad J_T = J_1 + J_2 + \dots + J_n$$

$$J_T = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \dots + \frac{E_n}{R_n}$$

$$J_T = G_1 E_1 + \dots + G_n E_n$$

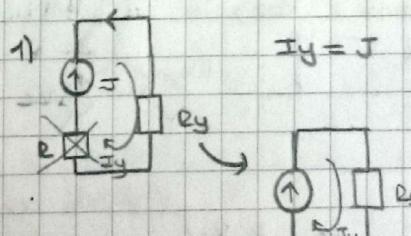
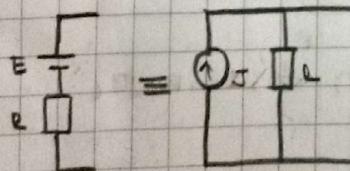
$$R_T = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)^{-1}$$

$$R_T = \frac{1}{G_1 + G_2 + \dots + G_n}$$

OZEL DURUMLAR:

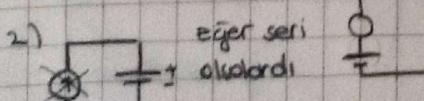
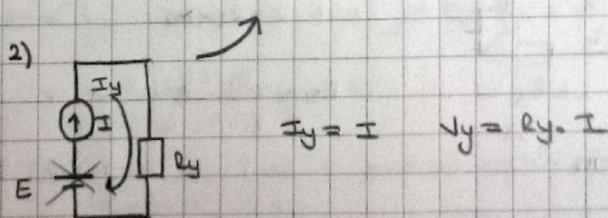
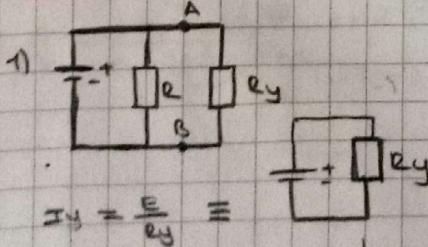
Gerilim kaynağında seri bağlı direnç yoksa veya akım kaynağında paralel bağlı bir direnç yoksa, kaynak dönüştürmeleri yapılmaz.

① Seri Durum

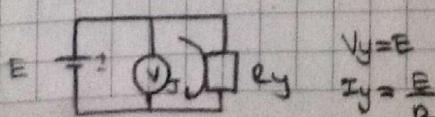


$$I_y = J \quad V_y = I \cdot R_y = J \cdot R_y$$

② Paralel Durum

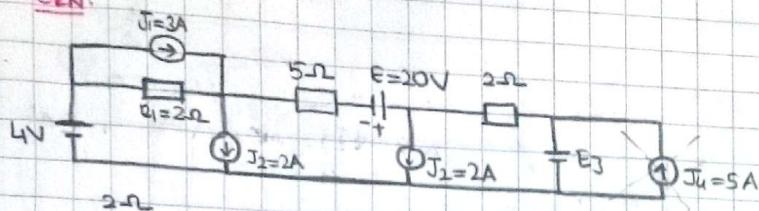


seri bağlı ideal durumlarda J' ye seri bağlı olan E ve R atılabilir.



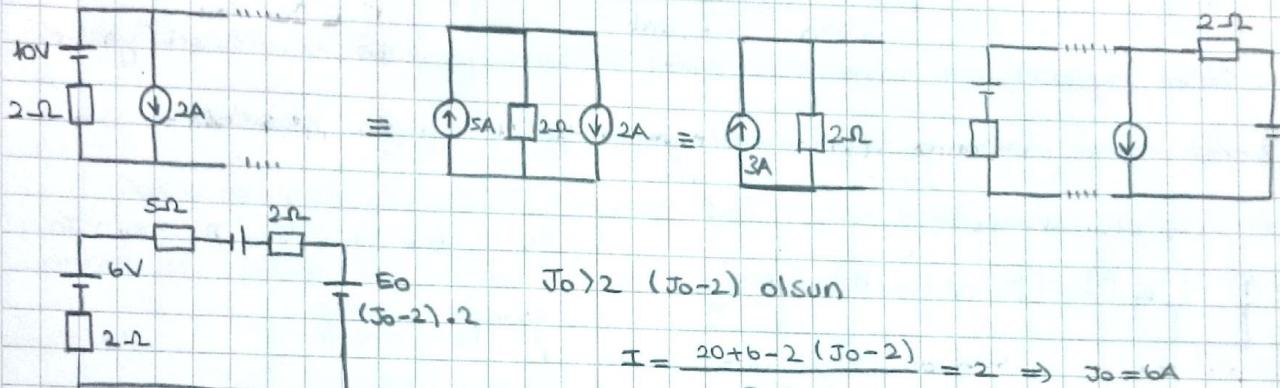
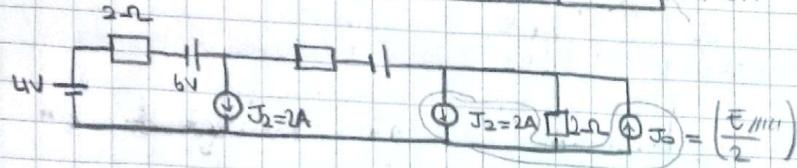
Paralel bağlı ideal durumda gerilim önemlidir, olduğundan E 'ye bağlı olan J , R çıkarılabilir.

ÖRNEK:



$$I = 2A$$

$$E_J = ?$$



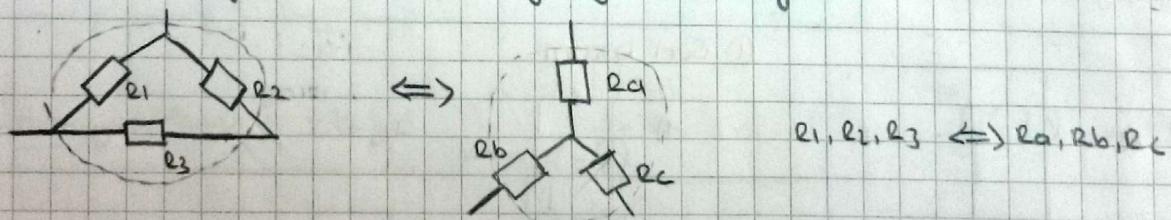
$$I = \frac{2+6-2(J_0-2)}{5+2+2} = 2 \Rightarrow J_0 = 6A$$

$$E_J = 6 \cdot 2 = 12V$$

Yıldız Üçgen Bağlantılı Devreler

Karmaşık bir devrede toplam direnç hesabı yapılırken seri veya paralel bağlantıların yeterli olmadığı durumlarda üçgen - yıldız kullanılır.

Öncelikle devrede 3 düğüm arasında üçgen veya yıldız şeklindeki bağlantılar varsa bu döngüler kullanılır. Burada amaç, ilgili noktalar arasında die devreye karşı aynı etkiye sahip olan üçgen - yıldız eşdeğer akımları kullanmaktır.



Yıldız - Üçgen Çevirme

* $R_a = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$ $\rightarrow R_a$ 'nın iki yanındaki dirençler alınır

$$R_a = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_2 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Yıldız - Üçgen çevirme $R_a, R_b, R_c \rightarrow R_1, R_2, R_3$

* $R_1 = \frac{R_a R_b + R_a R_c + R_b R_c}{R_a + \text{tam. kargasındaki}}$

$$R_2 = \frac{R_a}{R_b} \quad R_3 = \frac{R_a}{R_c} \rightarrow \text{paylaşılmıştır}$$

Özel Durum: Üçgen devrede elementler eşit ($R_1=R_2=R_3$), bu da denk olan yıldız da denir.

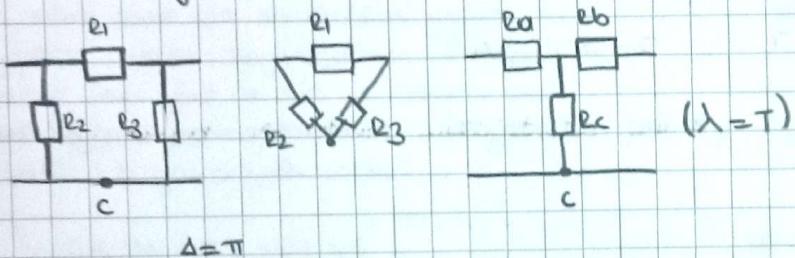
$$R_1=R_2=R_3 \Rightarrow R_a=R_b=R_c = \frac{R_1}{3} = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2+R_3} \right) = \frac{R^2}{3R} = \frac{R}{3}$$

Yıldız devrede elementler eşit ($R_a=R_b=R_c$), bu da denk olan üçgen de denir

$$R_a=R_b=R_c \Rightarrow R_1=R_2=R_3=3R_a \quad R_1 = \frac{R_a R_b + R_a R_c + R_b R_c}{R_c} = \frac{3R^2}{R} = 3R$$

Üçgen ve yıldız devrelerinin yaygın kullanımları diğer bir ismi de görünümünden dolayı

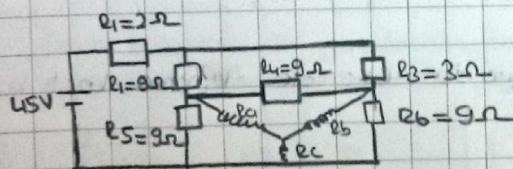
Π ve T eşdeğer devreleridir.



$$\Delta = \Pi$$

* Elektrik makinelerinde üçgen-yıldız bağları; Enerji iletim hattlarında ise T ve Π bağları kullanılır.

Örnek: Üçgen yıldız yöntemi ile toplam direnci ve akımları bulunuz.



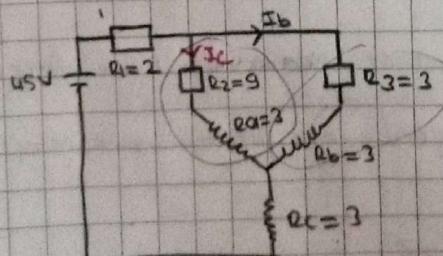
Hem üstten hem alttan giden akım anda üçgen seçilmez,, ser.

$$\frac{\Delta(\Pi)}{2+one} \quad \text{yıldız } (\tau)$$

I.401

$$R_a = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{9 \cdot 9}{27} = 3\Omega$$

$$R_b = \frac{R_4 + R_5}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{9 + 9}{27} = 3\Omega \quad R_b = R_c = 3\Omega$$



$$R_T = [(R_3 + R_b) // (R_2 + R_a)] + R_2 + R_1 = 9\Omega$$

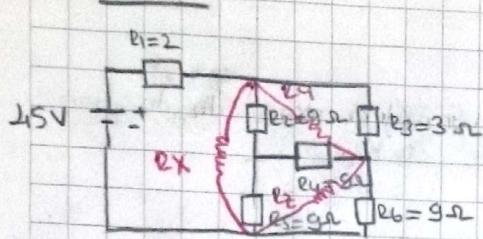
$$I_T = \frac{U}{R_T} = \frac{45}{9} = 5A$$

$$I_a = \frac{R_3 + R_b}{R_3 + R_b + R_2 + R_1} \cdot I_T = 1,67A$$

R_b, R_s, R_4 gitmiş

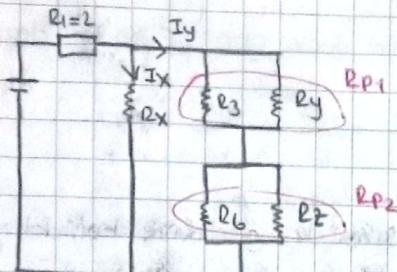
$$I_b = 3,33A (5 - 1,67A) \text{ gecer}$$

II 401



$$R_X = \dots \Rightarrow R_X = 27\Omega$$

$$R_Y = \frac{R_2}{R_2} = 27\Omega \quad R_2 = \frac{R_2}{R_2} = 27\Omega$$



$$R_T = [(R_{P1} + R_{P2}) // R_X] + R_1 = 9\Omega$$

$$I_X = \frac{R_{P1} + R_{P2}}{R_{P1} + R_{P2} + R_X} \cdot I_y = 1,29A \quad I_y = I_y - I_X = 3,7A$$

$$I_{R3} = \frac{R_y}{R_y + R_3} \cdot I_y = 3,3A \quad I_{R6} = \frac{R_2}{R_y + R_3} \cdot I_y = 2,7A$$

R2, R4, R5 gitti

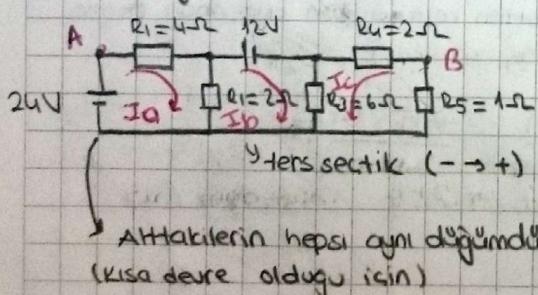
İlgilenilen元件in ait akım veya gerilim sorulduğunda o元件i kapsamayan bir bölgede döngüüm yapılmaktadır.

Gevre Akımları Yöntemi

En temel devre çözümü yöntemidir. Bu yöntem Kirchoff'un gerilimler yasasını esas alır.

Yöntemde her bir çevre için kendi yörterler seçilir.

Bilinmeyen çevre akımları bulunuktan sonra devreye ait tüm akım ve gerilim değerleri bilinmeyenler eensinde kurulabilir.



Dügüm içi veya dana çok elementin bağlı bulunduğu noktasıdır.

Gevre: Her elemandan bir kez geçmek suretiyle izlenen kapali yoldur
(... devrede toplam b çevre)

Göz: En küçük boyutlu çevre

Devrede tek kaynak oluydı R toplam bulunup I toplam devre elde edildi. Akım toplam ile istenen veriler hesaplanır. 2 kaynak veya dana fazla kaynak varsa R_T ve I_T ile hesap yapılır.

Bilinmeyen sayısı (n) = $n_e - n_b + 1 = 3$
 $\Rightarrow 5$ (göz sayısı)

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum R_{11} & \sum R_{12} \dots \sum R_{1n} \\ -\sum R_{21} & \sum R_{22} \dots \sum R_{2n} \\ \vdots & \vdots \\ -\sum R_{n1} & -\sum R_{n2} \dots \sum R_{nn} \end{bmatrix}$$

Bunun dışındakiler
(-) alınır.

Ana eksen üzerindeki direnç toplamları
(+) kabul edilir. (genel kural)

Yöntem Adımları

① Her bir elemandan en az 1 kere geçmek şartıyla bilinmeyen sayısı kadar keyfi yönde gevrek akımı seçilir. (I_a, I_b, I_c gibi)

② Herbir gevrek akımın Kirchoff'un gerilim yasası uygulanır. (Gerilim kaynaklarının potansiyel yönü, seçilen gevrek yönü ile aynı ise (+) ters ise (-) olur. Kaynak içermeyen devrelerin gerilimi 0'a eşittir. (I_d 'nin olmadığı o'dır)

$$\left. \begin{array}{l} a \rightarrow U_{R1} + U_{R2} - E_1 = 0 \\ b \rightarrow U_{R2} + U_{R3} + E_2 = 0 \\ c \rightarrow U_{R4} + U_{R5} + U_{R3} = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \xrightarrow{\text{V}_1 + \text{V}_2 = \sum V_1} \\ \xrightarrow{\text{V}_2 + \text{V}_3 = -\sum V_2} \text{ters} \end{array}$$

③ Denklemlerdeki direnç gerilimleri gevrek akımları cinsinden ifade edilir. Her gevrek denklemlerinde ilgili gevrek akımı referans alınır.

$$a \xrightarrow{I_a} R_1 I_a + R_2 (I_a - I_b) - E_1 = 0$$

$$b \xrightarrow{I_b} R_2 (I_b - I_a) + R_3 (I_b + I_c) + E_2 = 0$$

$$c \xrightarrow{I_c} R_3 (I_c + I_b) + R_4 I_c + R_5 I_c = 0$$

④ Denklemler düzenlenerek bilinmeyen gevrek akımları ve bunlara bağlı olarak tüm devre boyutlukları bulunabilir

$$a \xrightarrow{I_a} I_a (R_1 + R_2) - I_b R_2 - E_1 = 0$$

$$b \xrightarrow{I_b} -I_a R_2 + I_b (R_2 + R_3) + R_3 I_c + E_2 = 0$$

$$c \xrightarrow{I_c} I_b R_3 + I_c (R_3 + R_4 + R_5) = 0$$

Şekle bakarak da yazabiliyoruz, öneği olan I_b vs. alt alta yazınca denklemler matris formunda yazılırsa, simetriklilik görürlür.

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 & -R_2 & 0 \\ -R_2 & R_2 + R_3 & R_3 \\ 0 & R_3 & R_3 + R_4 + R_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ -E_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} I_a &= 3,6A & I_b \text{nin yönü değiştirilip} \\ I_b &= -1,2A & (+) alınabilir veya yön ve \\ I_c &= 0,6A & işaretini aynı kalır; \\ && işlem içinde (-)'yi yer alır. \end{aligned}$$

burada yönleri keyfi seçtiğim için
kuralın dışına çıktırigorum. Ana eksen
+, diğeri -

$$R_4 \rightarrow I_{R4} = I_c = 0,6A$$

$$R_5 \rightarrow I_{R5} = I_c = 0,6A$$

$$V_{R5} \rightarrow 0,6V \quad P_{R3} = i^2 \cdot R = 0,64W$$

$$P_T = 51,54 + 6,48W + 0,56 + 0,64 = 100,8W$$

$$R_1 \rightarrow I_{R1} = I_a = 3,6A$$

$$V_{R1} \rightarrow 4 \cdot 3,6 = 14,4V$$

$$P_{R1} \rightarrow I^2 \cdot R = 51,84 \text{ watt}$$

$$R_2 \rightarrow I_{R2} = I_a - I_b = 3,6 - (-1,2) = 4,8A$$

$$V_{R2} = 9,6V \quad P_{R2} = 4,608W$$

$$R_3 \rightarrow I_{R3} = I_b + I_c = -0,6A$$

$$V_{R3} = -2,4V \quad P_{R3} = 0,96W$$

V_{AB} gerilimi hesaplaşır :

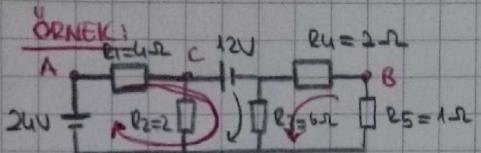
$$V_{AB} = V_{21} + E_2 - V_{24} = 24,8 \text{ V}$$

$$V_{AB} = E_1 + U_{25} = 24,8 \text{ V}$$

$$V_{BC} = V_{24} - E_2 = -10,4 \text{ V}$$

$$V_{CB} = -V_{BC} = 10,4 \text{ V}$$

(c noktası - gitmişin
daha yüksek potansiyeldir.)



I_1, I_2, I_3 'ün devre denklemlerini yazarak bulunuz.
Ayrıca her direnç üzerindeki akımları da bulunuz.
 V_{AB}, V_{BC} bulunuz.

$$I_1 = 5 \text{ A}$$

$$I_2 = -3 \text{ A}$$

$$I_3 = 2 \text{ A}$$

$$1 \rightarrow I_1(R_1+R_3) + I_2R_3 + I_3R_3 + E_2 - E_1 = 0$$

$$2 \rightarrow I_1R_3 + I_2(R_1+R_3) + I_3R_3 + E_2 = 0$$

$$3 \rightarrow I_1R_3 + I_2R_3 + I_3(R_3, R_4 + R_5) = 0$$

$$V_{AB} = 36 \text{ V}$$

$$V_{AC} = 20 \text{ V}$$

$$I_1 = 3,6 \text{ A}$$

$$I_2 = -4,8 \text{ A}$$

$$I_3 = 0,8 \text{ A}$$

$$I_{01} = I_1 = 3,6 \text{ A}$$

$$I_{02} = -I_2 = 4,8 \text{ A}$$

$$I_{03} = I_1 + I_2 + I_3 = -0,4 \text{ A}$$

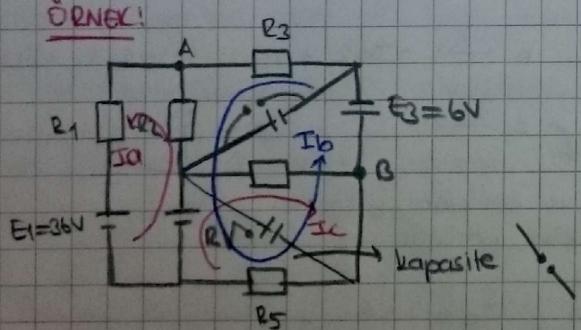
$$I_{05} = I_3 = 0,8 \text{ A} = I_{04}$$

$$V_{AB} = V_{21} + E_2 - V_{24} = 24,8 \text{ V}$$

$$V_{BC} = V_{24} - E_2 = 24,8 - 12 = -10,4 \text{ V}$$

$$V_{CB} = 10,4 \text{ V}$$

ÖRNEK:



2'lerin hepsi 2Ω

$$\text{a)} I, P_T = ?$$

$$\text{b)} V_{AB} = ?$$

bobin
L → kiso devre
C → çoklu devre
yap
kapasite

ilk yapmamız gereken bobin, kapasite gibi elementleri gevirmek

$$[e] [i] = [E]$$

$$I_a \rightarrow I_a(R_1+R_2) - I_b R_2 - E_1 - E_2 = 0$$

$$I_b \rightarrow I_b(R_2+R_3+R_5) - I_a R_2 - R_5 I_c + E_2 + E_3 = 0$$

$$I_c \rightarrow I_c(R_4+R_5) - I_b R_5 - E_2 = 0$$

$$\begin{bmatrix} (R_1+R_2) & -R_2 & 0 \\ -R_2 & R_2+R_3+R_5 & -R_5 \\ 0 & -R_5 & R_4+R_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1+E_2 \\ -E_2-E_3 \\ E_2 \end{bmatrix}$$

$$I_b = 3 \text{ A}$$

$$I_c = 4,5 \text{ A}$$

$$I_a = -15,5 \text{ A}$$

$$P_2 \rightarrow I^2 R = 220,5 \text{ W} //?$$

$$R_3 \rightarrow I R_3 \rightarrow I_b = 3 \text{ A} / 180 \text{ V}$$

$$P_4 \rightarrow I_{04} = I_c = 4,5 \text{ A} / 10,5 \text{ W}$$

$$R_5 \rightarrow I_c - I_b = 10 \text{ A} / 4,5 \text{ W}$$

$$V_{AB} = ... - E_3 \\ = -12 \text{ V}$$

$$P_T = P_1 + P_2 + \dots + P_5 = 141 \text{ W}$$

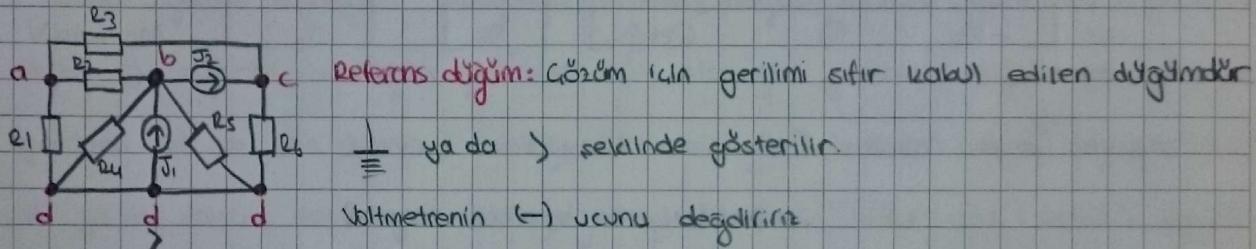
Temel çözüm yöntemlerinden biridir.

Bu yöntem Kirhoff'un akımlar kanunu dayanmaktadır.

Burada bir düğüm referans alınır, diğer düğümler için Kirhoff'un akımlar kanunu uygulanır.

Yöntemin bilinmeyenleri düğüm gerilimleridir.

Düğüm: İki veya daha fazla elementin bağlı olduğu noktaya denir.



$n_d = 4$ (düğüm sayısı)

Düğüm gerilimi: Hesaplama lardarda veya ölçme ortamlarında referans göre belirlenen diğer düğümlerin gerilimleridir. Volt

$$U_d = 0 \quad \forall t \rightarrow a$$

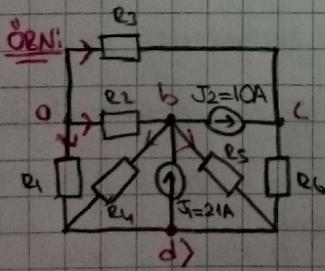
$$\rightarrow b$$

$$\rightarrow c$$

reansa göre belirlenen diğer düğümlerin gerilimleridir. Volt
 \rightarrow uc referans, (\rightarrow) uc ölçmek istenen düğüme bağlı

bilinmeyen sayısı = $n_d - 1$
biri referans seçildi

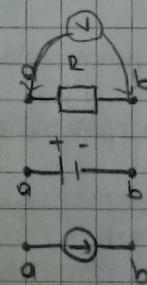
lanır.



$$V_b = V_a - V_b$$

$$E = V_a - V_b$$

$$V_J = V_b - V_a$$



$$\textcircled{1} \quad a \rightarrow I_{R1} + I_{R2} + I_{G1} = 0$$

$$b \rightarrow I_{R4} + I_{R5} - I_{R2} = J_1 - J_2$$

$$c \rightarrow I_{R6} - I_{R3} - J_2 = 0 \quad \text{referans}$$

$$\textcircled{2} \quad I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} = G_1 \cdot V_{R1} = G_1 (V_a - V_b) = J_1 - J_2$$

$$\Rightarrow G_1 (V_a - V_b) + G_2 (V_a - V_b) + G_3 (V_a - V_b) = 0$$

$$\Rightarrow G_4 (V_b - V_d) + G_5 (V_b - V_d) - G_2 (V_a - V_b) = J_1 - J_2$$

$$\Rightarrow G_6 (V_c - V_d) - G_3 (V_a - V_c) = J_2$$

Yöntemin Uygulama Adımları

① Herhangi bir düğüm referans seçilir. Yanlı gerilimi sıfır volta eştirilir. Diğer düğümler için Kirhoff'un akımlar yasası uygulanır.

② Elemanların uc denklemleri ($I = \frac{U}{R} = G \cdot U$) yerine konur. Eleman gerilimleri sedilen kaydı yollara göre düğümlerin potansiyel farklı şeklinde ifade edilir.

③ Döktürm düzlemleri. Bilinmeyen döktürm gerilimleri ve kumalar cinsinden tüm deire değerlerini bulunabilir.

$$a \rightarrow V_a(G_1+G_2+G_3) - V_b \cdot G_2 - V_c \cdot G_3 = 0$$

$$b \rightarrow -V_a \cdot G_2 + V_b (G_4+G_5+G_6) + 0 = J_1 - J_2$$

$$c \rightarrow -V_a \cdot G_3 + V_c (G_3+G_6) = J_2$$

$$[G] \cdot [V] = [J]$$

$$\begin{bmatrix} G_1+G_2+G_3 & -G_2 & -G_3 \\ -G_2 & G_4+G_5+G_6 & 0 \\ -G_3 & 0 & G_3+G_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ J_1 - J_2 \\ J_2 \end{bmatrix}$$

$V_a = 8V$
 $V_b = 10V$
 $V_c = 14V$

Dogruluk yuzelma kuralları: $[G]$ iletkenlik matrisi simetrik

Aşırı köşegenler dışındaki negatif

G_{ii} = i 'inci düğümde ort iletkenlikler toplamı

G_{ij} = i 'inci düğüm ile j 'inci düğüm arasındaki ortak eleman

I_i = i 'inci düğümne bağlı olan akım kaynaklarının celârsel toplamı

Akım kaynağının akım vew düğümne girdiyorsa +, çıktıyorsa -

Not: Döktürm sisteminin bulunmasında başlangıçta elementlere yah verilmemz

Gidon sonulara göre büyük pot. küçük pot. olacaq şekilde ezelde yönler soradon konulur

$$R_1 = V_{d1} = V_a - V_b = 8V$$

$$I_1 = V_{d1} = V_b - V_d = 10V$$

$$R_2 = V_{d2} = V_a - V_d = 8 - 10 = -2V$$

$$I_2 = V_{d2} = V_c - V_b = 4V$$

$$R_3 = V_{d3} = V_a - V_c = -6V$$

$$V_{AC} = V_a - V_c = -6V$$

$$R_4, R_5 \rightarrow V_{d4}, V_{d5} = 10V$$

+,-

Referansı a kabul edelim. $U_b, U_c, U_d = ?$

$$\begin{bmatrix} G_2+G_4+G_5 & 0 & -(G_4+G_5) \\ 0 & G_3+G_6 & -G_6 \\ -(G_4+G_5) & -G_6 & G_1+G_4+G_5+G_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_b \\ U_c \\ U_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1-J_2 \\ J_2 \\ -J_1 \end{bmatrix}$$

$U_a = 0$
 $U_b = 2V$
 $U_c = 6V$ $U_d = -8V$

Gerilim Kaynağı içeren Devrelerde Düğüm Gerilimleri

Devrede gerilim kaynakları olduğunda referans düğüm seçimine göre bu kaynakların değeri ya doğrudan bir düğüm gerilimine esit olacağı ya da düğüm gerilimindeki, yarımca bir ve (ek denklem) doğruluğu için bilinmeyen (denklem) sayısı değişir. Devrede bir yerde daha fazla gerilim kaynağı varsa, bunların bilesi n_u (ortak) düğüme bağlıysa bu ortak düğüm referans seçilmelidir.

$$n_u = \text{gerilim kaynağı sayısı}$$

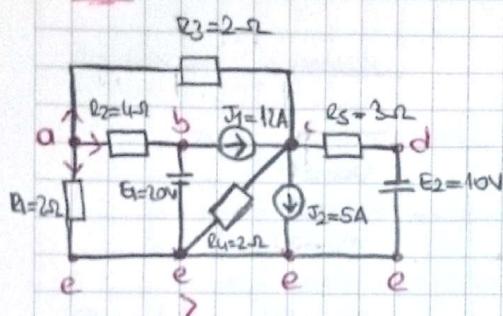
$$n = n_d - 1 - n_u$$

Bu durumda birer uclara referans düğüme bağlı olan gerilim kaynaklarının bilesi ucları bağlı oldukları düğüm gerilimlerine doğrudan belirtiler. Dolayısıyla düğüm sayısı n_u kadar azdır. n

Devrede birden fazla gerilim kaynağı varsa ve bunların bilesi n_u olursa n bağılı, değilse referans düğüme göre bilinmeyeceği sayısı $n = n_d - 1 + n_u$ değerine kadar artabilir. Bilin sayısı artmaktadır. Bu durumda gerilim kaynakları do (IE) bilinmeyeği olarak eklenir. Bu tür denklem sistemi genellendirilmesi düğüm zincir deildi.

Referans nok. (-) altını.

ÖRN:



e(-)

$$n = n_d - 1 - n_U$$

$$n = 5 - 1 - 1 = 3 \parallel$$

$$U_{ab} = E_1 = 20V \quad U_d = -E_2 = -10V$$

$$U_e = 0 \quad U_a = ? \quad U_c = ?$$

$$a \rightarrow I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} = 0$$

$$c \rightarrow I_{R5} - I_{R3} + I_{R4} = J_1 - J_2$$

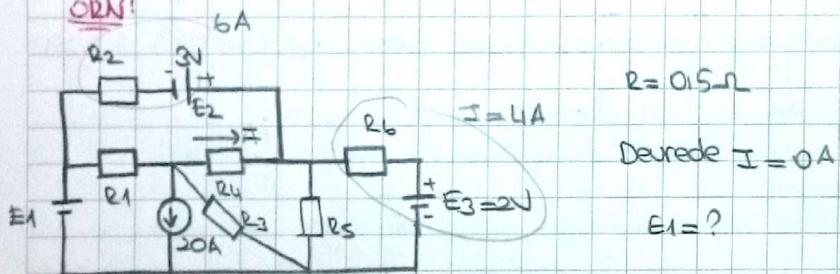
$$a \rightarrow G_1 U_a + G_2 \cdot \underbrace{(U_a - U_b)}_{E_1} + G_3 (U_a - U_c) = 0$$

$$b \rightarrow G_5 (U_c - U_d) - G_3 (U_a - U_c) + G_4 U_c + J_2 - J_1 = 0$$

$$U_a = 6V$$

$$U_c = 5V$$

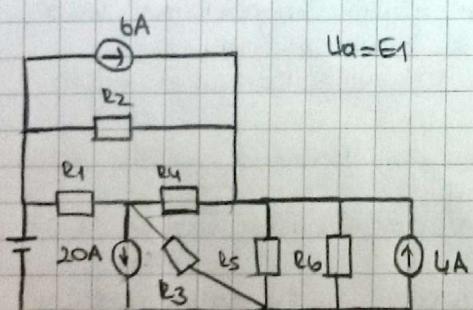
ÖRN:



$$R = 0.5\Omega$$

$$\text{Deurede } I = 0A$$

$$E_1 = ?$$



$$U_a = E_1$$

$$b \rightarrow I_{R3} + I_{R4} - I_{R1} = -J_1$$

$$c \rightarrow I_{R5} + I_{R6} - I_{R2} - I_{R4} = J_1 + J_2$$

$$b \rightarrow G_3 U_b - G_1 (U_a - U_b) = -J_1$$

$$c \rightarrow G_5 U_c + G_6 U_c - G_2 \cdot \underbrace{(U_b - U_c)}_{U_b} = J_1 + J_2$$

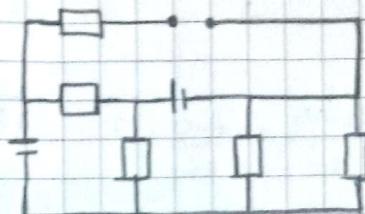
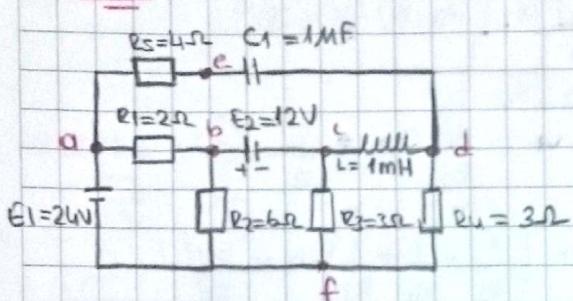
$$I = \frac{U_{R4}}{R_4} = \frac{U_b - U_c}{R_4} = 0 \quad U_b = U_c \quad U_{R6} = U_c - U_d = 13V$$

Temel deureye
bağlı olarak bulunur.

Not: ligilenmediğimiz bölgelerde kaynak etkisiz hale getirilebilir. Ayrıca sayısal birlik sayısızdır.

~~ANSWER~~

ÖRN:



$$U_{ES} = 0$$

$$\rightarrow I_{R2} - I_{R1} + I_{E2} = 0$$

$$(U_a = U_e) \quad (U_f = 0)$$

$$\rightarrow I_{R3} + I_{R4} - I_{E2} = 0$$

$$(U_c = U_d)$$

$$G_2 U_b - G_1 (U_a - U_b) + I_{E2} = 0$$

$$U_a - U_f = E_1 \quad U_a = 2\text{V}$$

$$G_3 U_c + G_4 U_d - I_{E2} = 0$$

$$U_b - U_c = E_2$$

$$U_b = 15\text{ V}$$

$$U_c = U_d = 3\text{ V}$$

$$I_{E2} = 2\text{ A}$$

$$I_{R1} = 5\text{ A}$$

$$I_L = \frac{U_{R4}}{R_4} = 1\text{ A}$$

$$U_c = U_e - U_d = 21\text{ V}$$

$$I_{R1} = 4.5\text{ A}$$

$$U_L = 0$$

$$U_{R2} = 15\text{ V} \quad I_{R2} = 2.5\text{ A}$$

$$1) R, E \quad [R][I] = [E] \quad n = n_e - n_d + 1$$

$$2) R, E, J \quad \text{icin denk adim adim elde edilir}$$

Geçirme akımı seçimi istenildiği gibi

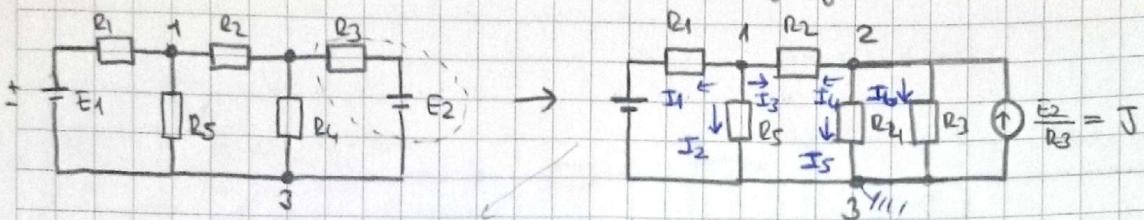
$$1) R, J \quad \text{icin } [G][U] = [J], \quad \sum I = 0$$

Referans döngüm tamamen keyfi seçilir.

$$2) R, E, J \rightarrow \text{Referans seçimi öncem konur. Denklemler adim adim elde edilir.}$$

$$\text{Bilinmeyen sayısı} = n_d - 1 - n_e \rightarrow \text{gerilim kaynağı sayısı}$$

ÖRNEK: (gerilim kaynakları: genellikle akım kaynağına çeviriliir.)



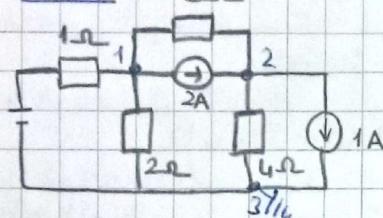
$$I.\text{düğüm} = \frac{U_1 - E_1}{R_1} + \frac{U_1 - U_3}{R_5} + \frac{U_1 - U_2}{R_2} = 0$$

$$\frac{U_2 - U_1}{R_2} + \frac{U_2 - U_3}{R_4} + \frac{U_2}{R_6} = \frac{E_2}{R_3}$$

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} \right) U_1 - \frac{1}{R_2} U_2 = \frac{E_1}{R_1} \quad (1)$$

$$-\frac{1}{R_2} U_1 + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6} \right) U_2 = \frac{E_2}{R_3}$$

ÖRNEK: 3Ω

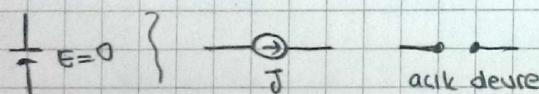


$$I.\text{düğüm} \text{ için} = \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) U_1 - \frac{1}{3} U_2 = 5 - 2$$

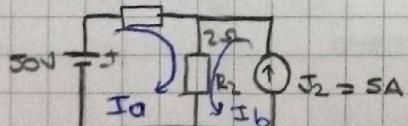
$$II.\text{düğüm} \text{ için} = -\frac{1}{3} U_1 + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \right) U_2 = 2 - 1$$

SÜPER POZİSYON TEOREMİ

tek kaynaklı devrelerde her bir kaynağın tüm elementlerin akımı ve gerilimi üzerinde etkisi vardır. Bu yöntemin amacı her bir kaynağın elementler üzerindeki tek kaynaktan etkisini bulmakta sorun yaşamamak devrede tek bir kaynak birden fazla kaynakların etkisi ve bilesenini bulunuır.

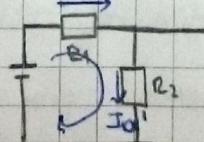


ÖRNEK: $R_1 = 2\Omega$



$$0 \rightarrow (R_1 + R_2) I_a + I_b R_2 = E$$

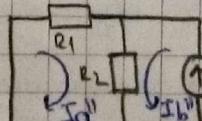
I. durum



$$I_{a1} = -2,5 \text{ A}$$

$$I_{a2} = I_{a1} + I_b'' \quad I_{a2}'' = 2,5 \text{ A}$$

II. durum



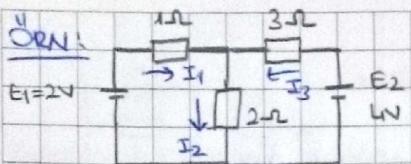
$$I_{a1}'' (R_1 + R_2) + J_2 \cdot R_2 = 0$$

$$I_{a1}'' = -2,5 \text{ A}$$

$$I_{a1}'' + I_b'' = J_2 = 5 \text{ A}$$

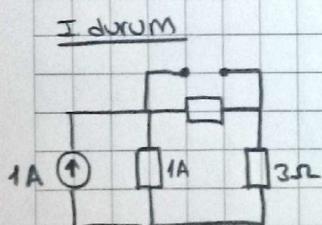
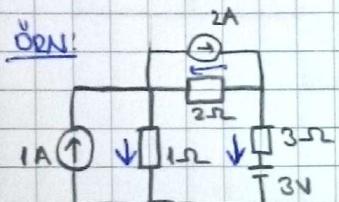
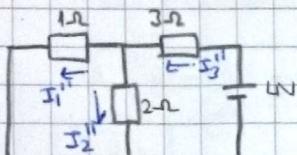
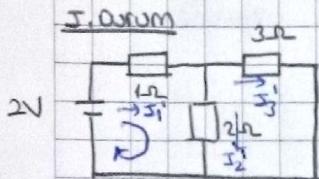
Toplam etkiler = $I_{a1} = 10 \text{ A} \rightarrow$

$$I_{a2} = 15 \text{ A} \downarrow$$



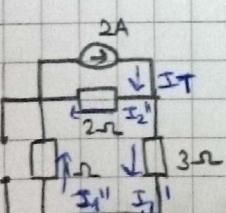
$$I_3 = I_3' - I_3'' = \frac{4}{3} - \frac{12}{11} = -\frac{24}{33} \text{ A} \leftarrow$$

$$I_1' =$$



$$I_2' = I_3' \quad I_1' = 1 \cdot \frac{5}{6} = \frac{5}{6} \text{ A}$$

$$I_1 + I_2' = I_T \quad I_3' = I_2' = \frac{1}{6} \text{ A}$$

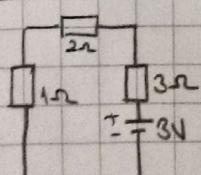


$$I_1'' = I_3''$$

$$I = I_2'' + I_3''$$

$$I_2'' = 2 \cdot \frac{4}{6} = \frac{4}{3} \text{ A} \quad I_1'' = \frac{2}{3} \text{ A} \quad I_3'' = I_2'' = \frac{2}{3} \text{ A}$$

III. durum



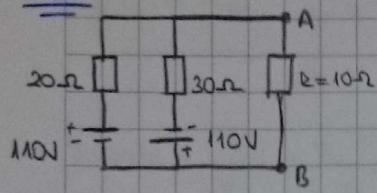
$$I_1''' = I_2''' = I_3''' = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} \text{ A}$$

$$I_2 = I_2' - I_2'' - I_2''' = \frac{1}{6} - \frac{4}{3} - \frac{1}{2} = \frac{5}{6} \text{ A} \leftarrow$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' - I_3''' = \frac{1}{6} + \frac{2}{3} - \frac{1}{2} = \frac{1}{3} \text{ A} \leftarrow$$

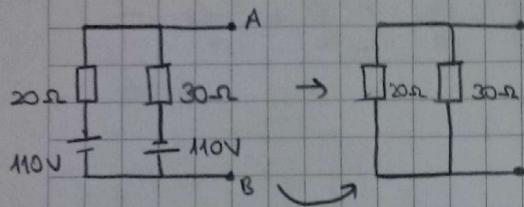
Thevenin - Norton Teoremi

Özn: Thevenin tes. akım kaynakları gerilim kaynaklarına dönüştürülür.



Verilen devrede 2 dirençdeki geçen akımı Thevenin yöntemiyle bul.

⚠️ Thevenin esdeğer direnci bulunurken yük direnci sıyrıltır.
Gerilim kısa, akım çıkış devre yapılır.



R yük yüklenen devre yeniden çizilir.
U_{th} hesaplanır.

$$R_T = \frac{20 \cdot 30}{20+30} = 12\Omega$$

$$50 I' = 110 + 110$$

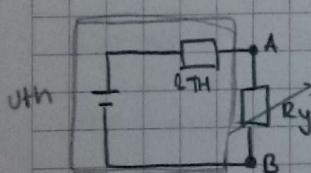
$$I' = \frac{220}{50} = \frac{22}{5} A$$

R yük yük \rightarrow U_{th}

$$I = \frac{U_{AB}}{R_{AB} + R_L} = \frac{22}{12 + 10} = 1 A //$$

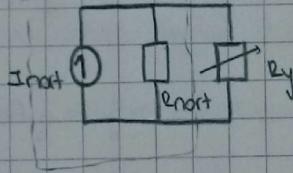
$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} = U_{AC} - 110 = 30 \cdot \frac{22}{5} - 110 = 22 V$$

Thevenin Teo.

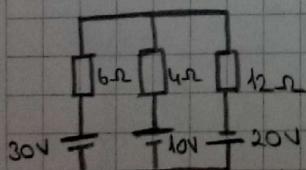


$$I_{th} = \frac{U_{th}}{R_{th} + R_L}$$

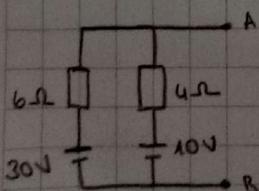
Norton Teo.



Özn:



12Ω'dan geçen akımı Thevenin yöntemiyle bulunuz.



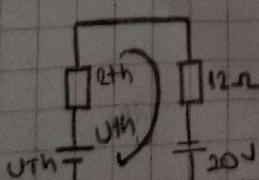
$$R_T = \frac{6 \cdot 4}{6+4} = 2.4\Omega$$

$$10 I' = 30 - 10$$

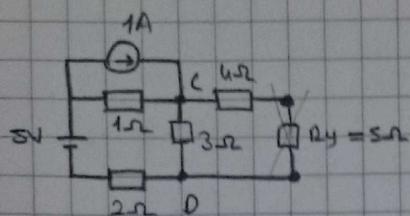
$$I' = \frac{20}{10} = 2 A$$

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} = 6 \cdot 2 + 10 = 18 V$$

$$U_{AB} = 18 + 20 = 38 V$$

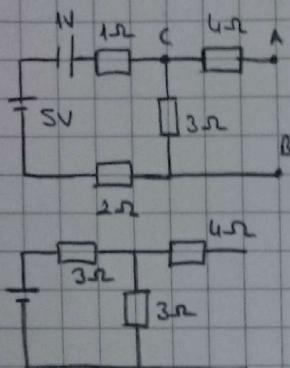


$$I = \frac{U_{AB}}{R_{AB} + R_L} = \frac{38}{2.4 + 12} = 2.63 A$$



$$R_{CD} = \frac{3(1+2)}{3+3} = \frac{9}{6} = \frac{3}{2} \Omega$$

$$R_{AB} = 4 + \frac{3}{2} = \frac{11}{2} \Omega$$



$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CD} + U_{DB}$$

$$U_{AB} = 3V$$

$$I = \frac{6}{6} = 1A$$

$$I = \frac{U_{AB}}{R_{AB} + R_y} = \frac{3V}{\frac{11}{2} + 5}$$

$$I = \frac{6}{21A}$$