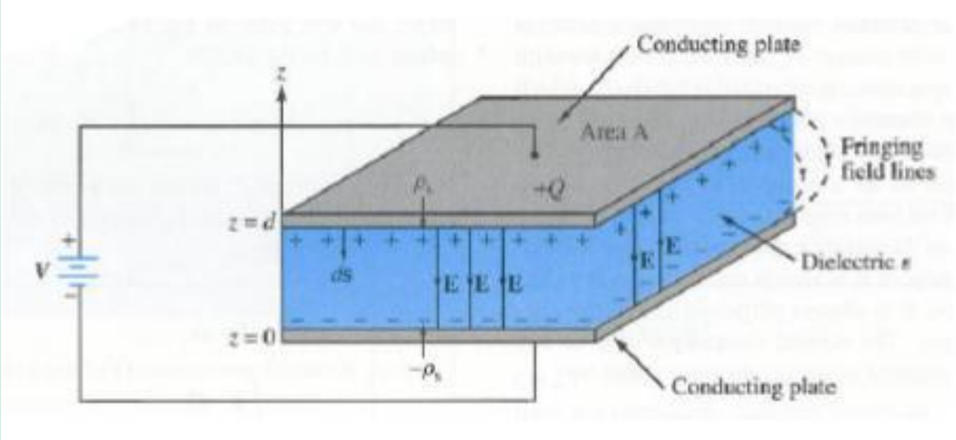
BLM1612 DEVRE TEORİSİ

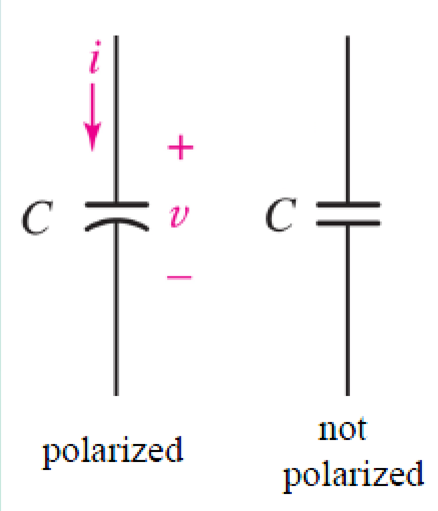
KAPASİTÖRLER ve ENDÜKTANSLAR

DR. GÖRKEM SERBES

Kapasitans

Kapasitör, elektrik geçirgenliği ε olan dielektrik bir malzeme ile ayrılan iki iletken gövdeden oluşur ve elektrik alanda enerji depolayan lineer bir devre elemanıdır.





- Terminallerine başka bir kaynaktan belli bir süre için akım uygulandığında yüklenir.

$$v(t) = \frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} i(t')\cdot dt' + v(t_0)$$

- Terminallerinden bir devreye belli bir süre için akım verdiğinde boşalır.

Kapasitör Akımı & Gerilimi

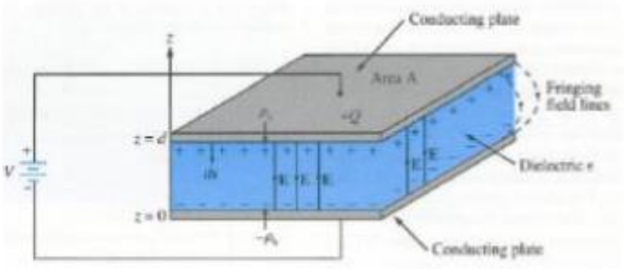
$$v(t)=\frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} i(\tau)\cdot d\tau+v(t_0)$$

aynı eşitlik

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

$$q(t)=C\cdot v(t)$$

$$C=Q/V$$



$$C=\varepsilon\frac{A}{d}$$

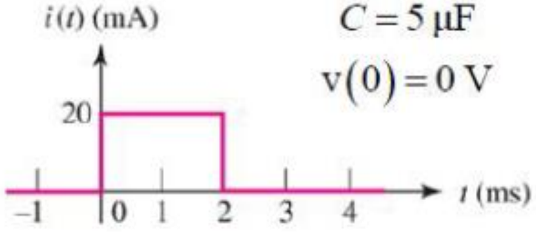
$\varepsilon =$ Geçirgenlik

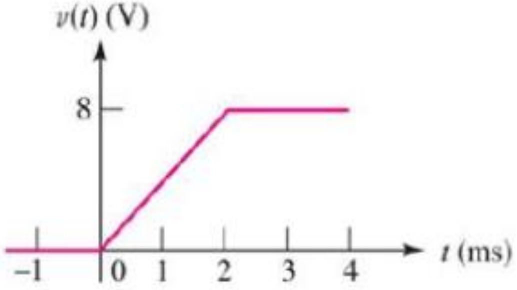
Kapasitansın birimi = Farad

$$1\ \text{F}=1\ \text{C}/\text{V}$$

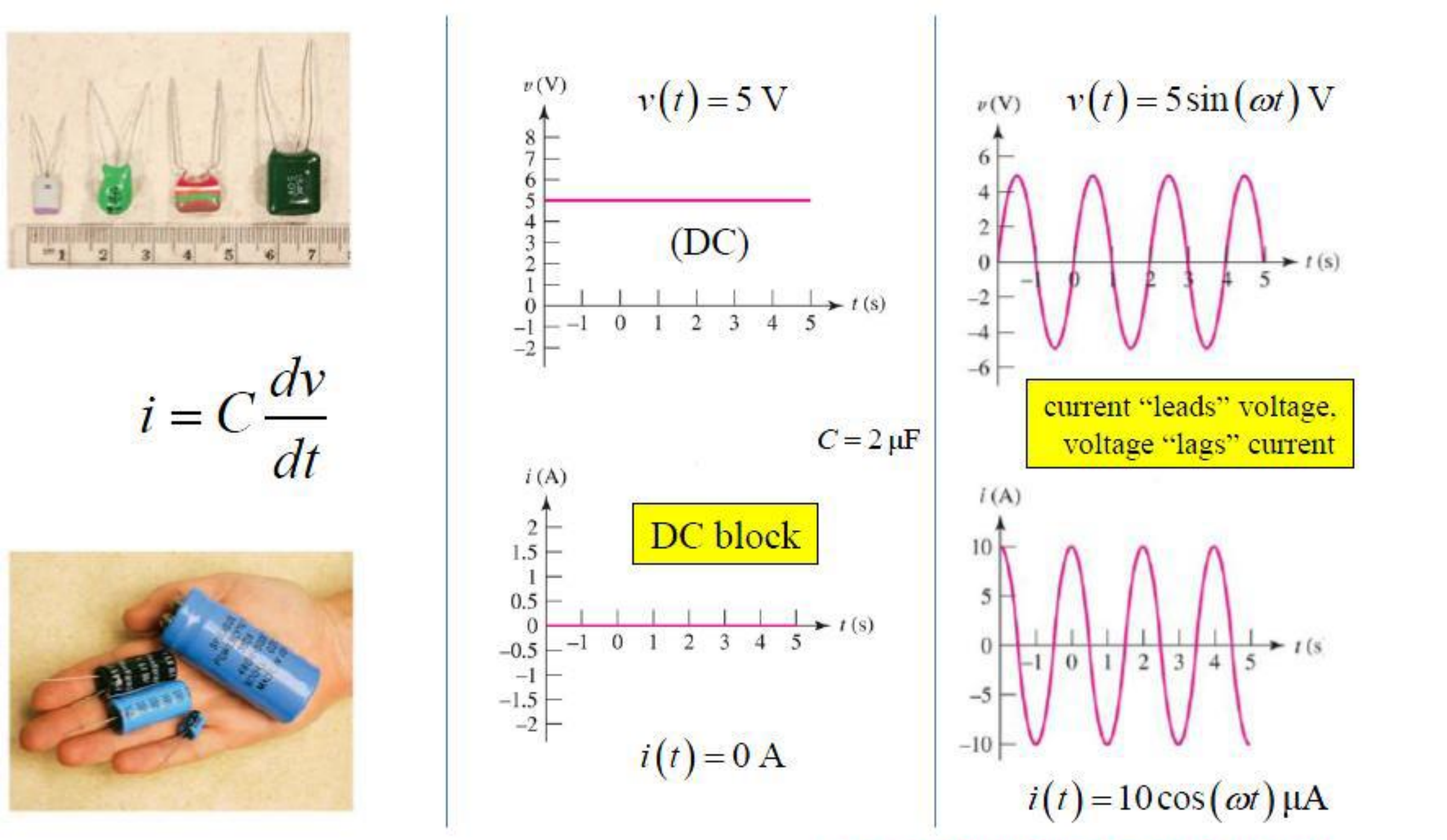
$C = 5\ \mu F$

$v(0) = 0\ V$





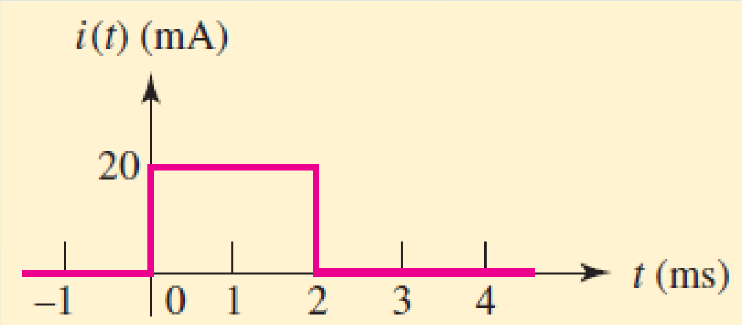
Kapasitör Özellikleri

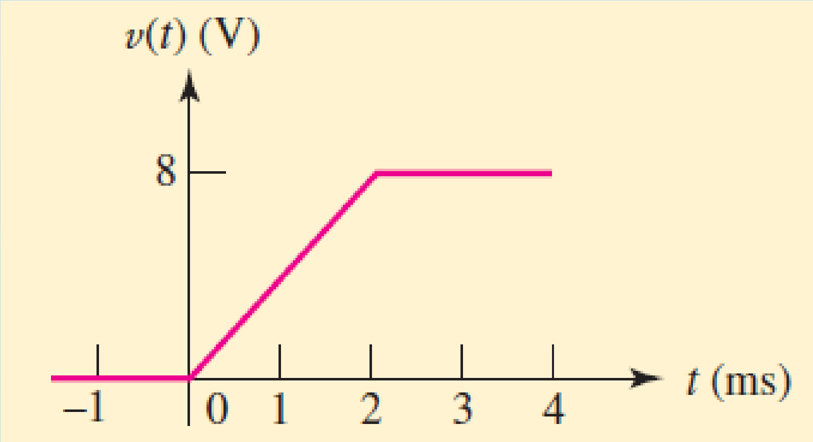


Akım gerilimin 90° önündedir (leads).
Gerilim akımı 90°geriden takip eder (lags).

ÖRNEK 7.2

- Aşağıdaki figürde verilen akımla ilişkili olan kapasitör gerilimini bulunuz. Kapasitans 5 μF’ dır.





$$v(t) = \frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} i(t')\,dt' + v(t_0)$$

$v(0) = 0$ olduğu durumda

$$v(t) = 4000t \qquad 0 \le t \le 2 \text{ ms}$$

Kapasitörün Enerji Depolaması

$$p = i \cdot v$$

$$i = C\frac{dv}{dt}$$

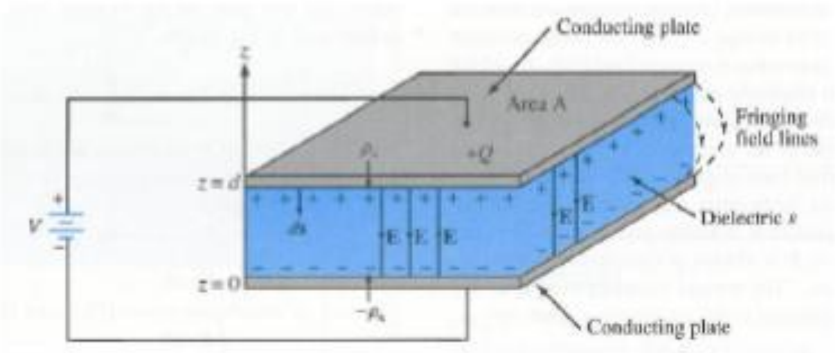
$$w = \int_0^t p(\tau) \cdot d\tau$$

$$= \int_{v(0)}^{v(t)} C\frac{dv}{d\tau} \cdot v \cdot d\tau$$

$$= C \cdot \int_0^t v \cdot dv$$

$$= C \cdot \frac{1}{2} v^2 \Big|_0^t$$

$$= C \cdot \frac{1}{2}\left[v(t)^2 - v(0)^2\right] \rightarrow$$

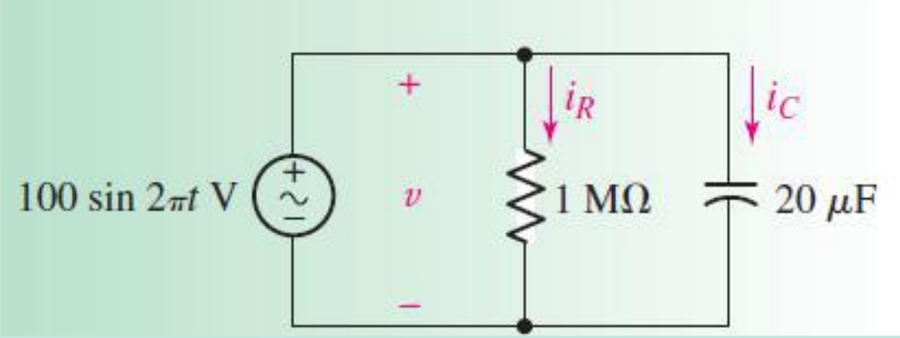


<u>İletken plakalara uygulanan v gerilimi ile kapasitörde depolanan enerji :</u>

$$\boxed{w = \frac{1}{2} C \cdot v^2}$$

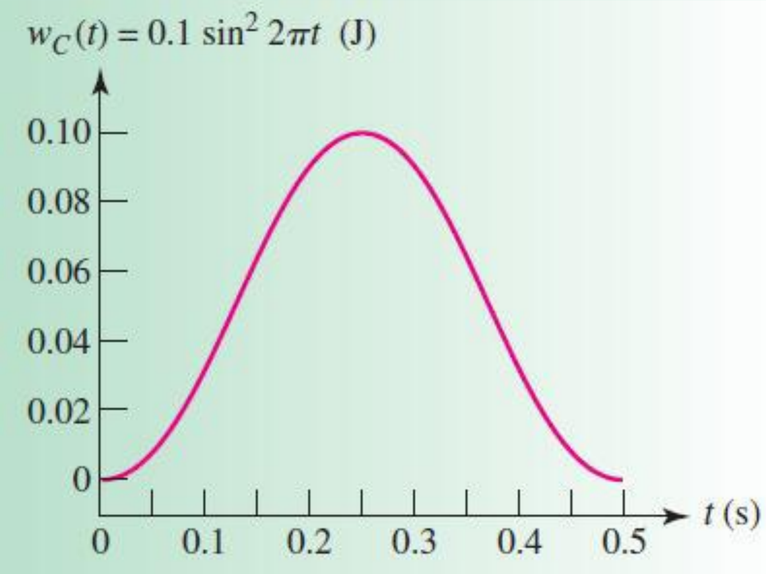
ÖRNEK 7.3 (1)

- 0<t<0.5s aralığında kapasitörde depolanan maksimum enerjiyi ve direnç üzerinde harcanan enerjiyi bulunuz.



$$w_C = \frac{1}{2} C \cdot v^2$$

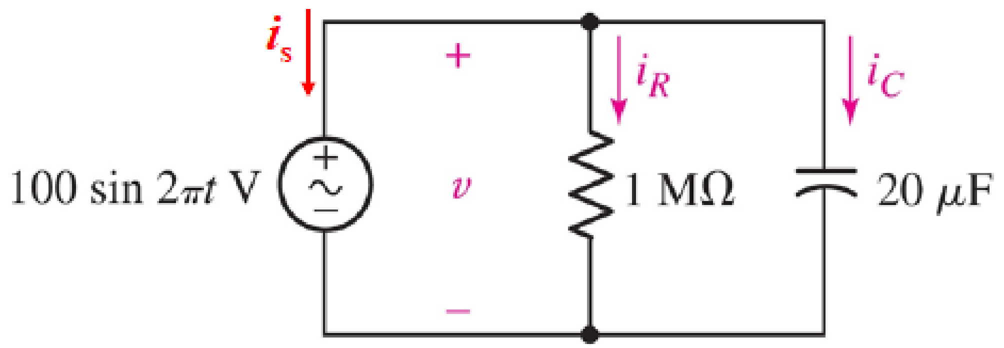
$$w_C = \frac{1}{2}(20\ \mu F) \cdot \{100 \sin(2\pi t)\ V\}^2$$
$$= 100 \sin^2(2\pi t)\ mJ$$



ÖRNEK 7.3 (2)

$$i_C = C \cdot \frac{dv}{dt} = (20\,\mu) \cdot \frac{d}{dt} 100 \sin(2\pi t)$$

$$= (2\text{ m}) \cdot 2\pi \cdot \cos(2\pi t) = 4\pi \cdot \cos(2\pi t)\text{ mA}$$



$$i_R = \frac{v}{R} = \frac{100 \sin(2\pi t)\text{ V}}{10^6\ \Omega} = 0.1 \sin(2\pi t)\text{ mA}$$

$$i_s + i_R + i_C = 0$$

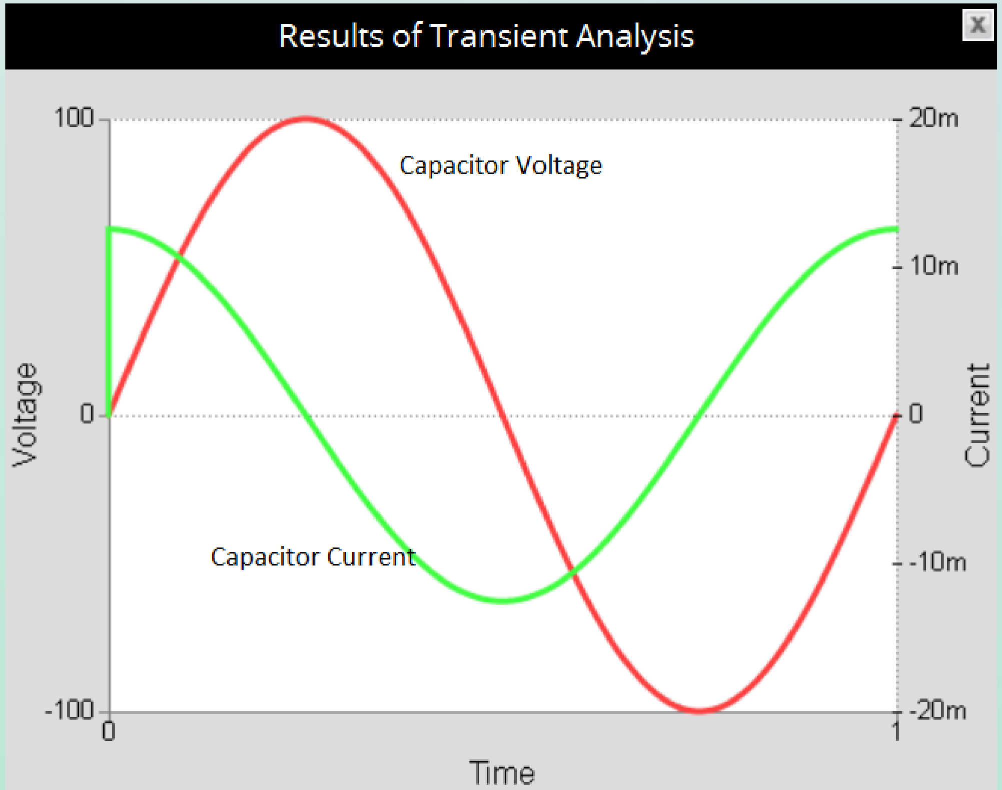
$$i_s = -0.1 \sin(2\pi t) - 4\pi \cdot \cos(2\pi t)\text{ mA}$$

$$p_R = i_R^2 R = (10^{-8})(10^6) \sin^2 2\pi t$$

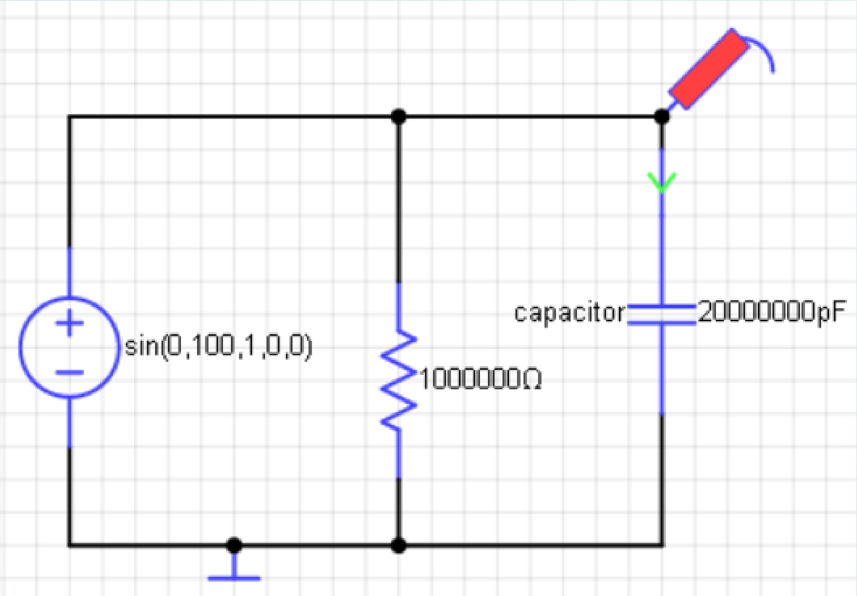
böylece 0 ve 0.5s arasında direnç üzerinde harcanan enerji aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$w_R = \int_0^{0.5} p_R\, dt = \int_0^{0.5} 10^{-2} \sin^2 2\pi t\, dt \qquad \text{J}$$

ÖRNEK 7.3 (3)

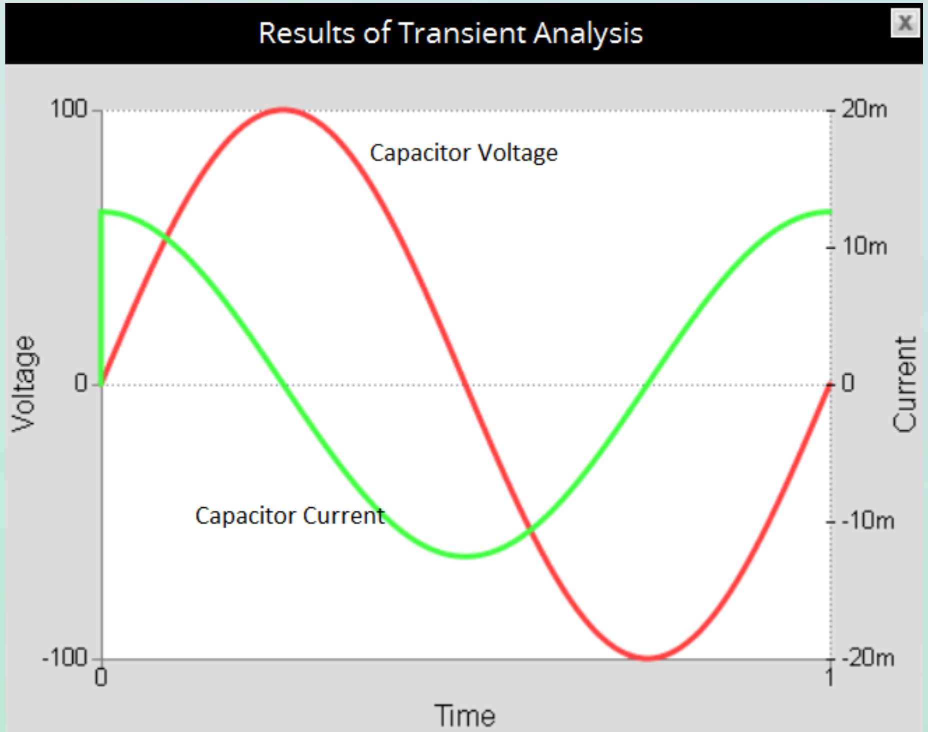


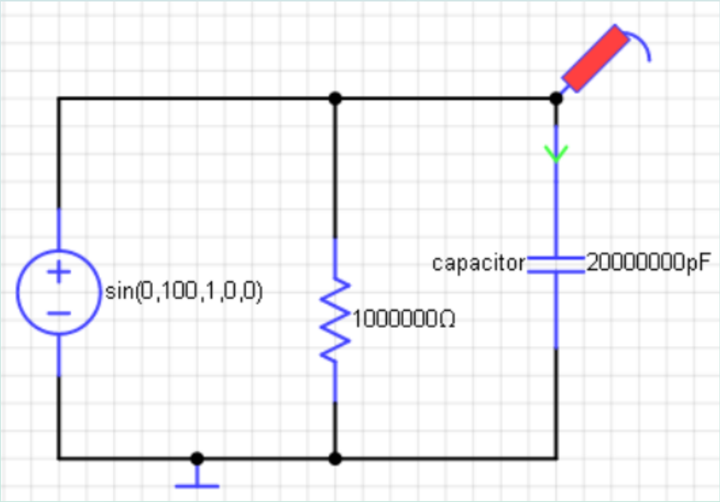
Results of Transient Analysis
100
0
-100
20m
10m
0
-10m
-20m
Capacitor Voltage
Capacitor Current
Voltage
Current
0
1
Time

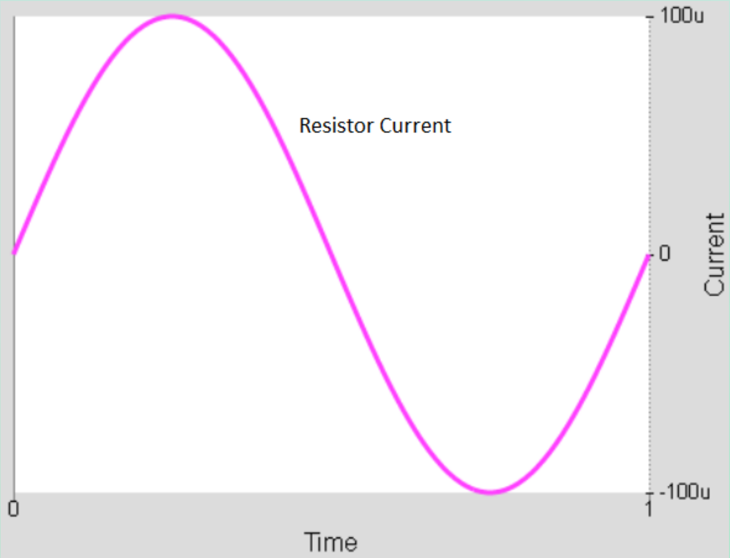


sin(0,100,1,0,0)
1000000Ω
capacitor
20000000pF

ÖRNEK 7.3 (4)


Results of Transient Analysis
100
0
-100
20m
10m
0
-10m
-20m
Capacitor Voltage
Capacitor Current
Voltage
Current
0
1
Time


sin(0,100,1,0,0)
1000000Ω
capacitor
20000000pF

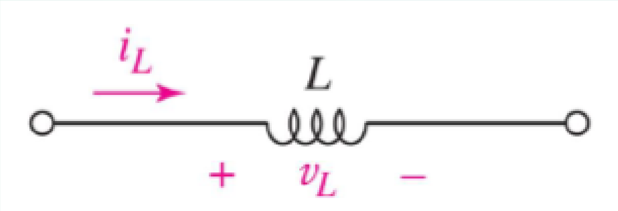

Resistor Current
100u
0
-100u
Current
0
1
Time

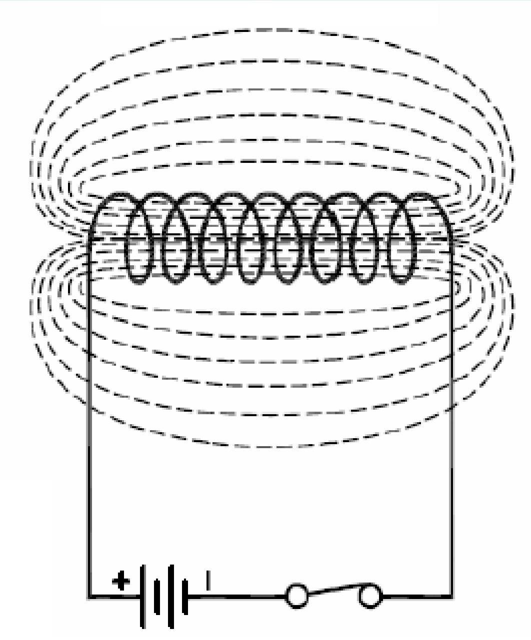
İdeal bir kapasitörün önemli özellikleri

1. Eğer kapasitör üzerindeki gerilim zamanla değişmiyorsa kapasitör üzerinden hiç akım akmaz. O halde kapasitör ***DC*** durumda ***açık devre*** olur.
2. Kapasitör üzerindeki gerilim sabitken olduğu gibi, üzerinden geçen akım sıfır olsa bile kapasitörde sınırlı miktarda enerji depolanabilir.
3. Kapasitör gerilimini anında belli bir miktara kadar değiştirmek mümkün değildir, çünkü kapasitör üzerinden sınırsız bir akım geçmesi gerekir.
4. Bir kapasitör hiç enerji harcamazken sadece enerjiyi depolar. Bu ifade *matematiksel model* açısından doğru olsa bile, paketleme (kılıflama) yanı sıra dielektrik maddeye de bağlı olan sınırlı bir dirençten dolayı *fiziksel* olarak doğru değildir.

Endüktans

- Endüktör, manyetik geçirgenliği μ olan bir malzeme ile dolu olan akım taşıyan bir bobinden oluşur ve bu bobinde oluşan manyetik alanda enerji depolayabilen lineer bir devre elemanıdır.





- Terminallerine diğer bir kaynaktan belli bir süre akım uygulandığında yüklenir.

$$i(t) = \frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} v(\tau)\cdot d\tau + i(t_0)$$

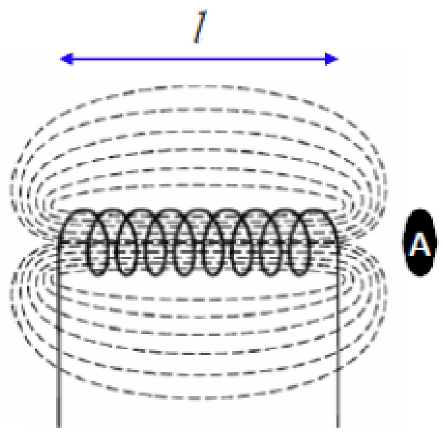
- Terminallerinden bir devreye belli bir süre için akım verdiğinde boşalır.

Endüktör Akımı & Gerilimi

$$i(t)=\frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} v(\tau)\cdot d\tau + i(t_0)$$

aynı denklem

$$v(t)=L\frac{di(t)}{dt}$$



$$L=\mu\frac{N^2 A}{l}$$

$N = \#$ of turns (Sarım sayısı)

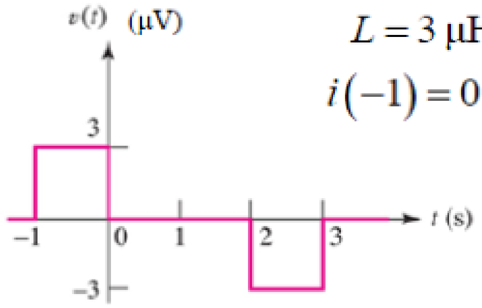
μ = permeability (manyetik geçirgenlik)

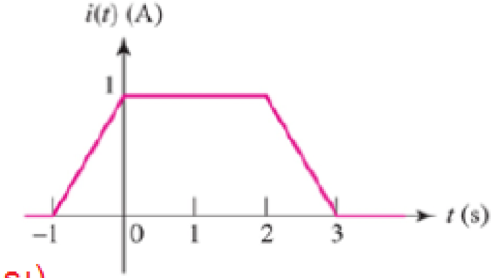
Endüktansın birimi = Henry

1 H = 1 V-s / A

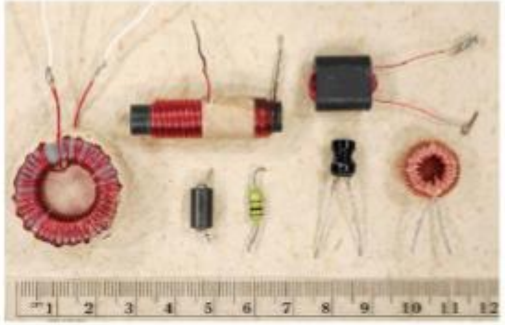
$L = 3\ \mu\text{H}$

$i(-1) = 0\ \text{A}$



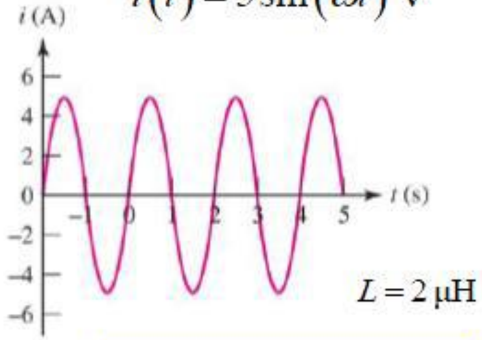


Endüktör Özellikleri

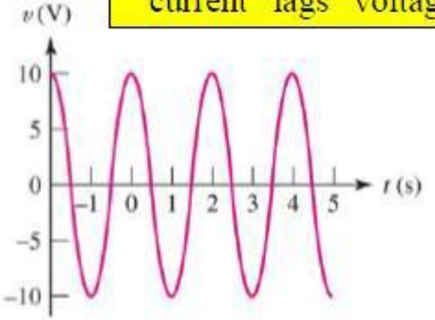


$$v = L\frac{di}{dt}$$

$$i(t) = 5\sin(\omega t)\ \mathrm{V}$$



voltage "leads" current,
current "lags" voltage



$$v(t) = 10\cos(\omega t)\ \mu\mathrm{A}$$

Kapasitöre benzer, fakat gerilim&akım arasındaki ilişki onun tersidir.

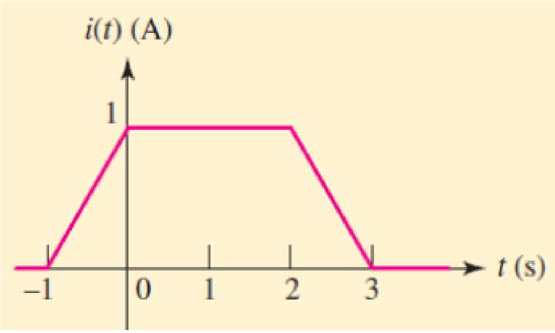
$$v_L = L\frac{di_L}{dt}$$

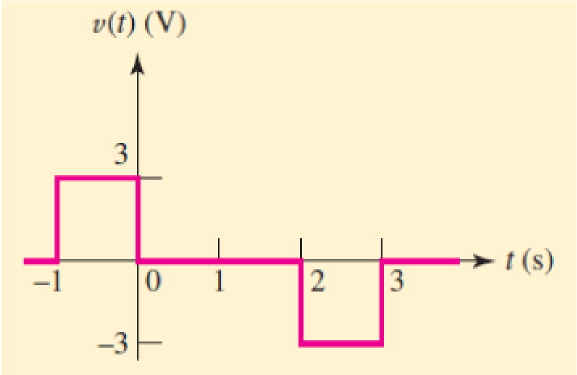
$$i_C = C\frac{dv_C}{dt}$$

- Gerilim akımdan öndedir (leads).
- Akım gerilimi geriden takip eder (lags).

ÖRNEK 7.4

- Endüktansı 3 H olan bir endüktörün akım dalga şekli aşağıdaki figürde verilmiştir. Endüktörün gerilimini bulun ve çizin. (L=3H)





$$v = 3\frac{di}{dt}$$

t < -1 sec i = 0 ampere

0 sec < t < 2 sec i = 1 ampere

t > 3 sec i = 0 ampere

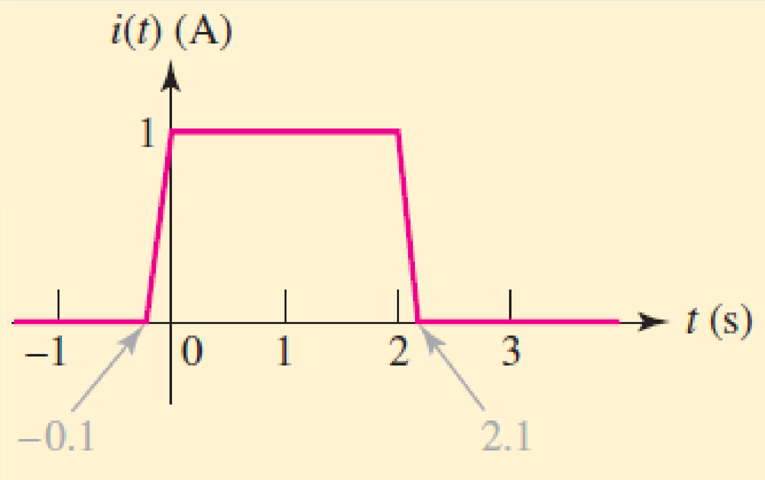
akım sabittir, v=0

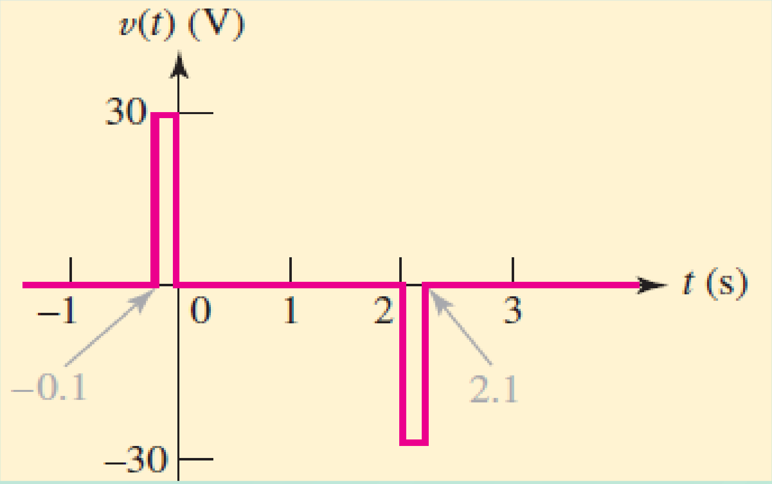
-1 sec <= t <= 0 sec di/dt = 1 A/s
v = 3 volt

2 sec <= t <= 3 sec di/dt = -1 A/s
v = -3 volt

ÖRNEK 7.5 (1)

- Endüktansı 3 H olan bir endüktörün akım dalga şekli aşağıdaki figürde verilmiştir. Endüktörün gerilimini bulun ve çizin. (L=3H)

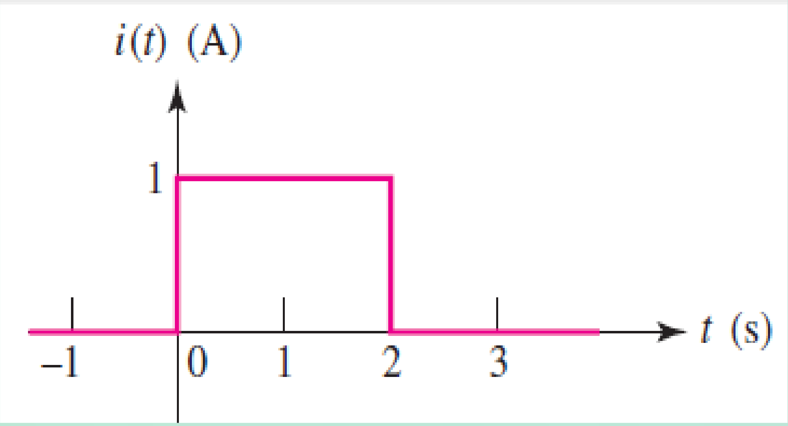


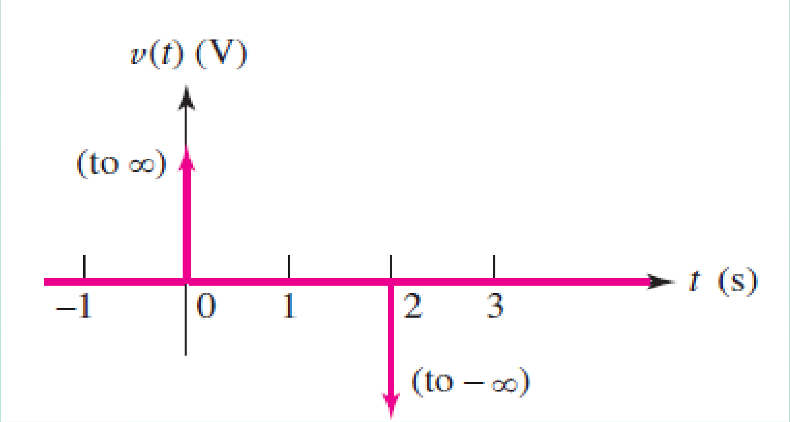


- Akımın yükselme ve düşme aralıkları 0.1 saniyeye düştü. Bu nedenle; her türevin büyüklüğü 10 kat artacak.
- Her gerilim darbesinin (pulse) altındaki alanın ***3V x sn*** olduğunu dikkatinizi çekecektir.

ÖRNEK 7.5 (2)

- Akım dalga şeklinin yükselme ve düşme aralıkları daha da düşerse, bu aralıkta gerilimin büyüklüğü oransal olarak daha da artacaktır.
- Akımdaki ani bir değişim sonsuz gerilim yükselmesine ***(spike)*** neden olacaktır. (her birinin altındaki alan 3V x sn olacak)





- Bu **bazı otomobillerin ateşleme sistemleri** için kullanışlıdır, burada endüksiyon bobininden geçen akım distribütör tarafından kesilir ve buji üzerinde kıvılcım oluşturulur.

ÖRNEK 7.6

- Endüktansı 2H olan bir endüktörün üzerindeki gerilim 6cos5t V olarak biliniyor. Eğer i(t= -π/2) = 1A ise sonuçta oluşan endüktör akımını bulun.

$$i(t) = \frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} v(\tau)\cdot d\tau + i(t_0)$$

$$i(t) = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t} 6\cos 5t'\, dt' + i(t_0)$$

$$i(t) = \frac{1}{2}\left(\frac{6}{5}\right)\sin 5t - \frac{1}{2}\left(\frac{6}{5}\right)\sin 5t_0 + i(t_0)$$
$$= 0.6\sin 5t - 0.6\sin 5t_0 + i(t_0)$$

Eğer t_0= -π/2 kabul edersek,

$$i(t) = 0.6\sin 5t - 0.6\sin(-2.5\pi) + 1$$

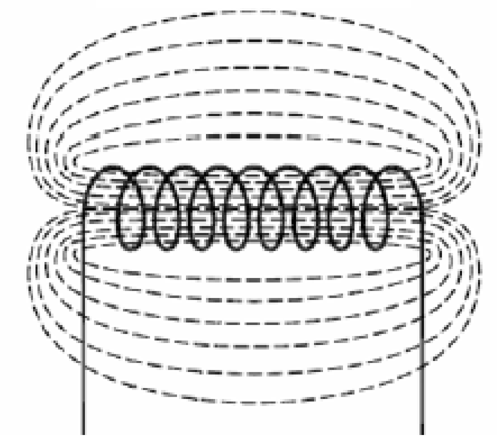
$$i(t) = 0.6\sin 5t + 1.6$$

Endüktörün Enerji Depolaması

$$p = i \cdot v$$

$$v = L\frac{di}{dt}$$

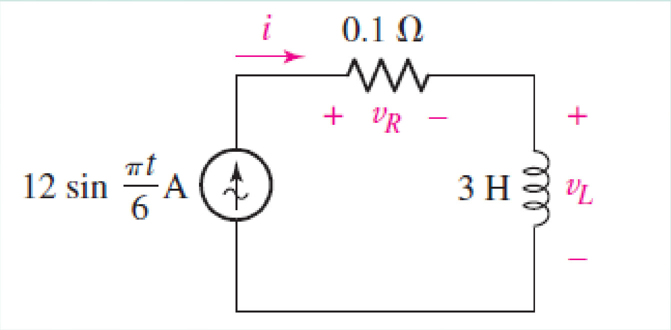
$$w = \int_0^t p(\tau)\cdot d\tau$$
$$= \int_{v(0)}^{v(t)} i \cdot L\frac{di}{d\tau}\cdot d\tau$$
$$= L\cdot\int_0^t i\cdot di$$
$$= L\cdot\frac{1}{2}i^2\Big|_0^t$$
$$= L\cdot\frac{1}{2}\left[i(t)^2 - i(0)^2\right] \rightarrow \boxed{w = \frac{1}{2}L\cdot i^2}$$



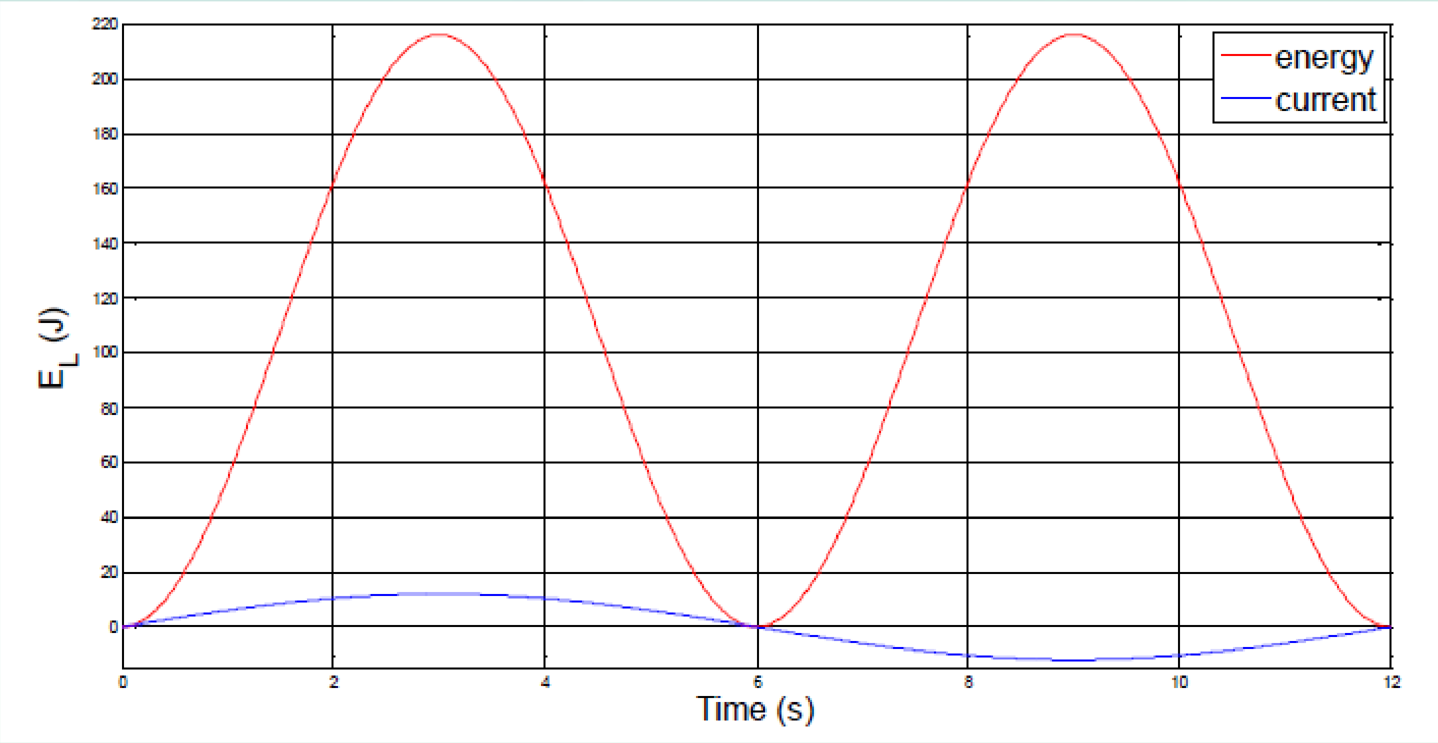
Sarımlardan akan i akımı ile endüktörde manyetik enerji depolanır.

ÖRNEK 7.7 (1)

- Endüktörde depolanan maksimum enerjiyi bulun ve enerjinin depolanıp daha sonra tekrar boşaldığı zaman aralığında direnç üzerinde harcanan enerjiyi hesaplayın.

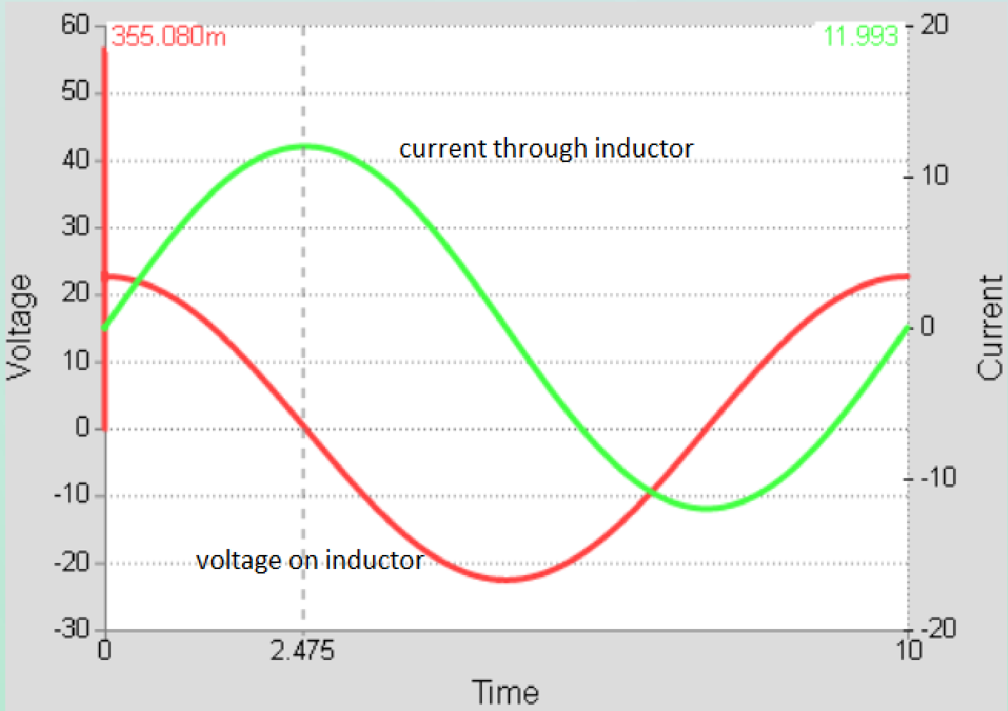


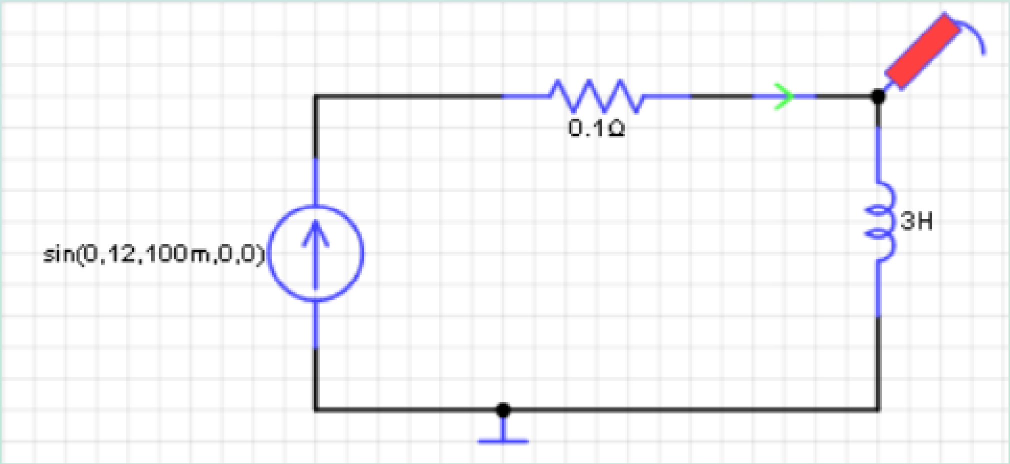
$$w_L = \frac{1}{2} L i^2 = 216 \sin^2 \frac{\pi t}{6} \qquad \mathrm{J}$$



ÖRNEK 7.7 (2)

- Endüktörde depolanan maksimum enerjiyi bulun ve enerjinin depolanıp daha sonra tekrar boşaldığı zaman aralığında direnç üzerinde harcanan enerjiyi hesaplayın.





- Akım ve gerilim arasında 90° faz farkı vardır. Gerilim akımdan öndedir (leads).

ÖRNEK 7.7 (3)

- Dirençte harcanan güç kolaylıkla şu şekilde bulunur:

$$p_R = i^2 R = 14.4 \sin^2 \frac{\pi t}{6} \qquad \text{W}$$

- 6sn zaman aralığında dirençte ısıya dönüşen enerji şu şekildedir:

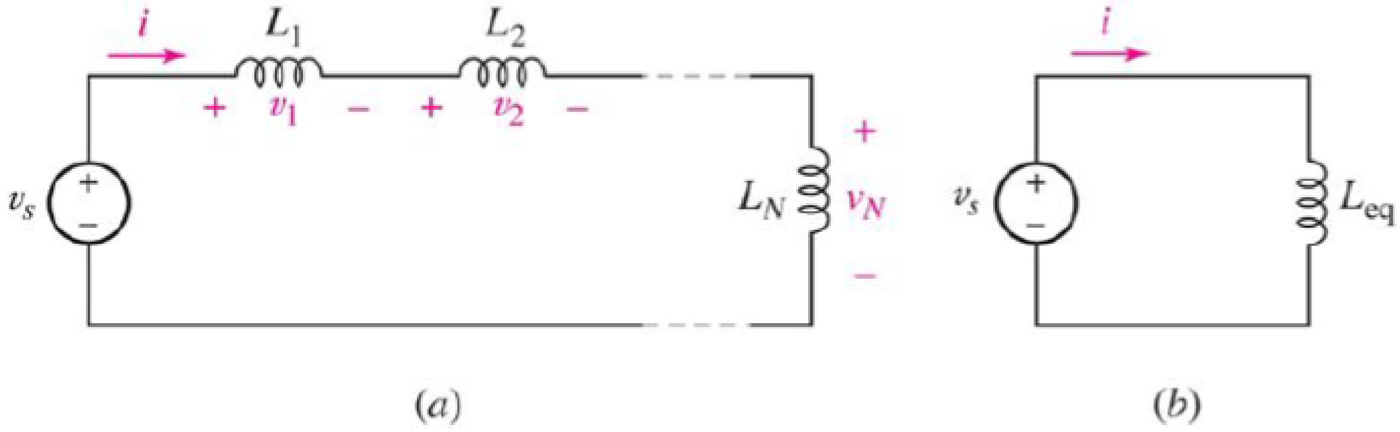
$$w_R = \int_0^6 p_R \, dt = \int_0^6 14.4 \sin^2 \frac{\pi}{6} t \, dt$$

$$w_R = \int_0^6 14.4 \left(\frac{1}{2}\right) \left(1 - \cos \frac{\pi}{3} t\right) dt = 43.2 \text{ J}$$

İdeal bir endüktörün önemli özellikleri

1. Endüktör akımı zamanla değişmiyorsa yani sabitse, endüktör üzerinde gerilim oluşmaz. Bu nedenle bir endüktör ***DC*** durumda ***kısa devre*** olur.
2. Endüktör akımının sabit olduğu durumda olduğu gibi, endüktör üzerindeki gerilim sıfır olsa bile endüktörde bir miktar enerji depolanır.
3. Endüktör üzerinde akan akımı anında belli bir miktara kadar değiştirmek mümkün değildir, zira endüktör üzerinde sonsuz bir gerilim olmasını gerektirir.
4. Endüktör hiç enerji harcamaz, enerjiyi sadece depolar. Bu ifade *matematiksel model* açısından doğru olsa bile, *fiziksel* olarak seri dirençlerden dolayı doğru değildir.

Eşdeğer Seri Endüktans



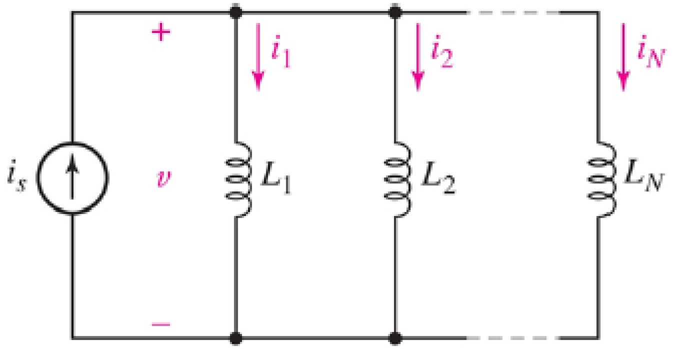
$$-v_s + \sum_{n=1}^{N} v_n = 0 \qquad v_n = L_n \frac{di}{dt}$$

$$v_s = \sum_{n=1}^{N} L_n \cdot \frac{di}{dt} = \frac{di}{dt} \sum_{n=1}^{N} L_n$$

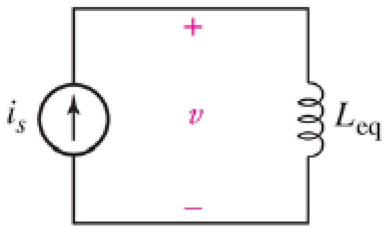
$$v_s = L_{eq} \frac{di}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} \sum_{n=1}^{N} L_n = L_{eq} \frac{di}{dt} \Rightarrow \boxed{\sum_{n=1}^{N} L_n = L_{eq}}$$

Eşdeğer Paralel Endüktans



(a)



(b)

$$-i_s+\sum_{n=1}^{N}\left\{\frac{1}{L_n}\int_{t_0}^{t} v\cdot dt' + i_n(t_0)\right\}=0 \qquad v=L_n\frac{di_n}{dt}$$

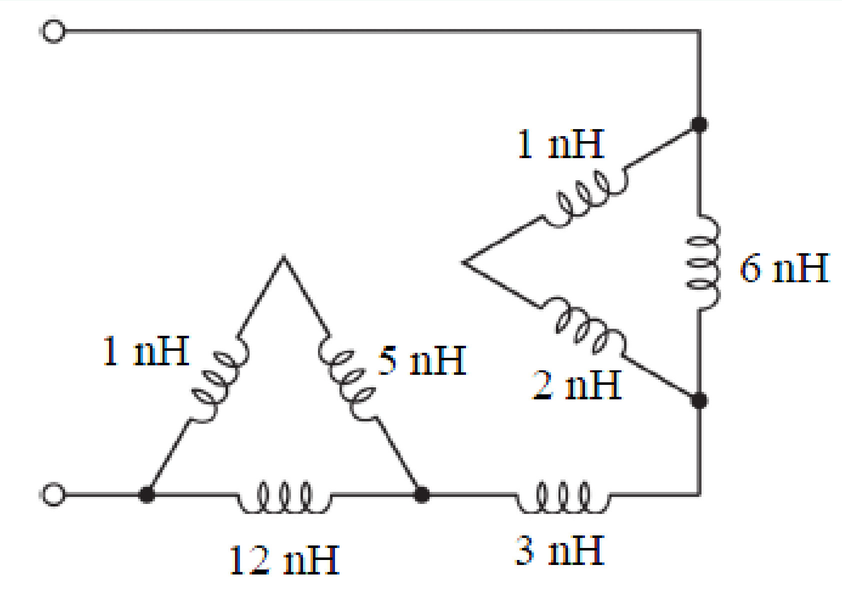
$$i_s=\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{L_n}\left\{\int_{t_0}^{t} v\cdot dt'\right\}+\sum_{n=1}^{N} i_n(t_0)$$

$$i_s=\frac{1}{L_{eq}}\int_{t_0}^{t} v\cdot dt' + i_s(t_0)$$

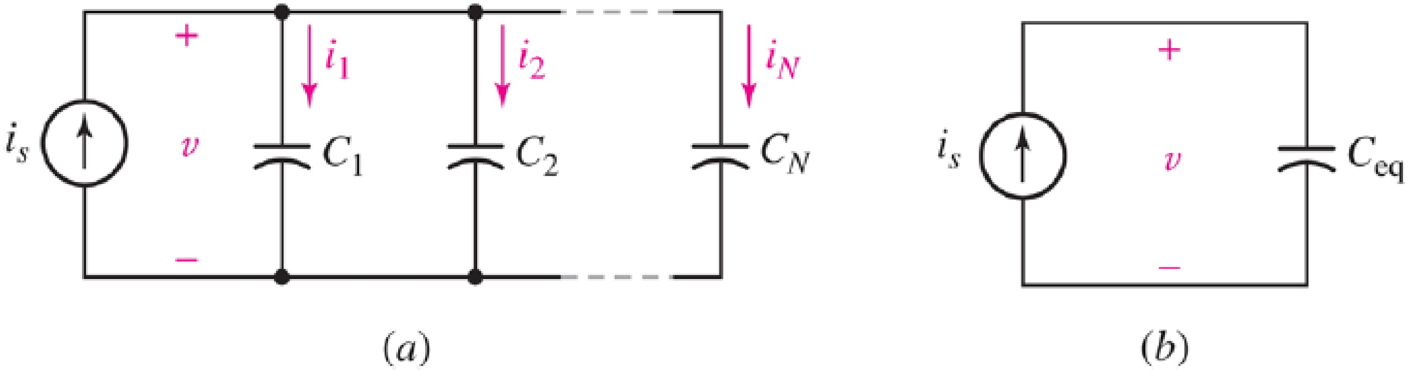
$$\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{L_n}\left\{\int_{t_0}^{t} v\cdot dt'\right\}+\sum_{n=1}^{N} i_n(t_0)=\frac{1}{L_{eq}}\int_{t_0}^{t} v\cdot dt' + i_s(t_0) \Rightarrow \boxed{\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{L_n}=\frac{1}{L_{eq}}}$$

ÖRNEK

- Açık devre terminallerde eşdeğer endüktansı (L_{eq}) bulunuz.



Eşdeğer Paralel Kapasitans



(a) (b)

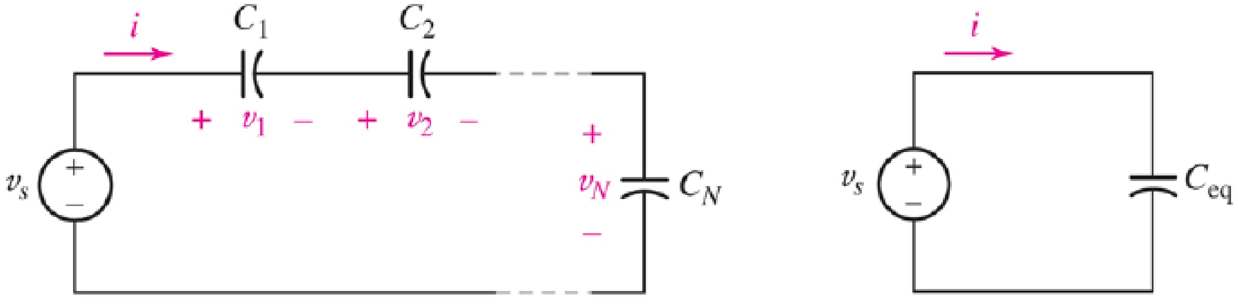
$$-i_s + \sum_{n=1}^{N} i_n = 0 \qquad i_n = C_n \frac{dv}{dt}$$

$$i_s = \sum_{n=1}^{N} C_n \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dt} \sum_{n=1}^{N} C_n$$

$$i_s = C_{eq} \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} \sum_{n=1}^{N} C_n = C_{eq} \frac{dv}{dt} \Rightarrow \boxed{\sum_{n=1}^{N} C_n = C_{eq}}$$

Eşdeğer Seri Kapasitans



(a) (b)

$$-v_s + \sum_{n=1}^{N}\left\{\frac{1}{C_n}\int_{t_0}^{t} i\cdot dt' + v_n(t_0)\right\} = 0 \qquad i = C_n\frac{dv_n}{dt}$$

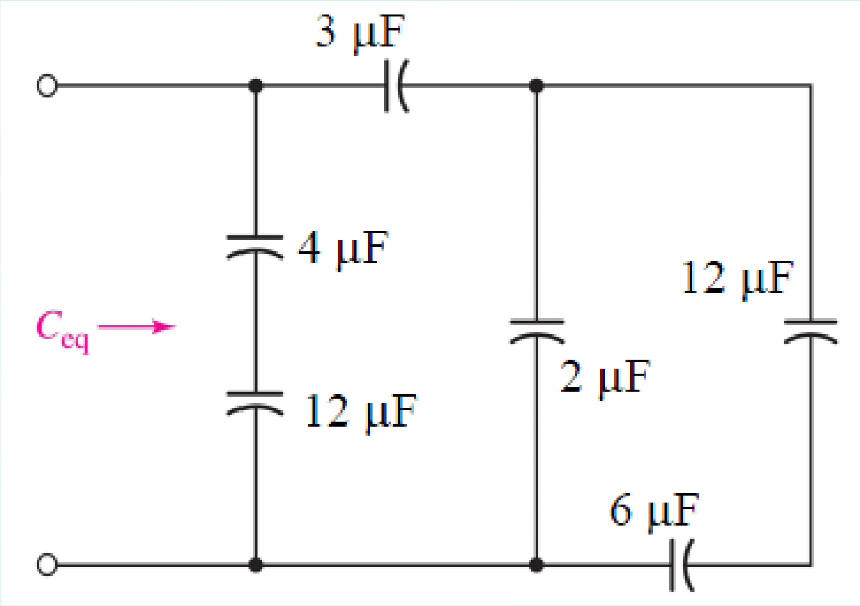
$$v_s = \sum_{n=1}^{N}\frac{1}{C_n}\left\{\int_{t_0}^{t} i\cdot dt'\right\} + \sum_{n=1}^{N} v_n(t_0)$$

$$v_s = \frac{1}{C_{eq}}\int_{t_0}^{t} i\cdot dt' + v_s(t_0)$$

$$\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{C_n}\left\{\int_{t_0}^{t} i\cdot dt'\right\} + \sum_{n=1}^{N} v_n(t_0) = \frac{1}{C_{eq}}\int_{t_0}^{t} i\cdot dt' + v_s(t_0) \Rightarrow \boxed{\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{C_n} = \frac{1}{C_{eq}}}$$

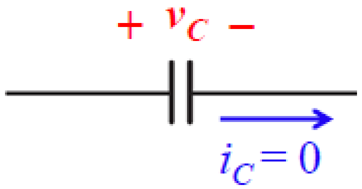
ÖRNEK

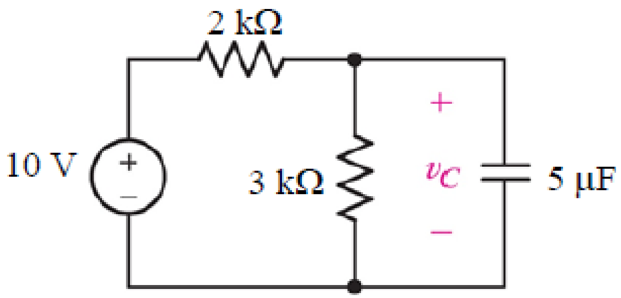
- Eşdeğer kapasitansı C_{eq} bulunuz.

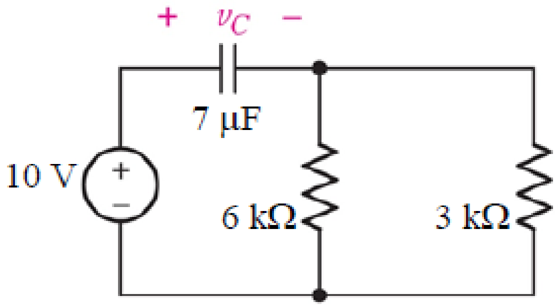


DC Kapasitör Devreleri (1)

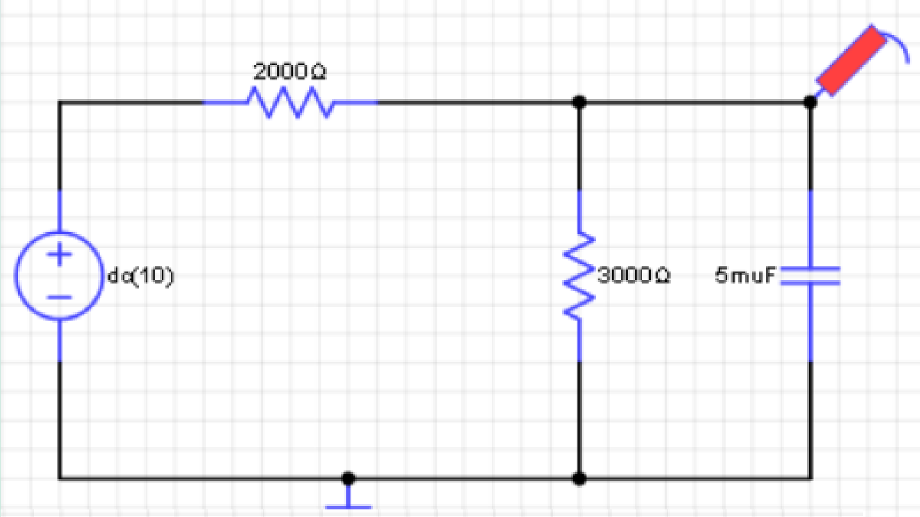
- DC bir devrede uzun süre bulunan bir kapasitör **açık devre** gibi davranır.

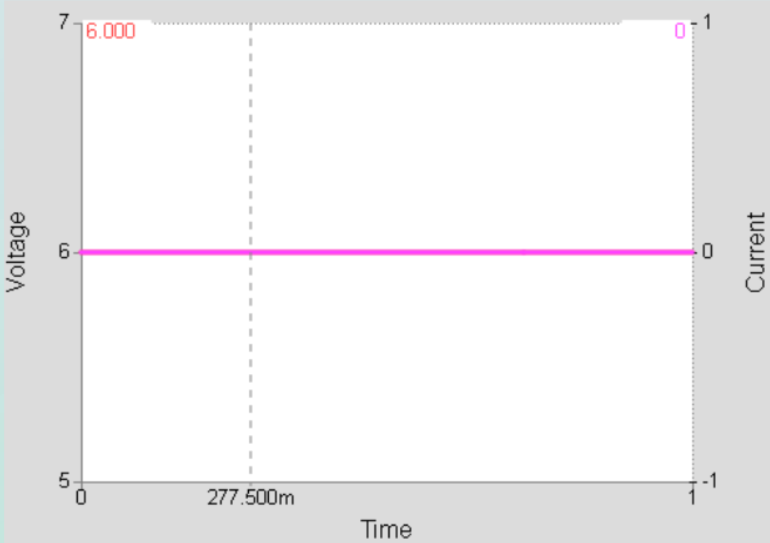


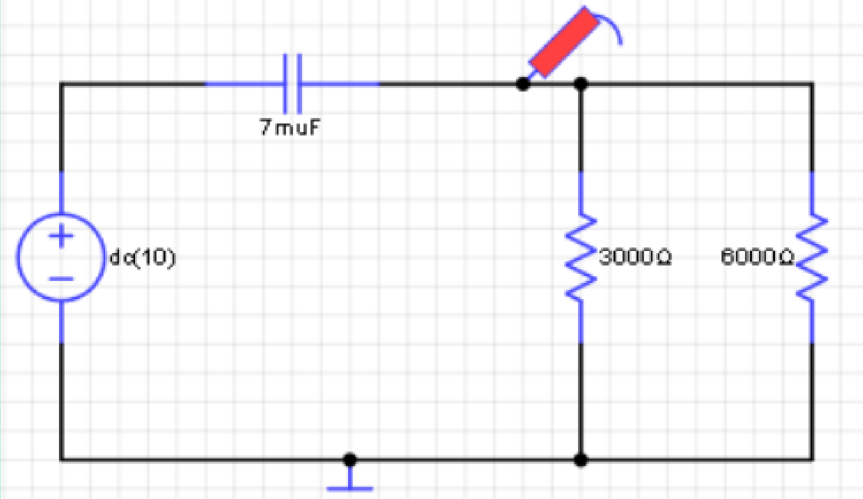


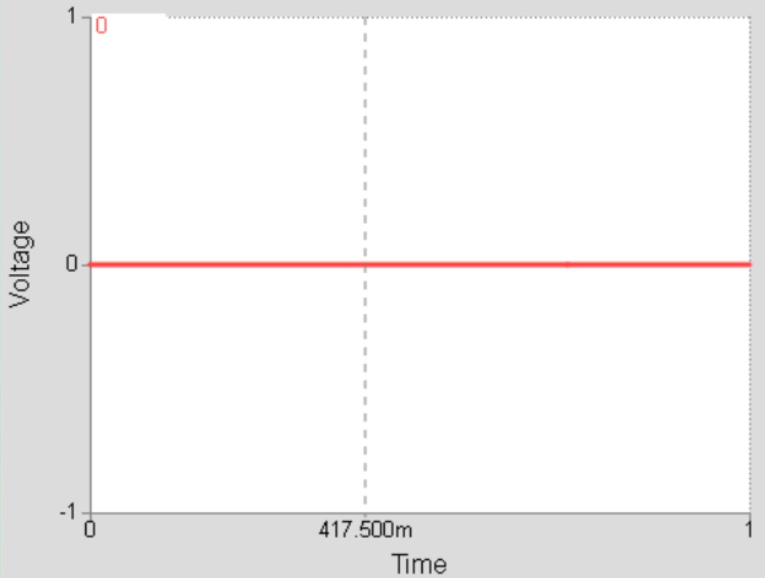


DC Kapasitör Devreleri (2)



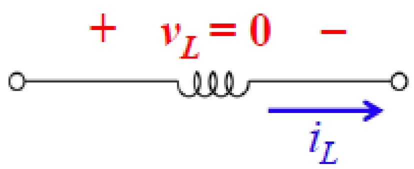


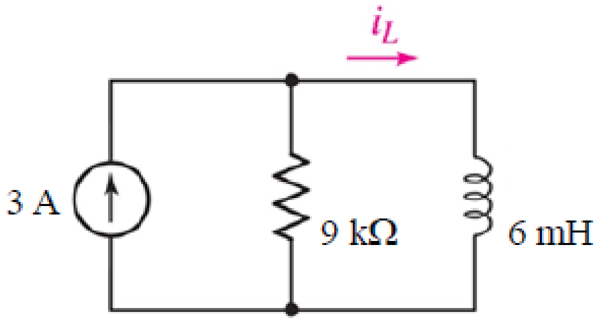


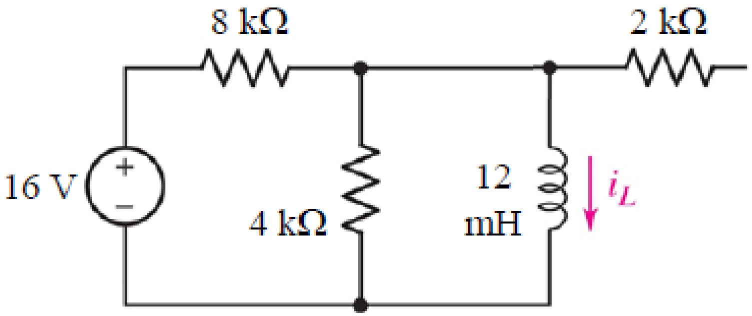


DC Endüktör Devreleri (1)

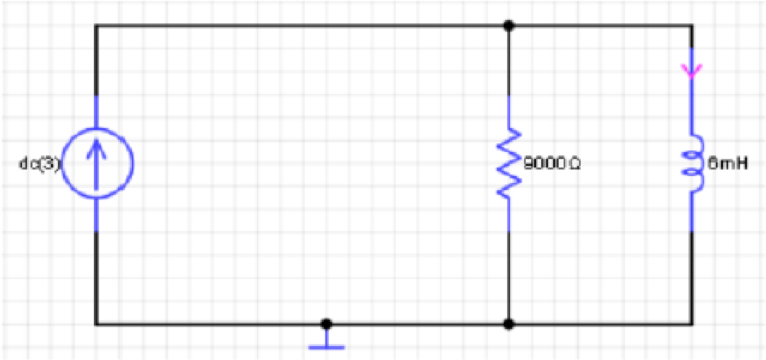
- Bir endüktör DC bir devrede uzun süre bulunduğunda **kısa devre** gibi davranır.

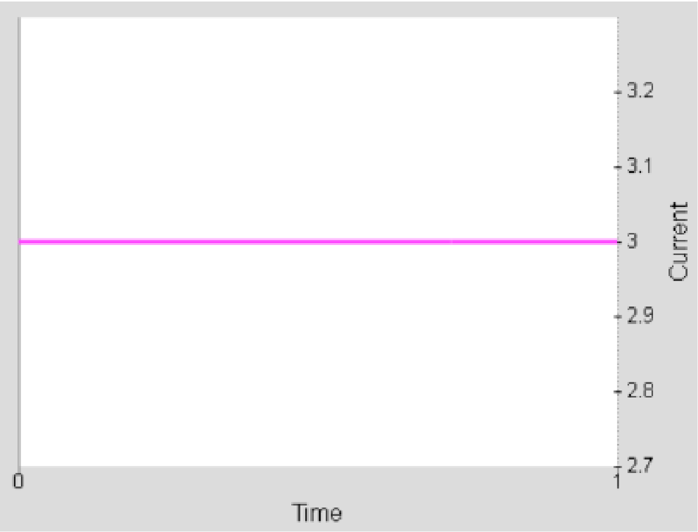


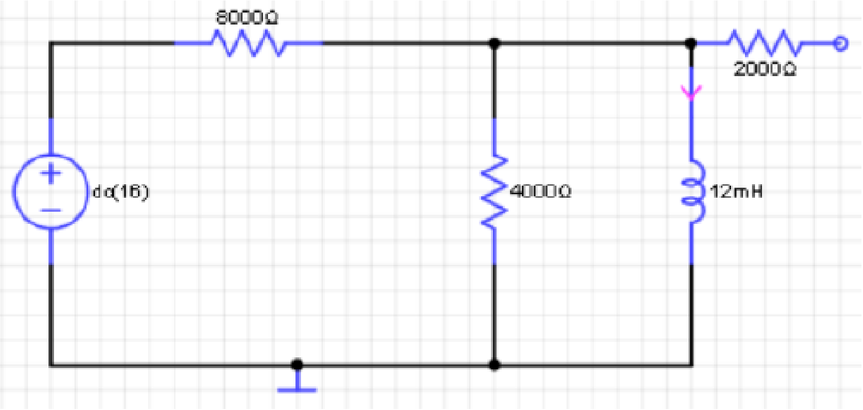


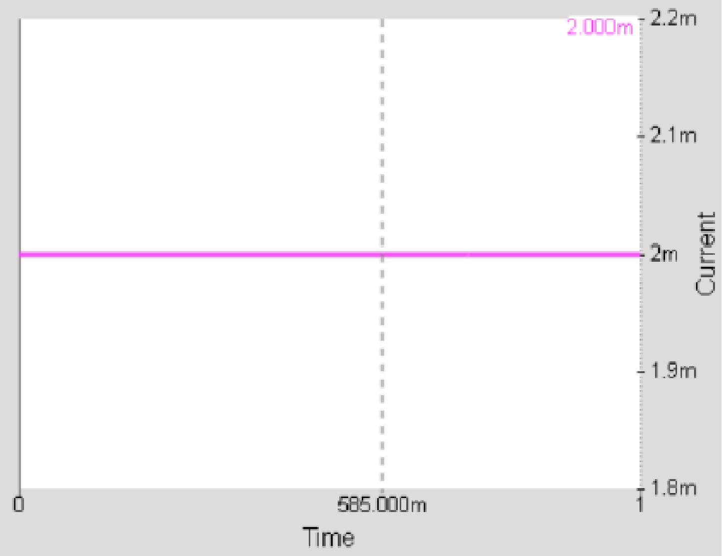


DC Endüktör Devreleri (2)







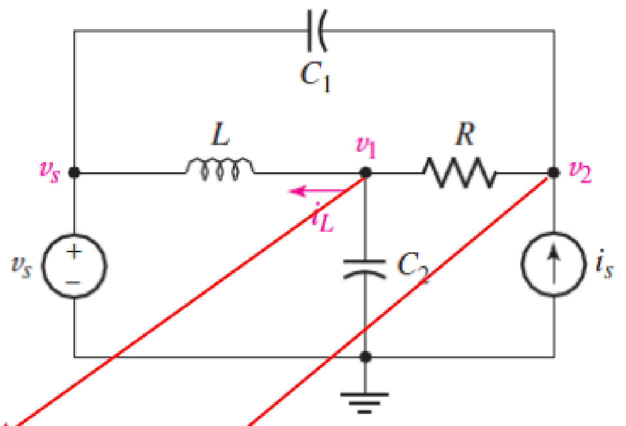


Lineerliğin Sonuçları

- RLC devrelerinde hem yeterli hem de bağımsız bir takım denklemleri yazarak uygulayabiliriz. (Kirchhoffs yasalarını güvenli bir şekilde uygulayabiliriz). Onlar sabit katsayılı **lineer integral-diferansiyel denklemleri** olacaklar.
- **Süperpozisyon** RLC devrelerine uygulanabilir fakat süperpozisyonu uygularken endüktörün başlangıç (initial) akımına ve kapasitörün başlangıç gerilimine, bağımsız kaynaklar gibi davranılması gerektiği vurgulanmalıdır.
- Bağımsız gerilim ve akım kaynakları, lineer bağımlı gerilim ve akım kaynakları ve de lineer direnç, endüktör ve kapasitör gibi elemanların herhangi bir kombinasyonunu içeren tüm lineer devreler **Norton** ve **Thevenin teoremleri** kullanılarak analiz edilebilir.

ÖRNEK 7.9 (1)

- Devre için uygun olan düğüm denklemlerini yazın



v1 düğümünde KCL

$$\frac{1}{L}\int_{t_0}^{t}(v_1 - v_s)\,dt' + i_L(t_0) + \frac{v_1 - v_2}{R} + C_2\frac{dv_1}{dt} = 0$$

v2 düğümünde KCL

$$C_1\frac{d(v_2 - v_s)}{dt} + \frac{v_2 - v_1}{R} - i_s = 0$$

Bu denklemleri yeniden yazdığımız zaman

lineer integral diferansiyel denklemleri

$$\frac{v_1}{R} + C_2\frac{dv_1}{dt} + \frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} v_1\,dt' - \frac{v_2}{R} = \frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} v_s\,dt' - i_L(t_0)$$

$$-\frac{v_1}{R} + \frac{v_2}{R} + C_1\frac{dv_2}{dt} = C_1\frac{dv_s}{dt} + i_s$$

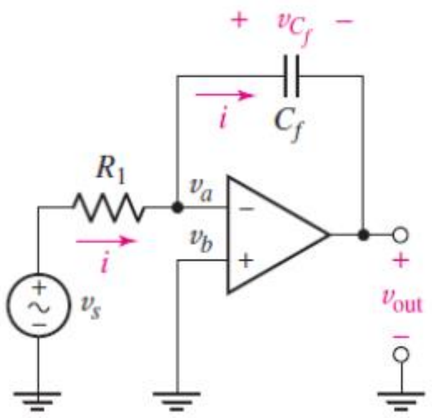
ÖRNEK 7.9 (2)

- İntegral-diferansiyel denklemlerin çözümünü burada yapmaya çalışmayacağız. Ancak gerilim uyarı fonksiyonları **sinüzoidal zaman fonksiyonları** olduğunda, gerilim-akım oranını (**empedans**) veya akım-gerilim oranını (**admitans**) tanımlamanın mümkün olabileceğine dikkat çekmek faydalı olacaktır.
- Önceki slayttaki denklemlerde iki düğüm gerilimi üzerinde yürütülen faktörler o zaman basit çarpım faktörleri haline gelecek ve bu denklemler bir kez daha lineer cebirsel denklemler olacaktır.
- Bu denklemleri daha önceden olduğu gibi determinantlarla veya değişkenlerin basit eliminasyonu ile çözebiliriz.

Kapasitör ve Endüktör Elemanları ile Basit Op-Amp Devreleri

- İdeal Op-Amp tabanlı kuvvetlendirici devrelerinde. Hemen hemen her durumda, çıkışın giriş gerilimine dirençlerin oranlarının bazı kombinasyonları kadar bağlantılı olduğunu bulduk.
- Eğer bu dirençlerin bir veya daha fazlasını kapasitör ve/veya endüktör ile değiştirirsek, çıkışın giriş geriliminin türevi veya integraline orantılı olduğu bazı enteresan devreler elde etmek mümkündür.
- Böyle devreler pratikte geniş çapta kullanılır. Örneğin, bir hız sensörü ivmeyle orantılı miktarda sinyal veren bir Op-Amp devresine bağlanabilir veya bir metal elektroda gelen toplam yükü ifade eden çıkış sinyalini, belli bir zaman periyodunda ölçülen akımın basitçe integralini alarak elde eden bir Op-Amp devresi.

Bir İntegratör Devresi



Eviren girişte düğüm analizi uygulanıyor,

$$0 = \frac{v_a - v_s}{R_1} + i$$

Akımı kapasitör üzerindeki gerilim ile ilişkilendirebiliriz,

$$i = C_f \frac{dv_{C_f}}{dt}$$

Sonuçta şu denklemi elde ederiz,

$$0 = \frac{v_a - v_s}{R_1} + C_f \frac{dv_{C_f}}{dt}$$

İdeal Op-Amp'ın 2. kuralını hatırlarsak, $v_a = v_b = 0$ olduğunu biliyoruz. Dolayısıyla,

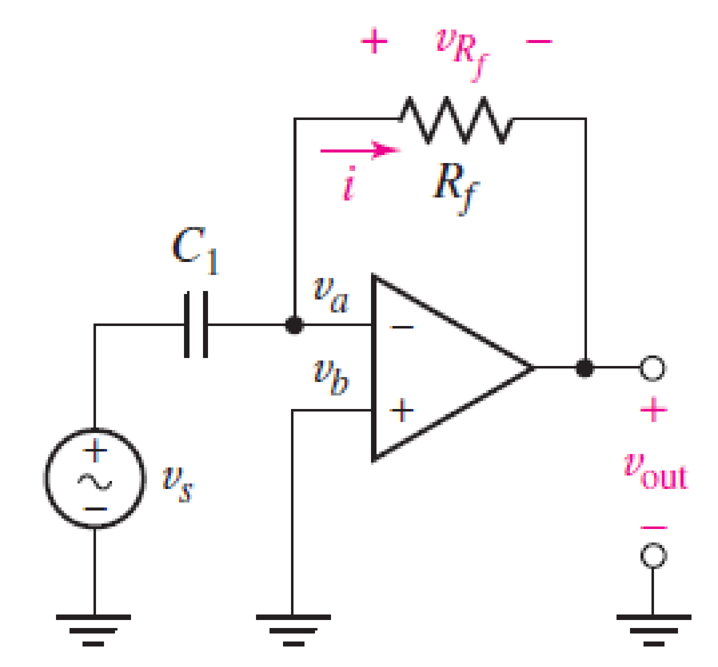
$$0 = \frac{-v_s}{R_1} + C_f \frac{dv_{C_f}}{dt}$$

İntegral alıp çözersek v_{out}' u elde ederiz,

$$v_{C_f} = v_a - v_{out} = 0 - v_{out} = \frac{1}{R_1 C_f} \int_0^t v_s \, dt' + v_{C_f}(0)$$

$$v_{out} = -\frac{1}{R_1 C_f} \int_0^t v_s \, dt' - v_{C_f}(0)$$

ÖRNEK 7.10 (Türev Alıcı)



Eviren girişte bir düğüm denklemi yazarak başlıyoruz

$v_{C_1} \triangleq v_a - v_s$: koşulu ile birlikte

$$0 = C_1 \frac{dv_{C_1}}{dt} + \frac{v_a - v_{out}}{R_f}$$

İdeal Op-Amp'ın 2. kuralını hatırlarsak, biliyoruz ki va = vb = 0. Dolayısıyla

$$C_1 \frac{dv_{C_1}}{dt} = \frac{v_{out}}{R_f}$$

Çözümü yaparsak eğer v_{out}'u bulabiliriz

$$v_{out} = R_f C_1 \frac{dv_{C_1}}{dt}$$

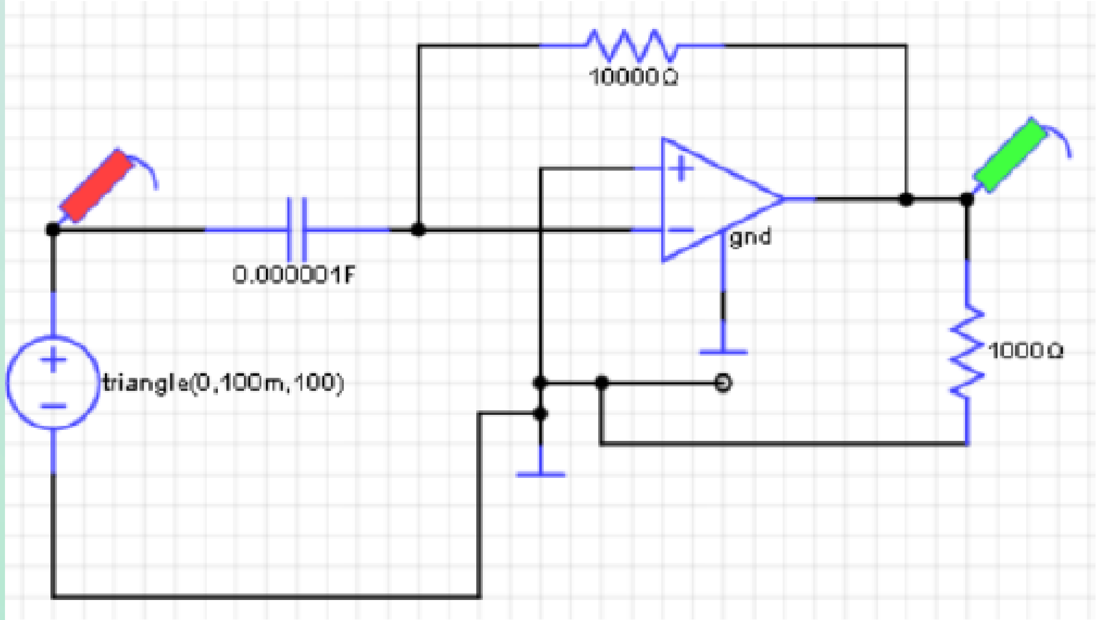
$v_{C_1} = v_a - v_s = -v_s$, olduğuna göre

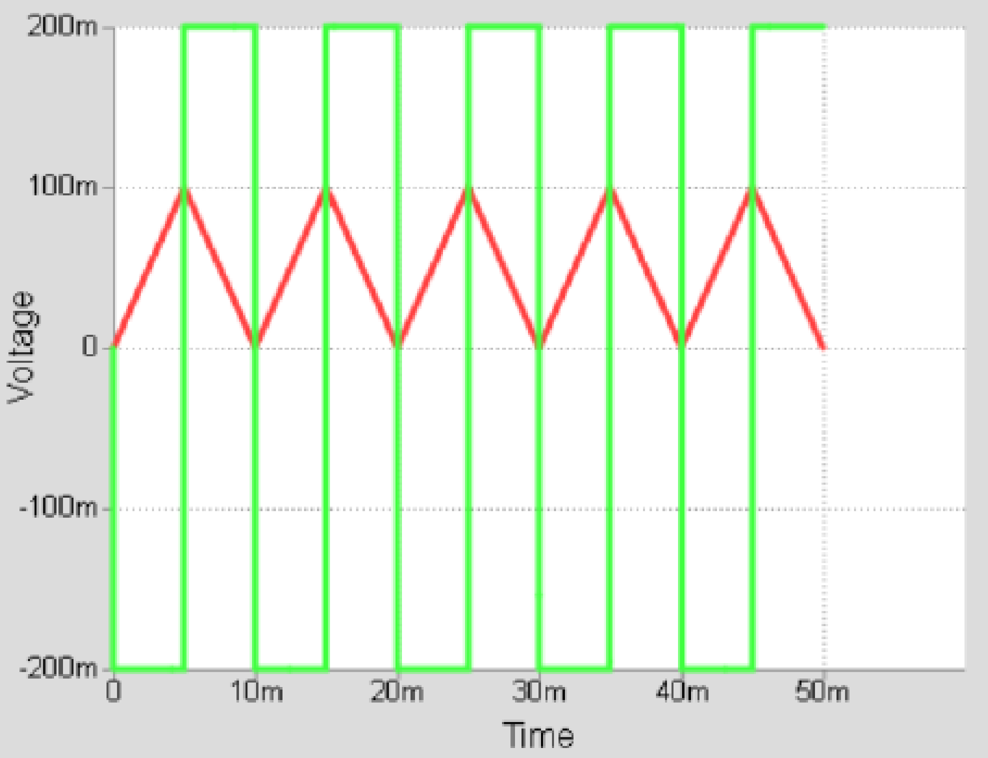
$$v_{out} = -R_f\, C_1 \frac{dv_s}{dt}$$

ÖRNEK 7.10 (Gerçek bir uygulama)

$C = 1\ \mu F$
$R = 10\ K\Omega$
$RC = 0.01\ (sec)$

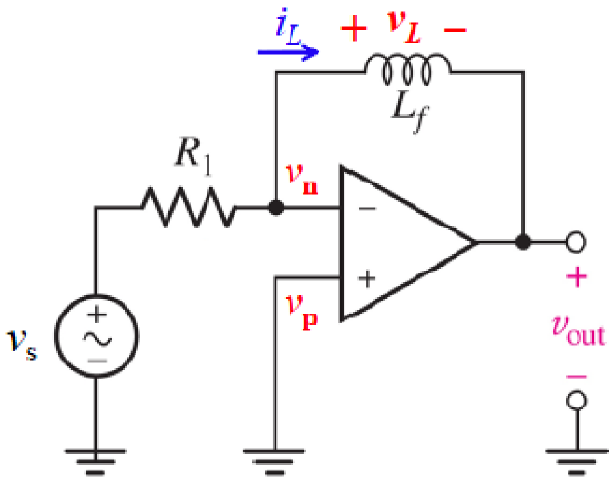
$dv/dt = 100\ mV/5\ msec = 20\ V/sec$





PRATİK

- Aşağıdaki devre için v_{out} gerilimini v_s gerilimi cinsinden veren bir ifade elde ediniz.



$$v_n = v_p \quad , \quad i_n = i_p = 0$$

$$\frac{v_s - v_n}{R_1} - i_L = 0$$

$$\frac{v_s - v_n}{R_1} - \frac{1}{L_f}\int_{t_0}^{t} v_L \cdot dt' + i_n(t_0) = 0$$

$$\frac{v_s - v_n}{R_1} - \frac{1}{L_f}\int_{t_0}^{t} (v_n - v_{out}) \cdot dt' + i_n(t_0) = 0$$

$$\int_{t_0}^{t} v_{out} \cdot dt' + L_f \cdot i_n(t_0) = -\frac{L_f}{R_1} v_s$$

$$v_{out} = \frac{d}{dt}\left(-\frac{L_f}{R_1} v_s\right) =$$

Özet & Tekrar

➢ Kapasitörler

- Elektrik alanda enerji depolar: Geçici akım uygulanarak enerji şarj edilir.

$$v_C(t) = \frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} i_C(t')\cdot dt' + v_C(t_0) \quad \Rightarrow \quad i_C = C\frac{dv_C}{dt} \qquad\qquad w_C = \frac{1}{2}C\cdot v_C^{\,2}$$

- DC bir devrede uzun süre bulunan kapasitör ➡ **Açık Devre**
- Paralel kapasitörler seri dirençler gibi toplanır (ve tersi de doğrudur)

➢ Endüktörler

- Manyetik alanda enerji depolar: Geçici gerilim uygulanarak enerji şarj edilir.

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} v_L(t')\cdot dt' + i_L(t_0) \quad \Rightarrow \quad v_L = L\frac{di_L}{dt} \qquad\qquad w_L = \frac{1}{2}L\cdot i_L^{\,2}$$

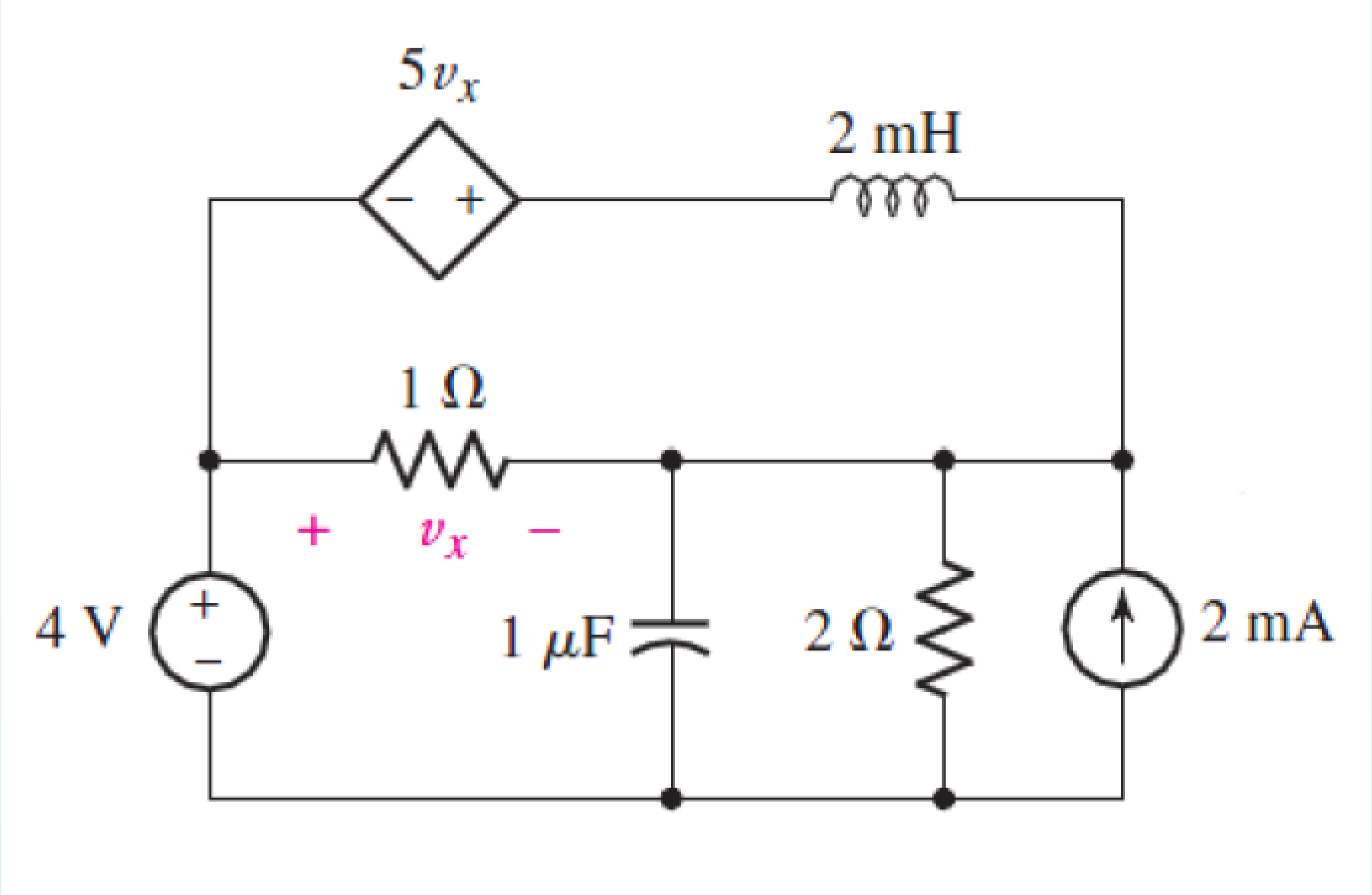
- DC bir devrede uzun süre bulunan endüktör ➡ **Kısa Devre**
- Seri endüktörler seri dirençler gibi toplanır. (ve tersi de doğrudur)

➢ Lineer Devre Elemanları

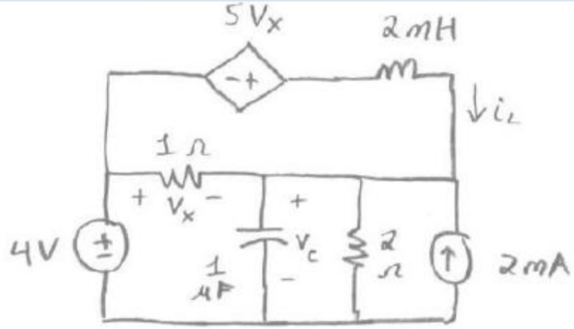
- KVL, KCL, düğüm & çevre analizi, süperpozisyon, Thevenin/Norton **hepsi uygulanır.**

Örnek 1

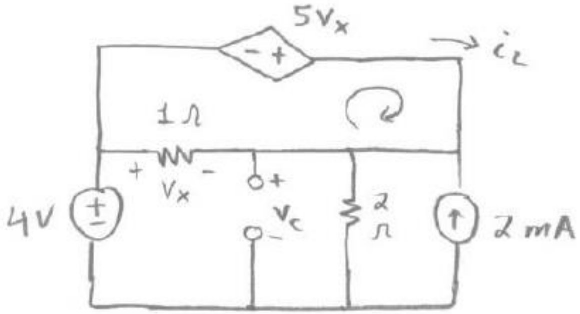
Enerji depolama elemanlarında depolanan enerji değerlerini bulunuz.



Çözüm 1



at DC,

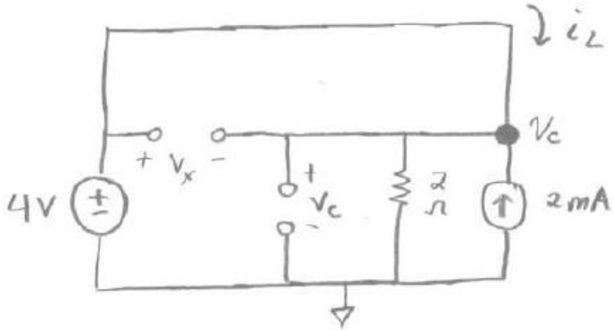


L → short

C → open

KVL around the top mesh:

$$-5V_x - V_x = 0 \Rightarrow \underline{V_x = 0}$$



Çözüm 1

$V_c = 4\ V \quad \therefore \quad w_c = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2}(1\mu)(4)^2 = \boxed{8\ \mu J}$

KCL @ V_c : $\quad i_L - \frac{4V}{2\Omega} + 2\,mA = 0 \quad \Rightarrow \quad i_L = 1.998\ A$

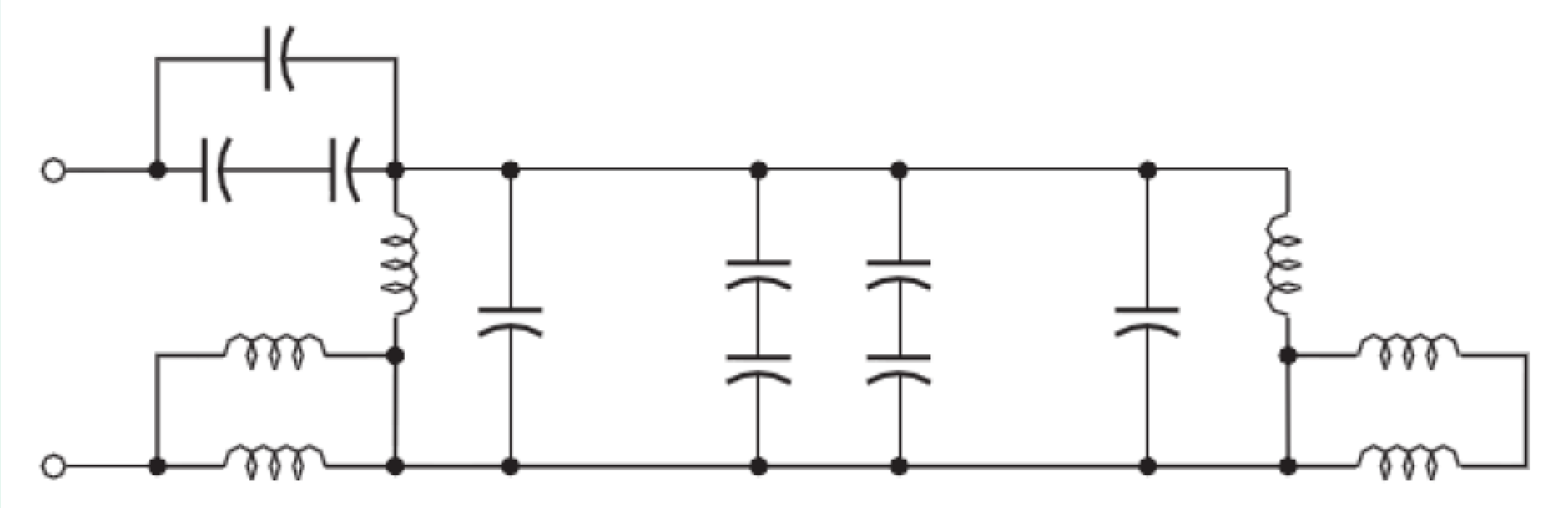
$\approx 2\ A$

$$w_L = \frac{1}{2} L i^2$$

$$= \frac{1}{2}(2m)(2)^2 \approx \boxed{4\ mJ}$$

Örnek 2

Devreyi en sade hale getiriniz. Endüktör değerleri 1nH ve kapasitör değerleri 1 mF.



Çözüm 2