

EEM211 ELEKTRİK DEVRELERİ-I

Prof. Dr. Selçuk YILDIRIM

Siirt Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Kaynak (Ders Kitabı):

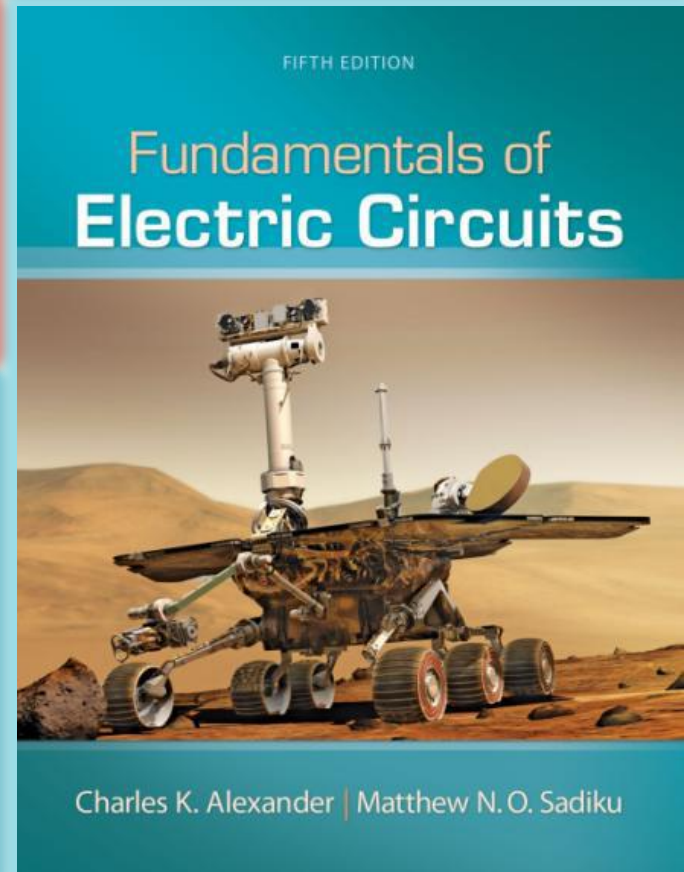
Fundamentals of Electric Circuits

Charles K. Alexander

Matthew N.O. Sadiku

McGraw Hill, 5th edition

ISBN: 978-0073380575, 2013.



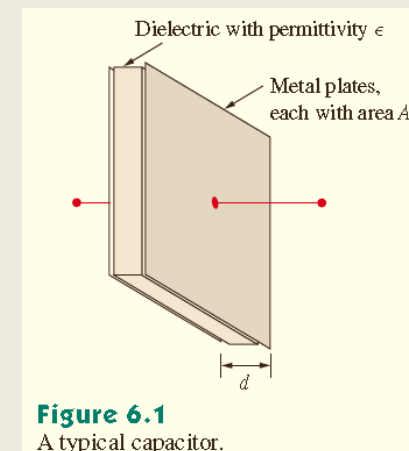
6. Bölüm: Kondansatör ve İndüktans

6.1 Giriş

- Şimdiye kadar dirençli devreleri inceledik. Bu bölümde, iki önemli pasif lineer devre elemanını inceleyeceğiz: Kondansatör ve indüktans.
- Enerji tüketen dirençten farklı olarak, kondansatör ve indüktans enerjiyi tüketmez, ancak bir süre sonra geri alınabilecek şekilde enerjiyi depolar.
- Bu nedenle, kondansatör ve indüktans enerji depolama elemanları olarak isimlendirilir.
- Dirençli devrelerin uygulaması oldukça sınırlıdır. Bu bölümde, kondansatör ve indüktansı inceleyerek daha önemli ve pratik devrelerin analizini yapabileceğiz.
- 3. ve 4. bölümdeki devre analizi tekniklerinin aynı şekilde kondansatör ve indüktanslı devrelere de uygulanabildiği gösterilecektir.
- Kondansatörlerin seri veya paralel bağlantıları ile indüktansların seri veya paralel bağlantılarını inceleyeceğiz.
- Uygulamalarda ise, kondansatörlerle op-amp'ların birleştirilerek integral alıcı ve türev alıcı devrelerin nasıl yapıldığını açıklayacağız.

6.2 Kondansatör

- Kondansatör, kendi elektrik alanında enerji depolamak için tasarlanan pasif elemandır.
- Dirençlere göre, kondansatörler daha yaygın olarak kullanılan elektriksel bileşenlerdir.
- Kondansatörler elektronik, haberleşme, bilgisayar ve güç sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılır.
- Örneğin, radyo alıcılarının ayar devrelerinde ve bilgisayar sistemlerinde dinamik hafıza elemanı olarak kullanılır.
- Tipik bir kondansatör devresi
- Şekil 6.1'de gösterilmiştir.
- Bir kondansatör, bir yalıtkan (veya dielektrik) ile ayrılmış iki iletken levhadan oluşur.



- Birçok pratik uygulamada, plakalar alüminyum folyo olabilirken, dielektrik malzeme ise hava, seramik, kağıt veya mika olabilir.
- Şekil 6.2'deki gibi kondansatöre bir v gerilim kaynağı bağlandığında kaynak, bir plaka üzerinde q pozitif yükü ve diğer plaka üzerinde $-q$ negatif yükü biriktirir.
- Kondansatör, bu elektrik yükünü depolar. Depolanan yükün miktarı, q ile gösterilir ve yük uygulanan v gerilimi ile doğru orantılıdır.

$$q = Cv$$

- C, kapasite olarak bilinen oransal sabittir.
- Kapasitenin birimi farad (F)'dır.
- Bu denklemden aşağıdaki tanımı elde ederiz:
- **Kapasite, kondansatörün bir plakasındaki yükün iki plaka arasındaki potansiyel farka oranıdır. (1 farad = 1 coulomb/volt)**

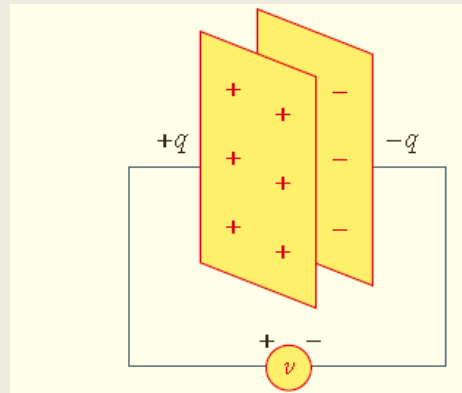


Figure 6.2

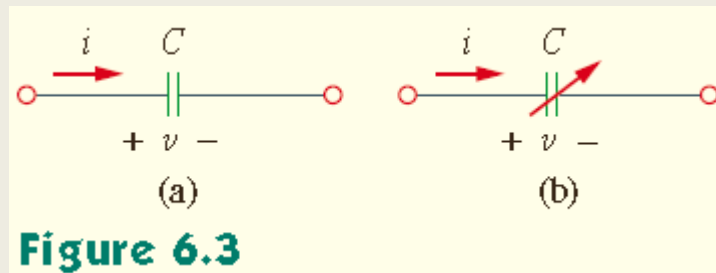
A capacitor with applied voltage v .

- Bir kondansatörün C kapasitesi, q yükünün uygulanan gerilime oranı olmasına rağmen, kapasite q veya v 'ye bağlı değildir.
- Kapasite, kondansatörün fiziksel boyutlarına bağlıdır.
- Örneğin, Şekil 6.1'de gösterilen paralel plakalı kondansatör için kapasite aşağıdaki formül ile hesaplanır:

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

- Burada, A her bir plakanın yüzey alanı, d plakalar arasındaki uzaklık ve ϵ plakalar arasındaki dielektrik malzemenin bağıl geçirgenliğidir.
- Bu denklem sadece paralel plakalı kondansatörlere uygulanmasına rağmen, genel olarak kapasitenin değerini üç faktör belirler:
 1. **Plakaların yüzey alanı;** daha büyük alan, daha büyük kapasite.
 2. **Plakalar arasındaki mesafe;** daha küçük mesafe, daha büyük kapasite.
 3. **Malzemenin bağıl geçirgenliği;** daha yüksek bağıl geçirgenlik, daha büyük kapasite.

- Kondansatörlerin ticari olarak farklı değerleri ve tipleri mevcuttur.
- Tipik olarak, kondansatörlerin pikofarad (pF) ile mikrofarad (μF) aralığında değerleri vardır.
- Kondansatörler dielektrik malzemeyle tanımlanır, sabit veya değişken tipte imal edilirler.
- Şekil 6.3'te sabit ve değişken kondansatörlerin devre sembolleri gösterilmiştir.



- Pasif işaret dönüşümüne göre; $v > 0$ ve $i > 0$ veya $v < 0$ ve $i < 0$ ise, kondansatör şarj olur ve $v \cdot i < 0$ ise kondansatör deşarj olur.

- Şekil 6.4'te sabit değeri kondansatörlerin genel tipleri gösterilmiştir.
- Polyester kondansatörler ağırlıkta hafif, sağlam ve sıcaklıkla değişimi önceden tahmin edilebilir. Polyester yerine, mika ve polisitrin gibi dielektrik malzemeler kullanılabilir. Elektrolitik kondansatörler çok yüksek kapasiteli üretilir.

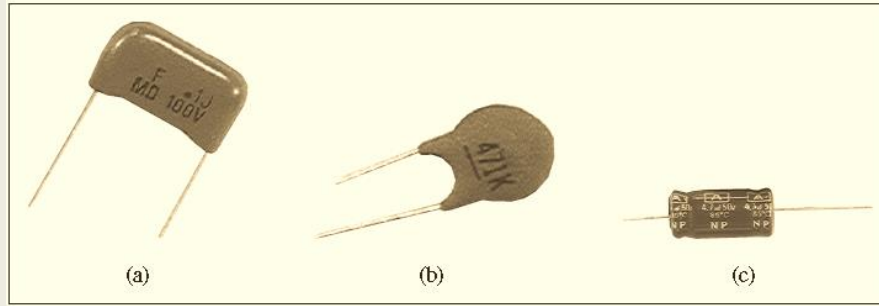


Figure 6.4

Fixed capacitors: (a) polyester capacitor, (b) ceramic capacitor, (c) electrolytic capacitor.

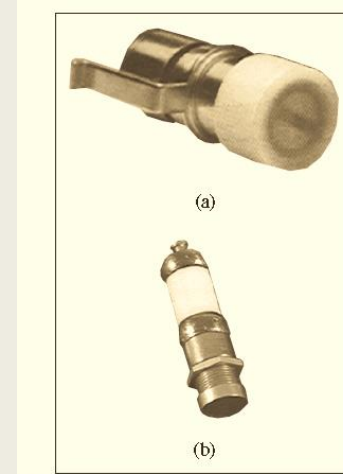


Figure 6.5

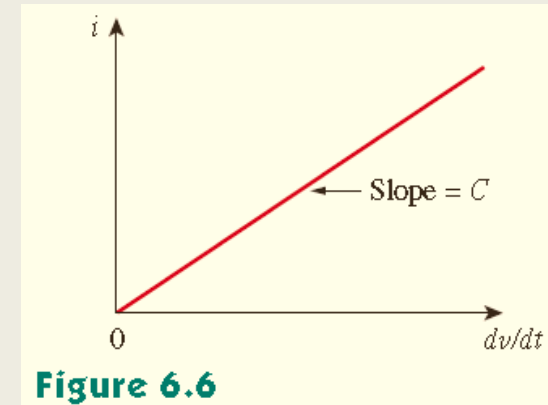
- Şekil 6.5'te değışken kondansatörlerin yaygın tipleri gösterilmiştir.
- Değişken kondansatörler değışik istasyonları ayarlamak için radyo alıcılarında kullanılır.
- Ayrıca, faz kaydırma, enerji depolama, start motorları ve gürültü bastırmada da kullanılır.

- Kondansatörün akım-gerilim ilişkisini elde etmek için, $q = Cv$ denkleminin her iki tarafının türevini alırız.

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

Burada, $i = \frac{dq}{dt}$ yazarak,

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



elde edilir. Bu, bir kondansatör için akım-gerilim ilişkisidir.

- Şekil 6.6’da bir kondansatör için kapasitesinin gerilimden bağımsız olduğu gösterilmiştir. Bu denklemi sağlayan kondansatörler lineer olarak isimlendirilir.
- Nonlineer bir kondansatörde akım-gerilim ilişkisinin çizimi düz bir çizgi olmaz.
- Bazı kondansatörler nonlineer olmasına rağmen, genellikle lineerdir.
- Bu derste kondansatörleri lineer kabul edeceğiz.

- Kondansatörün gerilim-akım ilişkisi $i = C \frac{dv}{dt}$ denkleminin her iki tarafının integralinin alınmasıyla elde edilebilir:

$$v(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$$

veya

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

- Burada $v(t_0) = q(t_0)/C$ olmak üzere, t_0 zamanında kondansatörün uçlarındaki gerilimdir.
- Yukarıdaki denklem, kondansatörün geriliminin geçmişteki kondansatör akımına bağlı olduğunu gösterir.
- Bundan dolayı, **kondansatörün hafızası vardır**, çoğu kez faydalanan bir özelliktir.
- Kondansatöre verilen anlık güç,

$$p = vi = Cv \frac{dv}{dt}$$

- Kondansatörde depolanan enerji,

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau = C \int_{-\infty}^t v \frac{dv}{d\tau} d\tau = C \int_{v(-\infty)}^{v(t)} v dv = \frac{1}{2} C v^2 \Big|_{v(-\infty)}^{v(t)}$$

Kondansatör $t = -\infty$ 'da şarj edilmemiş olduğundan $v(-\infty) = 0$ olur. Böylece,

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

- elde edilir. $q = Cv$ kullanılarak, $w = \frac{q^2}{2C}$ yazılabilir.
- Bu denklemler, kondansatörün plakaları arasında mevcut olan elektrik alanında enerji depoladığını göstermektedir.
- İdeal bir kondansatör enerji tüketemeyeceğinden bu enerji geri verilebilir.
- Aslında kapasitör (**capacitor**) kelimesi, bu elemanın enerji depolama kapasitesinden (**capacity store**) elde edilir.

- Bir kondansatörün önemli özellikleri:

1. Yukarıda verilen $i = C \frac{dv}{dt}$ denkleminde, bir kondansatörün uçlarındaki gerilim zamanla değişmediğinde (yani dc gerilim), kondansatörden geçen akım sıfır olur. ($i = 0$)

- Bir kondansatör doğru akımda açık devredir.

- Bununla birlikte, bir batarya (dc gerilim) bir kondansatörün uçlarına bağlanırsa, kondansatör şarj olur.

2. Kondansatördeki gerilim sürekli olmalıdır.

- Bir kondansatördeki gerilim aniden değişemez.

- Kondansatör uçlarındaki gerilimin aniden değişmesine karşı koyar.

- $i = C \frac{dv}{dt}$ denkleminde, gerilimdeki süreksiz bir değişim sonsuz bir akım akmasını gerektirir ki, bu fiziksel olarak mümkün değildir.

- Örneğin, bir kondansatörün uçlarındaki gerilim Şekil 6.7(a)'da gösterildiği şekilde alınabilir.

- Ancak ani değişimler olduğundan kondansatör geriliminin Şekil 6.7(b)'de gösterildiği şekilde alınması fiziksel olarak mümkün değildir.

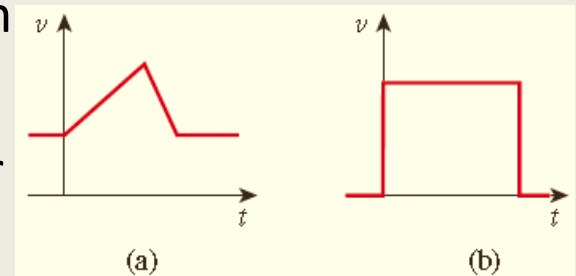
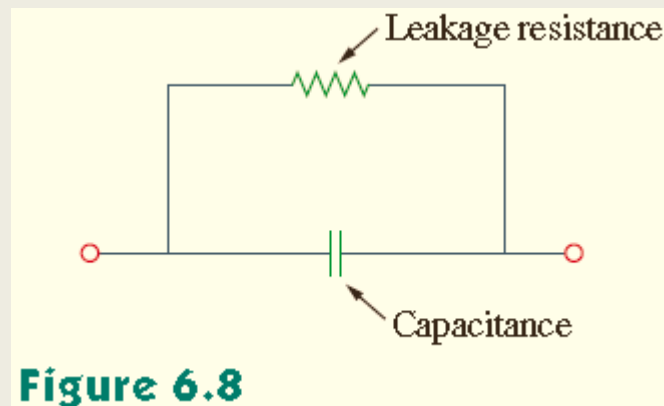


Figure 6.7

- Bir kondansatörün önemli özellikleri:
 - Diğer taraftan, bir kondansatörden geçen akım anlık olarak değişebilir.
3. İdeal kondansatör enerji tüketmez. Kendi elektrik alanında enerji depolarken devreden güç alır ve devreye güç verirken önceden depoladığı enerjiyi iade eder (geri verir).
 4. İdeal olmayan kondansatörün Şekil 6.8’de gösterildiği gibi kaçak direnci paralel olan bir modeli vardır.
- Kaçak direnç $100\text{ M}\Omega$ gibi yüksek bir değer olabilir ve birçok pratik uygulamada ihmal edilebilir.



- 6.3 Seri ve Paralel Kondansatörler

- Seri-paralel birleşiminin dirençli devrelerin indirgenmesinde güçlü bir araç olduğunu görmüştük.
- Bu yöntem, kondansatörlerin seri-paralel bağlantılarına da uygulanarak tek eşdeğer bir $C_{eş}$ ile gösterilebilir.
- Paralel bağlı N kondansatörün $C_{eş}$ eşdeğer kapasitesini elde etmek için Şekil 6.14(a)'daki devreyi göz önüne alalım.
- Eşdeğer devre Şekil 6.14(b)'de verilmiştir.
- Kondansatörlerin uçlarında aynı v gerilimi vardır.
- Şekil 6.14(a)'ya KAK uygulanırsa,
- $i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_N$ elde edilir.

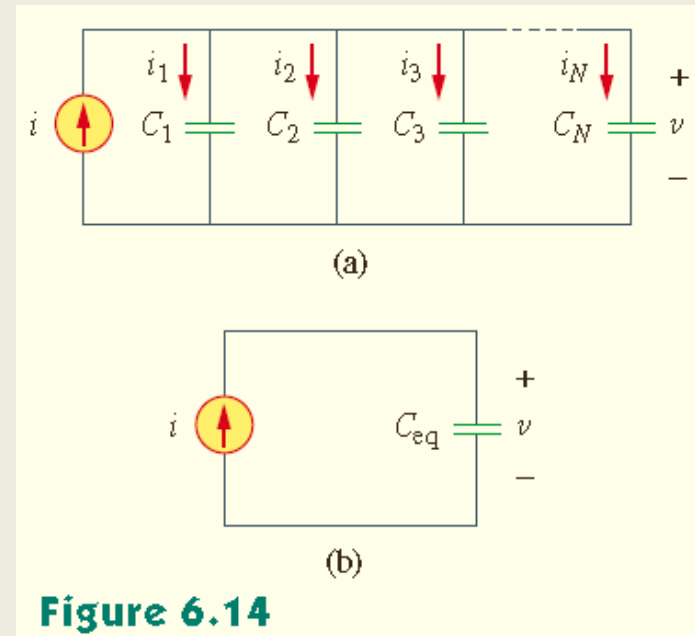


Figure 6.14

- $i = C \frac{dv}{dt}$ olduğundan,
- $i = C_1 \frac{dv}{dt} + C_2 \frac{dv}{dt} + C_3 \frac{dv}{dt} + \dots + C_N \frac{dv}{dt} = \sum_{k=1}^N C_k \frac{dv}{dt} = C_{eş} \frac{dv}{dt}$
- $C_{eş} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N$
- Paralel bağlı N kondansatörün eşdeğer kapasitesi, ayrı ayrı kapasitelerinin toplamıdır.
- Kondansatörlerin paralel bağlanmasını dirençlerin seri bağlanması gibi görüyoruz.
- Şekil 6.15(a)'daki devreyi Şekil 6.15(b)'deki eşdeğer devreyle karşılaştırarak seri bağlı N kondansatörün $C_{eş}$ eşdeğer kapasitesini elde ediyoruz.
- Kondansatörlerden aynı akım geçecektir.
- Şekil 6.15(a)'daki çevreye KGV uygulanırsa,
- $v = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_N$

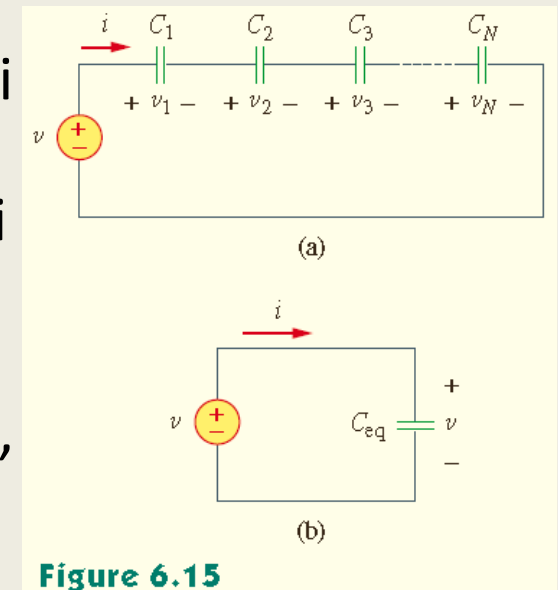


Figure 6.15

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

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{C_1} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau + v_1(t_0) + \frac{1}{C_2} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau + v_2(t_0) + \cdots + \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau + v_N(t_0) \\ &= \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_N} \right) \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau + v_1(t_0) + v_2(t_0) + \cdots + v_N(t_0) \\ &= \frac{1}{C_{eş}} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau + v(t_0) \\ \frac{1}{C_{eş}} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_N} \end{aligned}$$

- Seri bağlı kondansatörlerin eşdeğer kapasitesi, ayrı ayrı kapasitelerinin terslerinin toplamının tersidir.
- Kondansatörlerin seri bağlanması dirençlerin seri bağlanması gibidir.
- $N = 2$ (seri bağlı iki kondansatör) için eşdeğer kapasite:

$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{veya} \quad C_{eş} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

6.4 İndüktans

- İndüktans, kendi manyetik alanında enerji depolamak için tasarlanan pasif elemandır.
- İndüktans, elektronikte ve güç sistemlerindeki çeşitli uygulamalarda bulunur.
- İndüktanslar güç kaynaklarında, transformatör, radyo, televizyon, radarlar ve elektrik motorlarında kullanılır.
- Elektrik akımı taşıyan herhangi bir iletkenin indüktif özelliği vardır ve bir indüktans olarak görülebilir.
- Fakat indüktif etkiyi artırmak için, Şekil 6.21’de gösterildiği gibi pratik bir indüktans genellikle birçok sarımlı iletken telden oluşan silindirik bir bobin şeklinde yapılır.

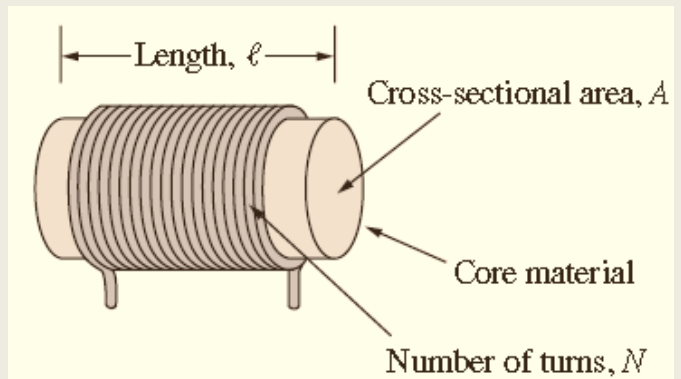


Figure 6.21
Typical form of an inductor.

- İndüktans iletken tellerden oluşan bir bobindir.
- Bir indüktanstan akım geçmesine izin verilirse, indüktansın uçlarındaki gerilim akımın değişiminin zamana oranı ile doğru orantılı olarak bulunur.

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

- Burada, L indüktans olarak isimlendirilen oransal sabittir.
- İndüktansın birimi henry (H)'dir. $1 \text{ henry} = 1 \text{ volt-saniye/amper}$
- İndüktans, içinden geçen akımın değişimine karşı koyan bir elemandır.
- İndüktans, bobinin fiziksel boyutuna ve yapısına bağlıdır. Farklı şekillerdeki indüktans hesabı için gerekli formüller elektromanyetik teoriden elde edilir.
- Örneğin, Şekil 6.21'de gösterilen indüktans (solenoid) için,

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

- Burada N sarım sayısı, ℓ uzunluk, A kesit alanı ve μ çekirdeğin geçirgenliğidir.
- Bu denklemden, bobinin sarım sayısının artırılması, çekirdek olarak daha yüksek geçirgenliğe sahip malzeme kullanılması, kesit alanının artırılması veya bobinin uzunluğunun azaltılmasıyla indüktansın artabileceğini görebiliriz.

- Kondansatörler gibi, indüktansların da ticari olarak farklı değerleri ve tipleri mevcuttur.
- Pratik indüktansların tipik olarak, haberleşme sistemlerinde olduğu gibi az miktarda mikrohenry (μH) 'den başlayarak değerleri vardır. Güç sistemlerinde ise on henry (H)'lerde değerleri vardır.
- Çekirdek, demir, çelik, plastik veya hava olabilir.
- Genel indüktanslar Şekil 6.22'de gösterilmiştir.
- Şekil 6.23'te indüktansların devre sembolleri gösterilmiştir.

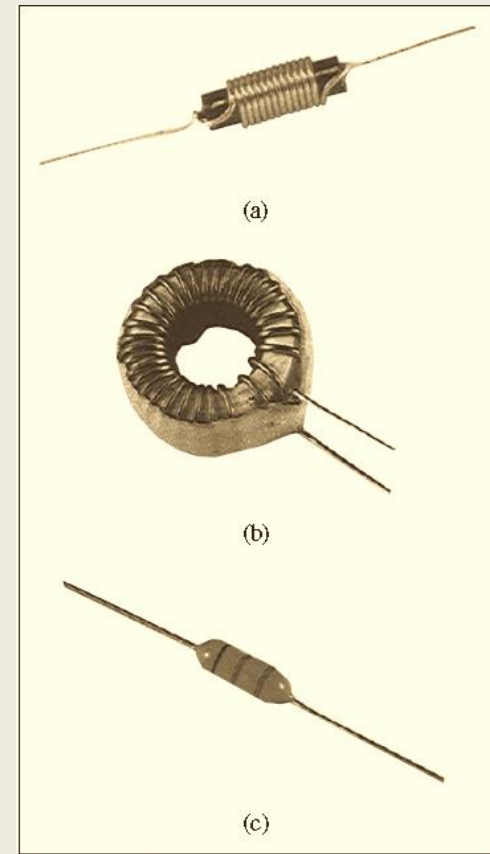
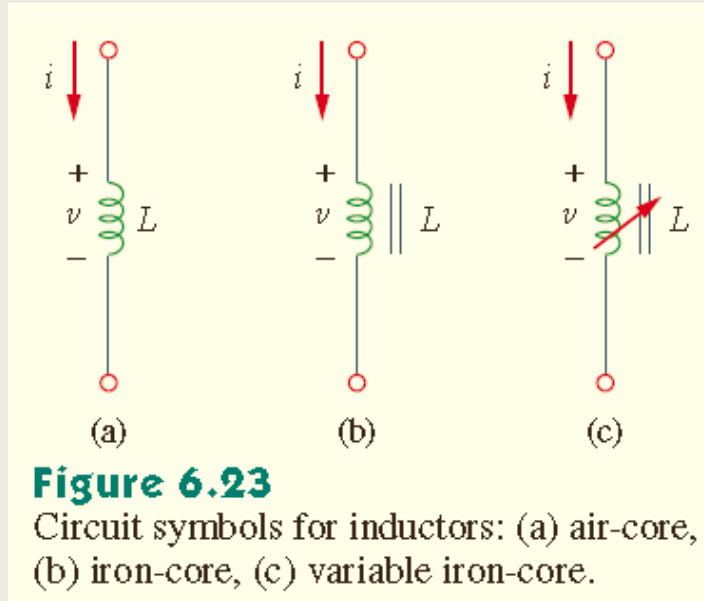
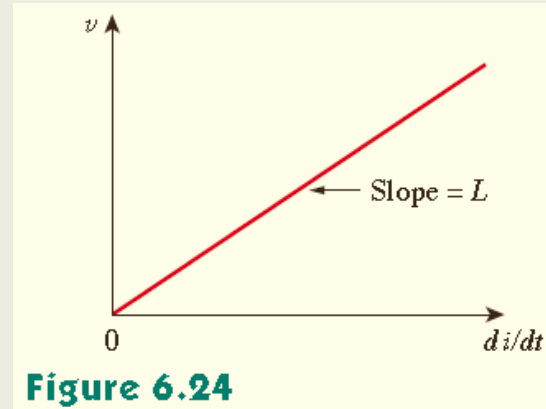


Figure 6.22

- $v = L \frac{di}{dt}$ denklemi indüktansın gerilim-akım ilişkisini verir. Şekil 6.24 indüktansın akımdan bağımsız olduğu bu ilişkiyi grafiksel olarak göstermektedir. Böyle bir indüktans, lineer indüktans olarak bilinir.
- Nonlineer bir indüktans için, indüktans akım ile değiştiğinden dolayı yukarıdaki denklemin çizimi düz bir çizgi olmayacaktır.
- Bu derste indüktansları lineer kabul edeceğiz.
- $v = L \frac{di}{dt}$ denkleminde akım-gerilim ilişkisi, $di = \frac{1}{L} v dt$ olur. Her iki tarafın integralinin alınmasıyla,

$$i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau$$

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



- Burada, $i(t_0)$ akımı $-\infty < t < t_0$ için toplam akımdır ve $i(-\infty) = 0$ 'dır.
- İndüktanstan akım geçirilmemişse geçmişteki bir zamanda $i(-\infty) = 0$ olmak zorundadır.

- İndüktans kendi manyetik alanında enerji depolamak için tasarlanır.
- Depolanan enerji,

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

denkleminde elde edilebilir.

- İndüktansa verilen güç,

$$p = vi = \left(L \frac{di}{dt} \right) i$$

- Depolanan enerji,

$$w = \int_{-\infty}^t p(\tau) d\tau = L \int_{-\infty}^t \frac{di}{dt} i d\tau = L \int_{-\infty}^t i di = \frac{1}{2} Li^2(t) - \frac{1}{2} Li^2(-\infty)$$

$i(-\infty) = 0$ olduğundan,

$$w = \frac{1}{2} Li^2$$

- Bir indüktansın önemli özellikleri:

1. Yukarıda verilen $v = L \frac{di}{dt}$ denkleminde, akım sabit olduğunda indüktansın uçlarındaki gerilim düşümü sıfır olur. ($v = 0$)

- Bir indüktans doğru akımda kısa devre gibi davranır.

2. İndüktansın önemli bir özelliği, içinden geçen akımdaki değişime karşı koymasındır.

- Bir indüktanstan geçen akım aniden değişemez.

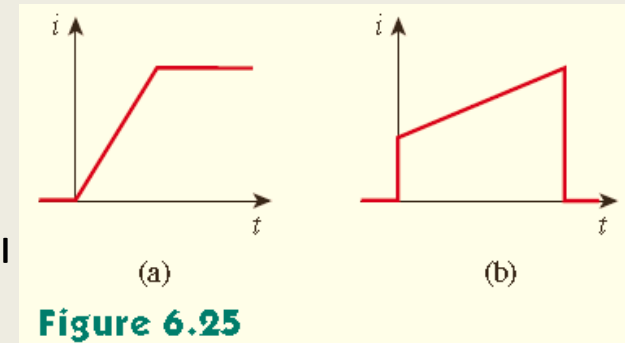
- $v = L \frac{di}{dt}$ denklemine göre, indüktanstan geçen akımdaki süreksiz bir değişim sonsuz bir gerilim gerektirir ki, bu fiziksel olarak mümkün değildir.

- Böylece, bir indüktans içinden geçen akımın aniden değişmesine karşı koyar.

- Örneğin, bir indüktanstan geçen akım Şekil 6.25(a)'da gösterildiği şekilde alınabilir.

- Ancak süreksizliklerden dolayı indüktans akımı Şekil 6.25(b)'de gösterildiği şekilde alınamaz.

- Bununla birlikte, bir indüktansın uçlarındaki gerilim anlık olarak değişebilir.



3. İdeal kondansatör gibi, ideal indüktans enerji tüketmez. Depoladığı enerjiyi bir süre sonra geri verebilir. İndüktans enerji depolarken devreden güç alır ve önceden depoladığı enerjiyi geri verirken devreye güç verir.
4. Pratik olarak, ideal olmayan indüktansın Şekil 6.26'da gösterildiği gibi önemli bir direnç bileşeni vardır.
 - Bakır gibi iletken bir malzemedan yapıldığı için indüktansın bir direnci vardır. Bu direnç, R_w sarım direnci olarak isimlendirilir ve indüktans ile seri bağlı olarak görünür.
 - R_w direncinin varlığı, indüktansı hem enerji depolayan hem de enerji tüketen bir cihaz haline getirir. R_w çok küçük olduğundan dolayı genellikle ihmal edilir.
 - İdeal olmayan indüktansın, iletken bobinler arasındaki kapasitif kuplajdan dolayı bir C_w sarım kapasitesi de vardır. C_w çok küçüktür ve yüksek frekanslar hariç genellikle ihmal edilebilir.
 - Bu derste, indüktansları ideal kabul edeceğiz.

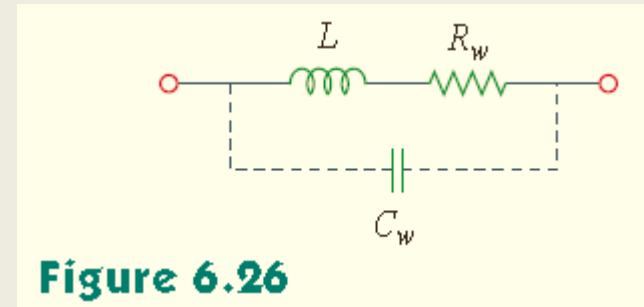


Figure 6.26

- 6.5 Seri ve Paralel İndüktanslar

- Pratik devrelerde bulunan seri bağlı veya paralel bağlı indüktansların eşdeğer indüktansını $L_{eş}$ ile gösterebiliriz.
- Seri bağlı N indüktansın eşdeğer indüktansını elde etmek için eşdeğer devresi Şekil 6.29(b)'de gösterilen Şekil 6.29(a)'daki devreyi göz önüne alalım.

- İndüktanslardan geçen akım aynıdır.

- Çevreye K GK uygulanırsa,

- $v = v_1 + v_2 + v_3 + \cdots + v_N$

elde edilir.

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

olduğundan,

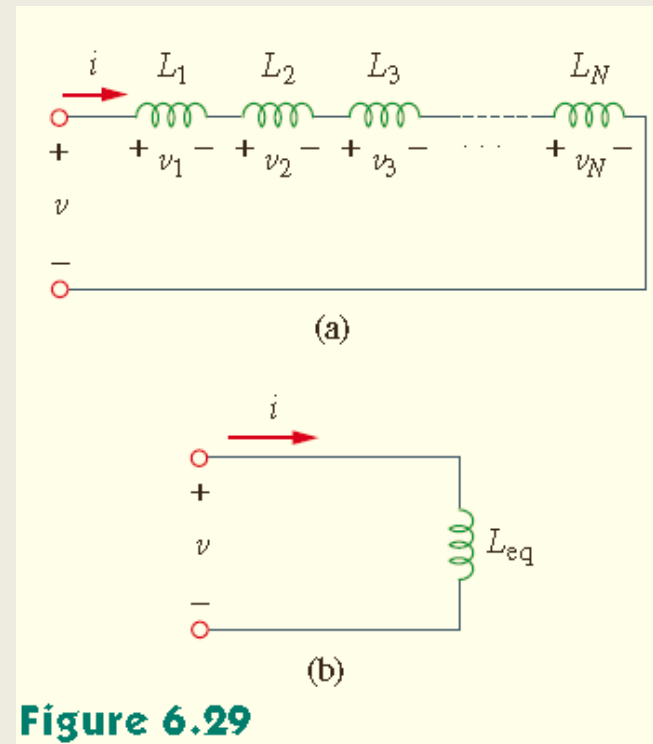


Figure 6.29

- $v = L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + L_3 \frac{di}{dt} + \cdots + L_N \frac{di}{dt}$
- $= (L_1 + L_2 + L_3 + \cdots L_N) \frac{di}{dt} = \sum_{k=1}^N L_k \frac{di}{dt} = L_{eş} \frac{di}{dt}$
- $L_{eş} = L_1 + L_2 + L_3 + \cdots L_N$
- Seri bağlı indüktansların eşdeğer indüktansı, ayrı ayrı indüktanslarının toplamıdır.
- İndüktansların seri bağlanması, aynen dirençlerin seri bağlanması gibidir.
- Paralel bağlı N indüktansın eşdeğer indüktansını elde etmek için, eşdeğer devresi Şekil 6.30(b)'de gösterilen Şekil 6.30(a)'daki devreyi göz önüne alalım.
- İndüktansların uçlarındaki gerilim aynı olacaktır. KAK kullanılarak,
- $i = i_1 + i_2 + i_3 + \cdots + i_N$

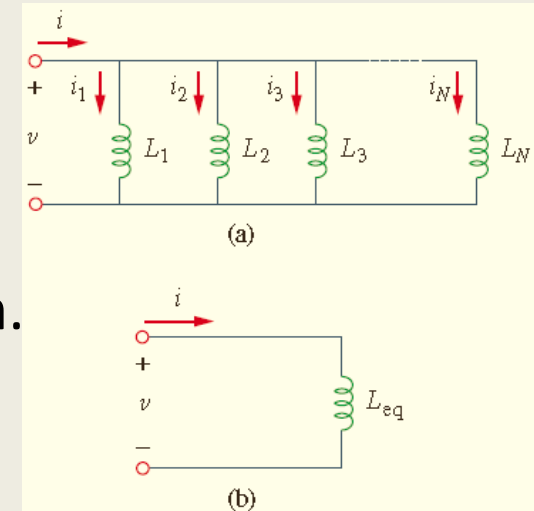


Figure 6.30

$$i = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v dt + i(t_0) \text{ olduğundan,}$$

$$i = \frac{1}{L_1} \int_{t_0}^t v dt + i_1(t_0) + \frac{1}{L_2} \int_{t_0}^t v dt + i_2(t_0) + \dots + \frac{1}{L_N} \int_{t_0}^t v dt + i_N(t_0)$$

$$= \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_N} \right) \int_{t_0}^t v dt + i_1(t_0) + i_2(t_0) + \dots + i_N(t_0)$$

$$= \left(\sum_{k=1}^N \frac{1}{L_k} \right) \int_{t_0}^t v dt + \sum_{k=1}^N i_k(t_0) = L_{eş} \frac{di}{dt} = \frac{1}{L_{eş}} \int_{t_0}^t v dt + i(t_0)$$

$$\frac{1}{L_{eş}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_N}$$

- Paralel bağlı indüktansların eşdeğer indüktansı, ayrı ayrı indüktanslarının terslerinin toplamının tersidir.
- İndüktansların paralel bağlanması dirençlerin paralel bağlanması gibidir.
- $N = 2$ (paralel bağlı iki indüktans) için eşdeğer indüktans:

$$\frac{1}{L_{eş}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \quad \text{veya} \quad L_{eş} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

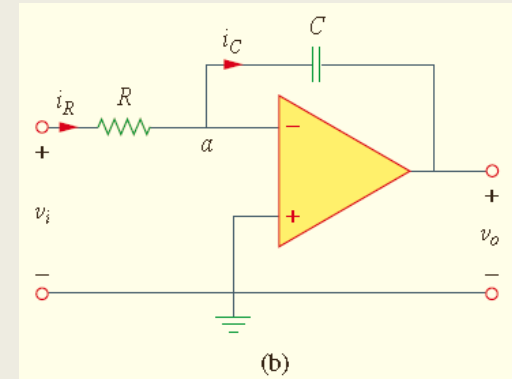
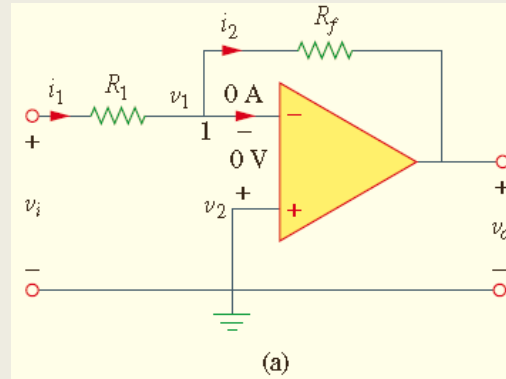
- Basit devre elemanlarının önemli karakteristikleri.

TABLE 6.1

Important characteristics of the basic elements.[†]

Relation	Resistor (R)	Capacitor (C)	Inductor (L)
v - i :	$v = iR$	$v = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau + v(t_0)$	$v = L \frac{di}{dt}$
i - v :	$i = v/R$	$i = C \frac{dv}{dt}$	$i = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau + i(t_0)$
p or w :	$p = i^2 R = \frac{v^2}{R}$	$w = \frac{1}{2} C v^2$	$w = \frac{1}{2} L i^2$
Series:	$R_{eq} = R_1 + R_2$	$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$	$L_{eq} = L_1 + L_2$
Parallel:	$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$C_{eq} = C_1 + C_2$	$L_{eq} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$
At dc:	Same	Open circuit	Short circuit
Circuit variable that cannot change abruptly:	Not applicable	v	i

- 6.6.1 İntegral Alıcı Devre
- Enerji depolayan elemanların kullanıldığı integral alıcı ve türev alıcı devreler önemli devrelerdir.
- Bu op-amp devreleri genellikle direnç ve kondansatörden oluşur; indüktanslar (bobinler) daha büyük ve pahalıdır.
- Op-amp integral devresi sayısal uygulamalarda, özellikle analog bilgisayarlarda kullanılır.
- İntegral alıcı devre, giriş sinyalinin integrali ile orantılı çıkış veren bir op-amp devresidir.



- Şekil6.35(a)'daki faz çeviren kuvvetlendiriciye benzer şekilde, R_f geri besleme direncinin yerine bir kondansatör kullanarak Şekil6.35(b)'daki bir ideal integral alıcı devre elde ederiz. Bu yolla integralin bir matematiksel gösteriminin elde edilebilmesi ilginçtir.

- Şekil 6.35(b)'deki a düğümünde,

$$i_R = i_C$$

$$i_R = \frac{v_i}{R}, \quad i_C = -C \frac{dv_o}{dt}$$

- Buradan,

$$\frac{v_i}{R} = -C \frac{dv_o}{dt}$$

$$dv_o = -\frac{1}{RC} v_i dt$$

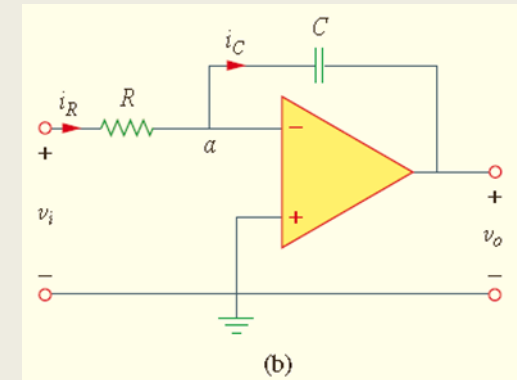
- Her iki tarafın integrali alınırsa,

$$v_o(t) - v_o(0) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_i(\tau) d\tau$$

- $v_o(0) = 0$ şartını sağlamak için, bir sinyal uygulamadan önce integral alıcı devrenin kondansatörünü her zaman deşarj etmek zorunludur. $v_o(0) = 0$ kabul edilerek,

$$v_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_i(\tau) d\tau$$

elde edilir.



- 6.6.2 Türev Alıcı Devre
- Türev alıcı devre, giriş sinyalinin değişim oranı ile orantılı olarak çıkış veren bir op-amp devresidir.
- Şekil6.37'deki a düğümünde KAK uygulanırsa,

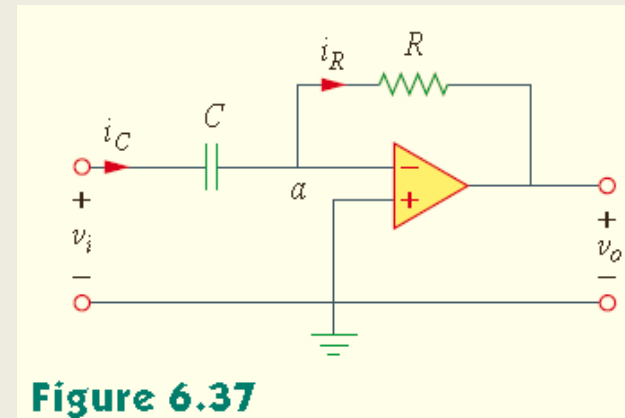
$$i_R = i_C$$

- $i_R = -\frac{v_o}{R}, \quad i_C = C \frac{dv_i}{dt}$

- Buradan,

$$v_o = -RC \frac{dv_i}{dt}$$

elde edilir.



- Bu denklem çıkışın, girişin türevi olduğunu göstermektedir.
- Türev alıcı devreler, devre içinde bir elektriksel gürültü türev alıcı devre tarafından aşırı derecede artırıldığı için elektronik olarak kararlı olmayan devrelerdir.
- Pratikte bu devreler nadiren kullanılır.