

ELEKTRİK VE ELEKTRİK DEVRELERİ – 1

DOĞRU AKIM

Enstrümantal Analiz, Alternatif Akım

Bir elektrik akımı, bir ortamdan bir yükün (şarjın) akmasıdır. Metalik iletkenlerde sadece elektronlar hareketlidir; akım sadece negatif yükün hareketiyle gerçekleşir. İyonik çözeltiler ve yarıiletkenler gibi ortamlarda hem negatif ve hem de pozitif yükler hareketlidir, elektrik akımının geçmesi bu iki yükün katkısıyla oluşur.

Tanımlar

Amper (A), elektrikte akım şiddeti birimidir; akım şiddeti, birim zamanda geçen elektrik yükü miktarıdır. Bir iletkenin belli bir kesitinden saniyede (t) bir Coulomb elektrik yükü (Q) geçerse, akım şiddeti (I) 1 A olur.

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

Coulomb (Kulon) (C), elektrik yükü veya miktarıdır. Bir kulomb, 0.00111800 g gümüş iyonunun gümüş metaline dönüşmesi için gereken yüküdür.

Coulomb yasası, elektrik yüklü iki parçacık arasındaki kuvvetin büyüklüğü, yüklerin çarpımı ile doğru, yüklerin arasındaki uzaklığın (d) karesiyle ters orantılıdır. Yüklü taneciklerin (Q) birbirine uyguladıkları kuvvete Coulomb kuvveti denir.

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

F: Coulomb kuvveti, k: Coulomb sabitidir. k ortamın cinsine ve kullanılan birim sistemine bağlı olarak değişir. Boşluk ya da hava ortamında, $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

Farad (F), kapasitans birimidir; 1 coulombluk elektrik yüklendiğinde kutupları arasında 1 voltluk bir potansiyel farkı oluşan bir kondansatörün kapasitansıdır. Elektrik ve elektronik devrelerde çoğunlukla mikrofara (1 $\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$) ve pikofara (1 $\text{pF} = 10^{-12} \text{ F}$) kullanılır.

2

$$1 \text{ F} = \frac{1 \text{ coulomb}}{\text{volt}} \quad 1\text{F} = 6.02 \times 10^{23} \text{ yüklü taneciktir;}$$

$$\frac{\text{C}}{\text{F}} = \frac{107.87\text{g Ag}^+ / \text{eşdeğer Ag}^+}{0.00111800 \text{ g Ag}^+ / \text{coulomb}} \frac{1 \text{ eşdeğer Ag}^+}{1 \text{ eşdeğer yük}} = 9.649 \times 10^4$$

$$\text{C} = 9.649 \times 10^4 \text{ F}$$

Ohm (Ω), direnç birimidir; Bir iletkendeki iki nokta arasındaki sabit potansiyel farkı 1 volt olduğunda üretilen 1 amper akıma karşı iletkenin gösterdiği dirençtir.

$$\text{Ohm} = \frac{\text{volt}}{\text{amper}}$$

Simens (S), elektrik iletkenliği (G), direncin tersi olan bir ifadedir ve birimi "ters ohm" (Ω^{-1}), veya simens (S) tir.

$$\text{S} = \frac{\text{amper}}{\text{volt}}$$

Henry (H), indüktans birimidir; saniyede bir amper şiddeti ile değişen bir devredeki akimin ürettiği bir voltluk elektromotor kuvvetinin indüktansına eşittir.

$$1 \text{ H} = \frac{1 \text{ kg m}^2}{\text{s}^2 \text{ A}^2}$$

Hertz (Hz), frekansın, saniyede bir devire eşit olan birimidir, alternatif akımda, pozitif ve negatif kutupların bir saniyedeki değişim sayısıdır.

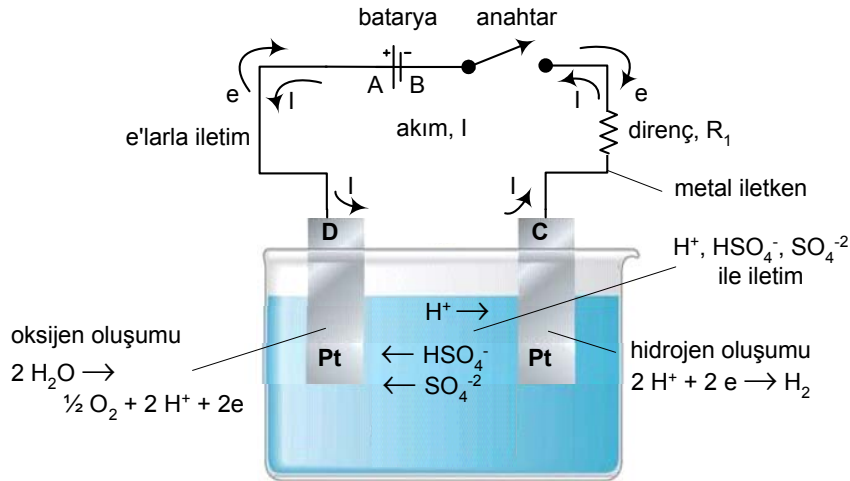
Volt (V), mekandaki iki nokta arasındaki elektrik potansiyeli (V), bir elektrik yükünün bir noktadan diğer bir noktaya hareketi için gerekene iştir. İşin jul, yükün kulon cinsinden verilmesi durumunda, potansiyelin birimi "volt" olur. Yani, 1 volt her bir kulon için 1 julü gösterir.

$$1 \text{ V} = \frac{1 \text{ (kg m}^2)}{\text{s}^3 \text{ A}}$$

Elektrik Akımları

Potansiyelleri farklı iki nokta arasında bir iletim yolu bulunuyorsa, potansiyel farkı sıfır oluncaya kadar yük akar. Örneğin, aşağıdaki şekilde görülen doğru akım devresinde düğme kapatıldığında, bir iletim yolu oluşur, bu yol boyunca bataryanın bir ucundan (terminalinden) diğerine doğru yük akışı başlar, A ve B arasındaki potansiyel farkı sıfır oluncaya kadar da devam eder; bu noktada batarya boşalmış, yani deşarj olmuştur.

"Konveksiyon"la (dolaşımla), bir akımın yönü daima pozitif uçtan negatif uca doğrudur. Yön, akımı taşıyan taneciklerin tipine bağlı değildir. Buna göre Şekil-1'deki dış devrede akımı, BC ve AD metal iletkenlerindeki elektronların hareketi oluşturur. Akımın (I) yönü A dan D ye C ye B'ye doğrudur; yani akım, daima, pozitif yükün hareketiymiş gibi görünür.



İki platin elektrot (C ve D) ve daldırıldıkları seyreltik sülfürik asit çözeltisiyle bir elektrokimyasal hücre oluşur. Bu hücreden elektrik geçişi, metalik iletkenden tamimiyle farklı bir mekanizmayla olur. Burada pozitif hidrojen iyonları C elektrotuna doğru, negatif sülfat ve hidrojen sülfat iyonları da D elektrotuna doğru göç ederler; akım bu iki göç olayına göre oluşur. Anyonik göç ile D'nin etrafında toplanma eğiliminde olan fazla negatif yük, bu elektrodta üretilen pozitif yüklü hidrojen iyon-

larınca engellenir; benzer şekilde, C elektrotuna göç eden fazla hidrojen iyonları da burada elektrokimyasal işlemle uzaklaştırılır. Sonuçta çözeltinin "yük"ü homojen kalır, fakat D elektrotunun çevresi, C elektrotunun çevresinden azalan miktar kadar sülfürik asitçe zenginleşir.

Çözeltideki elektrokimyasal reaksiyonlardan birinde hidrojen iyonları C den elektronları harcar; ikincisinde ise su molekülleri D de elektronlar oluşturur. Böylece, bu basit devrede üç çeşit elektrik geçişi bulunur; elektronik, iyonik, ve elektrokimyasal.

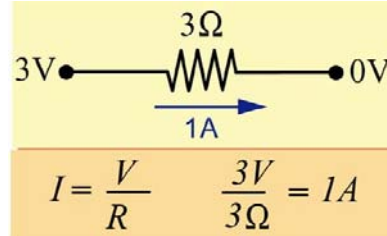
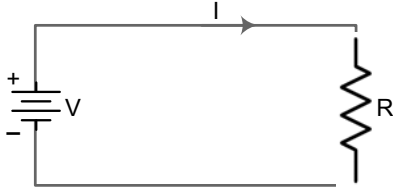
Elektrik Kanunları

Ohm Kanunu

Bir devrede iki nokta arasındaki potansiyel V , direnç R olduğunda, I akımı (amper cinsinden) aşağıdaki denklemlerle verilir, bu ifade ohm kanunu olarak bilinir.

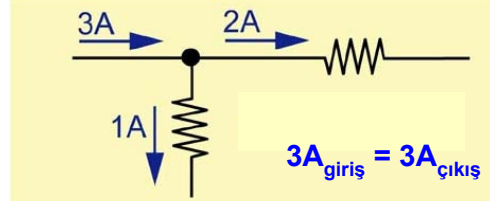
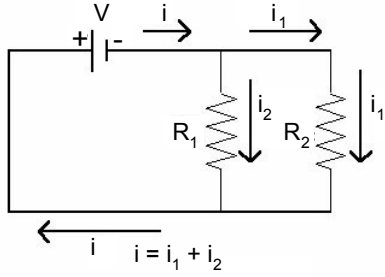
$$V = I R$$

Ohm kanunu elektronik ve iyonik iletkenliğe uygulanabilir; ancak, elektrot yüzeyleri gibi yüzeyler arasına uygulanamaz.

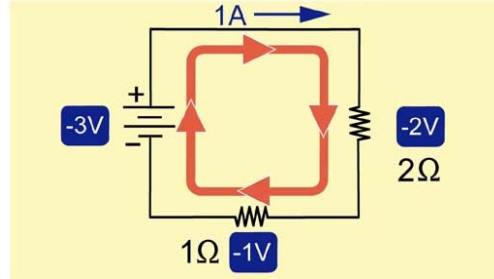
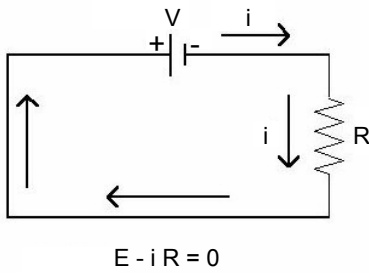


Kirchhoff Kanunları

Akım Kanunu; Kirchhoff Birinci Kanunu: "Kirchhoff akım kanunu"na göre, bir devrede herhangi bir noktanın etrafındaki akımların cebirsel toplamı sıfırdır.



Voltaj Kanunu; Kirchhoff İkinci Kanunu: "Kirchhoff voltaj kanunu"na göre, kapalı bir elektrik çevriminin (loop) etrafındaki voltajların cebirsel toplamı sıfırdır.



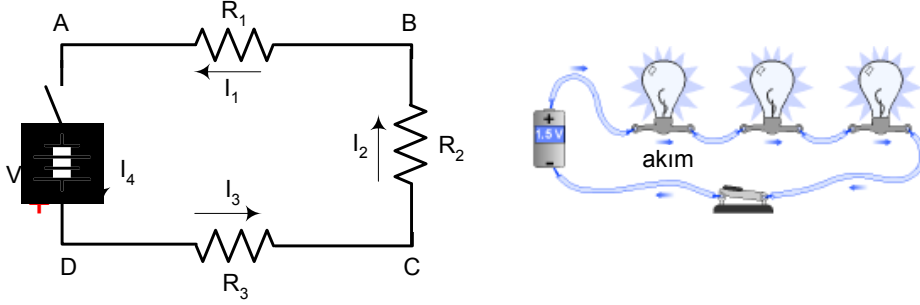
Güç Kanunu; Watt cinsinden elektrik gücü, tüm elektrik devresiyle veya devre elemanlarıyla ilişkilidir. Elektrik gücü (P), jul/saniye veya "watt" (W) cinsinden elektriksel işin hızıdır. Elektronların geçişi sırasında harcanan güç,

$$P = IV$$

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

Seri Devreler

Bir batarya, bir düğme, ve seri olarak bağlı üç direncin bulunduğu şekildeki basit devreyi inceleyelim.



Devredeki D noktasına Kirchhoff akım kanunu uygulandığında

$$I_4 - I_3 = 0 \quad I_4 = I_3$$

yazılır. D nin dışındaki akımın giriş akımına göre zıt işaretli olduğuna dikkat edilmelidir. Benzer şekilde, C noktasına da aynı kanun uygulanır.

$$I_3 = I_2$$

Görüldüğü gibi, bir seri devrenin tüm noktalarında akım aynıdır, veya,

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

Devreye voltaj kanunu uygulanarak aşağıdaki eşitlikler yazılır.

$$V - V_3 - V_1 - V_2 - V_1 = 0$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

D noktası C noktasına göre pozitifdir; aynı şekilde C noktası B noktasına göre, B noktası da A noktasına göre pozitifdir. Böylece, bataryanın V voltajını üç voltaj karşılar ve işaretleri V'nin işaretinin tersidir.

Yukarıdaki denkleme Ohm kanunu uygulandığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$V = I (R_1 + R_2 + R_3) = I R$$

Bu seri devrenin toplam direnci her bir bileşenin dirençlerinin toplamına eşittir.

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Devrenin B noktasından A ya kadar olan kısmına Ohm kanunu uygulanarak

$$V_1 = I_1 R_1 = I R_1$$

$$\frac{V_1}{V} = \frac{I R_1}{I (R_1 + R_2 + R_3)}$$

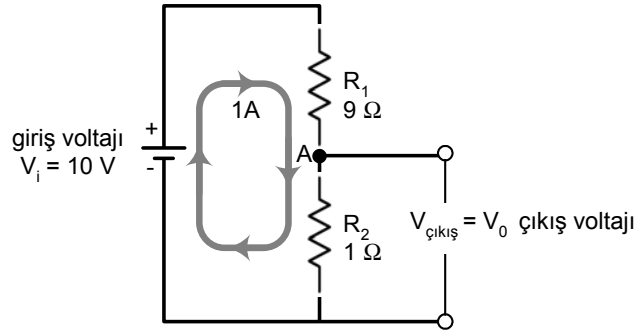
$$V_1 = \frac{V R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = V \frac{R_1}{R}$$

denklemleri çıkarılır. Buna göre aşağıdaki eşitlikler de yazılabilir

$$V_2 = V \frac{R_2}{R} \quad V_3 = V \frac{R_3}{R}$$

Voltaj Bölücüler

Elektronik devrelerde, bir giriş voltajının değişken fonksiyonu olan potansiyellerin elde edilebilmesi için seri dirençler kullanılır. Bu tip cihazlara "voltaj bölücüler" denir. Bir tipi voltajları farklı aralıklarda böler; ikinci bir tip voltaj bölücü sürekli değişen bir potansiyel verir, bunlara da "potansiyometre" denir. Bir voltaj bölücü devre:



Akım her yerde aynıdır:

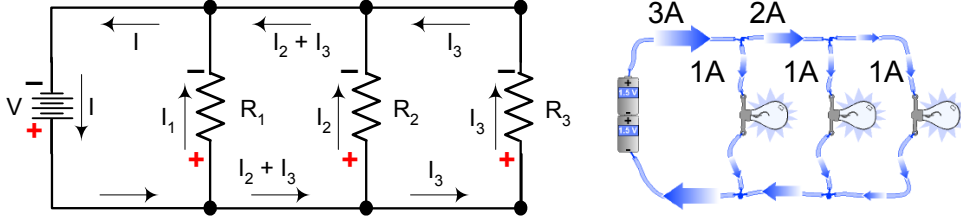
$$I = \frac{V_i}{R_1 + R_2}$$

Çıkış voltajı aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i \quad V_i = \text{giriş voltajı}, V_0 = \text{çıkış voltajı}$$

Paralel Devreler

Şekilde bir "paralel" DC devresi görülmektedir. A noktasına Kirchoff akım kanunu uygulanarak aşağıdaki denklem çıkarılır.



$$I_1 + I_2 + I_3 - I = 0$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Kirchoff voltaj kanunu üç bağımsız denklem verir. Bu durumda, batarya ve R_1 'in bulunduğu çevrim için,

$$V - I_1 R_1 = 0 \quad V = I_1 R_1$$

V ve R_2 'nin bulunduğu çevrim için,

$$V = I_2 R_2$$

V ve R_3 'ün bulunduğu çevrim için de,

$$V = I_3 R_3$$

eşitlikleri yazılır. Ayrıca, R_1 ile R_2 'nin ve R_2 ile R_3 'ün bulunduğu çevrimler için de birer eşitlikler yazılabilir ve aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} = \frac{V}{R_2} = \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

R net devre direncidir. Paralel bir devrede, seri devrenin tersine, dirençler değil iletkenlikler (G) toplanabilir özelliktedir. $G=1/R$ olduğundan Son denklem aşağıdaki gibi yazılır.

$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

Seri dirençlerin, voltaj bölücü olarak çalışmalarına karşın, paralel dirençler akım bölücü görevi yaparlar. Toplam akımın bir kısmı (R_1 'de bulunur) I_1 ,

$$\frac{I_1}{I} = \frac{V/R_1}{V/R} = \frac{1/R_1}{1/R} = \frac{G_1}{G}$$

veya

$$I_1 = \frac{R}{R_1} = \frac{G_1}{G}$$

ELEKTRİK DEVRELERİNDE REAKTANS (KARŞI KUVVET)

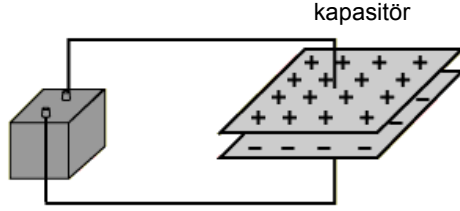
Bir elektrik devresindeki akım arttığı veya azaldığında, yükün akabilmesi için elektrik ve magnetik alanları yükleyecek enerjiye gereksinim olur. Böylece, değişikliğe karşıt eğilimli (engelleyici) bir karşı kuvvet veya "reaktans" oluşur. İki tip reaktans vardır, bunlar "kapasitans" ve "indüktans"tır. Akımdaki değişiklik yavaş ise, bir devredeki kısımların çoğunun reaktansı ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Değişikliğin hızlı olması halinde anahtarlar, bağlantılar, ve dirençler gibi devre elementleri saptanabilir düzeyde bir reaktans gösterirler. Normal olarak bu tip reaktans arzu edilmez, ve çok aza indirilmesi için her türlü önlem alınır.

Bir devreye kapasitans ve indüktans görevi yapması için kapasitörler (kondansatörler) ve indüktörler özellikle konulur. Bu aletler, alternatif akımı doğru akıma çevirmede, değişik frekanslı sinyalleri ayırt etmekte, veya ac ve DC sinyalleri birbirinden ayırmada önemli görevler yaparlar. Bu iki önemli devre elemanlarının kullanımı ve davranışları, çoğunlukla, birbiriyle paralel bir durum gösterir.

Kapasitörler ve İndüktörler

Kapasitör ve indüktörlerin yapıları oldukça farklıdır.

Tipik bir kapasitör, birbirinden ince bir "dielektrik" madde tabakasıyla ayrılmış bir çift iletkenidir.



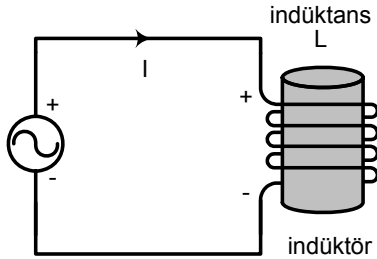
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\text{kulomb}}{\text{volt}} = \text{Farad}$$

Q = her bir levhada depolanan yük miktarı

V = levhalara uygulanan voltaj

Dielektrik madde, hareketli, akım-taşıyan, yüklü taneciklerin bulunmadığı bir elektrik izolatördür. En basit kapasitörde iki metal yaprağı levhası arasında hava, yağ, plastik, mika, kağıt, seramik, veya metal oksit gibi ince bir dielektrik film bulunur. Hava ve mika kapasitörleri hariç, iki levha ve insulatör katlanarak veya rulo şeklinde satılarak sıkı bir paket içine konulur ve atmosferik kirlenmeden korumak için iyice izole edilir.

Tersine bir indüktör, çapı oldukça büyük olan (direncin az olması için) izole edilmiş sıradan bir tel sarımdır. Bazı indüktörler, reaktanslarını artırmak için, yumuşak bir demir üzerine sarılır, diğerlerinin içinde bir hava boşluğu bulunur. İkinci tiptekine bazan "jigle (hava giriş sürgüsü)" denir.



$$\text{emf} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$L: \frac{\text{volt saniye}}{\text{amper}} = \text{Henry}$$

Herhangi bir iletken elektrik akım taşıırken bir magnetik alanla sarılır; bu olay deneylerle saptanmıştır. Bu alanı kurmak için gerekli iş akım geçmeye başladığında kendini bir v karşı-potansiyeli ile gösterir ve elektronların akmasını engellemeye çalışır. Diğer taraftan, bir iletkendeki akım kesildiğinde magnetik alan çöker; bu işlem, akımı devam ettiren ani bir potansiyelin doğmasına yol açar.

Bir kapasitör, bir dielektrik boyunca elektriği elektrik alanı şeklinde depolar; bir indüktör ise enerjyi, bir iletkeni saran bir magnetik alan şeklinde depolar.

Kapasitördeki elektrik alanı uygulanan voltajla orantılıdır; indüktördeki magnetik alan, indüktörde bulunan akımla orantılıdır.

Bir kapasitör ile bir indüktör arasındaki fark:

- Kapasitörde, potansiyel değişikliği sonunda bir akım oluşur.
- İndüktörde, akım değişmesi bir potansiyel doğmasına neden olur.

Bir elektrik devresindeki bu iki element, birbirini tamamlayıcı işlevler yaparlar.

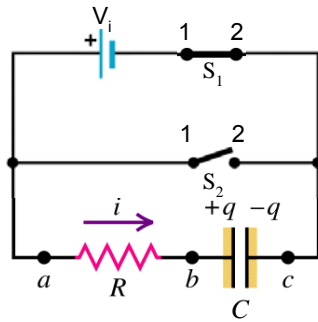
Kapasitörler indüktörlerden daha küçüktür ve üretilirken devrelerin bir parçası olarak takılır. Elektronik devre dizaynlarında indüktörlerden daha çok kullanılırlar. Yüksek frekanslarda, yine de kapasitörlerin reaktansı çok küçük olabileceğinden, indüktörler tercih edilir.

Kapasitanslar (Kondansatörler); RC Devreler

RC devre, bir kapasitörü, bir direnç üzerinden doldurma ve boşaltmada kullanılabilir. Devrede seri bağlı bir V_i bataryası, bir R direnci, ve bir C kapasitörü vardır. kapasitör bir çift paralel çizgi ile gösterilmiştir.

Bir Kapasitörün Şarjı

S anahtarı 1 konumuna kapatıldığında, elektronlar bataryanın negatif ucundan alttaki iletkene veya kapasitör levhasına akar. Bu hareket ani bir akım oluşturur, oluşan akım sifıra düşer, ve levhalar arasında yarattığı potansiyel farkından dolayı da elektronların sürekli akışını engeller. Akım kesildiğinde kapasitör "yüklenmiştir".

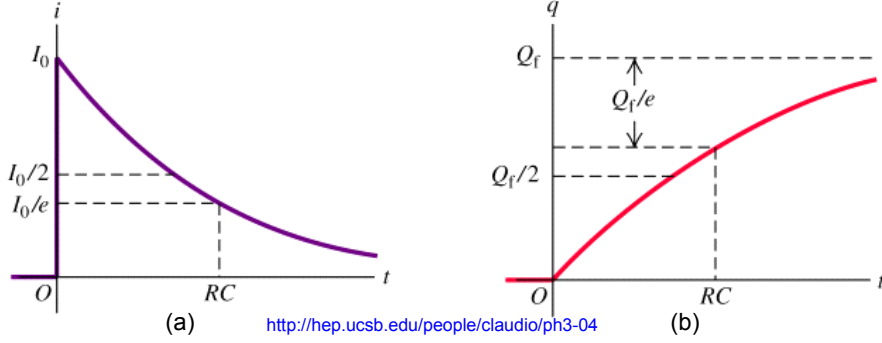


RC devrede şarj:

$$V_C = V_0 (1 - e^{-t/RC}) \quad V_0 = V_i = \varepsilon$$

$$Q_C = Q_0 (1 - e^{-t/RC}) \quad Q_0 = CV_0$$

$$I = I_0 e^{-t/RC} \quad I_0 = \frac{V_0}{R}$$



Bir kapasitörün şarjı: akım-zaman, b: yük-zaman eğrileri

Bir kapasitörün şarj ve deşarj olma hızı sınırlıdır. Örneğin, yukarıdaki devreyi ele alalım. Kirchhoff voltaj kanunundan, anahtarın 1 konumuna getirilmesinden sonra herhangi bir zamanda, C ve R arasındaki toplam voltaj (v_C ve v_R) giriş voltajı V_i ye eşit olmalıdır.

$$V_i = v_C + v_R$$

V_i sabit olduğundan, kapasitörün şarjına bağlı olan v_C 'nin artışı, v_R 'nin azalması durumunda mümkün olabilir.

$$V_i = \frac{q}{C} + iR$$

$$0 = \frac{dq/dt}{C} + R \frac{di}{dt}$$

Önce de belirtildiği gibi $dq/dt = i$ dir.

$$\frac{di}{i} = -\frac{dt}{RC}$$

Başlangıç akımı I_{init} ve i arasında integrali alınır,

$$i = I_{init} e^{-t/RC}$$

Bir direncin iki ucu arasındaki ani voltaj ilişkisi Ohm kanunu uygulanarak çıkarılır.

$$v_R = V_i e^{-t/RC}$$

$$v_C = V_i (1 - e^{-t/RC})$$

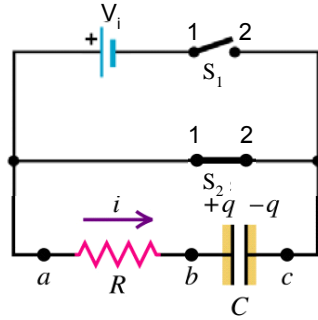
RC'nin birimi, $R = v_R/i$ ve $C = q/v_C$ olduğundan, zaman birimidir

$$RC = \frac{\text{volt}}{\text{kulon/saniye}} \frac{\text{kulon}}{\text{volt}} = \text{saniye}$$

RC'ye devrenin "zaman sabiti" denir.

Bir Kapasitörün Deşarjı

Anahtar 1 den 2 konumuna geçirildiğinde elektronlar kapasitörün negatif yüklü alt levhasından, R direncinden geçerek pozitif üst levhasına akar. Bu hareket tekrar bir akım oluşturur, ve iki levha arasındaki potansiyel yok olurken, oluşan akım da sıfıra düşer.

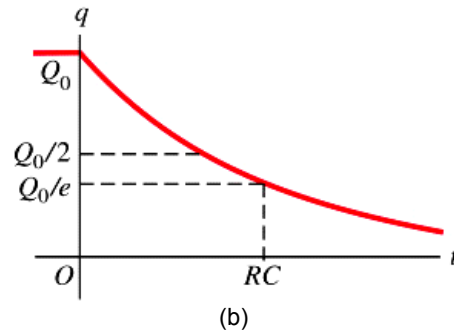
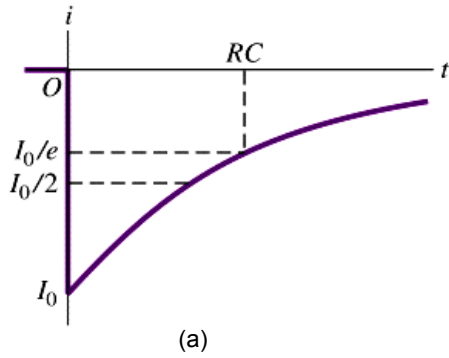


RC devrede deşarj:

$$V_C = V_0 e^{-t/RC} \quad V_0 = V_i = \varepsilon$$

$$Q_C = Q_0 e^{-t/RC} \quad Q_0 = CV_0$$

$$I = I_0 e^{-t/RC} \quad I_0 = \frac{V_0}{R}$$



(a) Bir kapasitörün deşarjı: akım-zaman, (b) yük-zaman eğrileri

Bir kapasitörün önemli bir özelliği elektrik yükünü bir süre depolaması ve gerektiği halde de verebilmesidir. Buna göre, S anahtarı C yükleninceye kadar 1 konumunda tutulur ve sonra 1 ve 2 arasında bir konuma getirilirse, kapasitör yüklü olarak kalır. S 'nin 2 konumuna getirilmesiyle, 1 den 2'ye alınmasında olduğu gibi, deşarj olur.

Bir kapasitörü yüklemek için gerekli elektrik miktarı (Q) levhaların alanına, şekillerine, aralarındaki mesafeye, ve levhalar arasındaki malzemenin dielektrik sabitine bağlıdır. Q ayrıca uygulanan voltajla da doğru orantılıdır.

$$Q = C V$$

V volt cinsinden uygulanan potansiyel ve Q kulon cinsinden yük miktarı olduğunda C sabiti bir kapasitörün "farad" cinsinden kapasitansıdır. 1 farad, bir kulon yük/uygulanan voltuttur. Elektronik devrelerde kullanılan kapasitörlerin çoğunun kapasitansı mikrofard (10^{-6} F) ile pikoparad (10^{-12} F) aralığında bulunur.

Kapasitans, özellikle AC devrelerde önemlidir, çünkü zamanla değişen bir voltaj bir zaman-değişimli yük yani bir "akım" meydana getirir.

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

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

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

Voltaj zamana bağımlı değilse bir kapasitördeki akım sıfırdır (bir doğru akım için). Bir doğru akım kararlı bir hal gösterdiğinden kondenseri yükleyen başlangıçtaki geçici akım, bir kapasitörün doğru akım üzerindeki toplam etkisi düşünüldüğünde, önemsizdir.

Devredeki düğme 2 konumuna getirildiğinde batarya devreden çıkar ve kapasitör bir akım kaynağı olur. Şarj akışı, önceki durumun zıt yönündedir. Bu durumda,

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

olur. Başlangıç potansiyeli bataryanın potansiyeline eşittir, yani

$$V_C = V_i$$

dir. Bu denklemlerden hareket edilerek aşağıdaki eşitlikler çıkarılır.

$$i = -\frac{V_C}{R} e^{-t/RC}$$

$$v_R = -V_C e^{-t/RC}$$

$$v_C = V_C e^{-t/RC}$$

İndüktanslar; RL Devreler

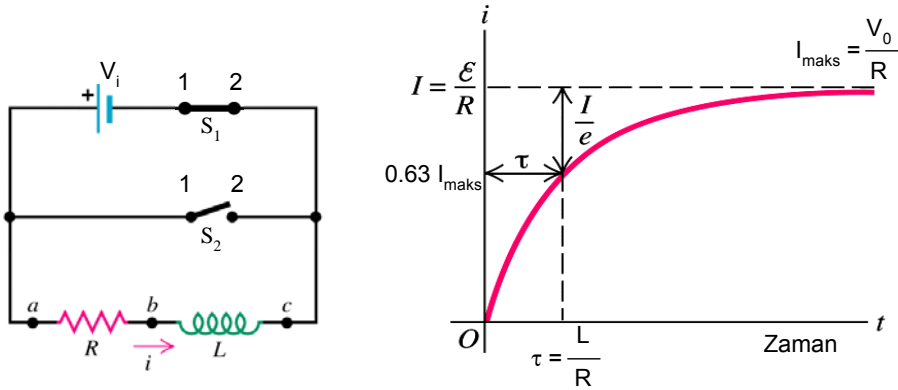
Akımın artması veya azalması sırasında doğan v potansiyeli, akım değişikliği hızı di/dt ile doğru orantılıdır. (Negatif işaret, tesirle oluşan potansiyelin akım değişikliğini engelleme eğilimini gösterir.)

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

L = iletkenin indüktansı, birimi, "henry,H" dir.

1 henry indüktans, akım değişikliği hızı 1 amper/saniye olduğunda 1 volt karşı-potansiyel üretir. Elektronik devrelerde kullanılan indüktörlerin indüktansları birkaç μH (mikrohenry) ile birkaç H arasındadır. Bir V_i bataryası, bir R direnci, ve bir L indüktörünün seri olarak bağlandığı bir seri RL devresinde L nün büyüklüğü tel sarımdaki sarım sayısına bağlıdır.

Bir İndüktörde Şarj



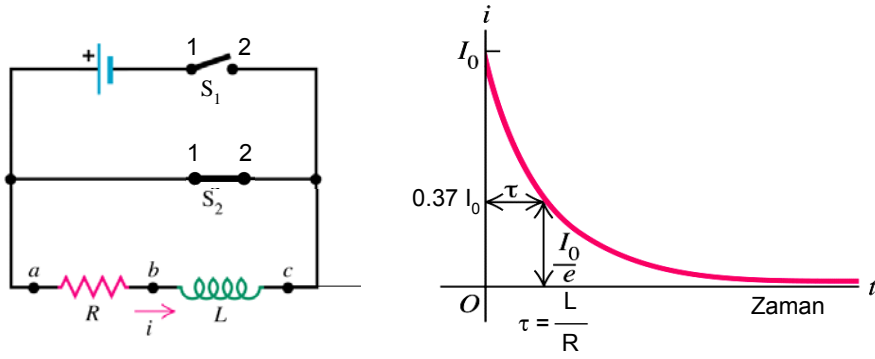
Bir RL seri devre ve akımın zamanla yükselmesi

Kirchhoff denklemi,

$$V_0 - RI - L \frac{di}{dt} = 0$$

$$I = \frac{V_0}{R} (1 - e^{-t/\tau})$$

Bir İndüktörde Deşarj



Bir RL seri devre ve akımın zamanla düşmesi

Kirchhoff denklemi,

$$RI + L \frac{di}{dt} = 0$$

$$I = I_0 e^{-t/\tau} \quad \tau = L/R$$

RL devrede anahtar 1 konumuna getirildiğinde

$$v_R = V_i (1 - e^{-tR/L})$$

$$v_L = V_i e^{-tR/L}$$

Sinyaldeki bir değişiklik sırasında RC ve RL devrelerinin durumlarını kıyaslamak yararlı olur. İki devre için verilen eğrilere göre, iki reaktant da akıma göre faz dışında bir potansiyel değişikliği gösterir. Ayrıca, bir indüktörde voltaj akımı izler, oysa bir kapasitörde bunun tam tersi bir durum vardır.

Yararlanılan Kaynaklar

Principles of Instrumental Analysis, D.A.Skoog, D.M. West, II. Ed. 1981

<http://hep.ucsb.edu/people/claudio/ph3-04>

http://www.physics.sjsu.edu/becker/physics51/51_Ch30_INDUCTANCE_L.ppt