

DENEY NO: 6

RL, RC ve RLC' DEN OLUŞMUŞ DEVRELERDE GEÇİCİ REJİMLERİN İNCELENMESİ

Deneyin Amacı:

Öğrencinin, elektrik devrelerin zaman domeninde incelenmesiyle ilgili bilgilerinin artırılması amaçlanmaktadır.

Genel Bilgiler:

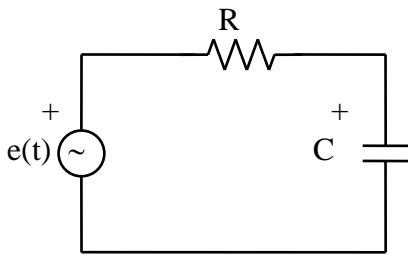
Bir elektrik devresinin zaman domeninde incelenmesi için, önce o devrenin ya entegro-diferansiyel denklemlerinin, ya da durum denklemlerinin yazılması gerekir. Bu denklemlerin çözülmesiyle devrenin zaman domenindeki incelenmesi tamamlanır. Bilindiği gibi, diferansiyel denklemlerin çözülmesiyle ortaya çıkan çözümü iki parçaya ayırmak mümkündür: Çözümün birinci parçasını devredeki ilk koşullar, ikinci parçasını da devredeki kaynaklar belirler. Çözümün bu parçalarına, sırasıyla Öz ve Zorlanmış Çözüm adları verilir.

Asimptotik kararlı, diğer bir deyişle $t \rightarrow \infty$ için durum geçiş matrisi $\phi(t)$ 'nin sifıra uzandığı bir devrede, $t \rightarrow \infty$ giderken öz çözüm sifıra, zorlanmış çözüm de özel çözüme ulaşır. Daha açık bir deyişle, asimptotik kararlı bir devrede, devrenin incelenmesine başlanılmasından belirli bir zaman sonra, tam çözüm büyük bir yaklaşıklıkla özel çözüme eşit olur. Asimptotik kararlı bir devre için tam çözümü, geçici çözüm ve kalıcı (sürekli) çözüm olarak iki parçadan oluşuyor diye düşünebiliriz. Asimptotik kararlı bir devre için diferansiyel denklem sisteminin homojen çözümüne geçici, özel çözümüne de kalıcı çözüm denilmektedir. Geçici çözüm, başlangıçta çok büyük olsa bile, devre çalışmaya başladıktan belirli bir zaman sonra küçülür, sifıra yaklaşır. Kalıcı çözüm, devrede kaynaklar olduğu sürece devam edecek çözümdür. Etkisi çok kısa sürmesine karşın geçici çözüm bir devrede elemanların seçilmesi bakımından önemlidir. Örneğin, elektrik enerjisi dağıtım sisteminde (şebekede) sistem çalışırken birdenbire meydana gelen arızadan (kısa devre gibi) dolayı, arızanın olduğu andan itibaren ortaya çıkan geçici çözümün şebekedeki hatların, cihazların, ölçü transformatörlerinin ve anahtarların seçimi bakımından bilinmesi gerekir. Eskiden şebekedeki anahtarların "açma zamanlarının" büyük olmasından dolayı, arıza halinde ortaya çıkan geçici çözümle açma zamanından kısa sürdüğü için ilgilenilmezdi. Bugün açma zamanları küçük olduğu için geçici çözümle ilgilenilmesi, şebekedeki elemanların seçilmesinde göz önüne alınması gerekmektedir. Devrelerin zaman domeninde incelenmesi, birçok cihazın çalışma ilkelerinin ve işlevlerinin anlaşılması bakımından çok önemlidir.

Bu aşamada basit birer RC , RL ve RLC devreleri ele alınarak, bunların basamak, darbe ve kare dalga kaynaklarıyla uyarılması halinde çözümlerinin ne olduğu incelenecektir.

RC Devresi:

Şekil 1'deki RC devresini ele alalım. Bu devrenin durum denklemleri,



Şekil 1

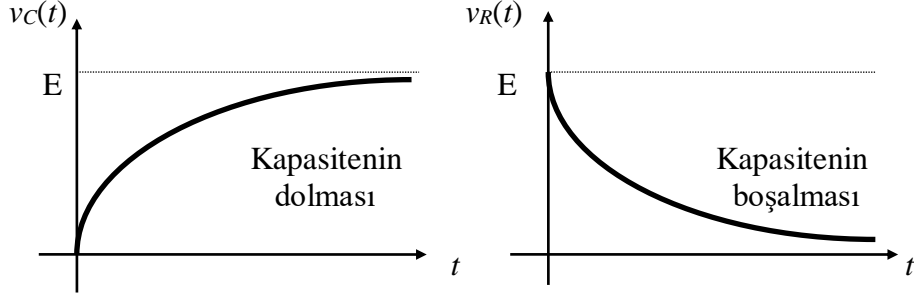
$$\frac{dv_c}{dt} = -\frac{1}{RC}v_c + \frac{1}{RC}e(t) \quad (1)$$

biçimindedir.

(1) denkleminde $e(t)=Eu(t)$ biçiminde basamak fonksiyonu ise, denklemin çözümü;

$$v_c(t) = e^{-t/RC} v_c(0) + E(1 - e^{-t/RC}) \quad (2)$$

olmaktadır. $v_c(0) = 0$ olması halinde, C ve R 'nin uçlarındaki gerilimlerin değişim biçimleri Şekil 2'de gösterildiği gibidir.

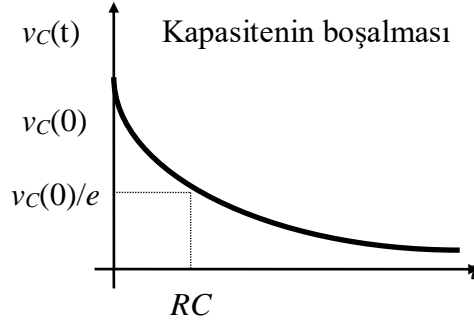


Şekil 2

Şekil 1'deki devrede, $e(t)$ kaynağı çıkartılıp yeri kısa devre edilirse ((1) denkleminde $e(t) = 0$ alınır) (1) denkleminin çözümü,

$$v_c(t) = e^{-t/RC} v_c(0) \quad (3)$$

biçimindedir. Bu gerilimin zamanla değişim biçimi Şekil 3'de gösterilmiştir. (2) ve (3) denkleminde görülen RC devrenin zaman sabiti olup; R , ohm, C ise farad olarak konulduğunda birimi saniyedir.

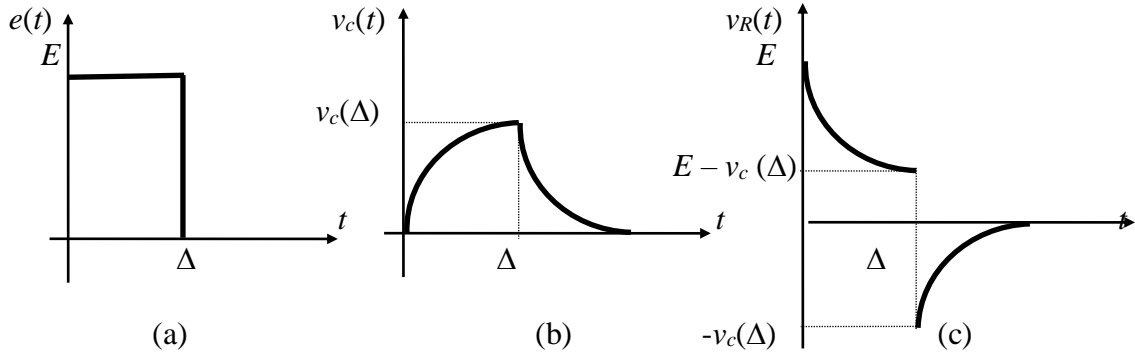


Şekil 3

Şekil 1'deki devrede $e(t)$ kaynağı, Şekil 4a'da gösterildiği gibi bir darbe kaynağı ise, ($e(t) = E[u(t) - u(t-\Delta)]$), $v_c(0) = 0$ olmak üzere, kapasitenin gerilimi;

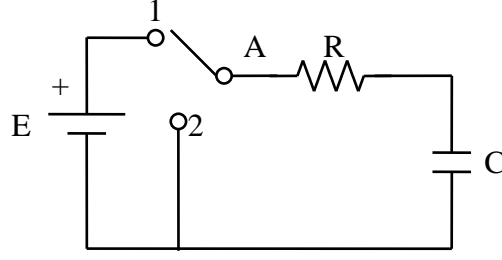
$$v_c(t) = E(1 - e^{-t/RC})u(t) - E(1 - e^{-(t-\Delta)/RC})u(t - \Delta) \quad (4)$$

olarak ifade edilir. C kapasitesinin ve R direncinin gerilimi Şekil 4b ve Şekil 4c'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4

$e(t)$ kaynağının Şekil 4a'daki gibi darbe kaynağı olması halinde, Şekil 1'deki devreyi Şekil 5'deki gibi düşünmek mümkündür.



Şekil 5

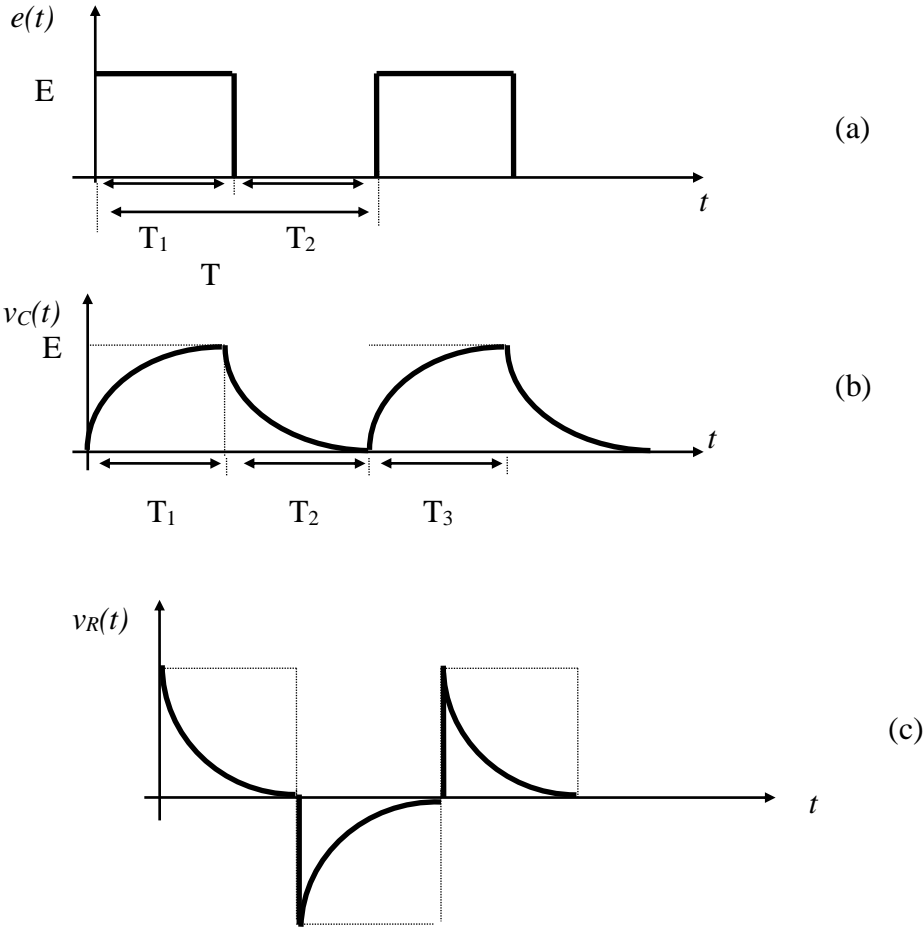
Bu durumda, Şekil 5'deki A anahtarının Δ zaman kadar 1 konumunda tutulduğu, sonra 2 konumuna alındığını belirtmek gerekir. A anahtarı 1 konumundayken, $0 \leq t < \Delta$ aralığında, C kapasitesinin uçlarındaki gerilim ifadesi olarak Şekil 4b'deki eğrinin sıfırdan Δ 'ya kadar olan aralıktaki kısmı geçerlidir. $t = \Delta$ olduğunda, kapasitenin gerilimi de $v_{c\Delta} = v_c(\Delta)$ olur. $t = \Delta$ olduğunda, A anahtarı da 2 konumuna alındığından kapasite boşalmaya başlayacaktır. $t \geq \Delta$ için, Şekil 3'de verilen eğri kullanılabilir; ancak bu eğriyi Δ kadar ötelemek ve $v_c(0)$ yerine de $v_c(\Delta)$ almak gerekir. Şekil 3 üzerinde yapılan bu işlem, (3) denkleminde t yerine $(t - \Delta)$ ve $v_c(0)$ yerine de $v_c(\Delta)$ yazmaya denktir. Bu açıklamalar aşağıdaki matematiksel bağıntıyla özetlenebilir;

$$v_c(t) = \begin{cases} E(1 - e^{-t/RC}) & ; 0 \leq t < \Delta \\ v_c(0) e^{-(t-\Delta)/RC} & ; t \geq \Delta \end{cases} \quad (5)$$

(5) denkleminde, $v_c(\Delta) = E(1 - e^{-(\Delta)/RC})$ olmaktadır. E, R, C ve Δ sayısal olarak verilince, $v_c(\Delta)$ de sayısal olarak hesaplanabilir. Aynı şekilde $v_R(t)$ aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$v_R(t) = \begin{cases} E e^{-t/RC} & ; 0 \leq t < \Delta \\ v_R(t) = 0 & \\ v_c(0) e^{-(t-\Delta)/RC} & ; t \geq \Delta \end{cases}$$

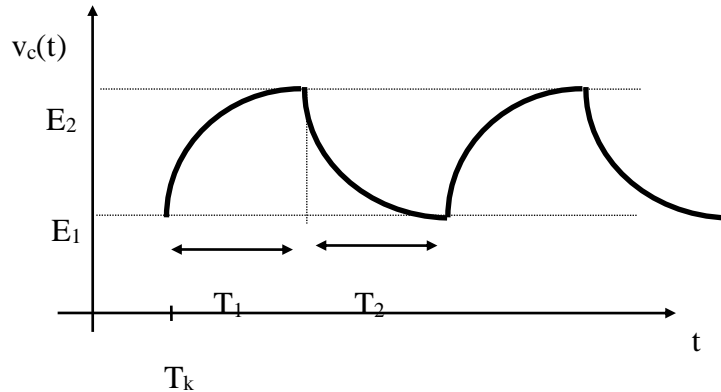
Şekil 1'deki devredeki $e(t)$ kaynağının Şekil 6'daki gibi bir dikdörtgen dalga kaynağı olduğunu düşünelim. C kapasitesinin uçlarındaki gerilimin değişimini incelemeye başlarken R.C zaman sabitini, dikdörtgen dalgaının periyoduyla karşılaştırmak gerekir.



Şekil 6

a) $RC \ll T$ ise, kapasite birinci darbe ile T_1 süresince dolar ve T_2 zaman aralığında ikinci darbe gelene kadar boşalır. Zaman sabiti küçük olduğu için, T_2 kadarlık zamanda kapasitenin uçlarındaki gerilimin sıfıra ulaştığını kabul edebiliriz. İkinci darbe ve daha sonraki darbelerde olay aynı biçimde tekrarlanır; kapasitenin gerilimi periyodik olarak Şekil 6b'deki gibi değişir. Bu gerilim, periyodik olduğu belirtilerek ve Δ yerine de T_1 konularak, (5) denkleminde ifade edilebilir. R direncinin uçlarındaki gerilimin değişimi ise, Şekil 6c'deki gibidir.

b) RC zaman sabiti, periyotla karşılaştırılabilir büyüklükte ise, $v_C(t)$ 'nin değişimi Şekil 7'de gösterildiği gibi olacaktır. İlk darbe ile kapasite dolacak, darbe aralığında (T_2 süresince) kapasite tamamen boşalmadan ikinci darbe gelecek, tekrar kapasite dolacaktır. Bu durum başlangıçtaki darbeler için bu şekilde devam edecektir. Belirli darbe sayısından sonra kapasitenin uçlarındaki gerilimin değişimi periyodik hale gelecektir.



Şekil 7

Olayın periyodik olmaya başladığı an T_k başlangıç olarak alınabilir. Burada problem, $v_c(t)$ 'nin periyodik hale gelinceye kadar, darbelerle uçlarında E_1 gerilimi bulunan ilk koşul kapasitesinin bir darbe ile darbe süresince (T_1) dolması ve darbe aralığında (T_2) boşalması olayıdır. O halde, olayı açıklamak için (2) ve (3) bağıntılarından yararlanılabilir;

$$v_c(t) = \begin{cases} e^{-t/RC} E_1 + E(1 - e^{-t/RC}) & ; 0 \leq t < T_1 \\ E_2 e^{-(t-T_1)/RC} & ; t \geq T_2 \end{cases} \quad (6)$$

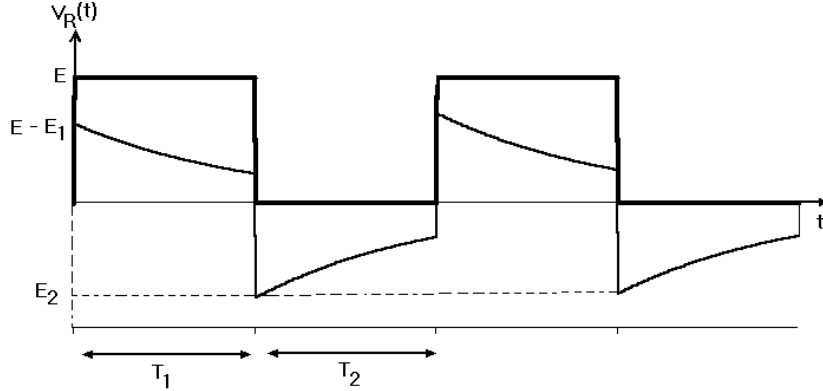
$t = T_1$ anında $v_c(T_1) = E_2$ ve $t = T_1 + T_2$ anında $v_c(T) = E_1$ olduğu düşünülürse, (6) denkleminde;

$$\left. \begin{aligned} E_2 &= E_1 e^{-T_1/RC} + E(1 - e^{-T_1/RC}) \\ E_1 &= E_2 e^{-T_2/RC} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

elde edilir. Bunlardan da;

$$E_2 = E \frac{1 - e^{-T_1/RC}}{1 - e^{-T/RC}} \quad E_1 = E \frac{e^{-T_2/RC} - e^{-T/RC}}{1 - e^{-T/RC}} \quad (8)$$

bulunur. Dikdörtgen dalganın darbe süresi T_1 , periyodu T , genliği E , devredeki R ve C 'nin sayısal değerleri verilirse (8)'daki bağıntılar yardımıyla E_1 ve E_2 sayısal olarak hesaplanır ve $v_c(t)$ 'nin zamanla değişim ifadesini veren (6) denklemleri de sayısal olarak bulunabilir. $v_c(t)$ belli olunca, $v_R(t)$ de Şekil 8'deki gibi bulunabilir.



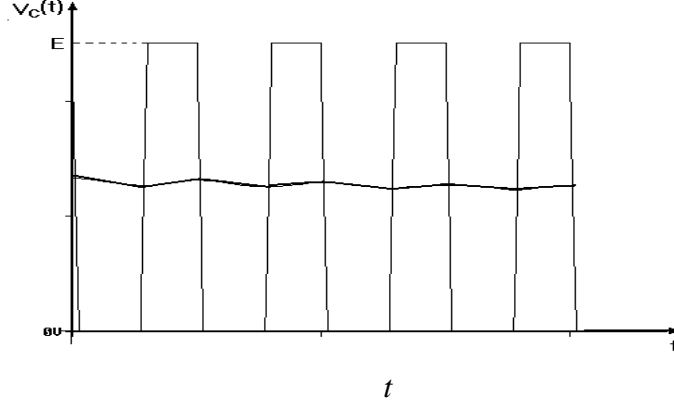
Şekil 8

c) $RC \gg T$ ise, (6) ve (8) denklemleri yine geçerlidir. Ancak, bu denklemlerdeki üstel fonksiyonların hesabında bir yaklaşıklık mümkün olur. Daha açıkçası, $RC \gg T$ ise,

$$e^{-t/RC} \cong 1 - t/RC \quad 0 \leq t < T_1$$

$$e^{-(t-T_1)/RC} \cong 1 - (t - T_1)/RC \quad T_1 \leq t < T_2$$

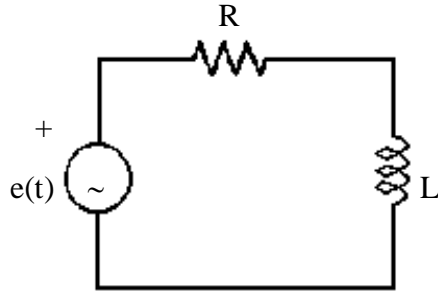
yazılabilir. Dolayısıyla, $v_c(t)$ 'nin değişimi Şekil 9'da gösterildiği gibi doğrusal olacaktır.



Şekil 9.

RL Devresi :

Şekil 10'daki RL devresini gözönüne alalım.

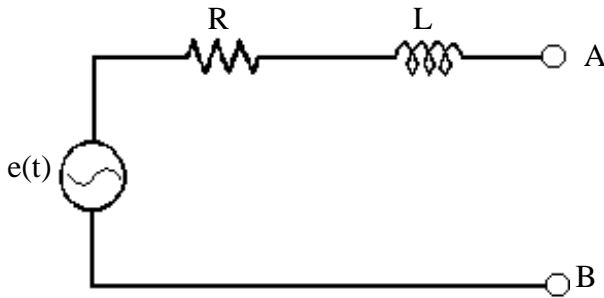


$$\frac{di_L}{dt} = -(R/L)i_L(t) + \frac{1}{L}e(t) \quad (9)$$

Şekil 10.

(9) denkleminin yapısı, (1) denklemi ile aynıdır. RC devresi için yapılan bütün incelemelerdeki yol uyarınca, RL devresi de inceleyebilir.

Şekil 11'de gösterilen devre, bir enerji dağıtım sistemini basitçe modellemekte kullanılabilir. R, generatörden tüketiciye kadar yoldaki direnci (generatörün iç direnci, hat direnci vb.), L'de yoldaki endüktansı (generatörün iç endüktansı, hat endüktansı gibi) göstermektedir. Şekil 10'daki devrede A ve B uçları kısa edilip, generatör kısa devre edilmiş sisteme bağlandığında devredeki akımın zamanla değişimini inceleyelim. A ve B uçları kısa edilmiş Şekil 11'deki devrenin durum denklemleri, (9) denkleminde verildiği gibi olacaktır. Burada, e(t)'nin frekansı 50Hz olan bir kaynak olduğunu belirtelim.



Şekil 11

$$e(t) = \sqrt{2}E \sin(\omega t) \quad (10)$$

Bu durumda, (9) denkleminin özel çözümünün;

$$i_L(t) = \frac{\sqrt{2}E}{Z} \sin(\omega t - \psi) \quad (11)$$

biçiminde olduğu gösterilebilir. Bu bağıntı da;

$$\left. \begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \\ \psi &= \arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

olmaktadır. (9) denkleminin homojen kısmının çözümü,

$$i_L(t) = I_h e^{-(R/L)t} \quad (13)$$

olmaktadır. Tam çözüm ise;

$$i_L(t) = I_h e^{-(R/L)t} + \frac{\sqrt{2}E}{Z} \sin(\omega t - \psi) \quad (14)$$

olacaktır. Kısa devre olmadan önce endüktanstan bir akım geçmediği için, $i_L(0) = 0$ 'dır. Bu ilk koşul da (14) denkleminde yerine konursa,

$$I_h(t) = \frac{\sqrt{2}E}{Z} \sin \psi \quad (15)$$

elde edilir. O halde (14) denklemini;

$$i_L(t) = \left(\frac{\sqrt{2}E}{Z} \sin \psi\right) e^{-(R/L)t} + \frac{\sqrt{2}E}{Z} \sin(\omega t - \psi) \quad (16)$$

biçiminde yazılabilir. (16) denkleminde birinci terim, geçici çözüm; ikinci terim ise kalıcı çözümü göstermektedir. (L/R) 'nin beş katı kadar bir zaman sonra geçici çözümün etkisi ihmal edilebilir. Kısa devrenin olduğu andan itibaren belirtilen zaman geçtikten sonra, devreden efektif değeri (E/Z) 'ye eşit olan kalıcı kısa devre akımı geçer.

(16) denkleminle belirtilen $i_L(t)$, $\omega t = \pi/2 + \psi$ için en büyük değerine ulaşır. Akımın bu değeri, kısa devre darbe akımı;

$$I_s = \frac{\sqrt{2}E}{Z} \left(1 + \frac{\omega L}{Z} e^{-\frac{R}{\omega L} \left(\frac{\pi}{2} + \psi \right)} \right) \quad (17a)$$

ya da,

$$I_s = \sqrt{2} I_k'' x \quad (17b)$$

ile ifade edilir. Burada I_k'' , kalıcı kısa devre akımının değeri olup, E/Z 'ye eşittir.

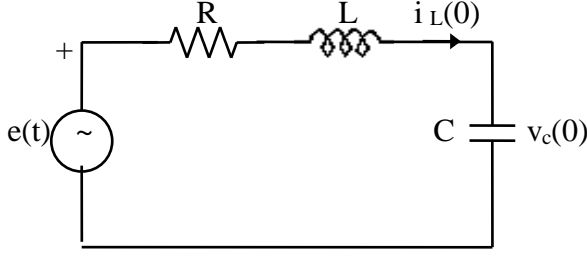
$$x = 1 + \left(1 / \sqrt{\left(\frac{R}{\omega L} \right)^2 + 1} \right) e^{-\left(\frac{R}{\omega L} \left(\frac{\pi}{2} + \psi \right) \right)} \quad (18)$$

olmaktadır. (18) denkleminde görüldüğü gibi, x katsayısı, $R/(\omega L)$ değerine bağlı bir sabittir. $R=0$ ise, $x=2$ olmaktadır. Bu halde, geçici çözümden dolayı devreden geçen akım, kalıcı kısa devre akımının 2 katına kadar çıkmaktadır. Şebekedeki elemanları seçerken, kısa devrenin başlangıcında akımın büyük değerlere ulaştığını göz önüne almanın gerektiği görülmektedir.

Burada, generatörün bir gerilim kaynağı ve ona seri bağlı bir iç direnç ve iç endüktansla modellenmiş olduğunu hatırlatalım. Jeneratörü modelleyen $eö(t)$ gerilim kaynağı ve iç endüktansı (L 'nin bir kısmı) kısa devre olayının başlamasından sonuna kadar aynı kalmaz.

RLC Devresi:

Şekil 12'deki RLC devresini göz önüne alalım.

**Şekil 12**

Bu devrenin durum denklemleri,

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v_C(t) \\ i_L(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & (1/C) \\ (-1/L) & (-R/L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_C(t) \\ i_L(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ (1/L) \end{bmatrix} e(t) \quad (19)$$

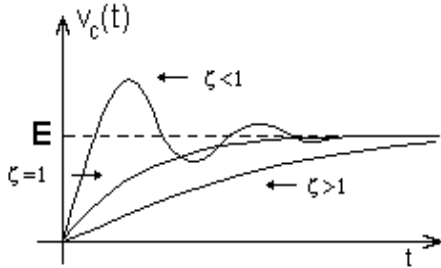
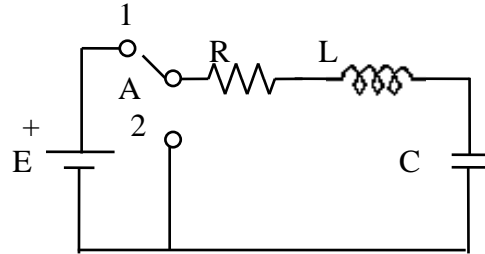
biçiminde elde edilir. Bu denklem sisteminin karakteristik denklemi,

$$p^2 + 2\zeta \omega_o p + \omega_o^2 = 0 \quad (20)$$

olmaktadır. Burada ,

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad , \quad \zeta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (21)$$

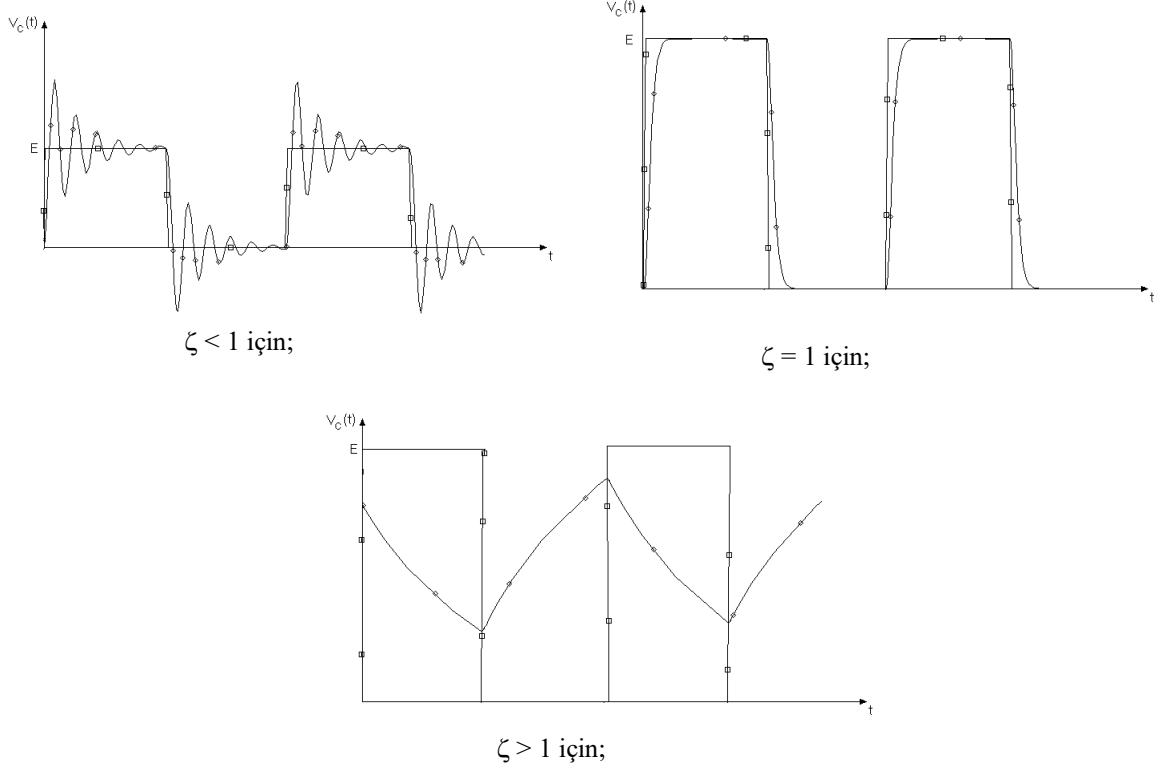
$v_C(0) = 0$, $i_L(0) = 0$ alınarak, her üç halde $v_C(t)$ 'nin zamanla değişimi Şekil 13'te kabaca çizilmiştir.

**Şekil 13****Şekil 14**

Şekil 13'te görüldüğü gibi, her üç halde de kapasitenin uçlarındaki gerilim E'ye doğru gitmektedir.

Şekil 12'deki devrede $e(t)$ 'nin $E(u(t)-u(t-\Delta))$ biçiminde bir darbe kaynağı olduğunu düşünelim. Bu durumda devreyi Şekil 14'deki gibi yorumlamak incelemeye kolaylık getirebilir. A anahtarı Δ kadar bir süre (1) konumunda bırakıldıktan sonra, (2) konumuna alınır. $v_C(0)$, $i_L(0)$ ilk koşullarının var olduğunu düşünelim. Anahtar (1) konumunda olduğu sürece, $0 \leq t < \Delta$ aralığında, ζ 'nin değerine bağlı olarak, ya (23), ya (24), ya da (25) denklemini kullanabiliriz. $t=\Delta$ anında, $i_L(\Delta)$ ve $v_C(\Delta)$ 'yi bu bağıntılar yardımıyla bulabiliriz. Anahtar (2) konumunda iken, devrede kaynak olmadığı için yalnızca öz çözüm vardır. $t > \Delta$ için, $v_C(t)$ ve $i_L(t)$ 'yi bulmak için ζ 'nin değerine göre (23), (24), (25) denklemlerinden biri kullanılabilir. $t > \Delta$ için, $v_C(t)$ ve $i_L(t)$ 'yi ifade etmek için, bu denklemlerde t yerine $(t - \Delta)$, $v_C(0)$ ve $i_L(0)$ yerine, $v_C(\Delta)$ ve $i_L(\Delta)$, E yerine de sıfır koymak yeterlidir.

Δ 'nın yeterince büyük olduğunu düşünürsek, $v_c(t)$ 'nin ζ 'ye göre değişimi Şekil 15'deki şekiller gibi olacaktır.



Şekil 15

Deney Öncesi Hazırlıklar :

1. Deneyin 1 ve 2. adımlarında uygulanacak olan işaretlerin periyotlarını hesaplayınız.
2. $v(t) = u(t)$ ve $v(t) = 1[u(t)-u(t-1)]$ için tüm eleman gerilimlerini ve akımlarını bulunuz ve değişimlerini çizin.
3. Şekil 1, 10 ve 12'deki devrelerin eleman gerilim ve akımlarını, Laplace dönüşümlerinden yararlanarak R, L, C ve $v(t)$ 'ye bağlı olarak bulunuz.

Deney Öncesi Hazırlık Raporunda İstenenler:

1. ORCAD 16.3 programını kullanarak **deneyde gerçekleştireceğiniz bütün devrelerin** simülasyonunu(devrede bağlantı dışında kaynak ya da eleman değeri değişikliği varsa da ayrı simülasyon sonucu olmalıdır.) **deney sırasında yapılacaklar** bölümünde anlatılan şekilde yapınız ve elde ettiğiniz simülasyon sonuçlarını grafiksel olarak raporunuza ekleyiniz. Tablolar varsa hesap sütunlarını doldurunuz. *Bu ön çalışma, laboratuvarda yapacağınız ölçümleri kontrol etmeniz açısından birinci derece önem taşımaktadır.*
2. Deney öncesi hazırlıklar bölümündeki istenenleri sırasıyla bulunuz ve düzenli bir şekilde raporunuza yazınız.

Malzeme ve Cihaz Listesi:

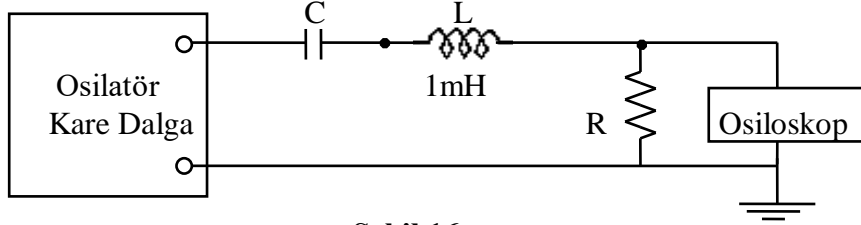
- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. 68 Ω direnç 1 adet | 7. 100 nF kapasite 1 adet |
| 2. 1 K Ω direnç 1 adet | 8. Dijital Multimetre |
| 3. 2 K Ω direnç 1 adet | 9. Deney Seti (CADET I-IT) |
| 4. 100 K Ω direnç 1 adet | 10. Osiloskop ve iki adet prob |

5. 1mH endüktans 1 adet
6. 1 nF kapasite 1 adet

11. Pens, keski, montaj kablosu

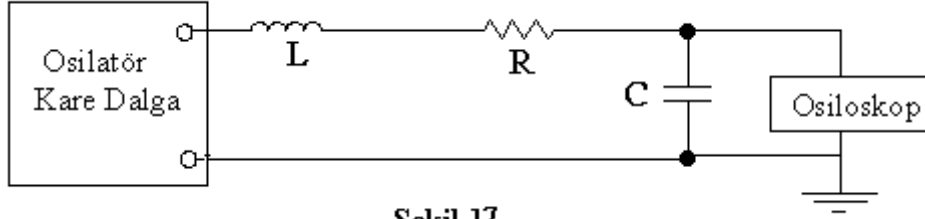
Deneyin Yapılışı :

Şekil 16' daki ölçme düzenini kurunuz.



Şekil 16.

1. Ölçme düzeninde verilen L endüktansını çıkarıp, yerini kısa devre ediniz. Böylece elde ettiğiniz RC devresinde kare dalga osilatörünün periyodunu $T = 10RC$, $T = RC$ ve $T = RC/10$ değerlerine ayarlayarak, her üç hal için osiloskopta gördüğünüz şekilleri çiziniz. T ve osilatör geriliminin tepe değerini kaydediniz. ($R=1K\Omega$ ve $C=100nF$ alınınız)
2. Şekil 16'da verilen devrede C kapasitesini çıkartıp yerini kısa devre ederek bir RL devresi elde ediniz. Kare dalga osilatörünün periyodunu $T = 10L/R$, $T = L/R$ ve $T = L/(10R)$ olarak, her üç için 1.aşamadaki işlemleri tekrarlayınız. ($R=68\Omega$ alınınız)



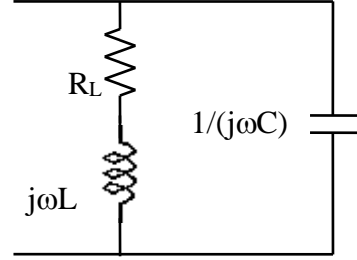
Şekil 17

3. Şekil 17'deki devrede, $R > 2\sqrt{L/C}$, $R < 2\sqrt{L/C}$ ve $R = 2\sqrt{L/C}$ olacak biçimde R direncine üç ayrı değer veriniz. Her üç hal için, kare dalga osilatörünün periyodunu büyük seçerek ($T=1ms$), osiloskopta gördüğünüz dalga şekillerini çiziniz. Kare dalga osilatörünün periyodunu küçük seçerek ($T=0,01ms$) deneyi tekrarlayınız. ($C=1nF$, $L=1mH$, $R=2\sqrt{L/C}$ için $2k\Omega$, $R < 2\sqrt{L/C}$ için 68Ω , $R > 2\sqrt{L/C}$ için $100K\Omega$ kullanınız)

Sorular :

- 1) Deneyde kullandığınız eleman değerlerini gözönüne alarak ve "Teori" kısmında verilen bilgileri kullanarak, yaptığınız deneyin (1) kısmı için $v_C(t)$ ve $v_R(t)$ 'yi, (2) kısmı için $i_L(t)$ ve $v_R(t)$ 'yi, (3) kısmı için $v_C(t)$ ve $v_R(t)$ 'yi teorik olarak hesaplayıp, değişimlerini çiziniz. (3) kısım için yalnızca kaynak periyodunun büyük olması halini ele alınız. Deneyde elde ettiğiniz sonuçları teorik sonuçlarla karşılaştırınız.

- 2) Seri RLC devresinde $L = 0.5H$, anlık gerilim $v = 70.7\sin(500t+30^\circ)V$ ve ansal akım $i = 1.5\sin(500t)A$ 'dır. R ve C değerlerini bulunuz. Hangi ω_0 frekansında devre rezonansa gelir?
- 3) $R = 10\Omega$, $L = 0.2H$ ve $C = 40\mu F$ 'tan oluşan seri devreye değişken frekansta gerilim uygulanmıştır. Akımın gerilimin 30° önünde, gerilimle aynı fazda ve gerilimden 30° geride olduğu f_1 , f_0 , f_2 frekanslarını bulunuz.
- 4) Seri bir RLC devresinde $L = 25mH$ ve $C = 75\mu F$ 'dır. Faz açısı $\omega = 2000$ rad/s için 25° geride ise, hangi frekans değerinde 25° ileri olur?
- 5) Yandaki devrede iç direnci R_L olan bir bobinle bir kapasitenin paralel birleşimi görülmektedir. Devrenin rezonans frekansını bulunuz.



- 6) Aşağıdaki devreyi $\omega = 5000$ rad/s frekansında rezonansa sokacak C değerini bulunuz.

