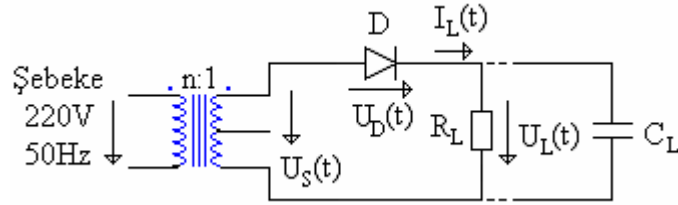


## ELEKTRONİĞE GİRİŞ 2008 – 2009 BAHAR UYGULAMA 5

### DOĞRULTUCU DEVRELERİ

Doğrultucu devreleri alternatif gerilimden doğru gerilim elde etmek için kullanılırlar. Diyotlu doğrultucu devrelerinde kullanılan kaynak gerilimleri genellikle diyotların eşik geriliminden çok büyük olduğu için diyotları ideal diyot ( $U_D < 0$  için  $I_D = 0$  ve  $I_D > 0$  için  $U_D = 0$ ) kabul edeceğiz. Diyotlu üç temel doğrultucu devresini inceleyelim:

#### 1. TEK YOLLU (YARIM DALGA) DOĞRULTUCU



Transformatörün primer ve sekonder sargıları arasındaki gerilimler sargıların sarım sayılarıyla orantılıdır:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{n_p}{n_s}$$

O halde  $U_s(t) = \frac{1}{n} 220\sqrt{2} \sin \omega t$  ( $f = 50\text{Hz}$ ) olur.  $U_s(t) = U_m \sin \omega t$  olarak adlandıralım.

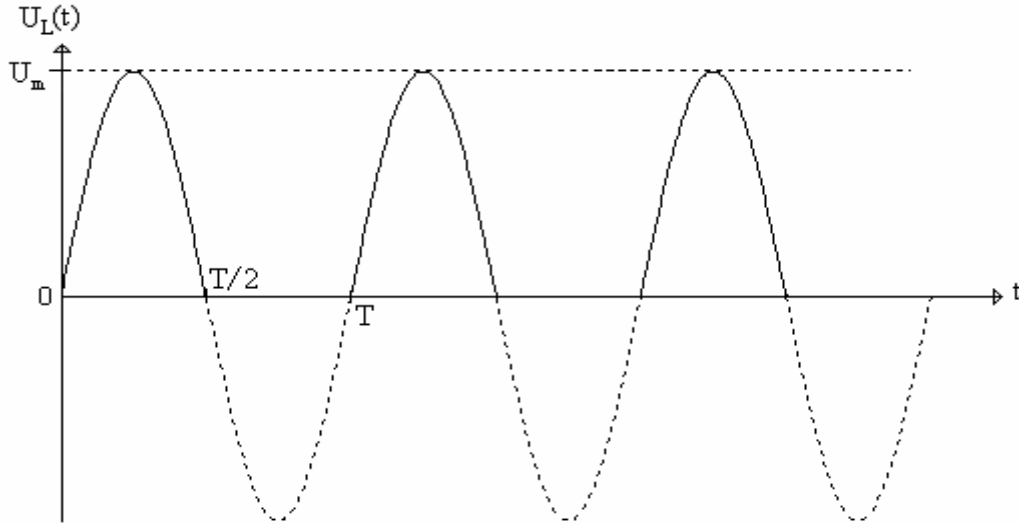
Önce  $C_L$  kondansatörü yokken devrenin çalışmasını inceleyelim:

$$U_s(t) = U_D(t) + U_L(t)$$

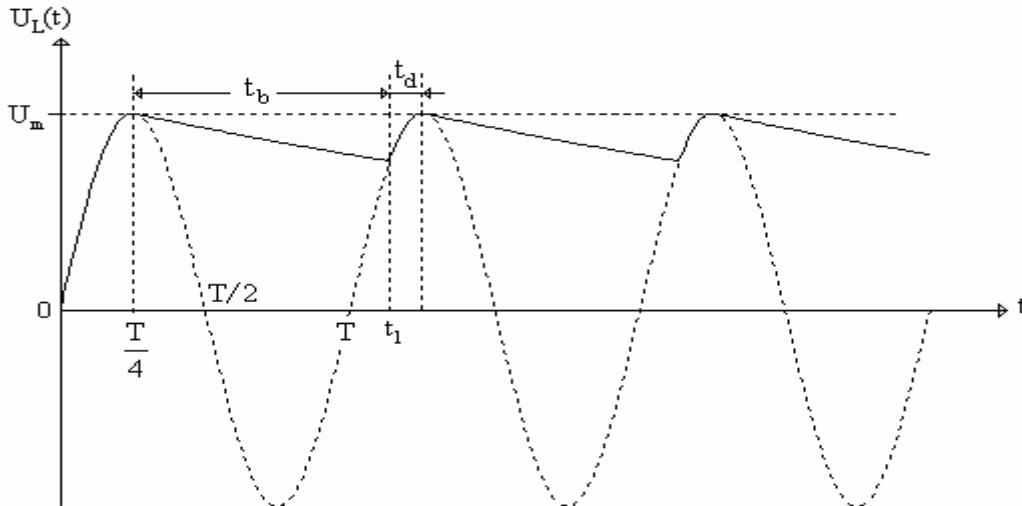
$$U_s > 0 \Rightarrow \text{Diyot iletimde (ON), } U_D(t) = 0; \quad U_L(t) = U_s(t) = U_m \sin \omega t; \quad I_L(t) = \frac{U_s(t)}{R_L}$$

$$U_s < 0 \Rightarrow \text{Diyot tıkamada (OFF), } U_D(t) = U_s(t) = U_m \sin \omega t; \quad U_L(t) = 0; \quad I_L(t) = 0$$

Diyot tıkamadayken üzerinde maksimum  $U_m$  gerilimi düşmektedir. Dolayısıyla devrenin çalışabilmesi için diyotun kırılma geriliminin  $U_m$ 'den büyük olması gerekir. Bu şartlar altında çıkış gerilimi aşağıdaki gibidir.



Böylece çıkışta yarım dalga doğrultulmuş, ortalama değeri sıfırdan farklı ama dalgalılığı hala yüksek bir işaret elde edilir. Bu işaretin DC değere daha yaklaşması için yük direncine paralel bir  $C_L$  kondansatörü ile filtreleme yapılır. Kondansatörle direncin değeri  $\tau = R_L C_L \gg T$  olacak şekilde şebeke gerilimi periyodundan çok büyük seçilirse  $0 \leq t \leq T/4$  aralığında D diyotu iletimdedir, kondansatör  $U_m$  değerine kadar dolar. Daha sonra sinüzoidal kaynak gerilimi  $U_m$  değerinin altına düştüğü anda D diyotu tıkamaya geçer çünkü kondansatör üzerindeki gerilim çok daha yavaş boşalmaktadır, kondansatör üzerindeki gerilim direnç üzerinden yavaş yavaş boşalırken kaynak gerilimi tekrar pozitif alternansa geçer. Kaynak gerilimi  $t_1$  anında kondansatör üzerindeki gerilimden büyük olacağı için bu andan itibaren D diyotu iletir, gerilim maksimum değerine ulaşana kadar kondansatörü doldurur ve bu şekilde çalışmaya devam eder. Kondansatörlü durumda diyot tıkamadayken ve kondansatörün uçlarında yaklaşık  $U_m$  gerilimi varken kaynak gerilimi en az  $-U_m$  olmaktadır, yani tıkamadaki diyotun üzerinde yaklaşık  $2U_m$  gerilimi düşmektedir, dolayısıyla diyotun kırılma geriliminin  $2U_m$  den büyük olması gerekir.



### Doğrultucunun Şekil Faktörü (F)

$F = \frac{U_{Leff}}{U_{Lort}}$  olarak tanımlanır.

$$U_{Leff} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T U_L^2(t) dt \right]^{1/2}; \quad U_{Lort} = \frac{1}{T} \int_0^T U_L(t) dt$$

### Doğrultucunun Dalgallık Faktörü ( $\delta$ )

$$\delta = \%100 \frac{U_{LACeff}}{U_{Lort}} = \sqrt{F^2 - 1}$$

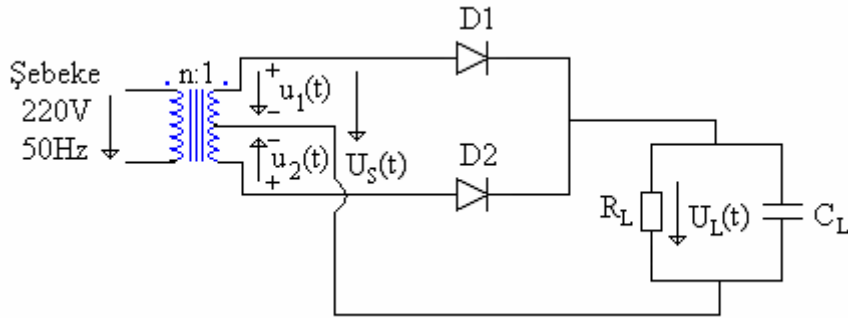
$U_{LAC}(t) = U_L(t) - U_{Lort}$   $U_{LAC}$  : Yük geriliminin alternatif bileşeni

Tek yöllü doğrultucu için:

$$\left. \begin{aligned} U_{Leff} &= \frac{1}{2} U_m \\ U_{Lort} &= \frac{1}{\pi} U_m \end{aligned} \right\} F = \frac{\pi}{2}; \quad \delta = \%121$$

## 2. ÇİFT YOLLU (TAM DALGA) DOĞRULTUCU

Tek yöllü doğrultucu giriş işaretinin yarı periyodunu doğrultmaktadır, diğer yarı periyodun da doğrultulması için çift yöllü doğrultucular kullanılır.



Yine  $U_s(t) = U_m \sin \omega t$  alalım ve önce  $C_L$  kondansatörü yokken devrenin çalışmasını inceleyelim:  $u_1(t)$  ve  $u_2(t)$  gerilimlerinin referans yönleri şekildeki gibi seçilirse:

$$\left. \begin{aligned} u_1(t) &= \frac{U_s(t)}{2} = \frac{U_m}{2} \sin \omega t \\ u_2(t) &= -\frac{U_s(t)}{2} = -\frac{U_m}{2} \sin \omega t \end{aligned} \right\} U_s(t) = u_1(t) - u_2(t) = U_m \sin \omega t$$

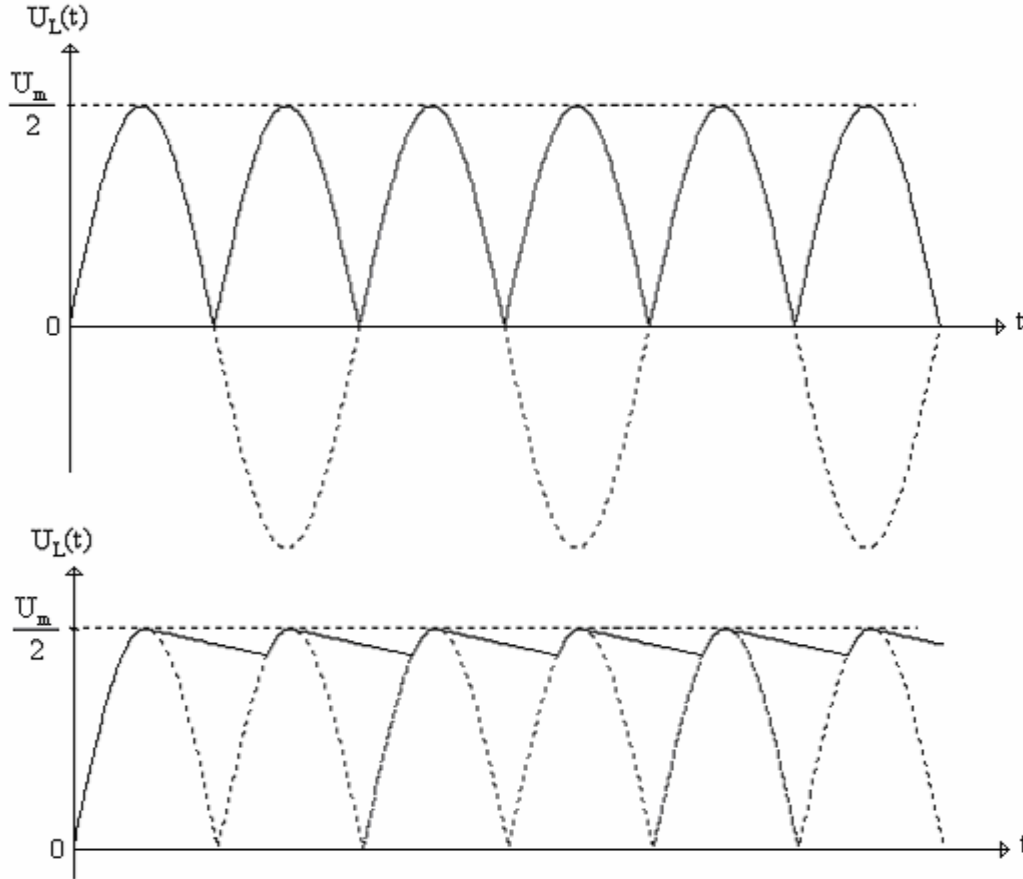
$$U_s > 0 \left( \text{yani } 0 - \frac{T}{2} \text{ arası} \right) \Rightarrow D1 \text{ iletimde, } D2 \text{ tıkamada}$$

$$U_{D1}(t) = 0; \quad U_{D2}(t) = u_2(t); \quad U_L(t) = u_1(t) = \frac{U_m}{2} \sin \omega t; \quad I_L(t) = \frac{U_L(t)}{R_L}$$

$$U_s < 0 \left( \text{yani } \frac{T}{2} - T \text{ arası} \right) \Rightarrow D2 \text{ iletimde, } D1 \text{ tıkamada}$$

$$U_{D2}(t) = 0; \quad U_{D1}(t) = u_1(t); \quad U_L(t) = u_2(t) = -\frac{U_m}{2} \sin \omega t; \quad I_L(t) = \frac{U_L(t)}{R_L}$$

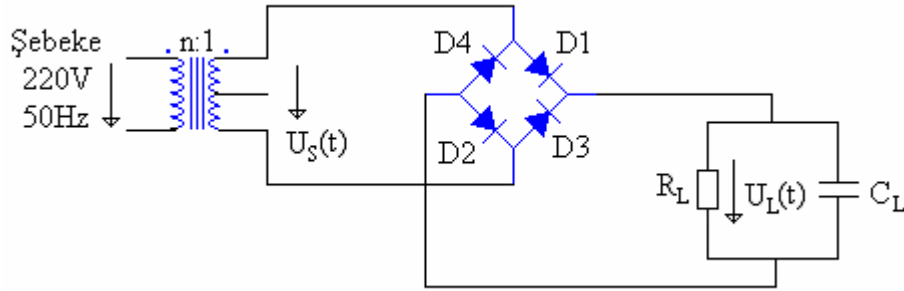
$C_L$  varken tıkamada her bir diyot üzerinde maksimum  $U_m$  gerilimi düşmektedir ( $C_L$  üzerinde  $U_m/2$  ile  $u_1$  veya  $u_2$  nin maksimum değeri  $U_m/2$  nin toplamı). Dolayısıyla devrenin çalışabilmesi için diyotun kırılma geriliminin  $U_m$ 'den büyük olması gerekir. Çıkışta maksimum  $U_m$  genlikli değişim elde etmek istenirse transformator sekonderinde (yani doğrultucu girişinde)  $2U_m$  genlikli sinüs olacak şekilde sarım sayısı ayarlanır. Bu durumda devrenin çalışabilmesi için her iki diyotun da kırılma geriliminin  $2U_m$ 'den büyük olması gerekir.  $C_L$  yokken ve varken çıkış gerilimleri sırasıyla aşağıdaki şekilde görülmektedir.



$C_L$  yokken oluşan çıkış gerilimi için şekil ve dalgalılık faktörleri:

$$\left. \begin{aligned} U_{Leff} &= \frac{1}{\sqrt{2}} U_{Lmax} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{U_m}{2} \\ U_{Lort} &= \frac{2}{\pi} U_{Lmax} = \frac{2}{\pi} \frac{U_m}{2} \end{aligned} \right\} F = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11; \quad \delta = \%48,3$$

### 3. KÖPRÜ DOĞRULTUCU



$U_s(t) = U_m \sin \omega t$  ve yine önce  $C_L$  devrede değilken:

$U_s > 0$  (yani  $0 - \frac{T}{2}$  arası)  $\Rightarrow$  D1 ve D2 iletimde, D3 ve D4 tıkamada

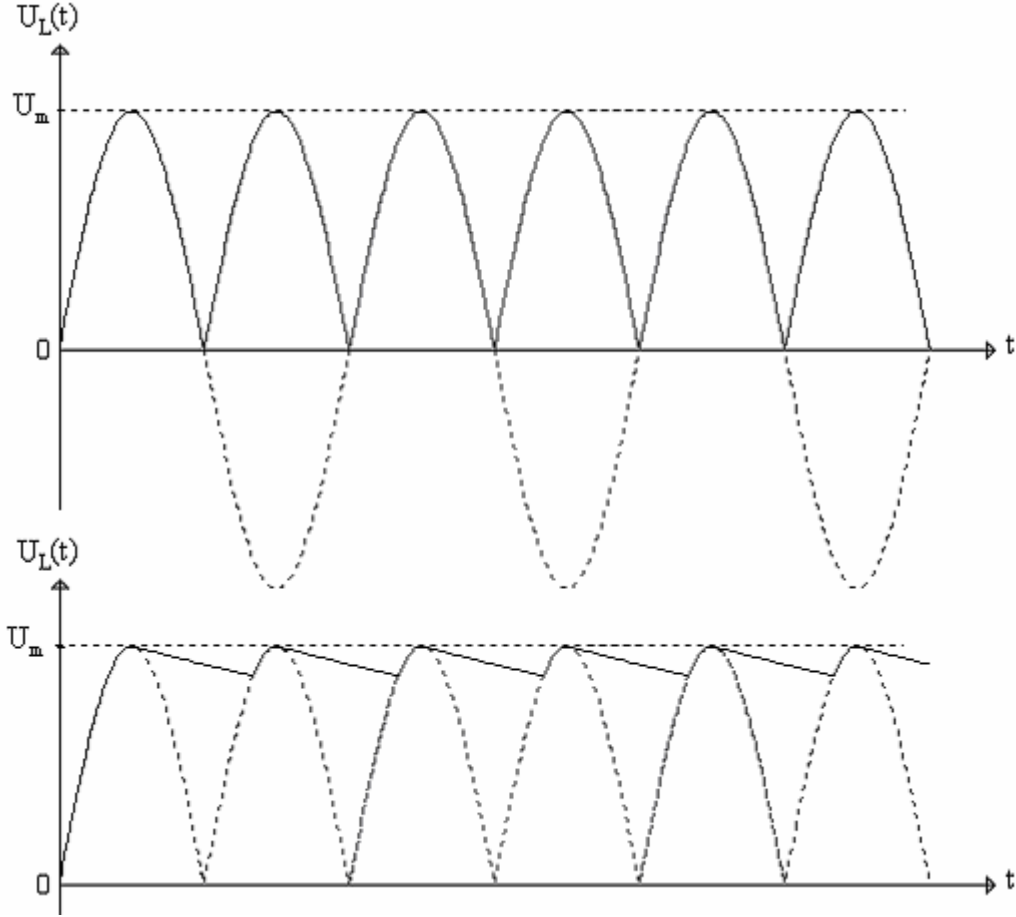
$$U_{D1}(t) = U_{D2}(t) = 0; \quad U_{D3}(t) = U_{D4}(t) = \frac{U_s(t)}{2}; \quad U_L(t) = U_s(t) = U_m \sin \omega t; \quad I_L(t) = \frac{U_L(t)}{R_L}$$

$U_s < 0$  (yani  $\frac{T}{2} - T$  arası)  $\Rightarrow$  D3 ve D4 iletimde, D1 ve D2 tıkamada

$$U_{D3}(t) = U_{D4}(t) = 0; \quad U_{D1}(t) = U_{D2}(t) = \frac{U_s(t)}{2}; \quad U_L(t) = -U_s(t) = -U_m \sin \omega t; \quad I_L(t) = \frac{U_L(t)}{R_L}$$

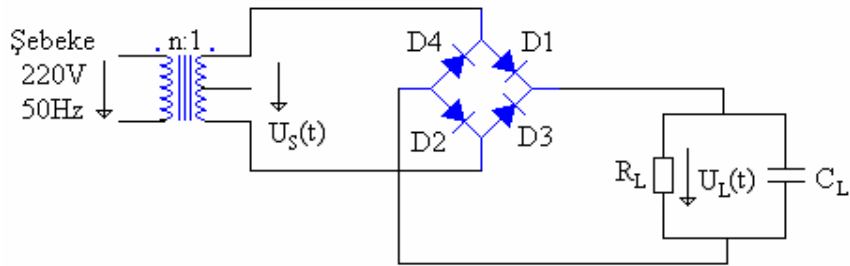
Yük direncine paralel bir  $C_L$  olması durumunda tek yöllü doğrultucuda olduğu gibi ilk yarı periyotta kondansatör  $U_m$  gerilimine dolacak, daha sonra kaynak gerilimi  $U_m$  den küçük olduğu sürece diyotlar iletmeyecek ve kondansatör gerilimi direnç üzerinden boşalacaktır.  $C_L$  varken tıkamada bir diyot üzerine düşen gerilim maksimum  $U_m$  kadar olmaktadır. Tıkamada  $C_L$  üzerinde  $U_m$  ve kaynak geriliminin en düşük değeri  $-U_m$  olmak üzere toplam  $2U_m$  gerilimi vardır ancak herhangi bir anda iki diyot tıkamada olduğu için bu toplam gerilim iki diyot arasında paylaşılır ve her bir diyotta  $U_m$  gerilimi düşer, devrenin çalışabilmesi için diyotların tıkama gerilimi  $U_m$  den büyük olmalıdır.

Çıkış gerilimi  $C_L$  yokken ve varken sırasıyla:

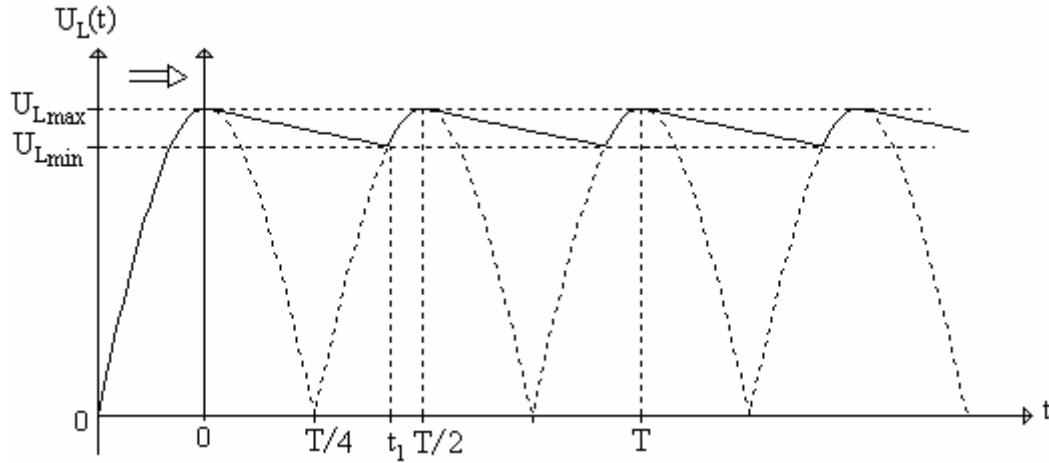


**Örnek:** Şekildeki köprü doğrultucu girişine  $U_s(t) = 15V \cdot \sin \omega t$  ( $f=50Hz$ ) uygulanıyor.  $R_L = 100\Omega$  ve  $C_L = 2mF$  veriliyor.

- Maksimum diyot akımı ne kadardır?
- Dalgallılık ne kadardır?
- Diyotların herhangi birinin iletimde kaldığı süre ne kadardır?



Ek Bilgi:



Başlangıç noktası  $t = T/4$  'e ötelenmiş düşünelim:

$$U_{Lmax} = U_L(t=0) = U_m \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot 0\right) = U_m$$

$$U_{Lmin} = U_L(t=t_1) = U_m \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}} = U_m \left(1 - \frac{t_1}{\tau}\right) \quad (e^{-x} = 1 - x \text{ yaklaşıklığı})$$

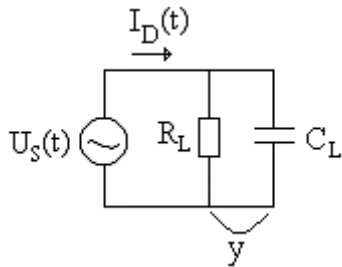
$$\tau \gg T \text{ için } t_1 \cong \frac{T}{2}$$

$$U_{Lmin} \cong U_m \left(1 - \frac{T}{2\tau}\right) \text{ bulunur.}$$

Örneğimizde  $\tau = R_L C_L = 100 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 200 \text{ms} = 0,2 \text{s}$  ve  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20 \text{ms}$  verilmiştir.

$\tau \gg T$  kabul edilebilir.

**a.** Diyot iletimde iken devre basitçe şöyle düşünülebilir



Başlangıç noktası  $t = T/4$  'e ötelenmiş düşünelim, bu durumda kaynak gerilimi  $U_s(t) = 15V \cdot \cos \omega t$  olur.

$$y = \frac{1}{R_L} + j\omega C_L = \frac{1}{R_L} (1 + j\omega R_L C_L) = \frac{1}{R_L} \left( 1 + j2\pi \frac{\tau}{T} \right) = |y| e^{j\phi_y}$$

$$|y| = \frac{1}{R_L} \sqrt{1 + 4\pi^2 \left( \frac{\tau}{T} \right)^2} = \frac{1}{R_L} 2\pi \frac{\tau}{T} = 0,6285$$

$$\phi_y = \arctan \frac{\omega C_L}{\frac{1}{R_L}} = \arctan \omega C_L R_L = \arctan 2\pi \frac{\tau}{T} \cong 90^\circ$$

$$I_D(t) = U_s(t) \cdot y = U_m \cdot |y| \cdot \cos(\omega t + \phi_y)$$

$$I_D(t) = \underbrace{U_m \cdot |y|}_{I_m} \cdot \cos(\omega t + \phi_y) = I_m \cos(\omega t + 90^\circ) = I_m \sin \omega t$$

$$I_m = U_m \cdot |y| = 15 \cdot 0,628 = 9,4A$$

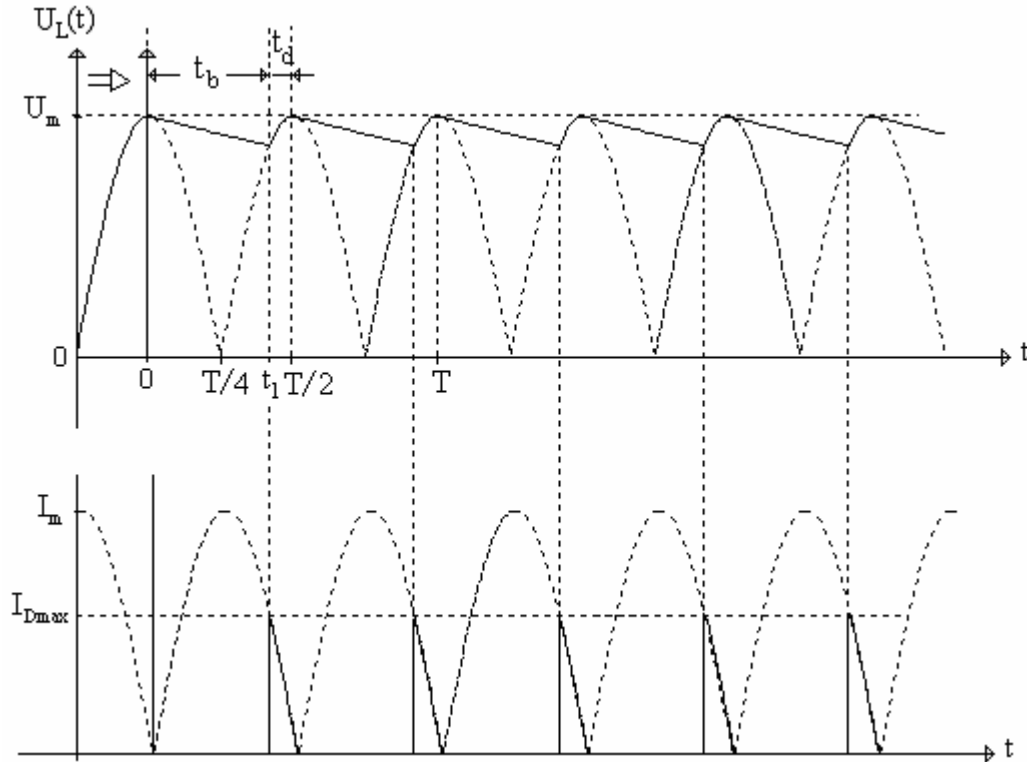
$$I_D(t) = 9,4 \sin \omega t$$

$$I_{Dmax} = I_D(t = t_1) = 9,4 \sin \omega t_1$$

$$t = t_1 \Rightarrow U_L = U_{Lmin} = U_m \left( 1 - \frac{T}{2\tau} \right) = U_m \cos \omega t_1$$

$$\omega t_1 = \arccos \left( 1 - \frac{T}{2\tau} \right) = \arccos 0,95 = 18^\circ$$

$$I_{Dmax} = 9,4 \sin \omega t_1 = 9,4 \sin 18^\circ = 2,9A$$





b.  $\delta = \%100 \frac{U_{LACeff}}{U_{Lort}}$

$$U_{LACeff} = \frac{1}{4\sqrt{3}} \frac{T}{\tau} U_m; \quad U_{Lort} = U_m - \frac{U_{Lmax} - U_{Lmin}}{2} \cong U_m$$

$$\delta = \%100 \frac{1}{4\sqrt{3}} \frac{200}{20} = \%1,5$$

c. Diyotlar yukarıdaki akım grafiğinden de görüleceği gibi kondansatörün dolma süresi boyunca iletimdedir, yani iletim süresi örneğin  $t_1$  ile  $T/2$  arası alınabilir.

$$\omega t_1 = \frac{2\pi}{T} t_1 = k\pi - 18^\circ$$

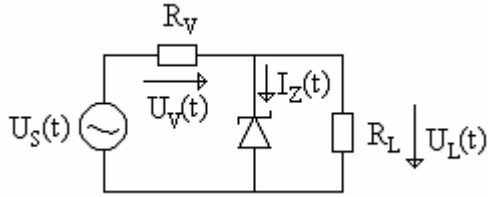
$$t_1 = \frac{T}{360} (180 - 18^\circ) = \frac{20ms}{360} \cdot 162 = 9ms$$

$$t_{iletim} = \frac{T}{2} - t_1 = 10 - 9 = 1ms$$

**Örnek. Zener Diyotlu Regülatör:** Devrenin işlevi giriş dalgalılığını küçültmektir.

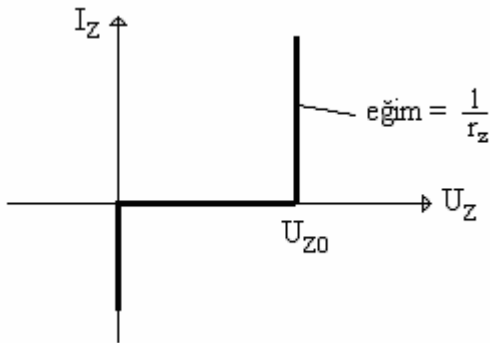
Varsayımlar: Zener bölgesinde çalışılmalı,  $R_V$  ve  $R_L \gg r_z$  olmalı.

$U_s(t) = 15V \cdot \sin \omega t$ ,  $R_V = 50\Omega$ ,  $R_L = 100\Omega$ , Zener diyet  $U_{Z0} = 6V$  ile tanımlanmaktadır.



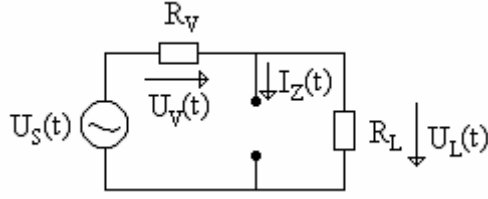
- Yük geriliminin zamanla değişimini hesaplayınız ve çiziniz.
- Zener diyet akımının zamanla değişimini hesaplayınız ve çiziniz.
- Zener diyetta harcanan maksimum gücü bulunuz.

Zener diyet sadece  $U_{Z0}$  (ve  $r_z$ ) ile verildiyse normal bölgede ideal diyet olarak çalışıyor demektir. Karakteristiği aşağıdaki gibidir:



Bu durumda devreyi 3 çalışma bölgesinde inceleyebiliriz:

- $0 \leq U_Z \leq U_{Z0}$  Zener diyet tıkamadadır:

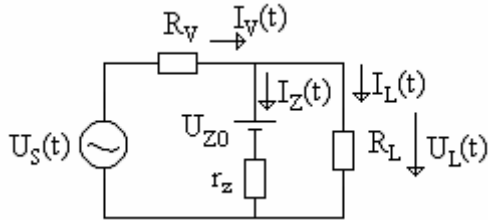


$$U_L(t) = \frac{R_L}{R_L + R_v} \cdot U_s(t) = \frac{100}{150} 15 \sin \omega t = 10 \cdot \sin \omega t$$

$$U_v(t) = \frac{R_v}{R_L + R_v} \cdot U_s(t) = \frac{50}{150} 15 \sin \omega t = 5 \cdot \sin \omega t$$

$$I_Z(t) = 0$$

2.  $U_Z > U_{Z0}$  Zener diyot iletimdedir: diyotun iletimdeki eşdeğer devresi  $U_{Z0}$  ve  $r_z$  den oluşur.  
Örnekte  $U_{Z0} = 6V$ ,  $r_z = 0$  olarak verilmiş.



$$U_L(t) = U_{Z0} = 6V$$

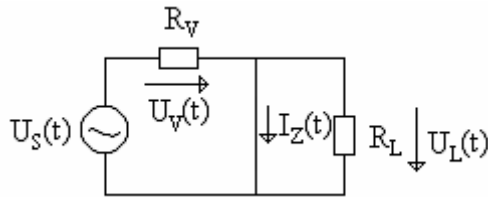
$$U_v(t) = U_s(t) - U_L(t) = 15 \sin \omega t - 6$$

$$I_v(t) = I_Z(t) + I_L(t) = \frac{U_v(t)}{R_v} = \frac{15 \sin \omega t - 6}{50} = 0,3 \cdot \sin \omega t - 0,12$$

$$I_L(t) = \frac{U_L(t)}{R_L} = \frac{U_{Z0}}{R_L} = \frac{6}{100} = 0,06A$$

$$I_Z(t) = I_v(t) - I_L(t) = 0,3 \cdot \sin \omega t - 0,12 - 0,06 = 0,3 \cdot \sin \omega t - 0,18 A$$

3.  $U_Z < 0$  Zener diyot ters yönde iletimdedir:



$$U_L(t) = 0; \quad U_v(t) = U_s(t) = 15 \cdot \sin \omega t$$

$$I_Z(t) = I_v(t) = \frac{U_v(t)}{R_v} = \frac{15 \sin \omega t}{50} = 0,3 \cdot \sin \omega t$$

- c. Grafiklerden de görüldüğü gibi Zener diyotta maksimum güç  $t = T/4$  anında harcanıyor.

$$U_Z = U_{Z0} = 6V; \quad I_Z(t) = 0,3 \cdot \sin \omega t - 0,18 A$$

$$I_{ZMAX} = 0,3 \cdot \sin \left( \frac{2\pi T}{4} \right) - 0,18 = 0,12 A$$

$$P_{ZMAX} = 6 \cdot 0,12 = 0,72 W$$

