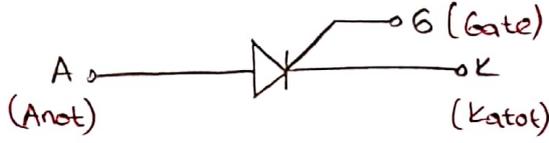


# TRİSTÖR (SCR)

SCR: Silikon Kontrollü Doğrultucu



\* Gate ucundan dolayı kısmen kontrollü bir elemandır.

# İletime geçmesi kontrol edilir ( $V_{AK} > 0$  ve gate ucundan tetiklemeyle)

# Kesime geçmesi kontrol edilemez.

## Tristörün İletime Girmesi

\*  $V_{AK} > 0$  iken Gate ucundan tetiklersek tristör iletime geçer.

## Tristörün Çalışma Bölgeleri

1) Negatif tutma Bölgesi ( $V_{AK} < 0$ )

2) Pozitif tutma Bölgesi ( $V_{AK} > 0, I_A < I_H$ )

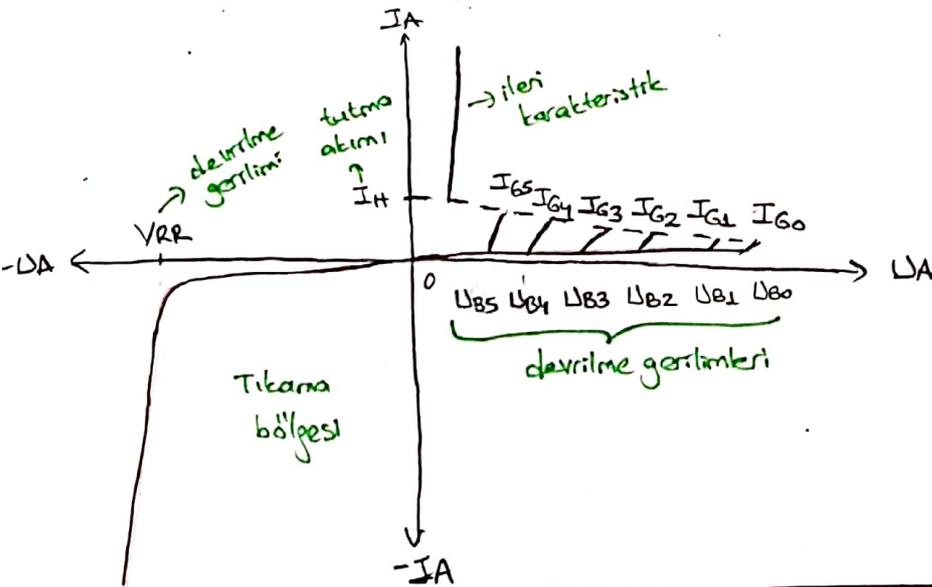
3) İleri yönde iletim Bölgesi ( $V_{AK} > 0, I_A > I_H$ )

}  $I_H$ , tristörün içinden akması gereken en küçük akımdır. (tutma akımı)

## Tristörün Susturulması (Kesime Girmesi)

\* Tristörün kesime geçmesi için üzerine negatif bir gerilim uygulanmalı ve içinden geçen akım ( $I_A$ ), tutma akımının ( $I_H$ ) altına düşmelidir.

↳ Zorlamalı Komütasyon ile Susturma: Şarj edilmiş kapasitayı tristörün susturulmasının istendiği anda tristör uçlarına ters yönde bağlanmasıyla, kapasitenin tristör üzerinden deşarj olması sağlanır.

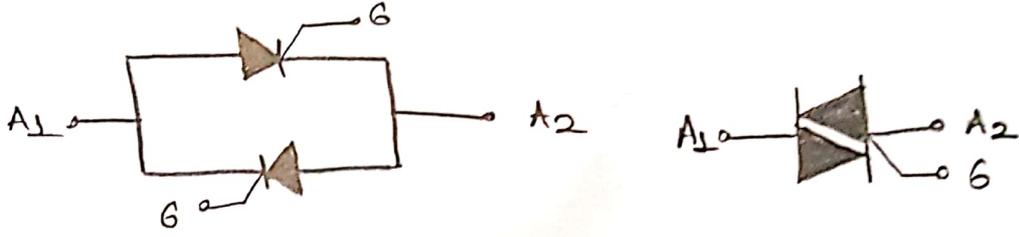


$$I_{G5} > I_{G4} > I_{G3} > I_{G2} > I_{G1} > I_{G0}$$

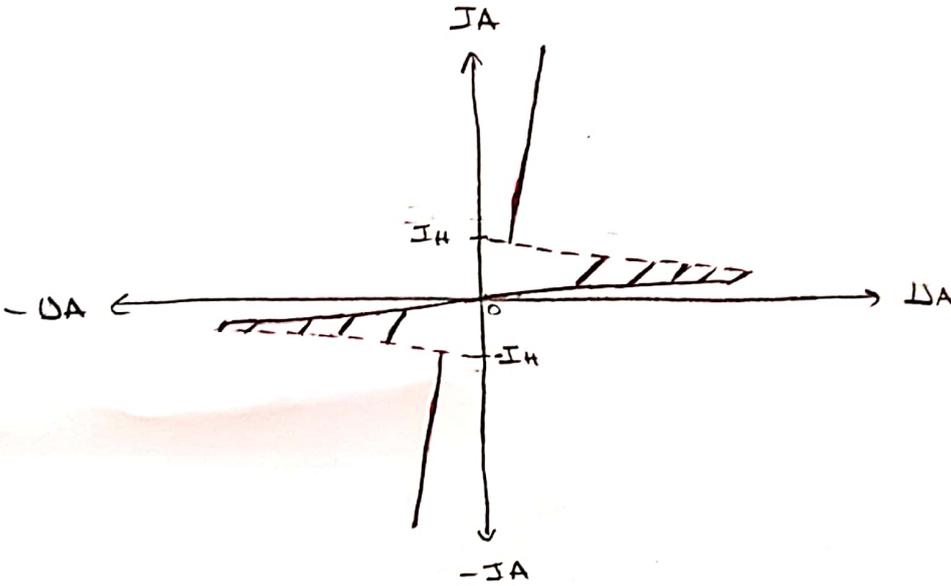
⊗  $I_G$  akımı arttıkça tristör daha hızlı ilettime geçer.

## TRIYAK

- ⊗ İki triyörün anti-paralel bağlanmasıyla elde edilmiş bir elemandır.
- ⊗ Triyaklar her iki yönde de iletimde olabilir.

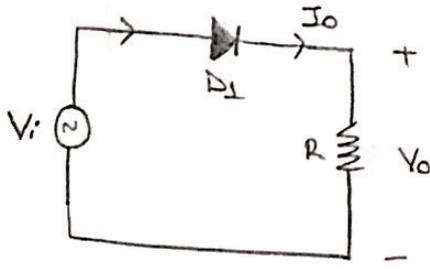


- ⊗ AA kuyucularında tercih edilir.
- ⊗ Büyük güçlerde üretilemez.



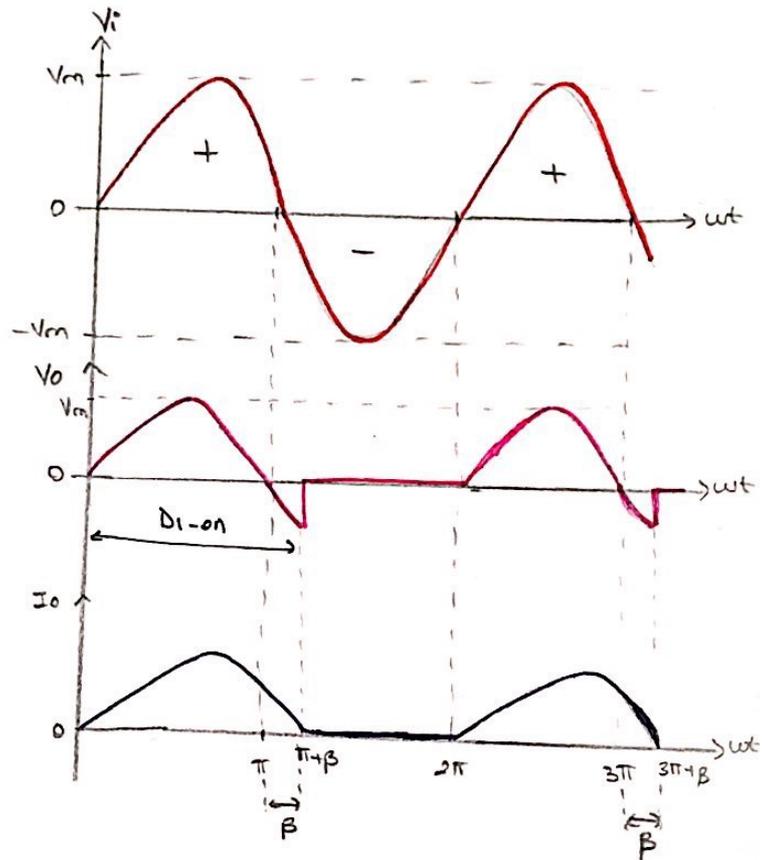
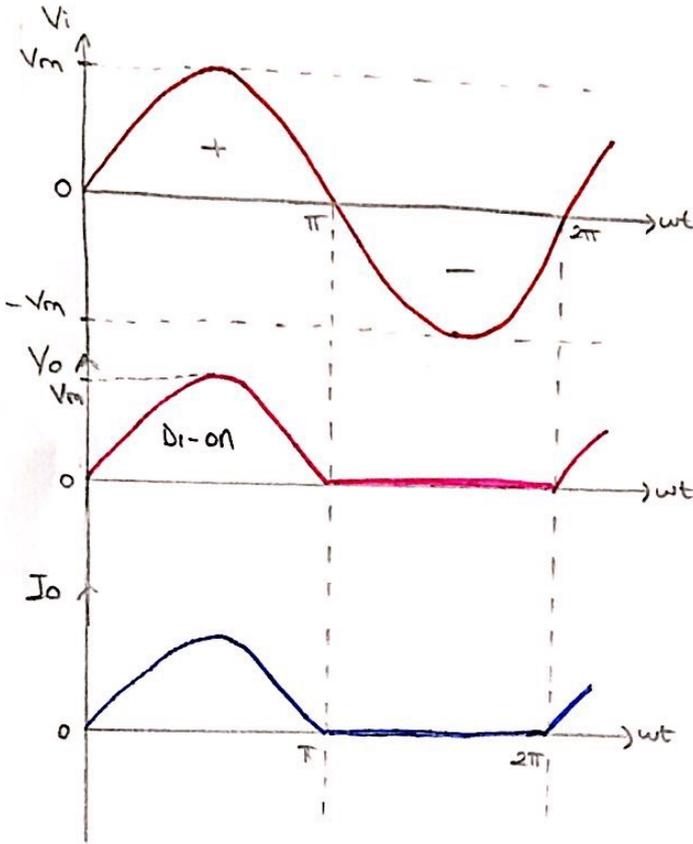
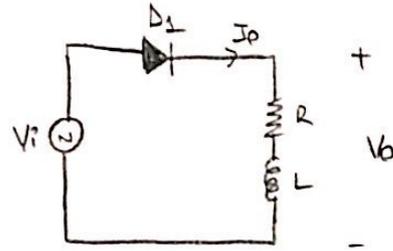
# Tek Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Düğürtücü

## R-Yük Durumu



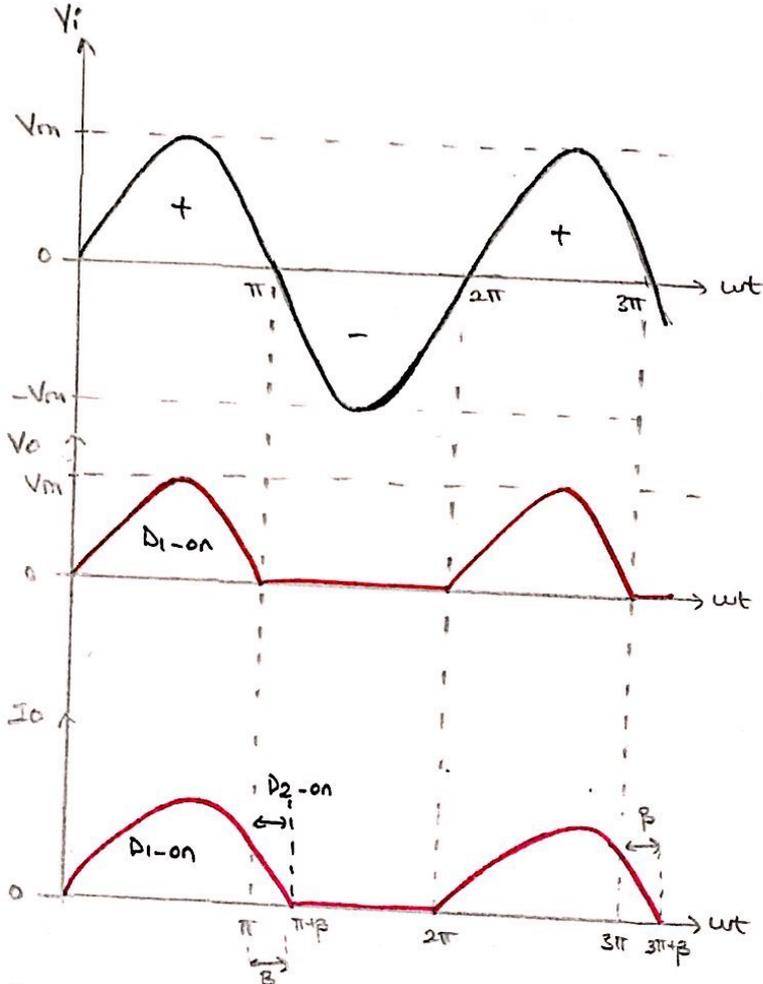
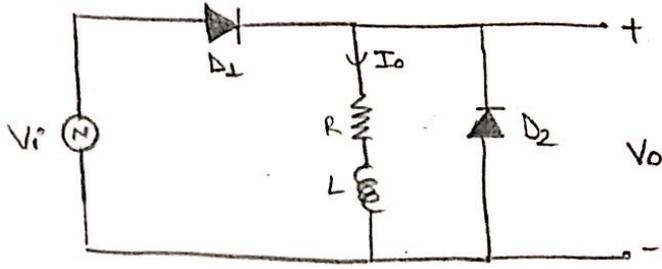
$$V_o = \frac{V_m}{\pi}$$

## RL yük Durumu



Giriş geriliminin pozitif periyodunda ( $0-\pi$ )  $D_1$  diyotunun anodu pozitif olacağı için diyot iletimde olacak ve kaynak akımı iletilecektir. Bu durumda çıkış gerilimi ( $V_o$ ) giriş gerilimine ( $V_i$ ) eşit olacaktır. Giriş geriliminin negatif periyodunda ( $\pi-2\pi$ ) ise  $D_1$  diyodu ters polarlandığı için (anot negatif) kesime girer. Eğer yük omik ( $R$ ) ise, diyot sadece pozitif gerilimi düğürtür ve kesime girer. Ancak yük indüktif ( $RL$ ) ise, yük akımı ( $I_o$ ), kaynak gerilimi ( $V_i$ ) sıfıra düğüştükten sonra bir süre daha pozitif yönde akmaya devam edeceği için (çünkü bobin akım depolamaktadır) diyot hemen kesime geçemez ve üzerindeki akım sıfıra düşene kadar negatif gerilim iletir.

RL Yük Durumu (Boşluk Diyotlu) → serbest geçiş diyodu



$$\bar{V}_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t \, d\omega t$$

$$\bar{V}_o = \frac{V_m}{2\pi} \left( -\cos \omega t \right)_0^{\pi}$$

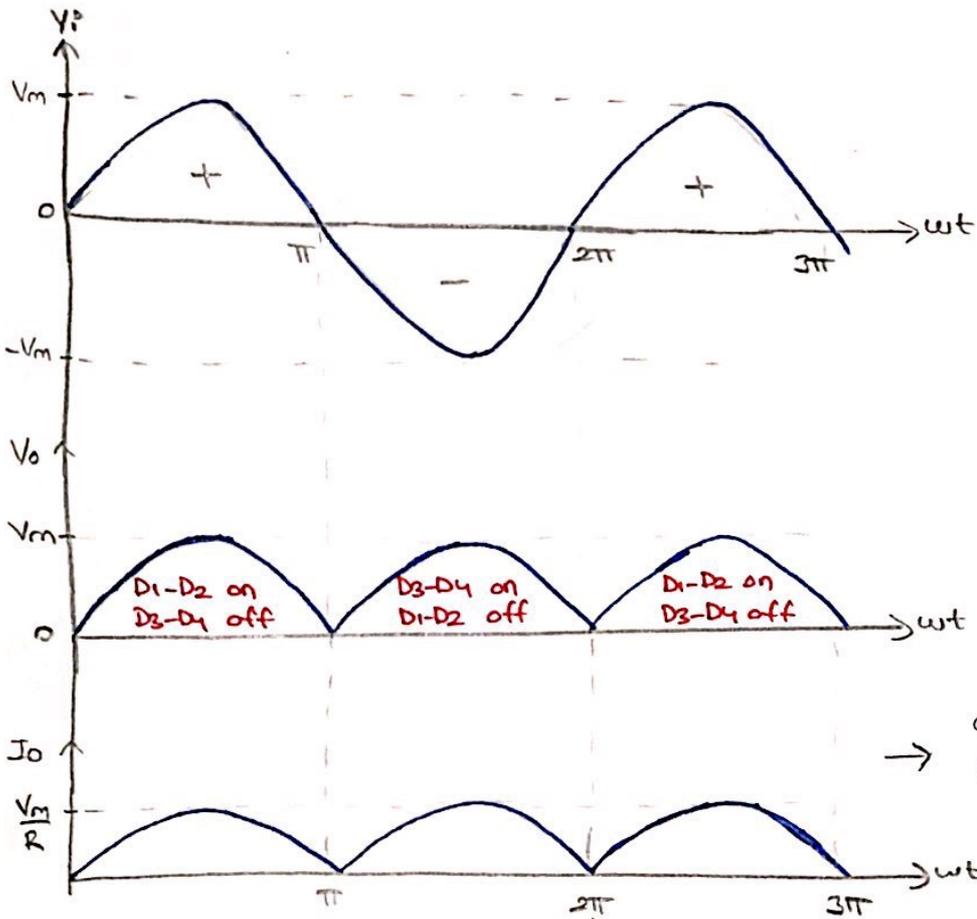
$$\bar{V}_o = \frac{V_m}{2\pi} \left( \underbrace{-\cos \pi + \cos 0}_2 \right)$$

$$\bar{V}_o = \frac{V_m}{\pi}$$

İndüktif yük durumunda (RL) çıkış geriliminin ( $V_o$ ) negatifte düştüğü durumları engellemek için yüke ters paralel olarak diyot bağlanır. Buna serbest geçiş diyodu (veya boşluk diyodu) denilmektedir. Gerilim negatifte düştüğü zaman bu diyot ( $D_2$ ) ilettime geçerek akımı üzerine alır. Böylece yük akımı ( $I_o$ ) boşluk diyodu üzerinden almaya devam eder ve yük üzerinde oluşan negatif gerilim kırılır.

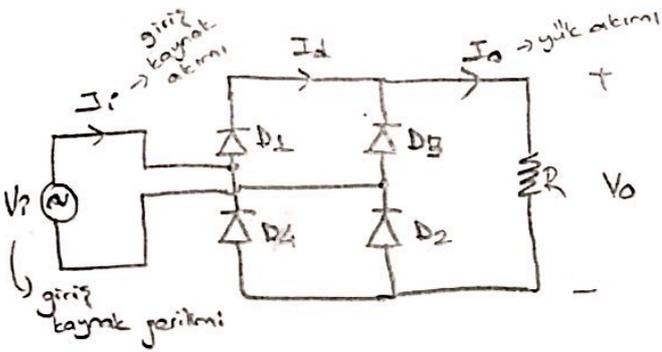
# Tek Fazlı Tam Dalga Kontrolsüz Doğrultucu

## R Yük Durumu



$$V_m = \sqrt{2} V_{i(rms)}$$

→ Çıkış R yük olduğu için akım dalgası zekki, çıkış gerilim dalga şeklinin aynısı olur.



$$\bar{V}_o = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t \, d\omega t$$

$$\bar{V}_o = \frac{V_m}{\pi} (-\cos \omega t)_0^{\pi} = \frac{V_m}{\pi} (-\cos \pi + \cos 0)$$

$$\boxed{\bar{V}_o = \frac{2V_m}{\pi}} \approx 0,636 V_m \approx 0,909 V_{i(rms)}$$

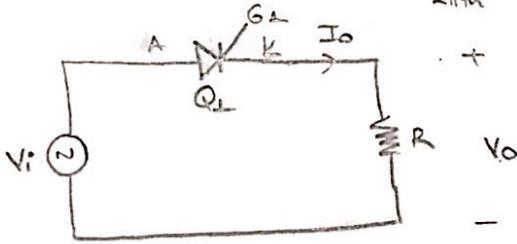
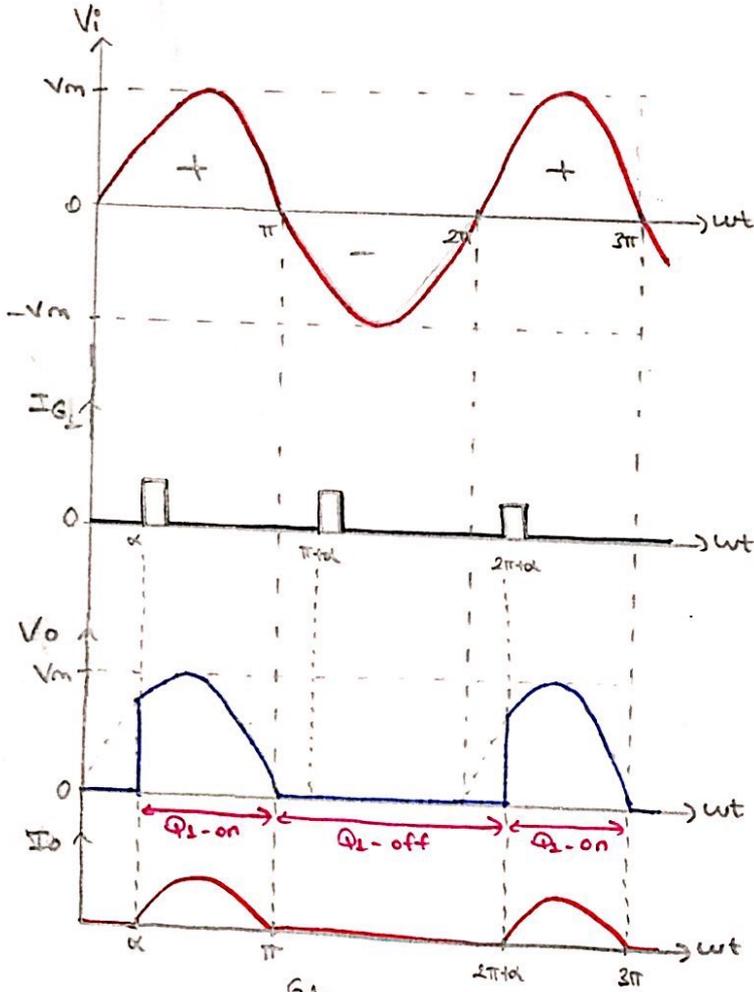
Giriş geriliminin ilk yarı periyodunda ( $0-\pi$ ),  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları doğru polarlanarak (Anot + , Katot - polarlandı) ilettime geçer ve çıkış devresine akım iletilerek yük beslenmiş olur.

Giriş kaynak gerilimi yön değiştirdiğinde ( $\pi-2\pi$ ),  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları ters polarlandığı (anot -, katot +) için kesime girer. Doğru polarlanan  $D_3-D_4$  diyotları ise ilettime geçerek çıkış devresi tamamlanır.

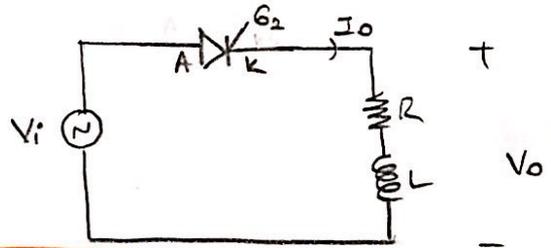
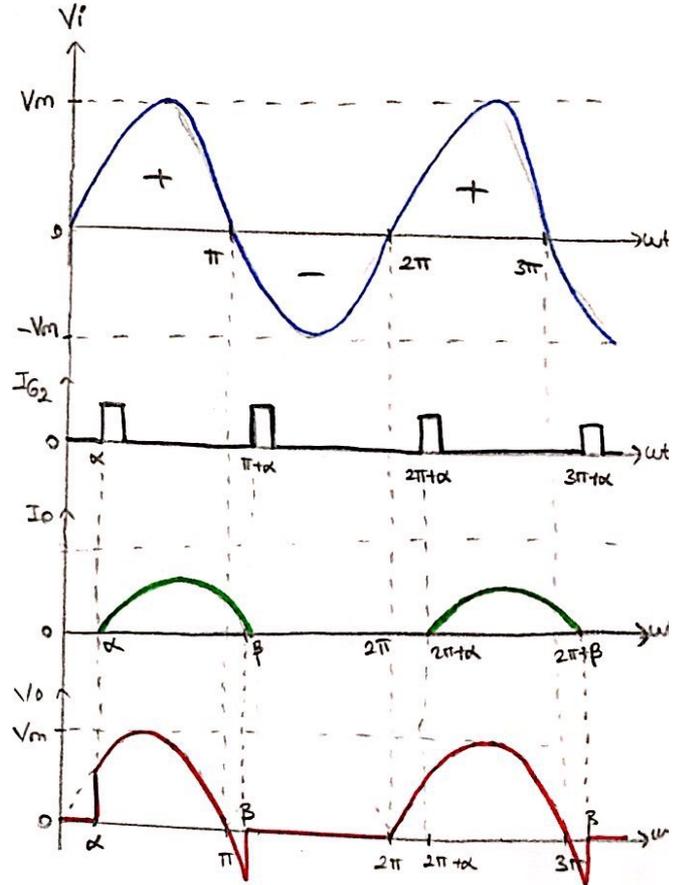
R yük durumunda çıkış akımı , gerilimi ile aynı fazda olacaktır

# Tek Fazlı Yarım Dalgı Kontrolü Doğruhcı

## R Yık Durumı



## RL Yık Durumı

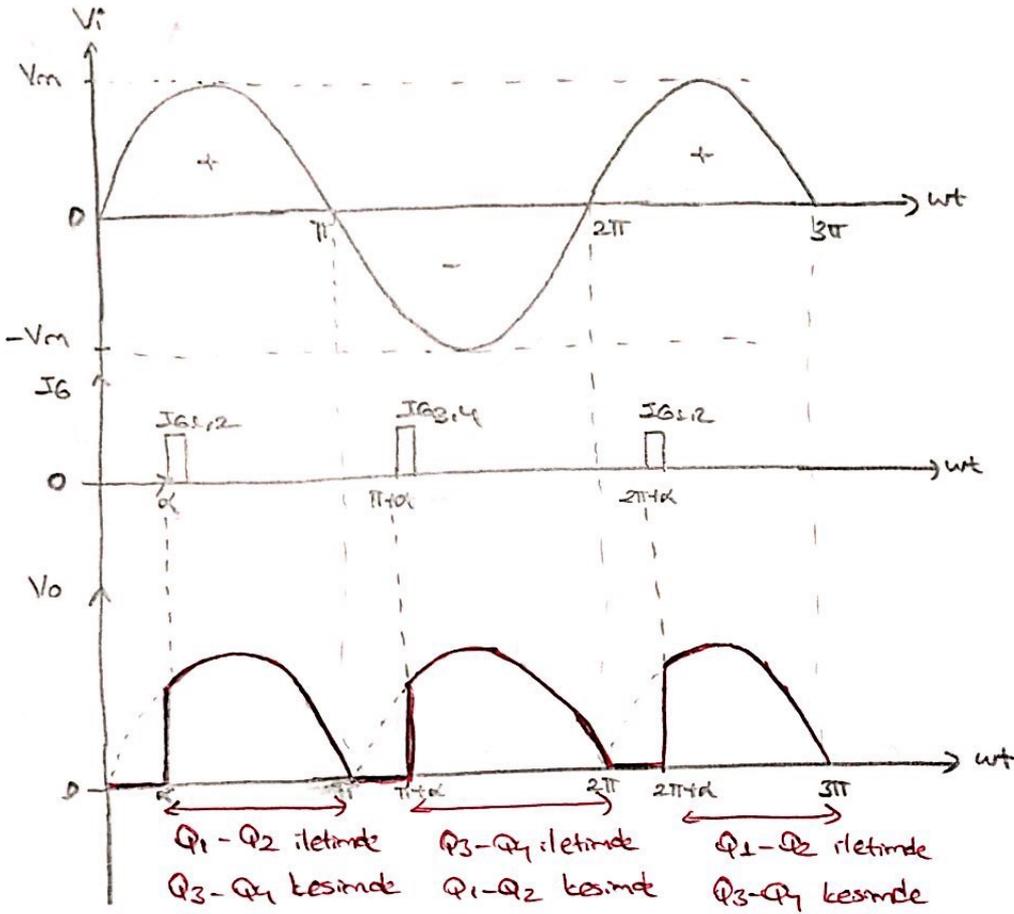
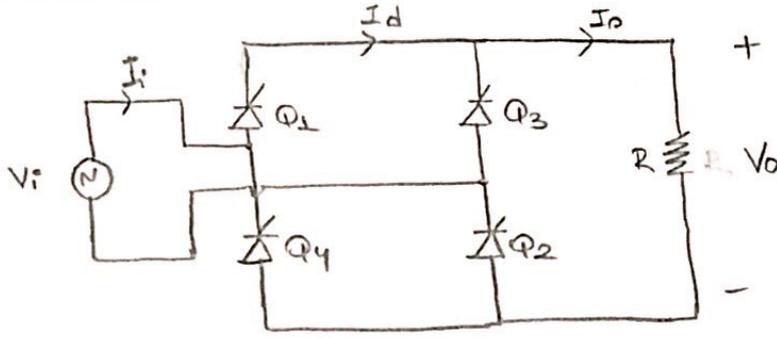


$$\bar{V}_o = \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Giriş geriliminin ( $V_i$ )  $0-\pi$  zamanında (giriş gerilimi pozitif iken)  $Q_1$  triyastarı doğru polarlanmaktadır ( $A(+)$   $K(-)$ ). Bu durumda biriken Gate ( $G_1$ ) ucuna tetikleme sinyali ( $I_{G_1}$ ) uygulandığı zaman  $Q_1$  triyastörü iletime geçmekte ve yük akımını iletmektedir. Giriş geriliminin negatif periyodunda ( $\pi-2\pi$ ) iken triyastör ters polarlandığı için ( $A(+)$   $K(+)$ ) triyastör kesime geçecektir. Eğer yük anik ise kaynak gerilimi negatife düştüğünde anik triyastör kesime geçer, akıyla gerilim göstermez. Yük endüktif (RL) ise kaynak gerilimi ( $V_i$ ) negatife düşse bile bir süre triyastör üzerinden bobinde depolanan akım akmaya devam edecektir. Bu da akıyla bir süre negatif gerilimin geçirilmesine sebep olmaktadır.

# Tek Fazlı Tam Dalga Kontrollü Döndürücü

## R Yük Durumu



$$\bar{V}_o = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t \, d\omega t$$

$$\bar{V}_o = \frac{V_m}{\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\alpha}^{\pi+\alpha}$$

$$\bar{V}_o = \frac{V_m}{\pi} \left( \frac{+1}{-\cos \pi \cdot \cos \alpha} - \frac{0}{-\sin \pi \cdot \sin \alpha} + \cos \alpha \right)$$

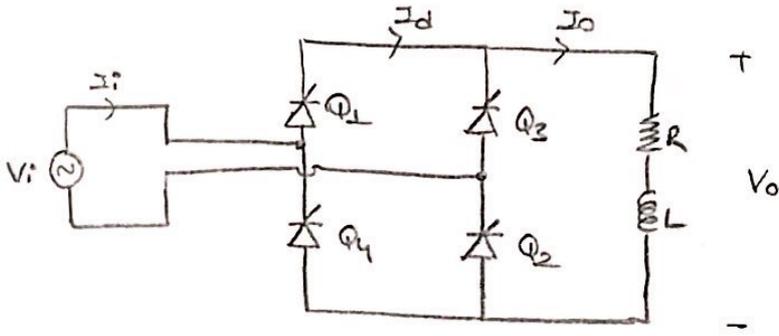
$$\bar{V}_o = \frac{2V_m}{\pi} \cdot \cos \alpha$$

0- $\pi$  yariperiyodunda,  $Q_1$  ve  $Q_2$  triyösterlerinin anod ve katodları doğru biaslandığı için ( $\frac{+}{-}$ )  $\alpha$  derece sonra gate (G) ucuna tetikleme işaretinin uygulanmasıyla ilettime geçer.  $Q_3$ - $Q_4$  kesimdedir.

$\pi$ - $2\pi$  yariperiyodunda, giriş kaynak gerilimi yön değiştirdiği için  $Q_1$ - $Q_2$  triyösterleri ters polarlanarak kesime geçer.  $\pi+\alpha$  derece sonra  $Q_3$ - $Q_4$  triyösterleri tetiklendiği için (aynı zamanda  $\pi$ - $2\pi$  periyodunda  $Q_3$ - $Q_4$  triyösterleri doğru yönde biaslanmıştır) ilettime geçerler.

Yani, yük akımı ( $I_o$ ) giriş kaynak geriliminin her iki alternansında da sağlanacağı olacak ve tam dalga kontrollü döndürme işlemi gerçekleştirilmiş olacaktır.

# RL yük Düzümü

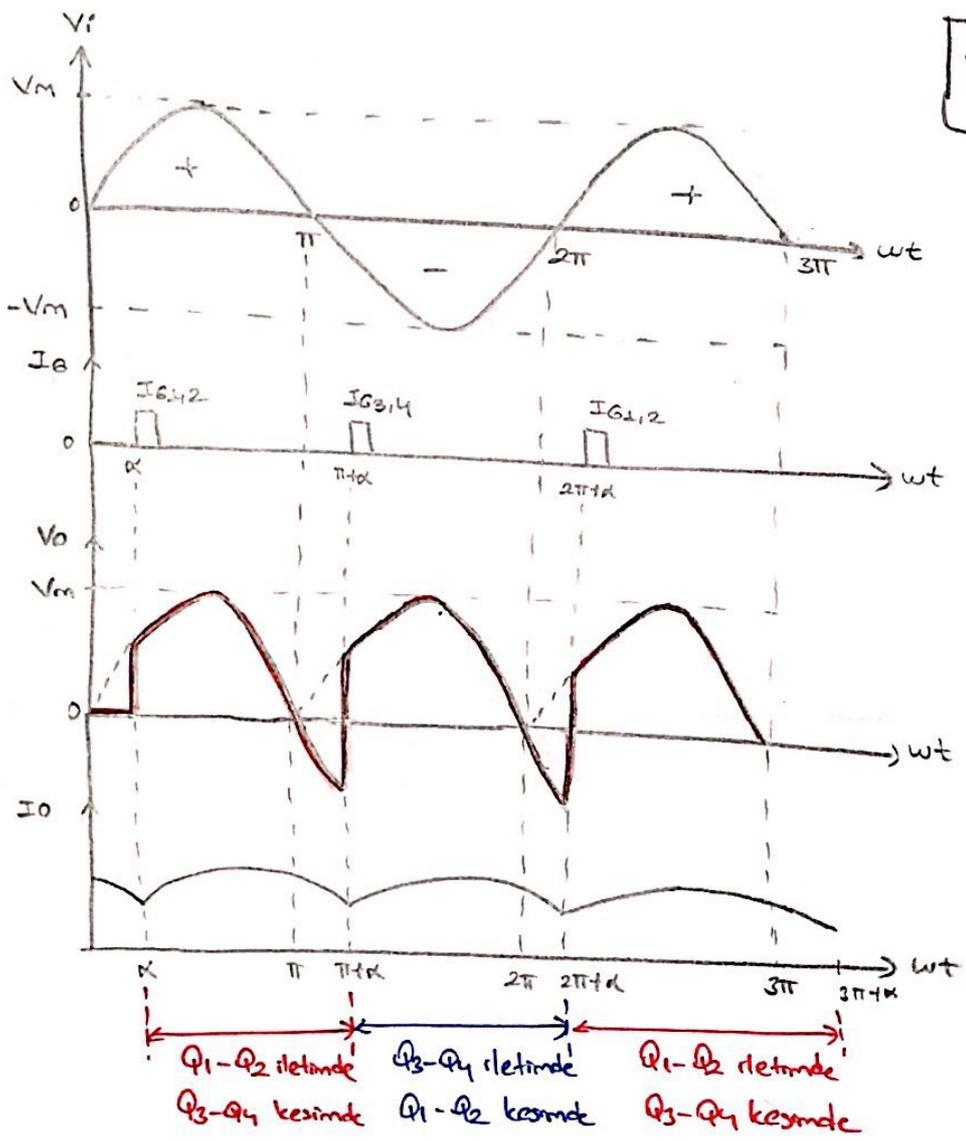


$$\bar{V}_0 = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t \, d\omega t$$

$$\bar{V}_0 = \frac{V_m}{\pi} (-\cos \omega t)_{\alpha}^{\pi+\alpha}$$

$$= \frac{V_m}{\pi} (-\cos \pi \cdot \cos \alpha - \sin \pi \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)$$

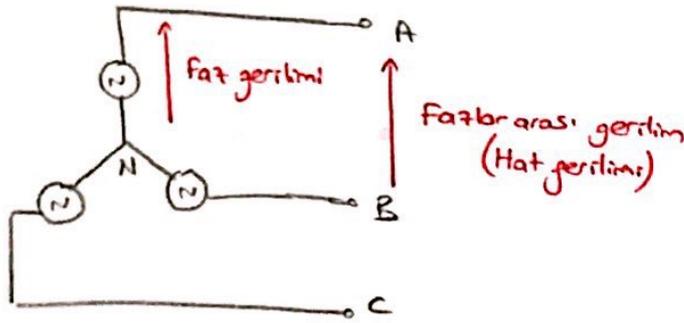
$$\bar{V}_0 = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$



B yükü devreden farklı olarak, kaynak gerilimi ( $V_i$ ) yön değiştirdiğinde çıkış gerilimi ve akım sıfır olmaz. Güntü devredebki bobin, akım depolamaktadır. Yani çıkış akımı,  $\pi - (\alpha + \pi)$  aralığında bobinde depolanan enerjiyle sağlanmaktadır. Bu nedenle bu aralıkta  $Q_1-Q_2$  triyastörleri de kesime girmez.  $Q_3-Q_4$  triyastörler ilettime geçene kadar  $Q_1-Q_2$  triyastörleri de iletimini sürdürmektedir.  $\pi + \alpha$  noktasında  $Q_3-Q_4$  triyastörler tetiklendiği için ilettime geçmekte ve  $Q_1-Q_2$  kesime girmektedir.

### 3 Fazlı Kaynakların Özeti

Yıldız bağlı bir kaynak pot örne alalım:



$$V_{AN} = V_m \cdot \sin \omega t$$

$$V_{BN} = V_m \cdot \sin (\omega t - 2\pi/3)$$

$$V_{CN} = V_m \cdot \sin (\omega t - 4\pi/3) = V_m \cdot \sin (\omega t + 2\pi/3)$$

fazlar arası  $120^\circ$  ( $2\pi/3$  rad) faz farkı

$$V_{AB} = \sqrt{3} \cdot V_m \cdot \sin (\omega t + \pi/6)$$

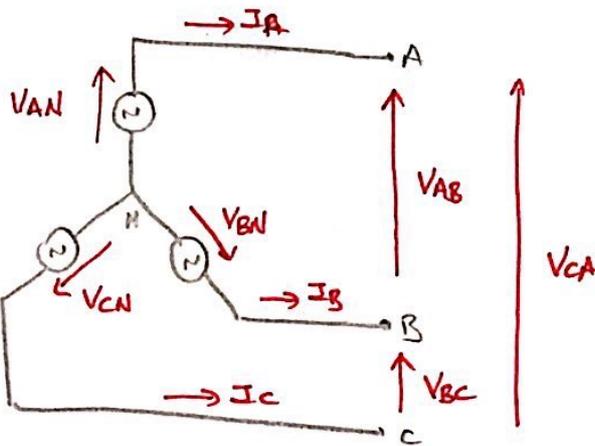
$$V_{BC} = \sqrt{3} \cdot V_m \cdot \sin (\omega t - \pi/2)$$

$$V_{CA} = \sqrt{3} \cdot V_m \cdot \sin (\omega t + 5\pi/6)$$

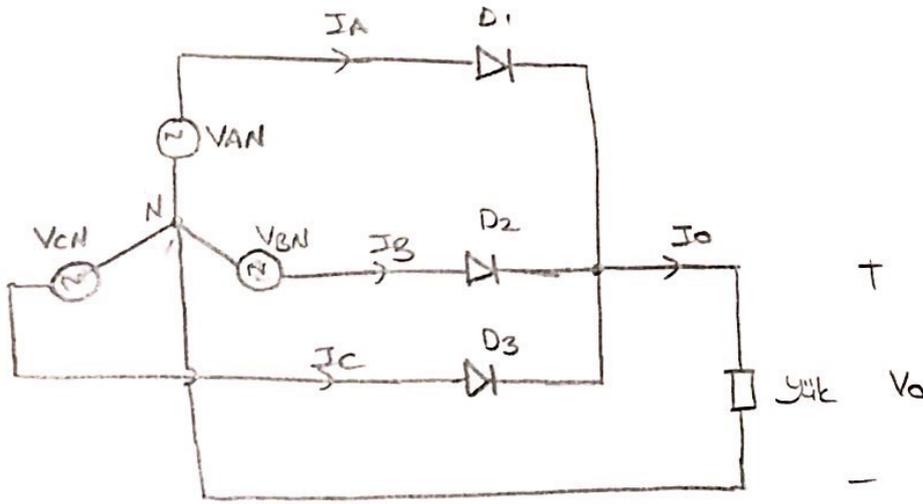
Hat gerilimleri arasında  $60^\circ$  faz farkı, ( $\pi/3$  rad)

\* Hat gerilimleri faz gerilimlerinden  $30^\circ$  ( $\pi/6$  rad) ilerdedir.

$$V_{ref} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_m}{\sqrt{2}} = 380V$$



## 3 Fazlı Yarı Dalgı Kontrolsüz Dđrultkcu



$$\bar{V}_o = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m$$

⇒ Çıkış geriliminin dalga şeklinin araştırılması :

\* Her t anında sadece bir diyot iletimde olacaktır. Hangi diyotun anot gerilimi daha pozitifse o diyot iletimde, diğer diyotlar kesimdedir.

✓  $0^\circ - 30^\circ$  arasında en pozitif gerilim  $V_{cN}$ 'dir.  $V_{cN}$  gerilimi  $D_3$  diyotunun anoduna uygulandığı için  $D_3$  iletimde,  $D_1$  ve  $D_2$  kesimdedir.

✓  $30^\circ - 150^\circ$  arasında en pozitif gerilim =  $V_{AN}$ .  $V_{AN}$  gerilimi  $D_1$  diyotunun anoduna uygulandığı için  $D_1$  iletimde,  $D_2$  ve  $D_3$  kesimdedir.

✓  $150^\circ - 270^\circ$  arasında en pozitif gerilim =  $V_{BN}$ .  $V_{BN}$  gerilimi  $D_2$  diyotunun anoduna uygulandığı için  $D_2$  iletimde,  $D_1$  ve  $D_3$  kesimdedir.

- #  $D_1$  iletimdeyken  $I_A$  akımı
- #  $D_2$  iletimdeyken  $I_B$  akımı
- #  $D_3$  iletimdeyken  $I_C$  akımı almaktadır.

⇒  $V_{D1}$  dalga şekli

#  $D_1$ -on olduğu yerlerde  $V_{D1} = 0V$ 'dir.

$V_{D1} = V_A - V_K$   
 anodunda  $V_{AN}$  gerilimi var  
 katotda çıkış  $V_o$  gerilimi var.

$$V_{D1} = V_{AN} - V_o$$

$0 - \pi/6$  arasında

$$V_{D1} = V_{AN} - V_{cN}$$

$$V_{D1} = V_{AC}$$

$\pi/6 - 3\pi/2$  arasında

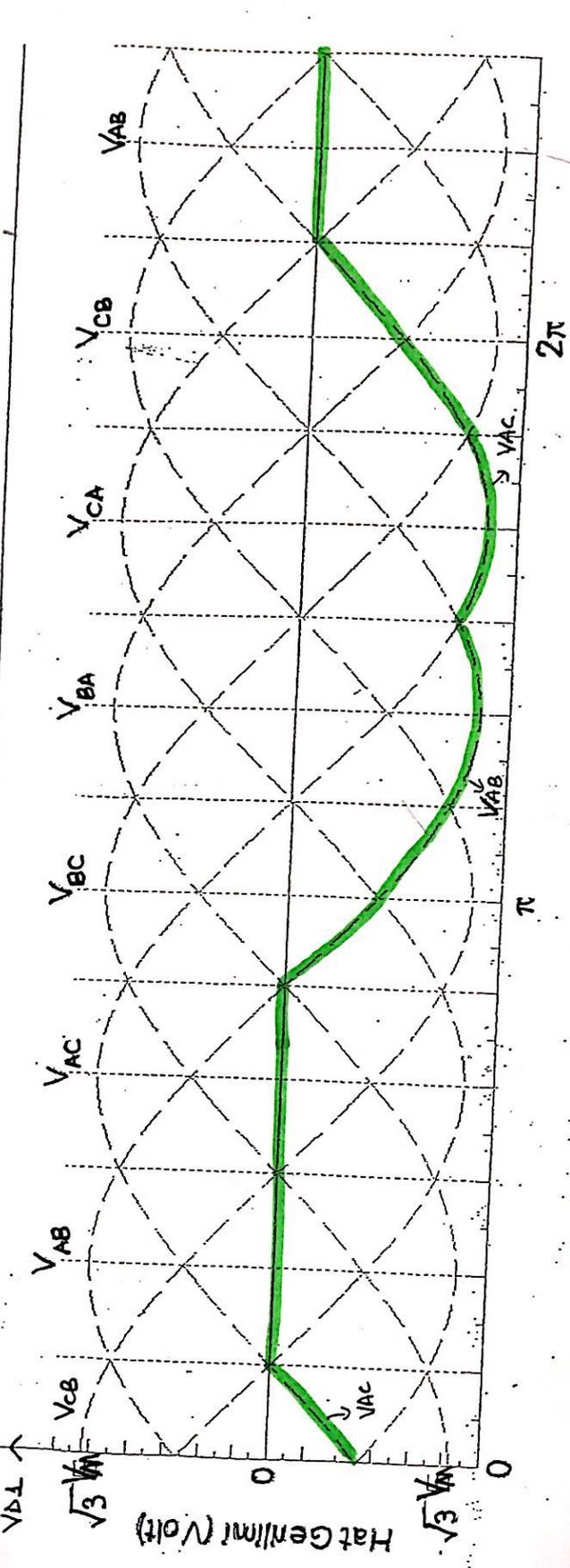
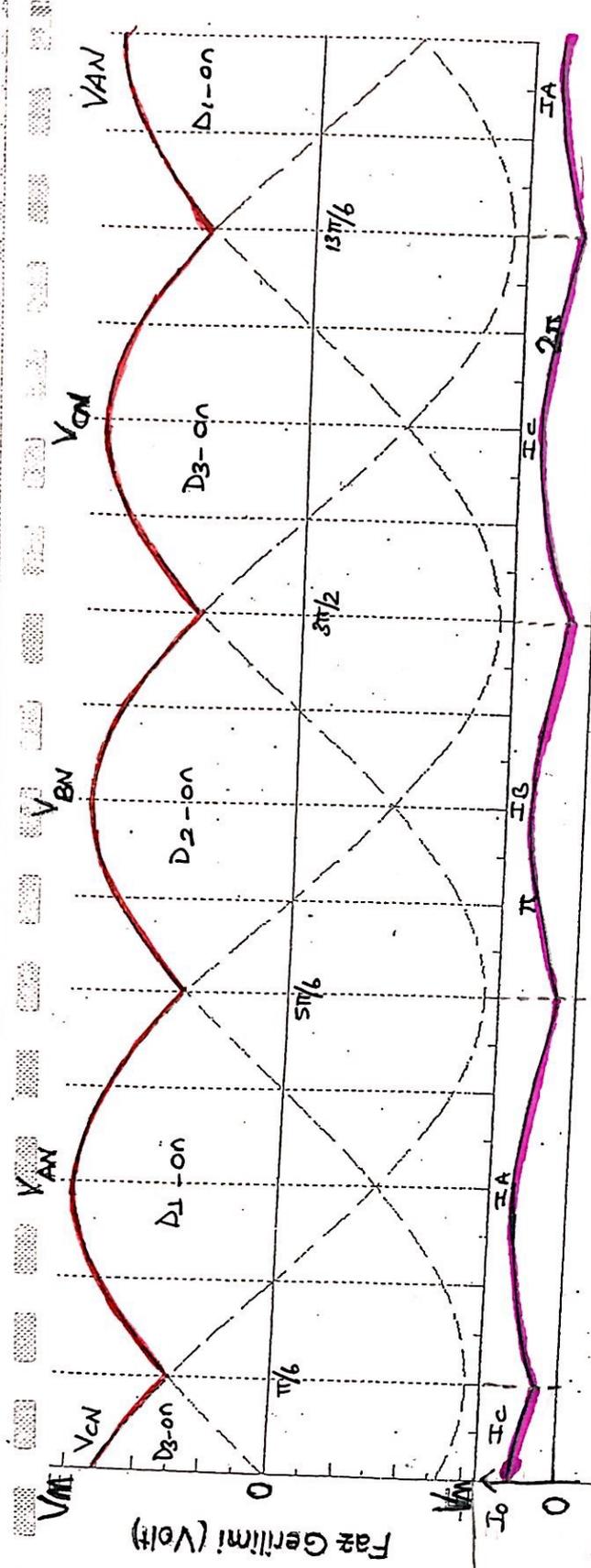
$$V_{D1} = V_{AN} - V_{BN}$$

$$V_{D1} = V_{AB}$$

$3\pi/2 - \frac{13\pi}{6}$  arasında

$$V_{D1} = V_{AN} - V_{cN}$$

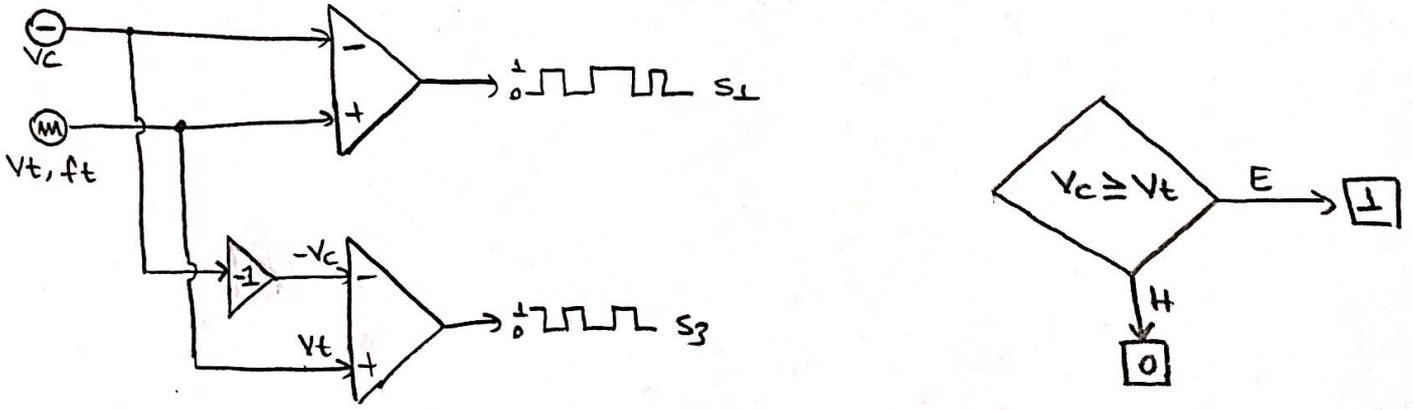
$$V_{D1} = V_{AC}$$



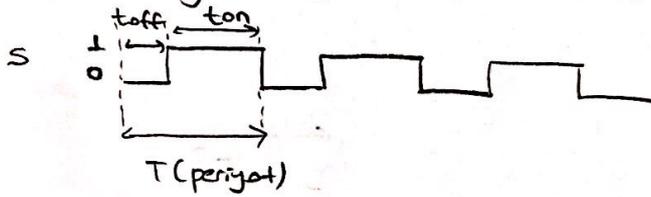
3 Fazlı Yarım Dalga Kontrolsüz Döndürücü  
(Resistif yük)

# DC PWM Denetleyici

DC PWM üretici, iki giriş sinyalinin genliğini karşılaştırarak darbe dizisi çıkışı üretir. Karşılaştırıldığı giriş sinyallerinin biri sabit DC gerilim ( $V_c$ ), diğeri ise üşgen taşıyıcı gerilimdir ( $V_t$ ).

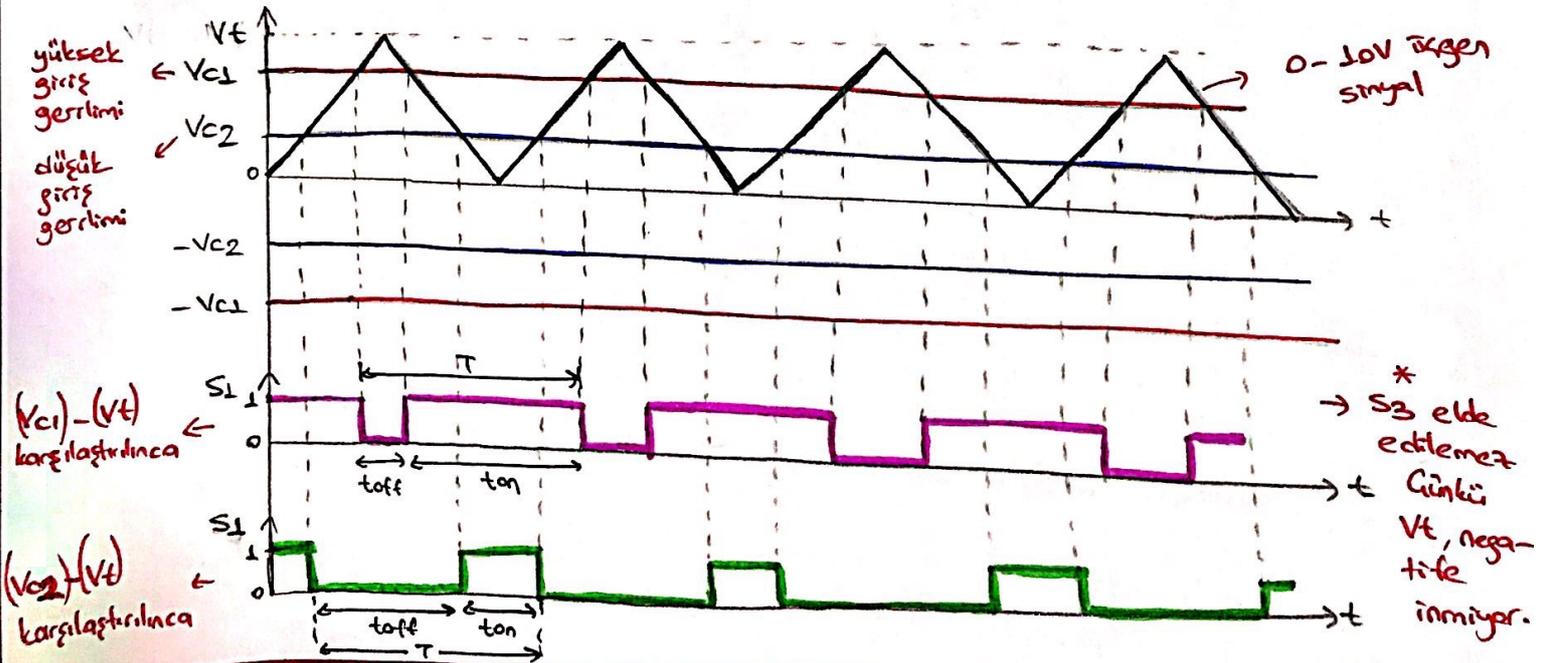


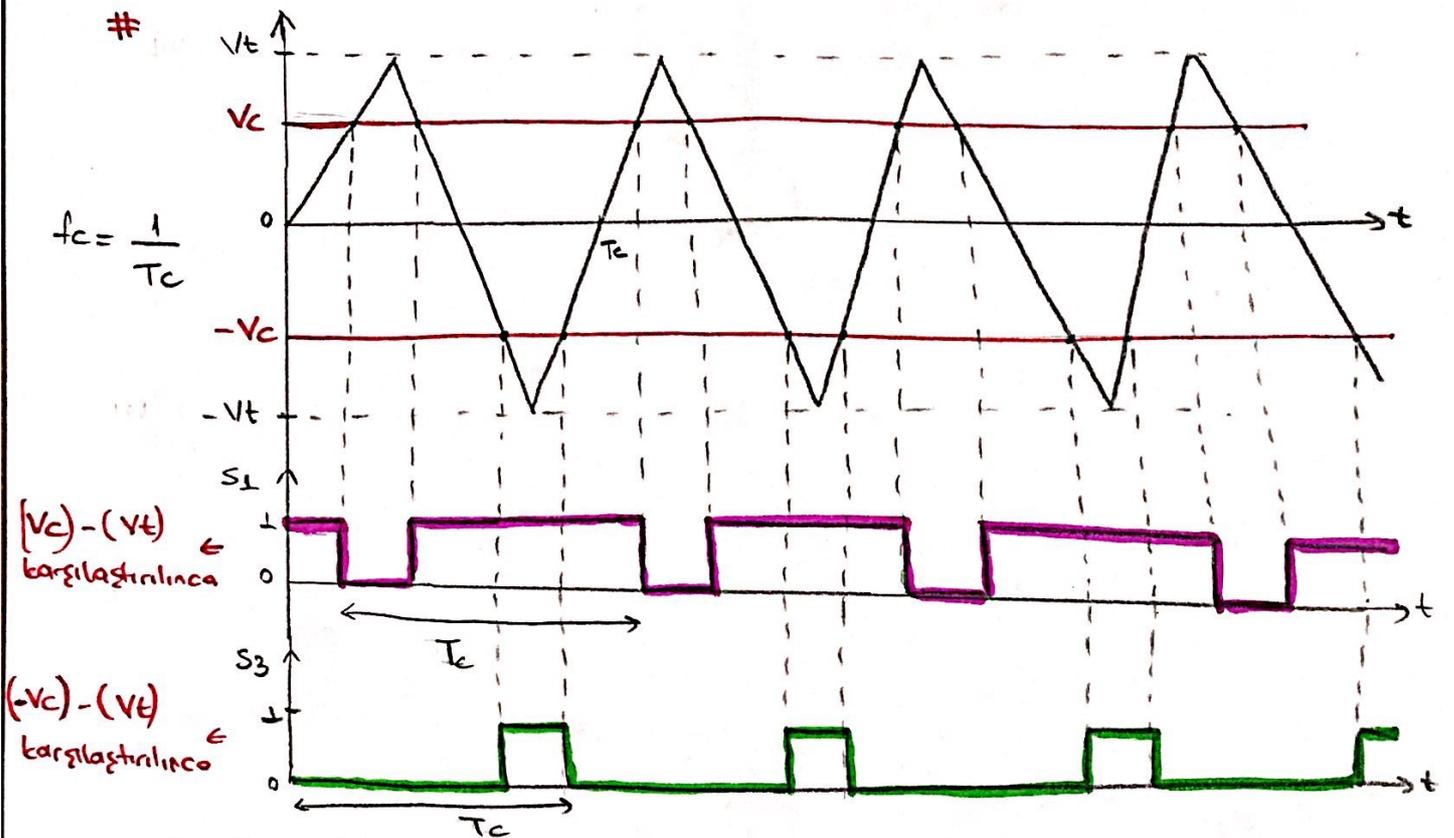
# Giriş sabit DC gerilimin genliği üretilen darbenin doluluk oranını (duty cycle) belirler. Yani "1" olduğu süreyi belirler.  $V_c$  arttıkça  $D$  (duty cycle) artar.



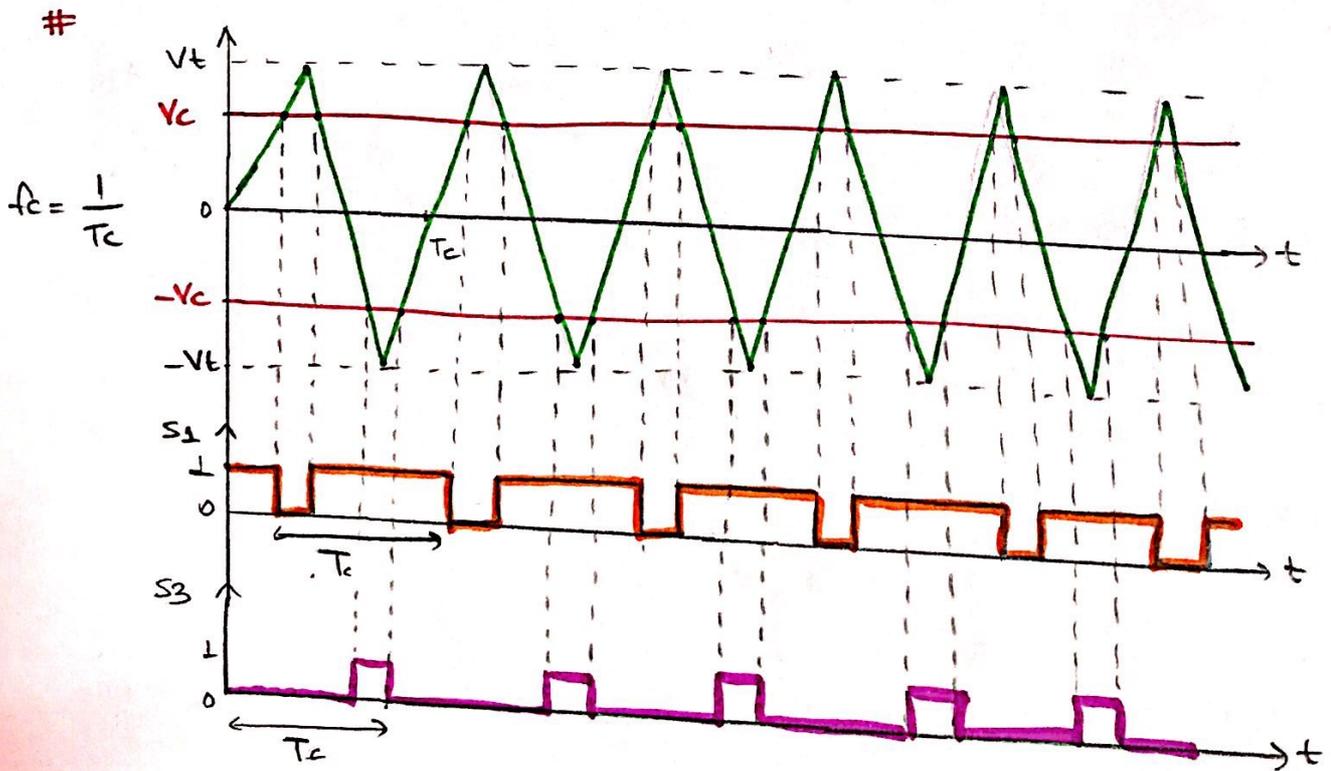
$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T}$$

# Taşıyıcı üşgen sinyalin frekansı ise üretilen darbe frekansının frekansını belirler. Üşgen frekansı taşıyıcı frekansı ( $f_c$ ) daha sık üretilen bir darbe frekansı sağlar. Yani daha fazla karşılaştırma işlemi yapılır.



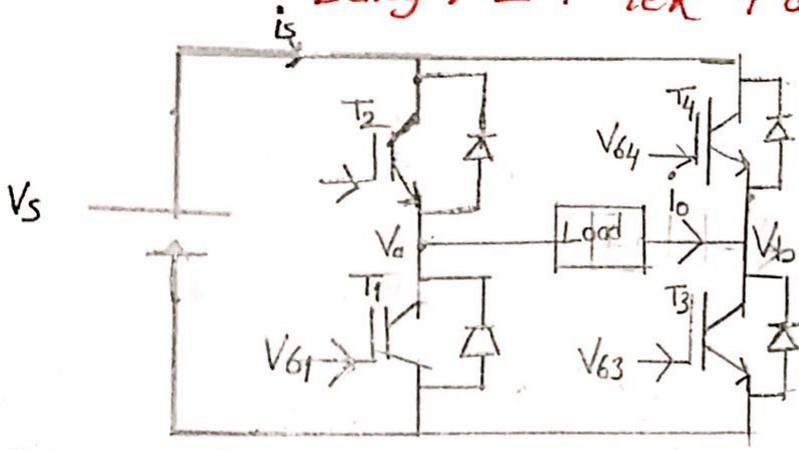


\* Dört bölge çalışma için  $(-V_t) \sim (+V_t)$  arasında değişen üçgen taşıyıcı gerilime ihtiyaç vardır. Bu durumda pozitif  $V_c$  gerilimi ile üçgen gerilim karşılaştırılarak  $S_1$  darbesi üretilirken, negatif  $V_c$  gerilimi ile üçgen gerilim karşılaştırılarak  $S_3$  sinyali elde edilir.

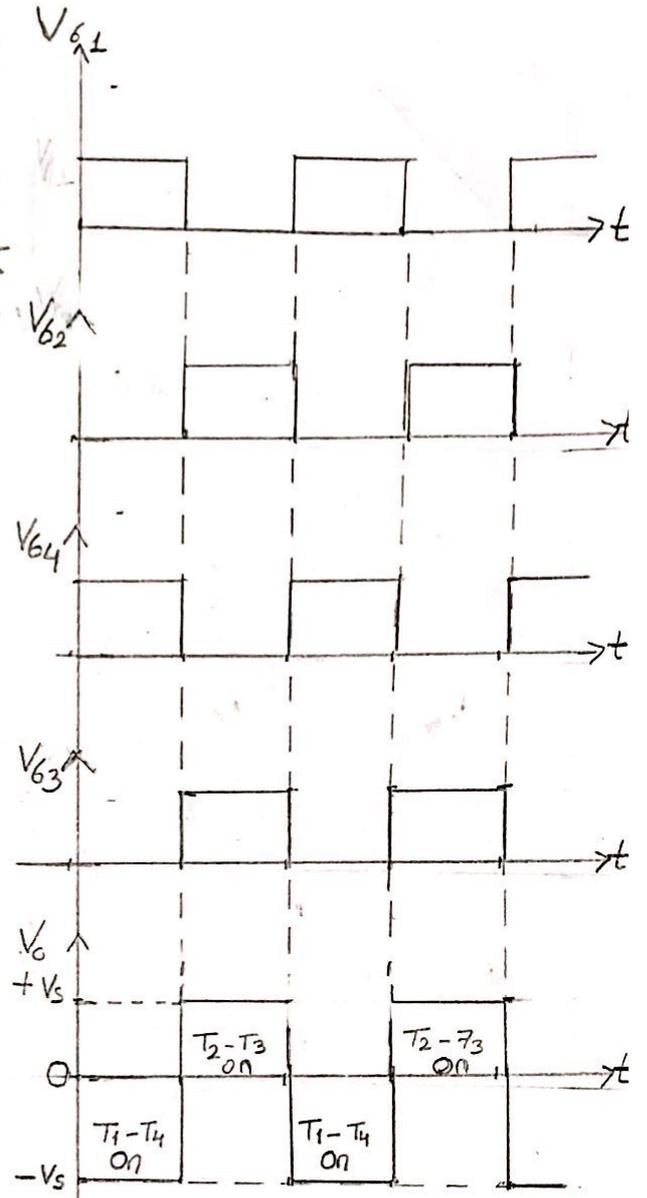
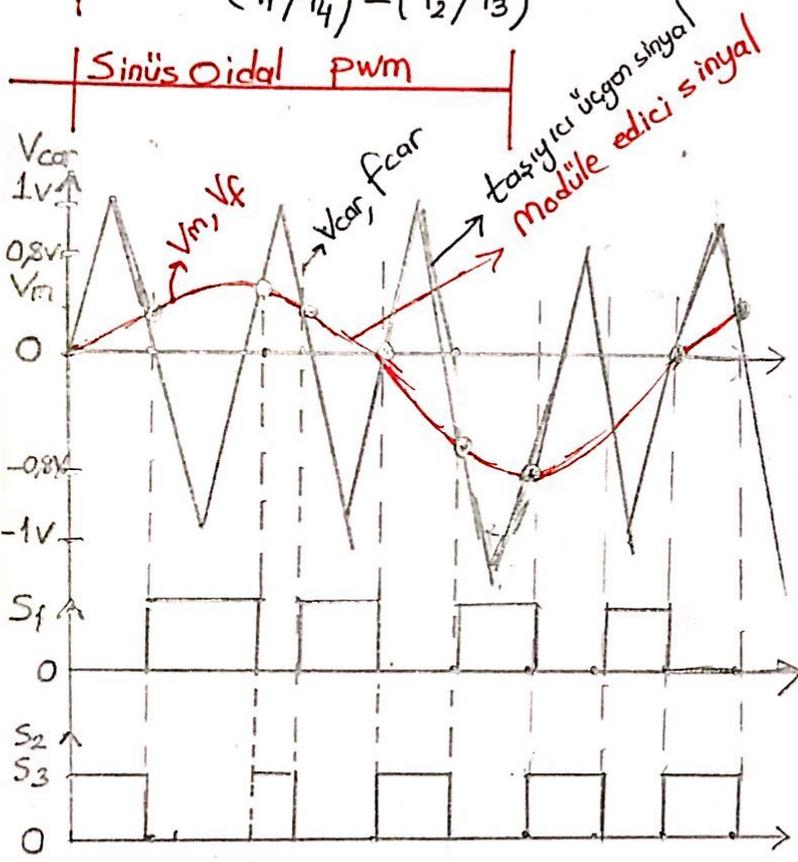


\*  $f_c$  artıkça daha fazla karşılaştırma işlemi yapılacağı için üretilen darbe sinyallerinin de frekansı artmaktadır. Yani üçgen sinyalin frekansı ( $f_c$ ), darbe işaretinin frekansını belirlemektedir.

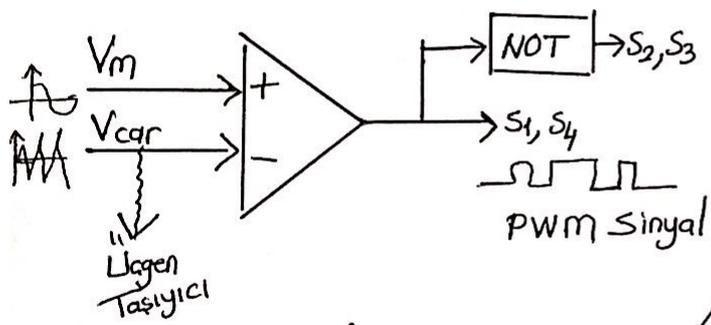
# Deney 5-2 : Tek Fazlı Evirici



SCR, MOSFET  $(T_1-T_4)$  aynı anda tetikliyor  
 BJT, IGBT  $(T_2-T_3)$   
 MCT, SIT  $(T_1/T_4) - (T_2/T_3)$  zıt tetiklemeler



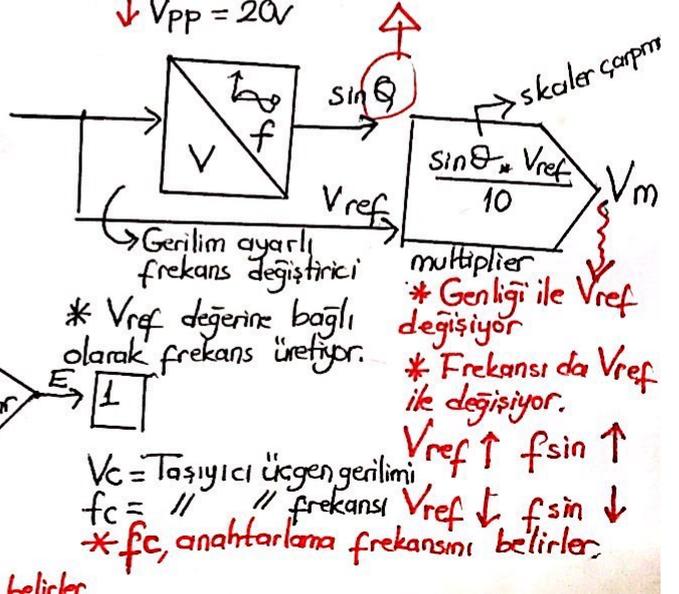
\* Genliği sabit 10V olan ve frekansı  $V_{ref}$  ile değişen sinüs sinyali



Modülasyon indeksi  $m = \frac{V_m}{V_{car}}$

Taşıyıcı genliği

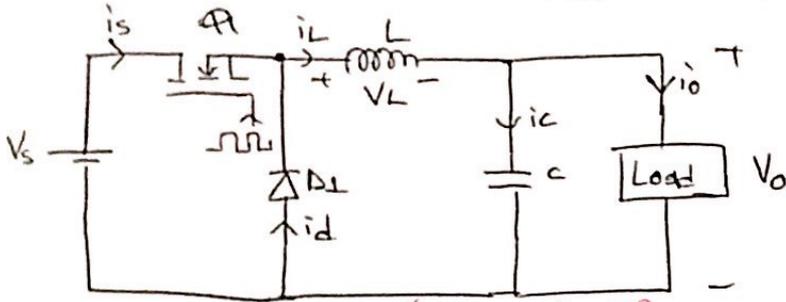
$V_m =$  modüle edici sinyal genliği  
 $f_m =$  modüle edici sinyal frekansı  
 \*  $f_m$ , çıkış frekansını belirler.



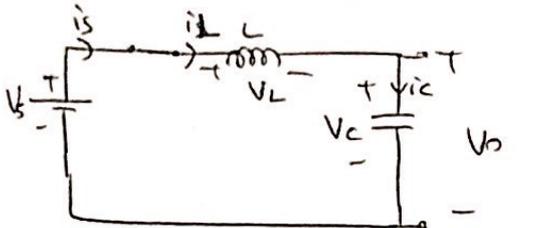
# DC-DC Konvertör

## 1) Buck Konvertör

- \* DC motor hız kontrol devrelerinde
- \* Regüle edilmiş DC kaynakları
- \* Çukuk geriliminde oluşan yüksek frekanslı harmonikleri elimine etmek için AGF (L bobini, C kondüktör) kullanılır.

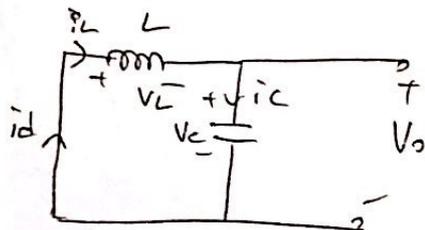


Q1 anahtar iletken (diyot kesimde)  $(K \rightarrow +Vs, A \rightarrow -Vs)$



$V_C = V_o$        $i_s = i_L = i_C$   
 $V_L = V_s - V_o$        $i_d = 0$

Q1 anahtar kesimde (diyot iletken)



$V_L = -V_o$  ,  $i_L = i_C = i_D$   
 $V_C = V_o$

Kalıcı duruma ulaşmış dengedeki bir sistemde, bir anahtarlama periyodu boyunca indüktans akımındaki net değişim sıfırdır.

$$I_L(T_s) - I_L(0) = \frac{1}{L} \int_0^{T_s} V_L(t) dt$$

$$\int_0^{T_s} V_L(t) dt = (V_s - V_o) D T_s + (-V_o) (1-D) T_s = 0$$

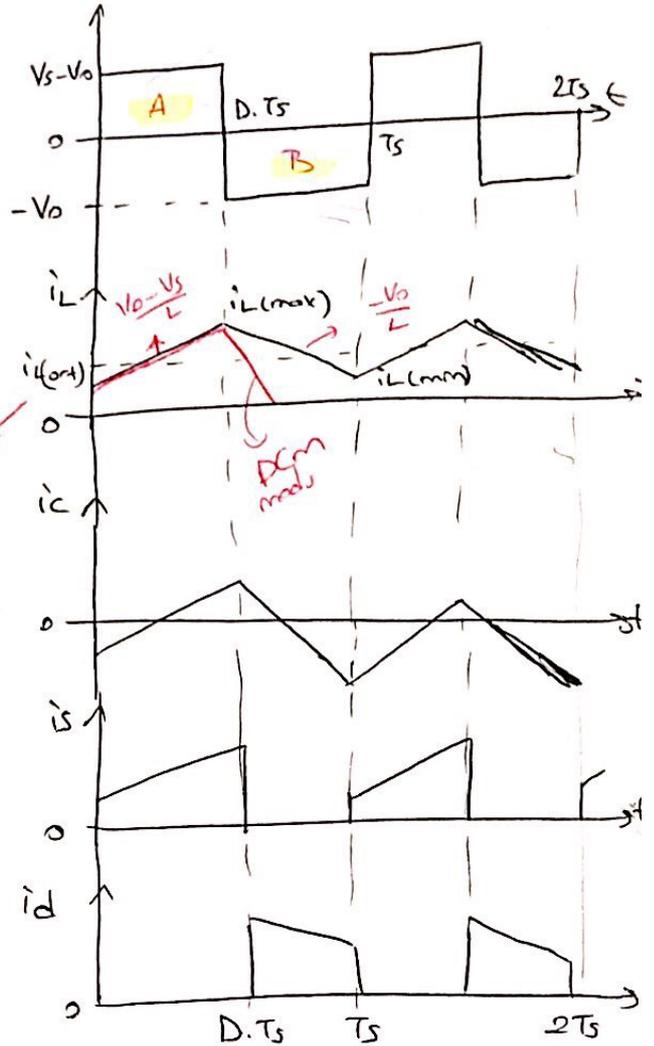
$$V_s \cdot D T_s - V_o \cdot D T_s - V_o \cdot T_s + V_o \cdot D T_s = 0$$

$$T_s (D \cdot V_s - V_o) = 0$$

$$D \cdot V_s = V_o$$

**$V_o = D \cdot V_s$**

D: duty cycle  
 $D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s}$

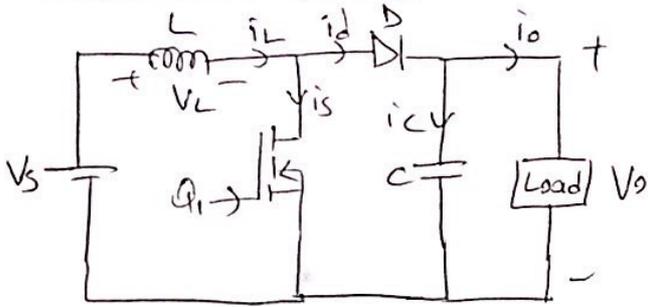


$i_L$  akımının sürekli olarak  $i_{Lmax} - i_{Lmin}$  arasında salınım yapabilmesi için, yarı sürekli akım modunda (CCM) çalışabilmesi için indüktans değeri sınır değerinin altına düşmemesi gerekir. Eğer bu sınır değerden daha düşük bir indüktans değeriyle çalışılırsa devre sürekli akım modunda (DCM) çalışmış olur. Akım bir periyotta sıfırdan başlar tepe değerine yükselir ve anahtarlama periyodu bitmeden tekrar sıfıra düşer.

$L_b = \frac{(1-D)R}{2f}$        $C_{min} = \frac{(1-D) V_o}{8 \cdot V_r \cdot L \cdot f^2}$

$V_r = \text{ripple gerilimi} = \%5 \cdot V_o$

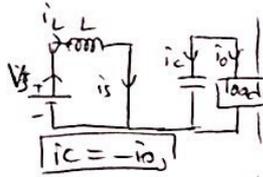
## 2) Boost Konverter



Q1 anahtar, iletimdeki (diyot kesimde)

$$V_s = V_L = L \cdot \frac{dI_L}{dt}$$

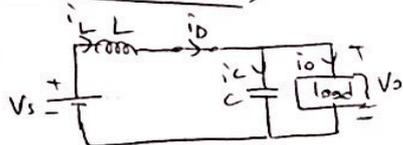
$$V_c = V_o, \quad \begin{cases} i_L = i_s \\ i_d = 0 \end{cases}$$



Q1 anahtar, kesimde (diyot iletimde)

$$V_L = V_s - V_o$$

$$\begin{cases} i_L = i_d \\ i_s = 0 \end{cases}$$



$$V_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$I_L(T_s) - I_L(0) = \frac{1}{L} \int_0^{T_s} V_L(t) dt = 0$$

$$\int_0^{T_s} V_L(t) dt = 0$$

$$V_s \cdot DT_s + (V_s - V_o) \cdot (1-D) \cdot T_s = 0$$

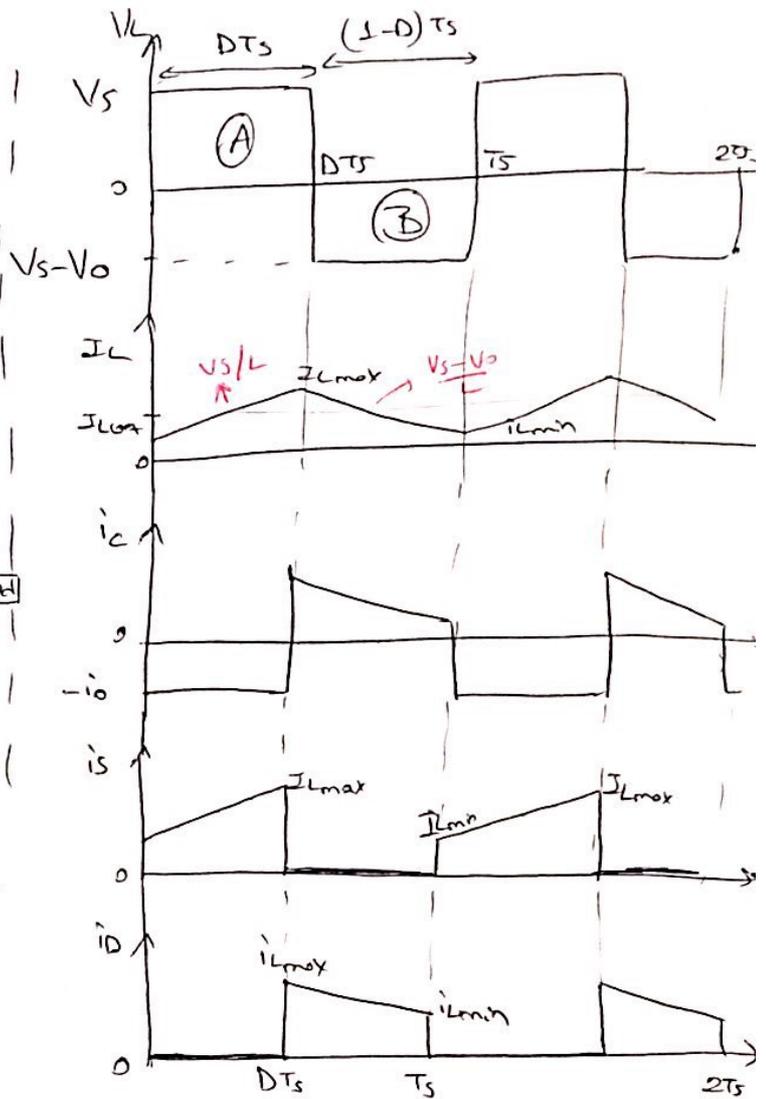
$$V_s \cdot D \cdot T_s + V_s \cdot T_s - V_s D T_s - V_o T_s + V_o \cdot D T_s = 0$$

$$V_s \cdot T_s - V_o \cdot T_s + V_o \cdot D \cdot T_s = 0$$

$$V_s - (1-D) \cdot V_o = 0$$

$$V_s = (1-D) V_o$$

$$V_o = \frac{1}{1-D} \cdot V_s$$

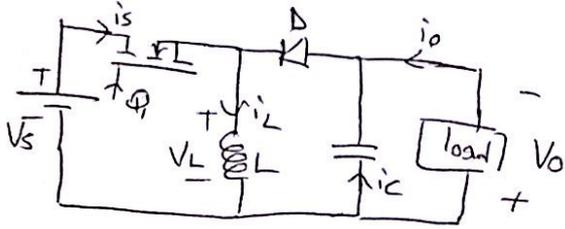


### 3) Buck-Boost Konvertör

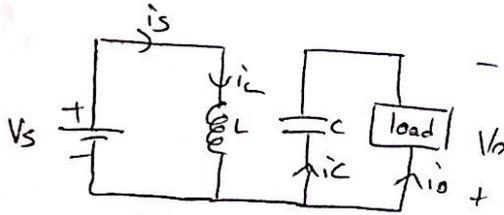
\* Çıkış gerilimi, giriş gerilimine göre **ters** polaritedir.

\* Anahtar iletkenken indüktans enerji **uygulanır**, anahtar kesimden sonra indüktans üzerinden depolanan enerji **çıkışa** verir.

\* Buck-boost konvertörler, DC yük kaynaklarının regülasyonunda, giriş geriliminin ortak terminale göre çıkışın negatif kutuplu olması istendiğinde ve çıkış geriliminin giriş geriliminden daha az veya fazla olabileceği yerlerde kullanılır.



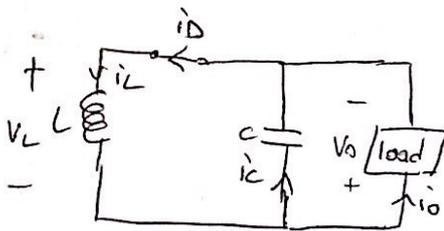
Anahtar iletkenken



$$V_L = V_s \quad V_o = V_c$$

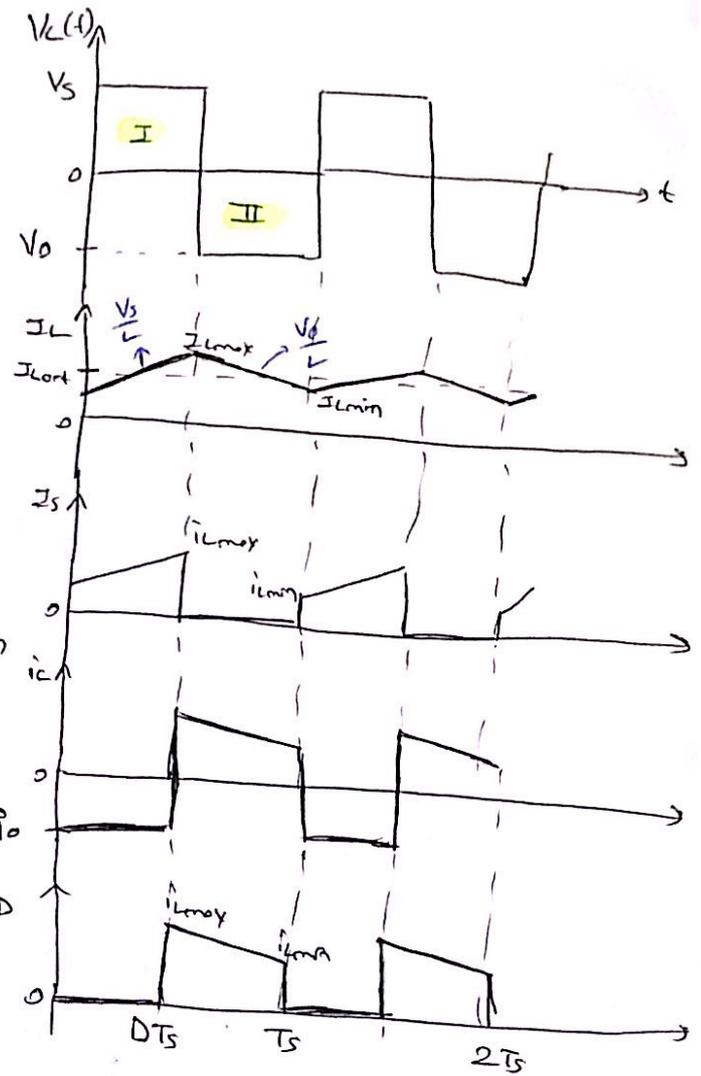
$$i_L = i_s, \quad i_c = -i_o, \quad i_D = 0$$

Anahtar kesimden sonra



$$i_L = i_D$$

$$V_L = -V_o$$



$$\int_0^{T_s} V_L(t) dt = V_s \cdot DT_s + V_o(1-D)T_s = 0$$

$$T_s (V_s \cdot D + V_o \cdot (1-D)) = 0$$

$$V_s \cdot D + V_o - V_o \cdot D = 0$$

$$V_o(1-D) = -V_s \cdot D$$

$$V_o = -\frac{D}{1-D} V_s$$

\*  $D < 0,5 \rightarrow$  Buck Konvertör

\*  $D = 0,5 \rightarrow V_o = -V_s$

\*  $D > 0,5 \rightarrow$  Boost Konvertör

