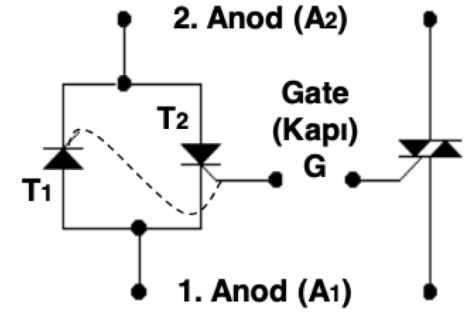


Güç Elektronik

Fatih Evran

AA-AA Gerilim Denetleyiciler-Triac

- Triyak (Triac), her alandaki endüstriyel elektronik uygulamalarında, AC gerilimin anahtarlanması ve kontrol edilmesi amacıyla çok yoğun olarak kullanılan bir güç yarıiletken elemanıdır.
- Yapısından da anlaşılabilir gibi tristör (SCR) ile aynı özellikleri göstermektedir. Tristörden tek farkı, her iki yönde de rahatlıkla ilettime geçebilmesidir.
- Triyak, tıpkı SCR gibi sadece ilettime geçmesi kontrol edilebilen bir anahtardır.
- Triyak'ın yalıtıma geçebilmesi için ise içinden geçmekte olan akımın sıfıra düşmesi veya düşürülmesi gerekmektedir.

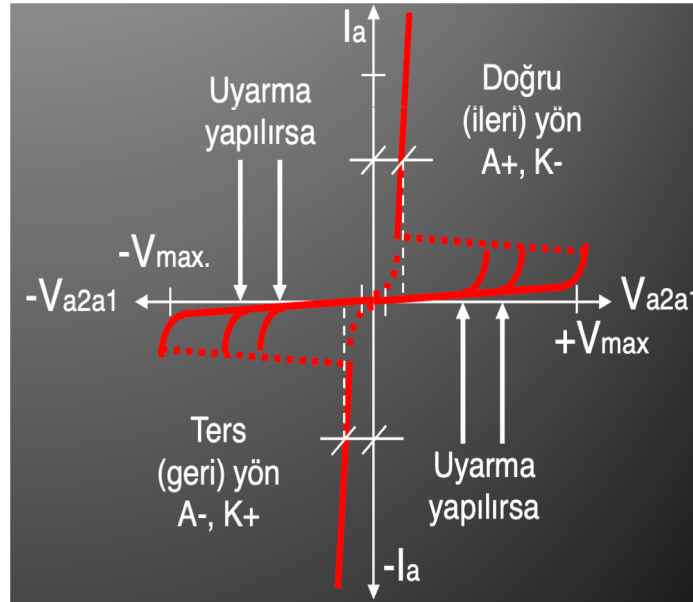


AA-AA Gerilim Denetleyiciler-Triac

- Triyaklar, çift yönlü olmaları nedeniyle, genel amaçlı tristörler gibi, çok yüksek akım ve gerilimlerde kullanılamamaktadır. Ancak 1200V-300A civarına kadar olanlar bulunmaktadır.
- Triyak, iletimde olduğunda tam iletim, yalıtımda olduğunda ise tam yalıtım durumunda bulunur, geçiş anı dışında herhangi ara durumu yoktur.
- Ayrıca triyakların iletim iç dirençleri de SCR'ler gibi çok düşük değildir. Bu nedenle çok yüksek akımlı uygulamalarda genellikle triyak yerine birbirine ters paralel bağlanmış olan SCR'ler tercih edilmektedir.
- Triyak'ın, genel amaçlı tristörler (SCR) gibi en önemli özelliği düşük frekanslarda çalışmak için imal edilmiş olmalarıdır ki ideal çalışma frekansları 50-60Hz, max. frekansları ise 1kHz'dir.
- Bu özellikleri ile triyaklar, şebeke geriliminde kontrollü anahtar ve şebeke değiştirici olarak çalışabilen çok kullanışlı yarıiletken elemanlardır

AA-AA Gerilim Denetleyiciler-Triac

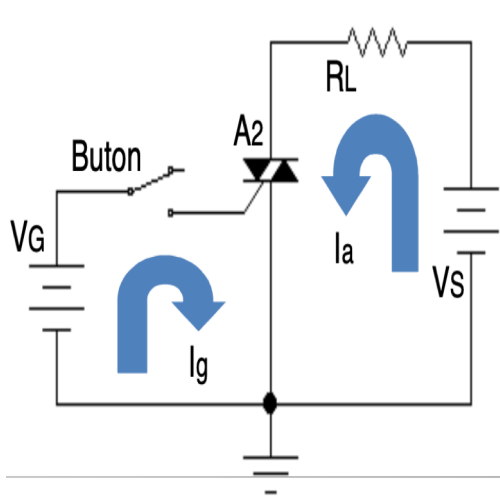
- Karakteristik eğriden görüldüğü gibi diyot, doğru yönde 0,7V'dan sonra kendiliğinden ilettime geçerken, triyak ancak V_{max} . gerilimine ulaşıldığında kendiliğinden ilettime geçmektedir.
- Bu şekilde ilettime geçme istenmeyen bir durumdur. Triyak'ın her iki yönde de normal olarak ilettime geçebilmesi için uyarılması gerekmektedir.
- Triyak'ın uyarılması G-A1 terminalleri arasından yapılır.
- Ters yönde ise triyak yine V_{max} . gerilim değerine kadar güvenle kesimde kalacak, bu değer aşılsa ise ilettime geçecektir. Tabii ki bu şekilde ilettime geçme asla istenmez.
- Bu durumda, triyak, doğru yönlü ($A2+$, $A1-$) gerilimde uyarılmaz ise kesimde kalmaktadır, uyarıldığı taktirde ise tam ilettime geçmektedir
- Ters yönlü ($A2-$, $A1+$) gerilimde ise triyak' ın yine uyarılmaz ise kesimde kaldığı, uyarıldığı taktirde ise tam ilettime geçen, hem doğru hem de ters yönlü gerilim altında kontrol edilebilen, bir yarıiletken güç anahtarı olduğu görülmektedir.



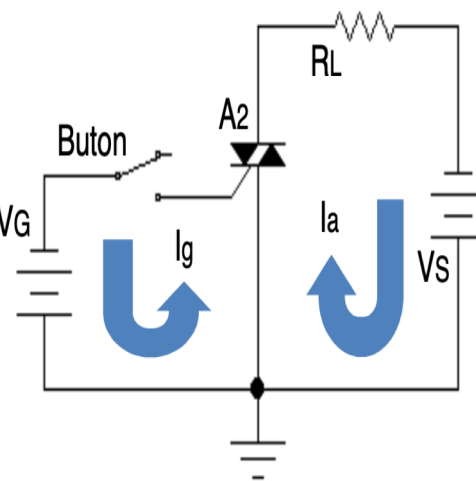
AA-AA Gerilim Denetleyiciler-Triac

Triyak'ın uyarılma yöntemleri;

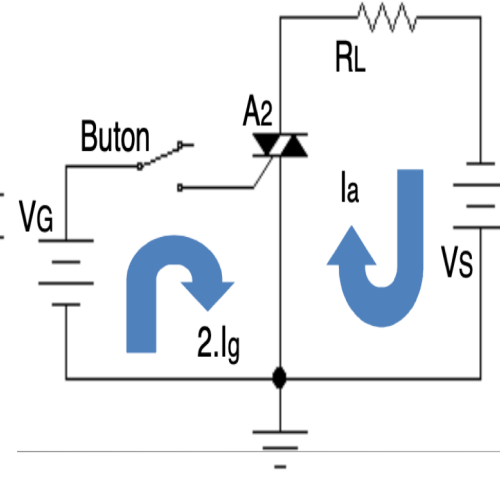
- Triyak'ın G-A1 arasından uyarılması sırasında 4 farklı durum bulunmaktadır.
 1. Durum: A2(+) A1(-) olması durumunda, G(+) A1(-).
 2. Durum: A2(-) A1(+) olması durumunda, G(-) A1(+).
 3. Durum: A2(-) A1(+) olması durumunda, G(+) A1(-).
 4. Durum: A2(+) A1(-) olması durumunda, G(-) A1(+).



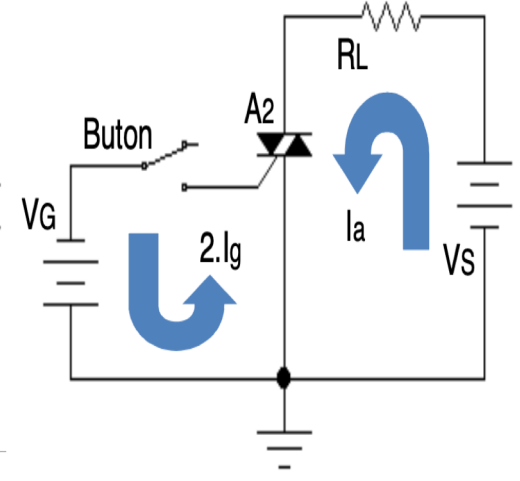
1. Durum



2. Durum



3. Durum



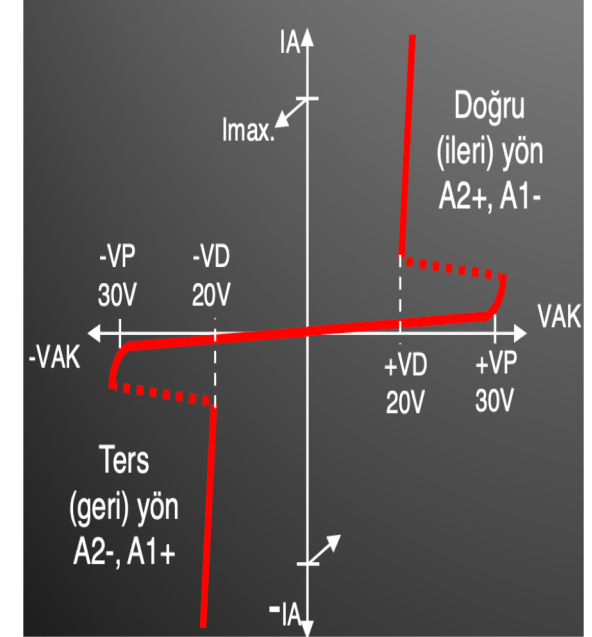
4. Durum

AA-AA Gerilim Denetleyiciler-Triac

- Her durumda da triyak'ın uyarılması mümkün olmaktadır. Fakat, triyak 1. ve 2. durumlarda daha düşük uyarma akımıyla ve daha kolaylıkla uyarılabilirken, 3. ve 4. durumlarda ise daha yüksek uyarma akımıyla (yaklaşık 2 kat) uyarılabilmektedir.

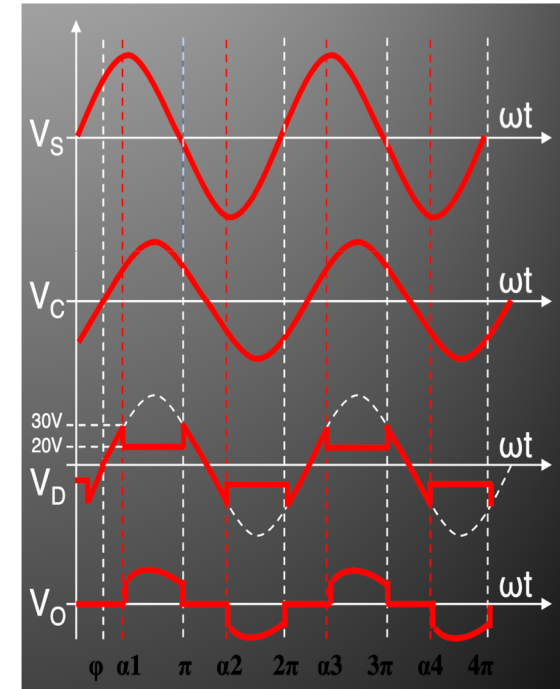
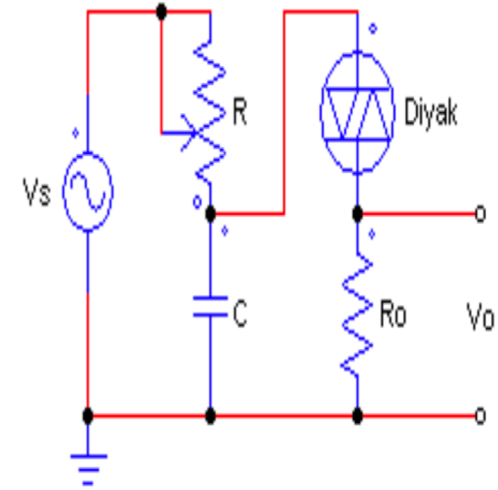
AA-AA Gerilim Denetleyiciler-Diac

- Diyak (Diac), sadece triyak tetiklemek (uyarmak) için özel olarak üretilmiş bir elemandır ve görevi şebeke frekansında uyarma darbelerini üretmektir.
- Triyaktan farkı ise uyarma terminalinin (gate) bulunmamasıdır. Çünkü diyak bir güç elemanı değil, sadece triyak uyarmak için kullanılan çok düşük güçlü bir uyarma elemanıdır.
- Diyak'ın anod (A1 ve A2) terminallerinin yeri önemli değildir. Eleman üzerinde herhangi bir işaret yoktur.
- Diyak, triyak için en kolay uyarma yolu olan, pozitif alternansta pozitif ve negatif alternansta negatif, uyarma darbelerini triyak'ın çalıştığı şebekeyi kullanarak üretmektedir.
- Diyak yapısı ve çalışması triyak gibi olduğu için temel karakteristik eğrisi de yanda gösterildiği gibidir.
- Eğriden görüleceği üzere, diyak V_P ($\approx 30V$) geriliminde iletme geçmekte fakat iletme geçtiğinde diğer elemanlarda olduğu tamamen kısa devre olmamakta üzerinde V_D kadarlık ($\approx 20V$) bir gerilim tutmaktadır.



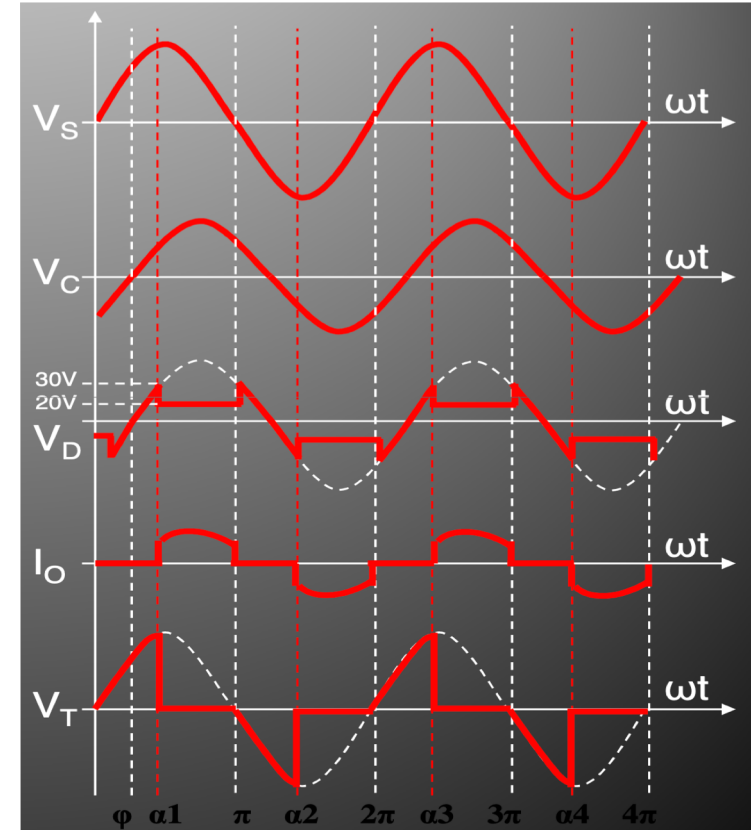
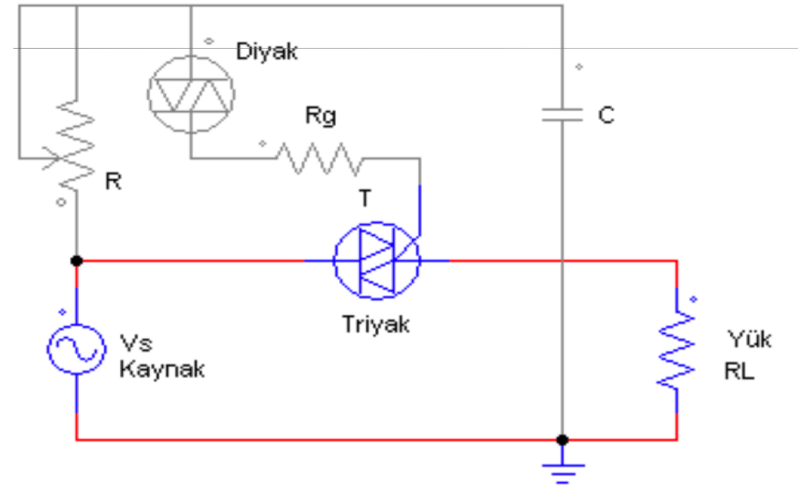
AA-AA Gerilim Denetleyiciler-Diac

- Yandaki şekilde, AA kaynaktan alınan gerilim bir RC devresinden geçirildikten sonra diyak üzerine uygulanmaktadır.
- Bunun nedeni, daha sonra uygulama devresinde de göreceğimiz gibi AA gerilimi bölmek (azaltmak) ve fazını kaydırarak uyarma açısının ayarlanabilmesini sağlamaktadır.
- Devrede R direnci ayarlanarak RC devresinin faz kaydırması değiştirilebilir. Bu da asıl uygulama devresinde uyarma açısının değişmesini sağlar.



AA-AA Gerilim Denetleyiciler-Diac

- Diyak devresine triyak'ın çalıştığı şebekeden doğrudan AA besleme gerilimi uygulanmaktadır.
- Uygulanan bu gerilimin fazı RC devresi tarafından " ϕ " kadar kaydırılarak diyak üzerine aktarılmaktadır
- Diyak, üzerine gelen gerilim yaklaşık 30V seviyesine ulaştığında iletme geçerek triyak'ın G-A1 arasından " I_o " akımının akmasını sağlamakta ve böylece triyak " α_1 " açısında uyarılmış olmaktadır.
- Şekilden görüldüğü gibi " α_1 " açısında uyarmanın gerçekleşmesiyle triyak iletme geçerek üzerindeki gerilim (V_T) sıfır seviyesine düşmektedir.
- Triyak'ın iletimi pozitif alternans sonuna kadar devam etmekte, alternans sonunda tıkamaya geçmektedir.
- Diyak, negatif alternans içinde tekrar iletme geçerek " α_2 " açısında triyak'ın tekrar uyarılmasını sağlamaktadır.
- R direnci ayarlandığında ise faz kayması dolayısıyla da uyarma açısı değişecektir.



Tek Faz AA Gerilim Denetleyiciler(AC-AC Converter)

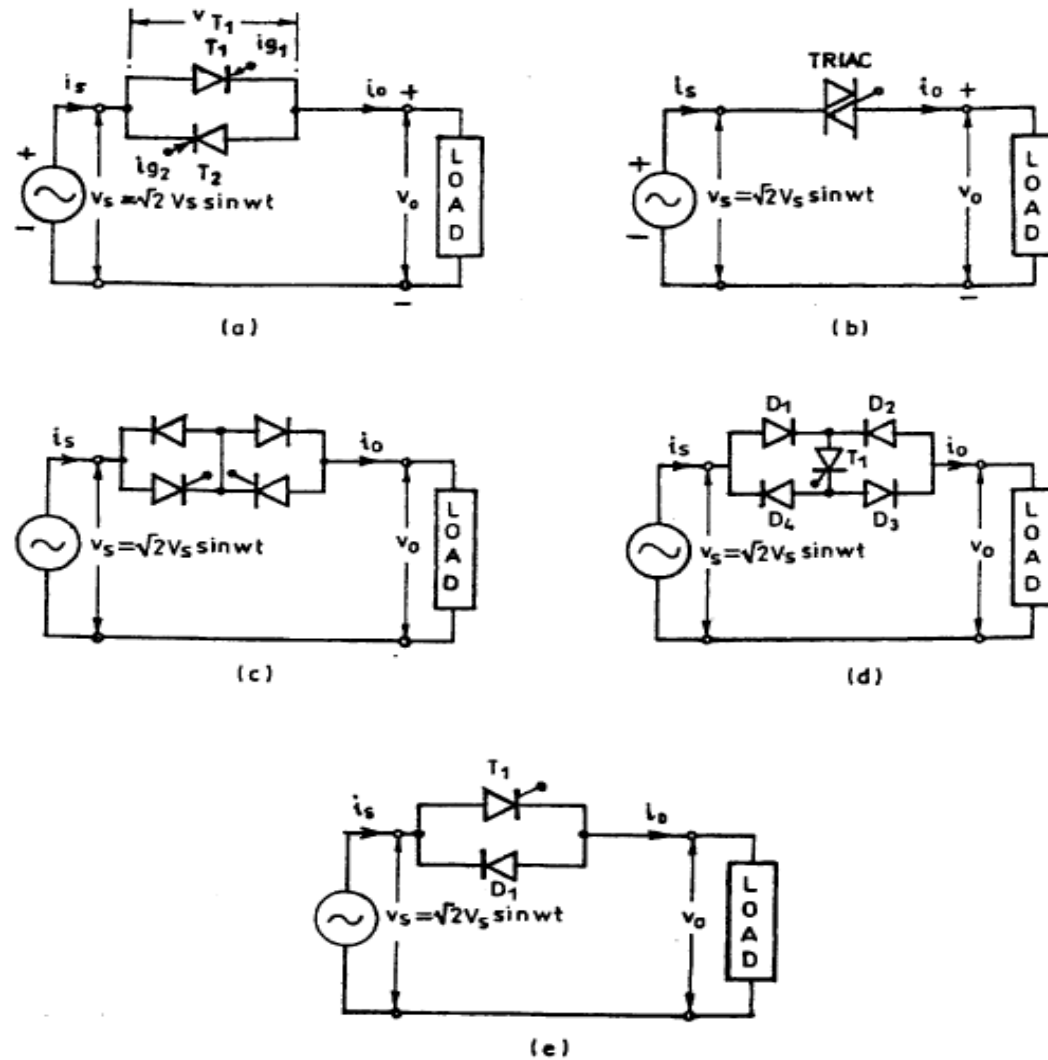


FIGURE 16.1 Single-phase ac voltage controllers: (a) full-wave, two SCRs in inverse parallel; (b) full-wave with Triac; (c) full wave with two SCRs and two diodes; (d) full wave with four diodes and one SCR; and (e) half wave with one SCR and one diode in antiparallel.

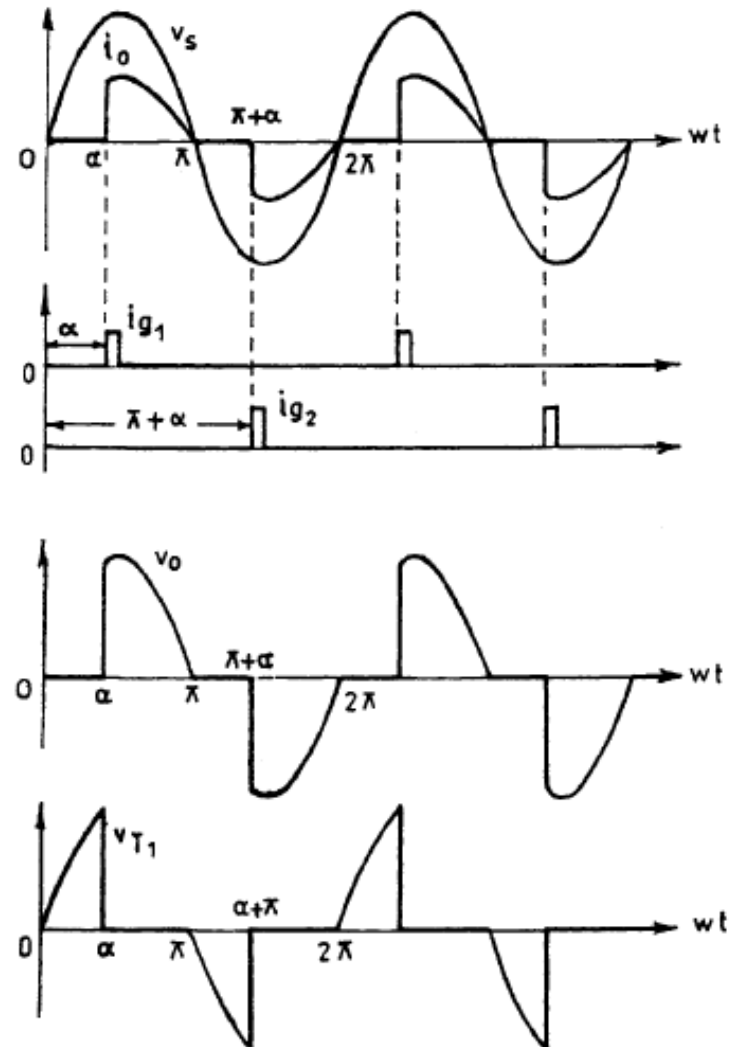
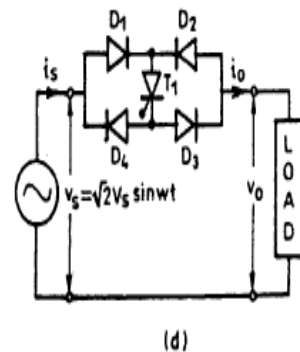
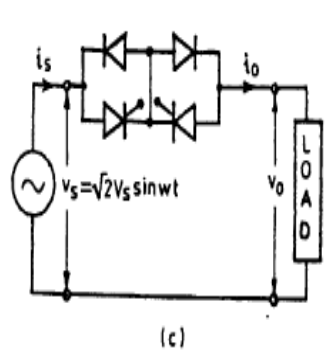
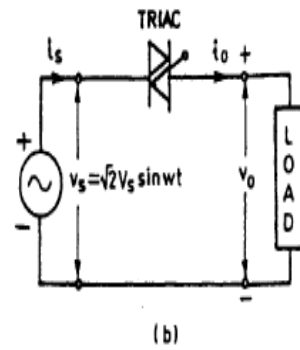
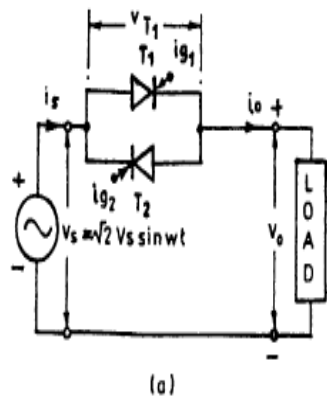


FIGURE 16.2 Waveforms for single-phase ac full-wave voltage controller with R -load.

Çıkış geriliminin Etkin değeri

$$v_s = \sqrt{2} V_s \sin \omega t$$

$$V_o = \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2V_s^2 \sin^2 \omega t \, d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right]^{1/2} \quad (16.1)$$

Örnek

- Tek fazlı tam dalga denetleyici $R=10\Omega$ değerinde bir omik yük ile yüklüdür. T1 ve T2 anahtarlarının ateşleme açıları eşit ve $\alpha_1=\alpha_2=\alpha=\pi/2$ 'dir. Giriş güç katsayısını ve çıkış geriliminin etkin değerini bulunuz ($v_s(t)=169.7\sin 100\pi t$)

A) $V_s=169.7/\sqrt{2}=120V$

$$V_o = V_s \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right]^{1/2} = 84.85V,$$

B) Yük akımının etkin değeri $I_o=V_o/R=8.485A$, ve yüke verilen güç $P_o=I_o^2R=V_oI_o=719.95W$.

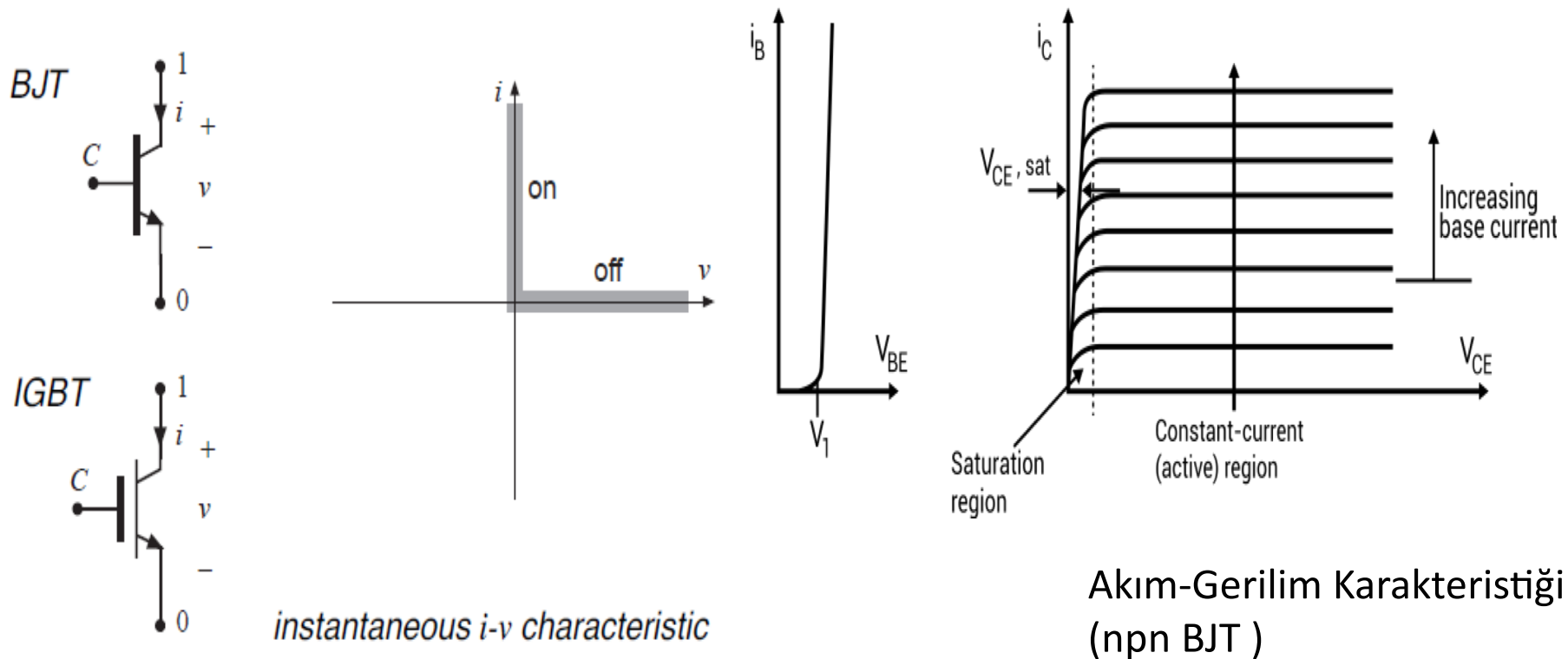
$Giriş\ Gücü=V_sI_s=V_sI_o=120 \times 8.485=1018.2W$

$$PF=P_o/V_sI_s = \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right]^{1/2} = 0.707$$

Güç Elektroniği Anahtarları

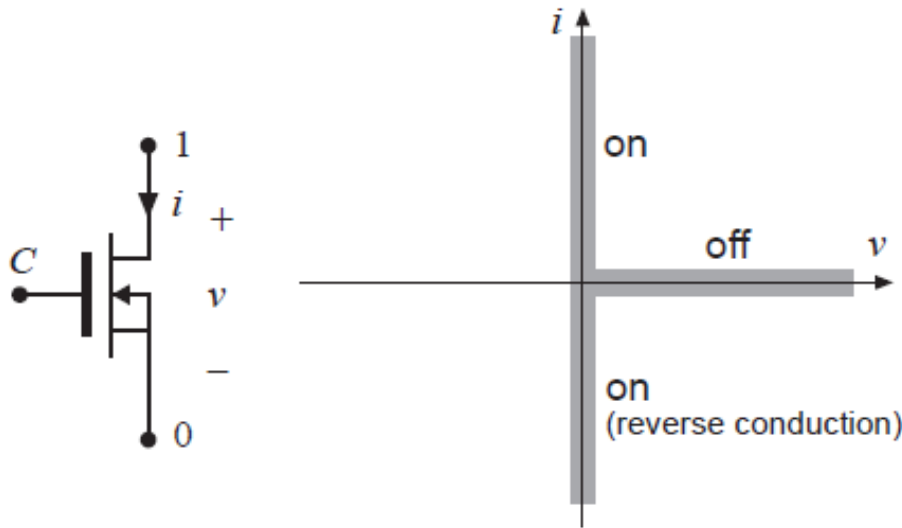
BJT(Bipolar Junction Transistor)

IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)



Güç Elektronikği Anahtarları

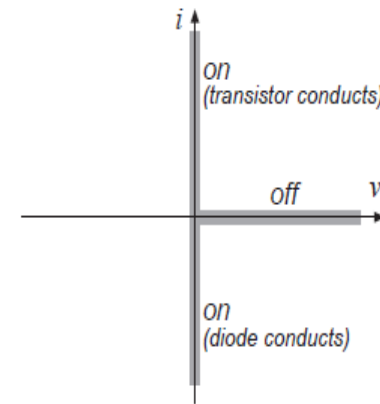
Mosfet



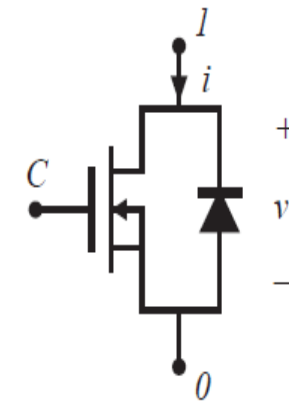
Symbol

instantaneous i - v characteristic

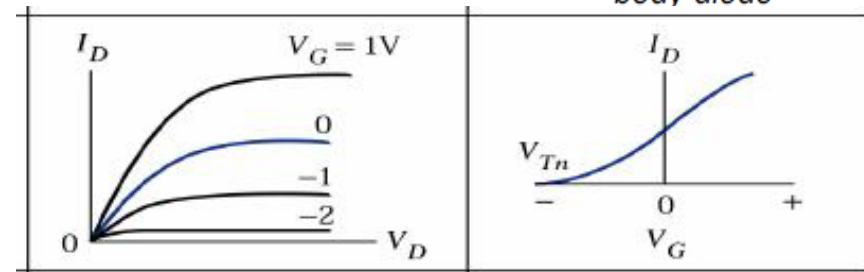
Kanalı Oluşmuş n kanallı Mosfet



Power MOSFET
characteristics

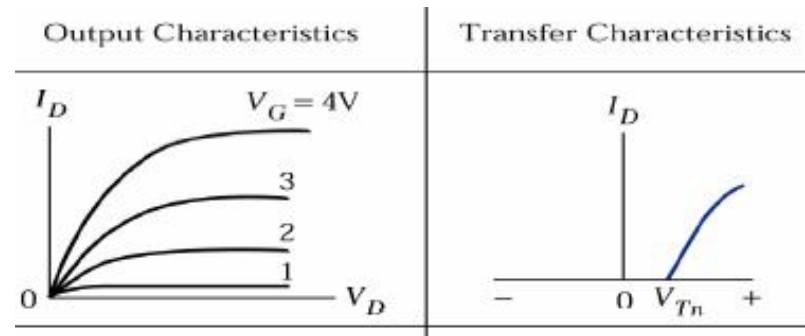


Power MOSFET,
and its integral
body diode



Güç Elektronikği Anahtarları

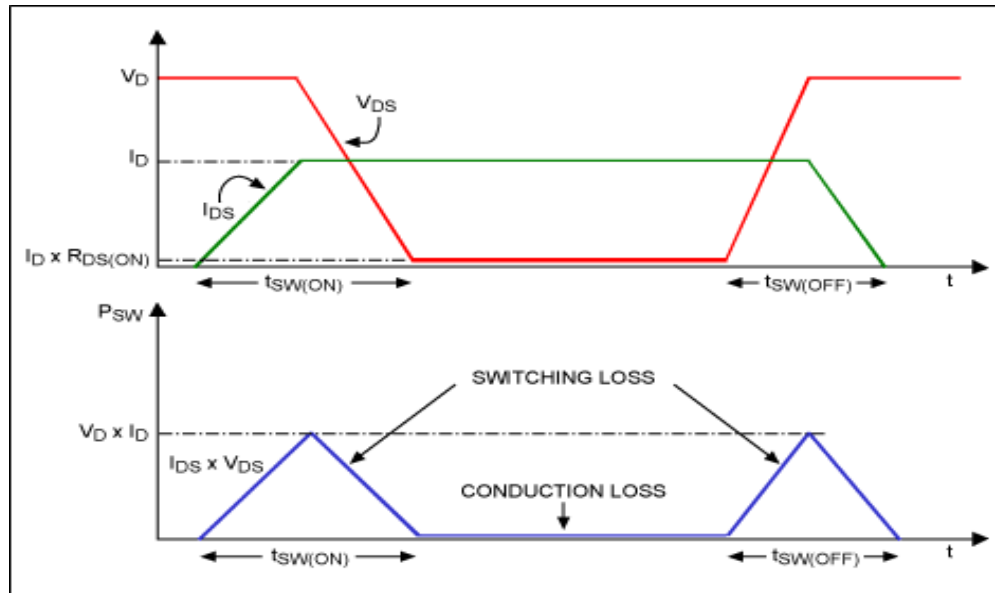
Mosfet



Kanalı Oluşmamış n kanallı Mosfet

Anahtarlama kayıpları

- Bir anahtar üzerinde en çok güç kaybı anahtarlama ve iletim esnasında oluşmaktadır.
 - Anahtarlama kaybı (P_{sw}), anahtar iletime ve tıkamaya geçerken oluşur.
 - İletim kayıpları (P_{cond}) ise iletim esnasında oluşmaktadır.



Anahtarlama kayıpları

- Anahtar tıkamada iken harcamış olduğu güç ihmal edilebilir.

- Mosfet için

$$P_{sw} = 0.5 \times V_D \times I_D \times (t_{SW(ON)} + t_{SW(OFF)}) \times f_S$$

$$P_{cond} = I_D(\text{rms})^2 R_{DS}$$

$$P_{tot} = P_{sw} + P_{cond}$$

- BJT

$$P_{sw} = 0.5 \times V_{CE} \times I_C \times (t_{SW(ON)} + t_{SW(OFF)}) \times f_S$$

$$P_{cond} = I_C \times V_{CE(\text{sat})}$$

$$P_{tot} = P_{sw} + P_{cond}$$

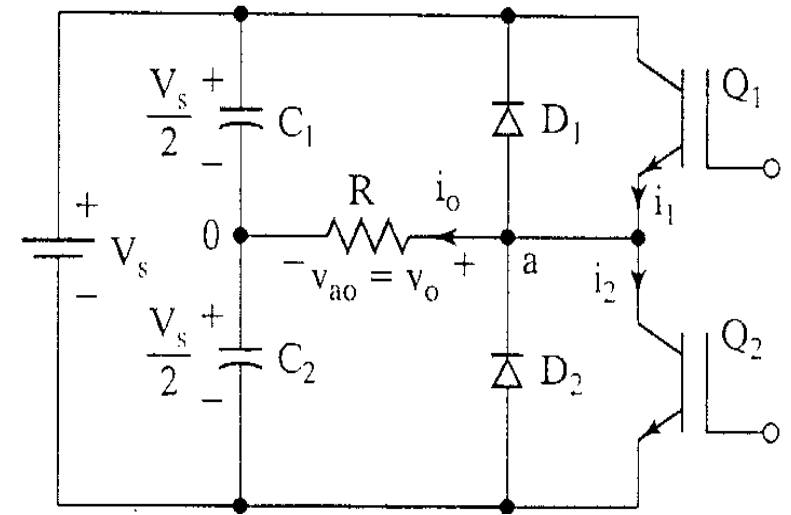
Tek Faz Eviriciler

- Eviriciler, akım kaynaklı (CSI) ve gerilim kaynaklı (VSI) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

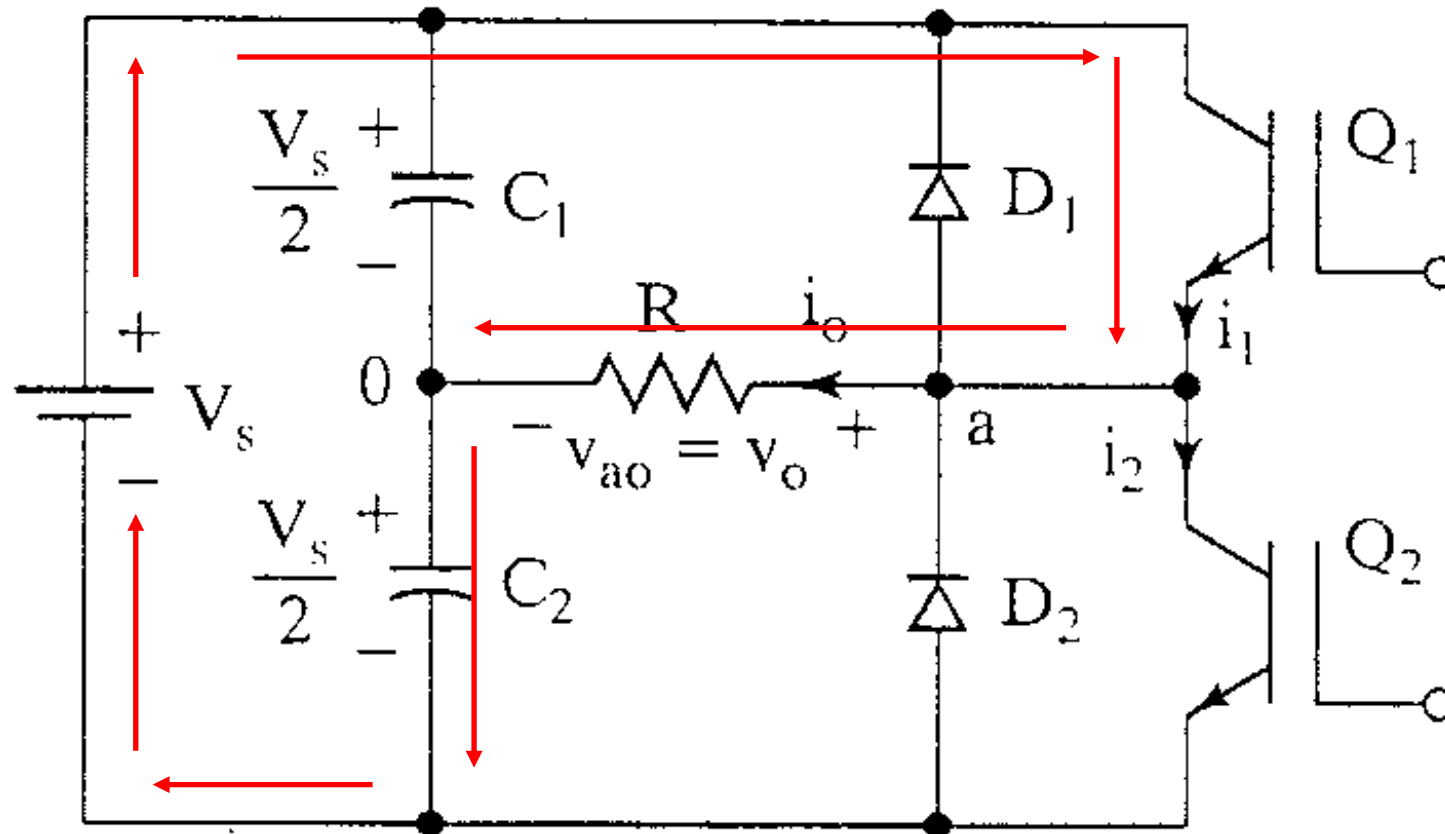
Tek faz gerilim kaynaklı eviriciler

Yarı-Köprü

- Sadece Q_1 anahtarı $T_o/2$ süresince ilettime sokulursa, yük uçlarındaki ani gerilim v_o , $V_s/2$ 'ye eşit olmaktadır. Eğer Q_2 anahtarı $T_o/2$ süresince ilettime sokulursa, yük uçlarında $-V_s/2$ görülür.
- Q_1 ve Q_2 anahtarları aynı anda iletimde olmamalıdır.

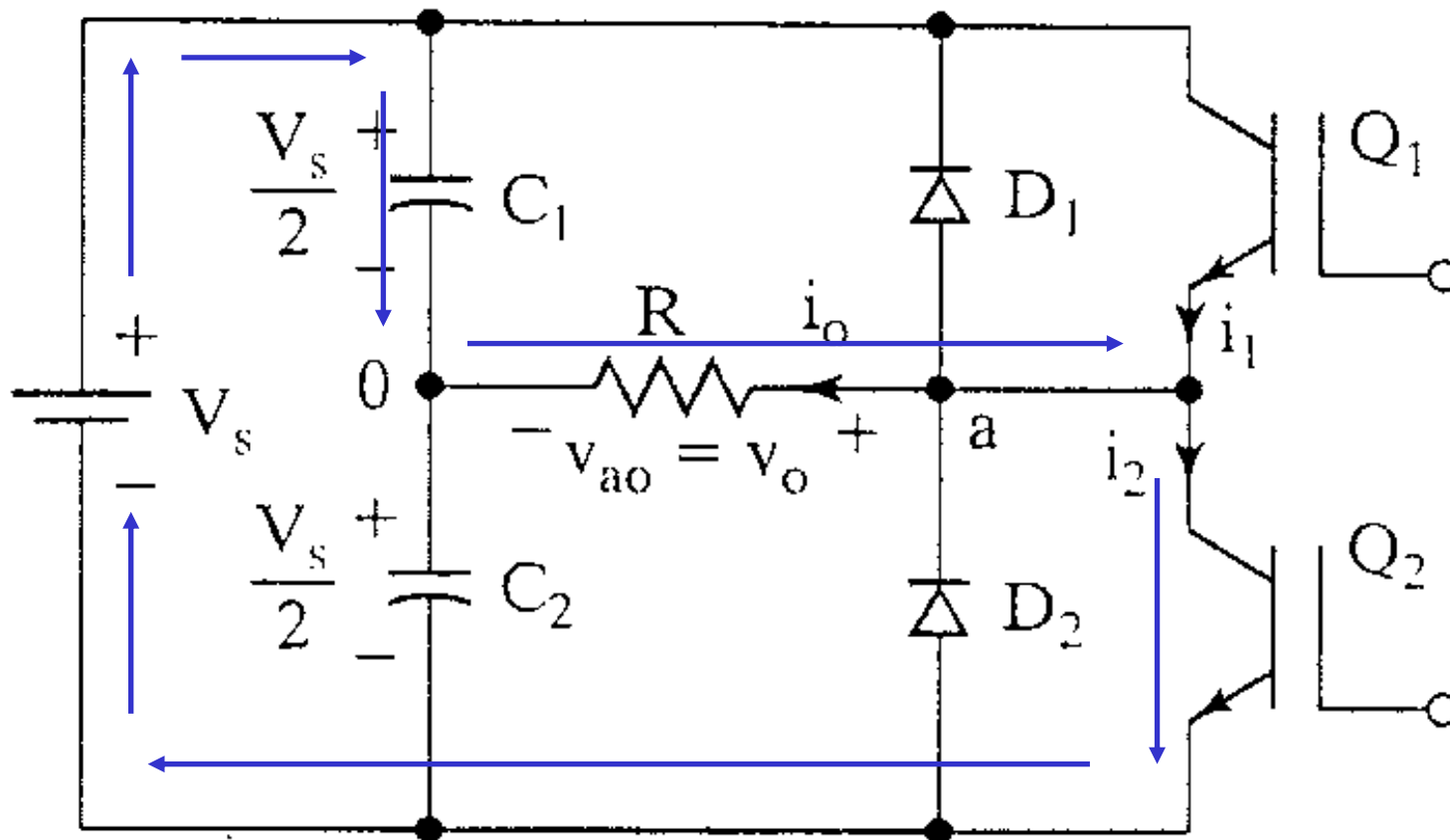


Q_1 on, Q_2 off, $v_o = V_s/2$

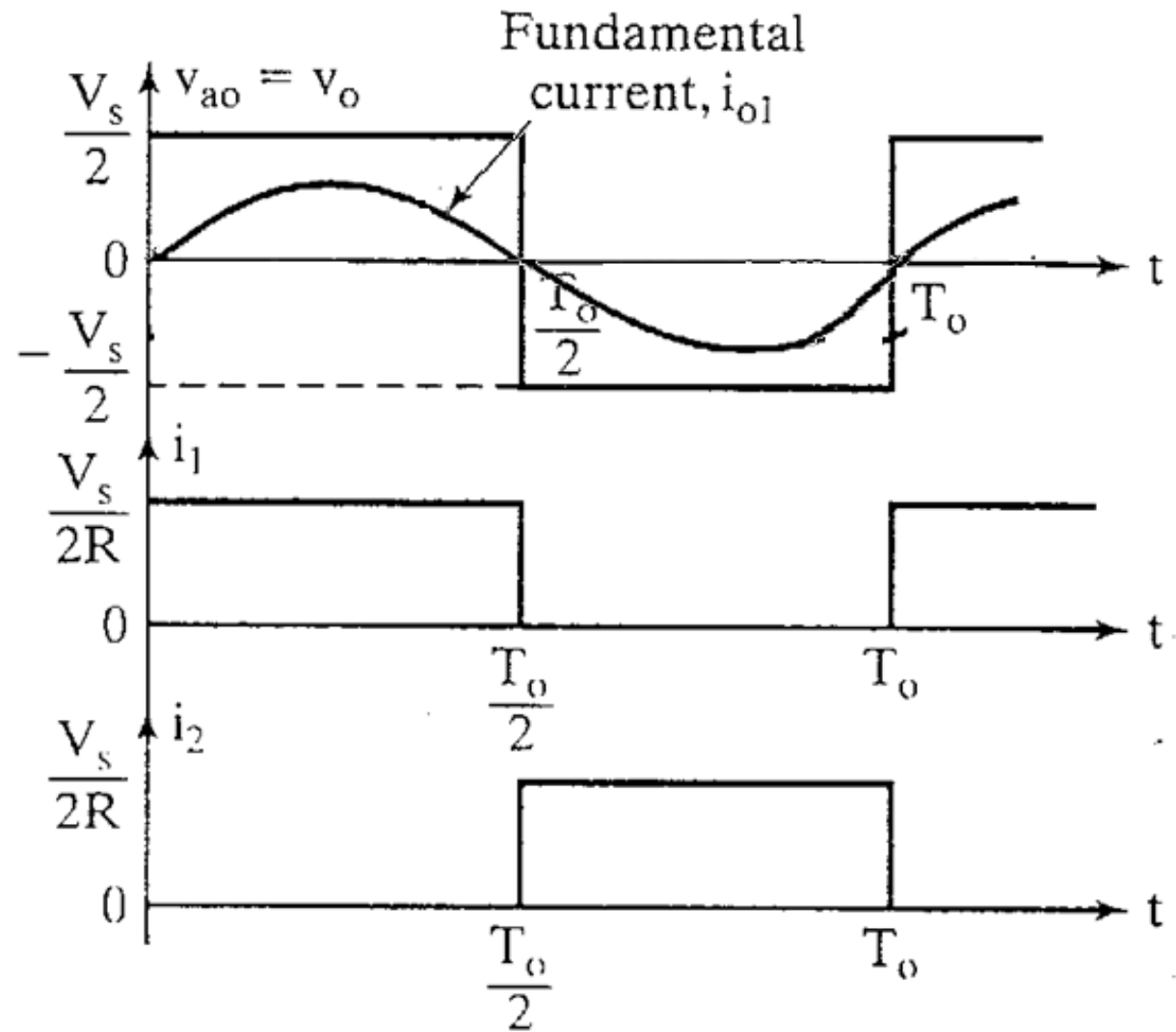


Peak Reverse Voltage of $Q_2 = V_s$

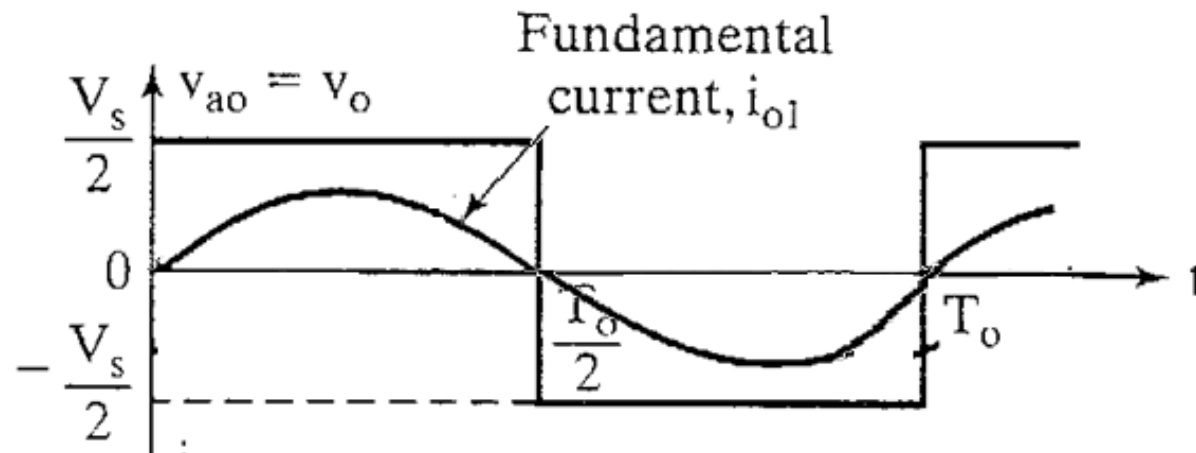
Q_1 off, Q_2 on, $v_o = -V_s/2$



Waveforms with resistive load



Look at the output voltage



rms value of the output voltage, V_o

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{\frac{T_o}{2}} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{V_s}{2}$$

Fourier Series of the instantaneous output voltage

$$v_o = \frac{a_o}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t))$$

$$a_o, a_n = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^0 \frac{-V_s}{2} \sin(n\omega t) d(\omega t) + \int_0^{\pi} \frac{V_s}{2} \sin(n\omega t) d(\omega t) \right]$$

$$b_n = \frac{2V_s}{n\pi} \rightarrow n = 1, 3, 5, \dots$$

$$v_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \sin(n\omega t)$$

rms value of the fundamental component

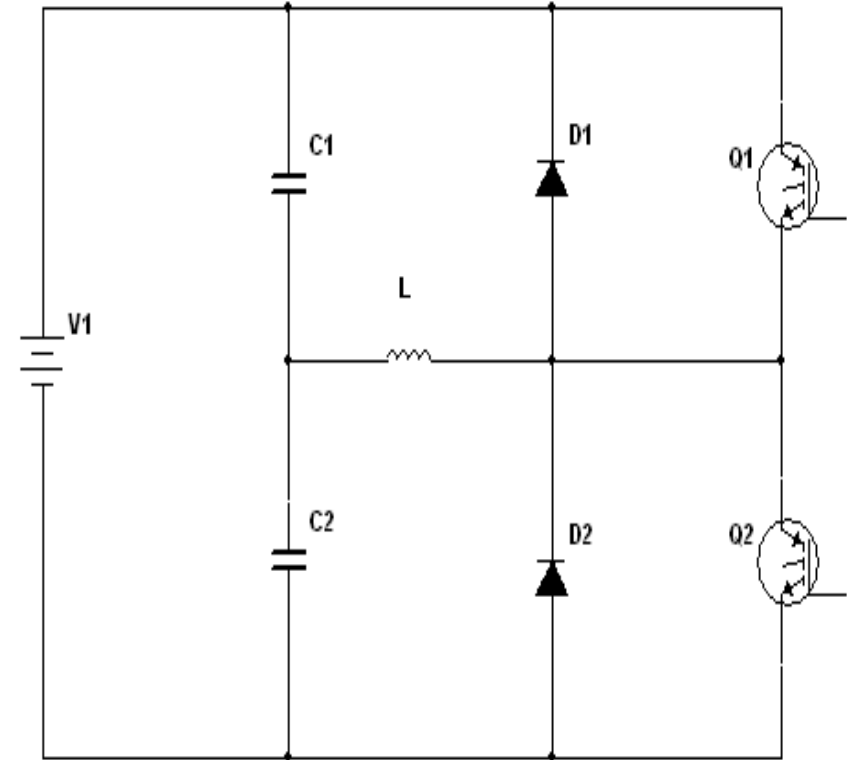
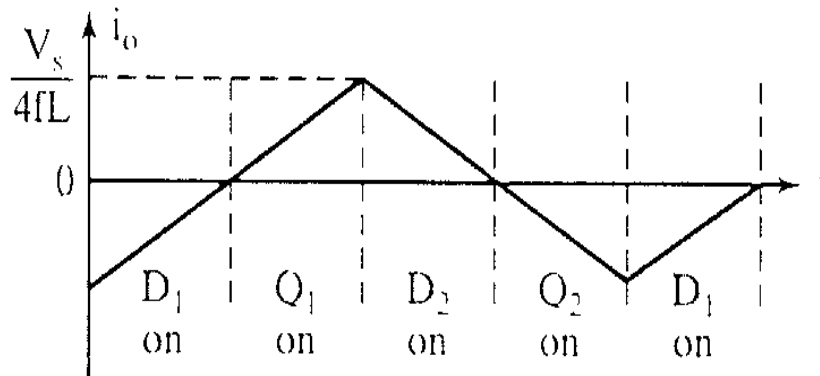
$$v_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \sin n\omega t$$

$$V_{o1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2V_s}{\pi}$$

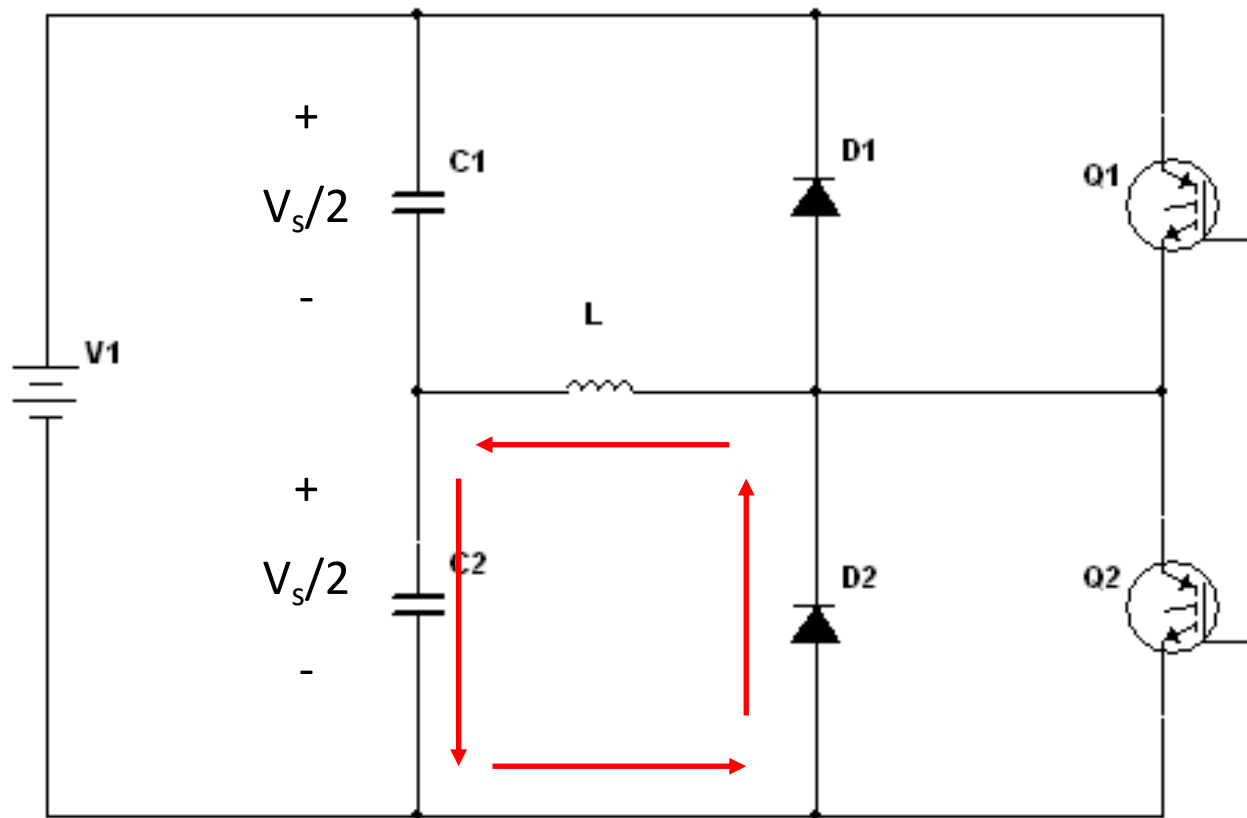
$$V_{o1} = 0.45V_s$$

Yükün endüktif olması durumu

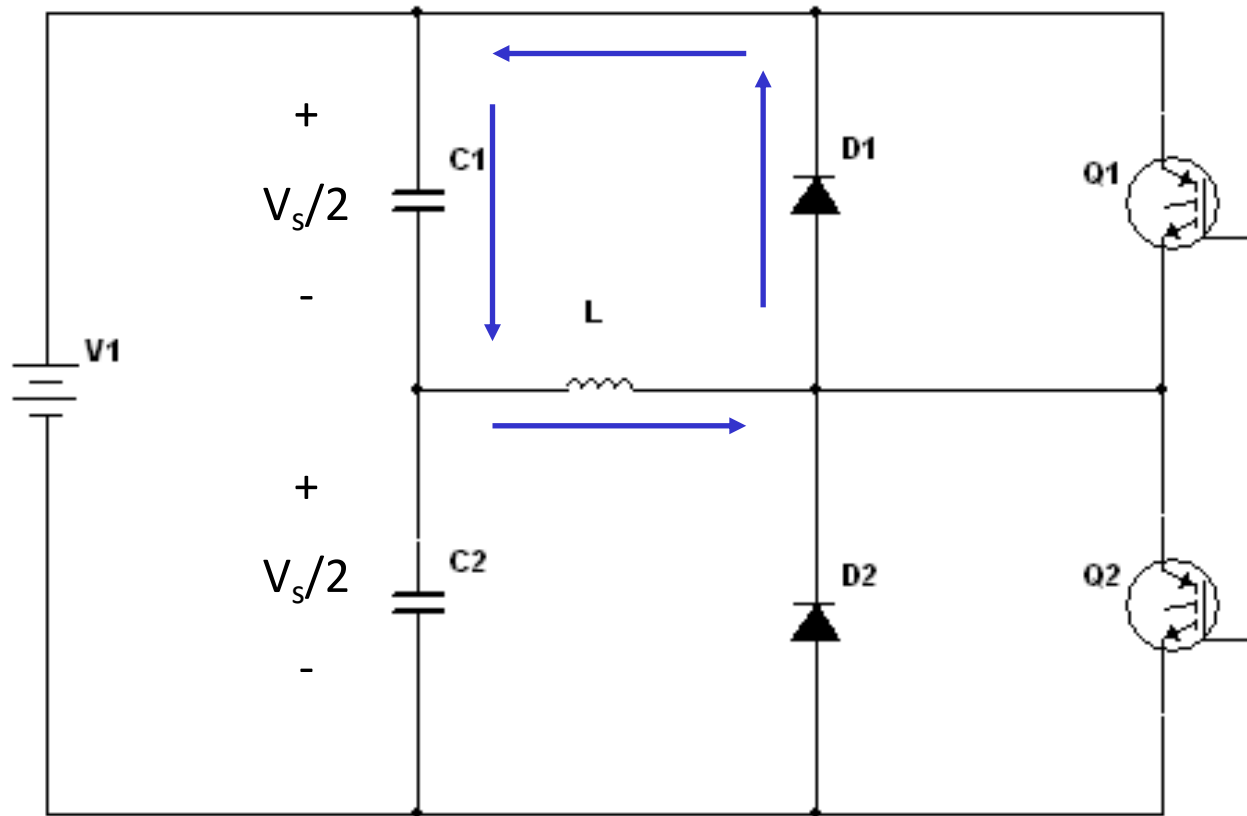
- Endüktif yükte, yük akımı çıkış gerilimiyle ani olarak değişmez. Eğer Q_1 , $t=T_o/2$ 'de kesime sokulursa yük akımı, sıfıra düşene kadar D_2 , yük ve DA kaynağının alt yarısından akmaya devam edecektir. Benzer olarak, $t=T_o$ 'da Q_2 kesime sokulursa yük akımı, sıfıra düşene kadar D_1 , yük ve DA kaynağının üst yarısından akmaya devam edecektir.
- Anahtarlar $T_o/4$ boyunca iletimde kalmaktadır



Turn off Q_1 at $t = T_o/2$
Current falls to 0 via D_2 , L , $V_s/2$ lower



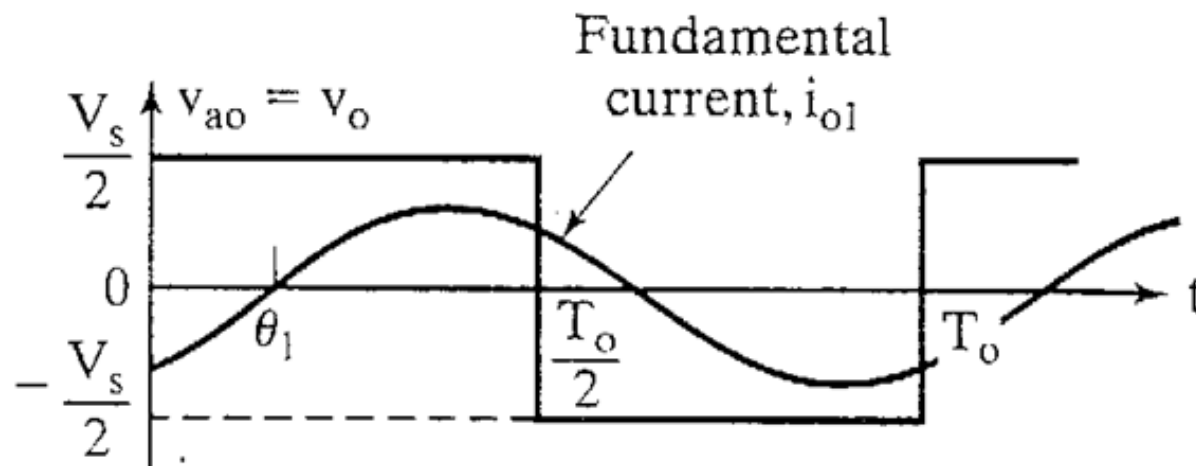
Turn off Q_2 at $t = T_o$
Current falls to 0 via D_1 , L , $V_s/2$ upper



Fourier Series of the output current for an RL load

$$i_o = \frac{v_o}{|Z|} = \frac{v_o}{|R + jn\omega L|} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n)$$

$$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{n\omega L}{R}\right)$$



Fundamental Output Power

In most cases, the useful power

$$P_{o1} = V_{o1} I_{o1} \cos \theta_1 = I_{o1}^2 R$$

$$P_{o1} = \left[\frac{2V_s}{\sqrt{2\pi} \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \right]^2 R$$

Performans Parametreleri

- n. Harmoniğin harmonik katsayısı (HF_n)

$$HF_n = \frac{V_{on}}{V_{o1}} \quad n > 1 \text{ için}$$

V_{on} = n. harmonik bileşenin etkin değeri

V_{o1} = ana bileşenin etkin değeri

Performans Parametreleri

- Toplam Harmonik Bozunum (THD)
- Bir dalga şekli ve onun ana bileşeni arasındaki şekilsel yakınlığın bir ölçümünü belirtir

$$THD = \frac{1}{V_{o1}} \left(\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_{on}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Performans Parametreleri

- Bozunum Katsayısıdır (DF)
- İkinci dereceden bir filtrenin değerlerinin belirlemeksizin istenmeyen harmonikleri azaltmadaki etkinliğin bir ölçümüdür.

$$DF = \frac{1}{V_{o1}} \left[\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_{on}}{n^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$DF_n = \frac{V_{on}}{V_{o1} n^2} \quad \text{for } n > 1$$

Performans Parametreleri

- En düşük dereceli harmonik (LOH)
- LOH, frekansı ana bileşene en yakın olan harmonik bileşenedir ve genliği ana bileşenin % 3'ünden daha büyük ya da eşittir.

ÖRNEK

- $V_s=48V$ ve $R=2.4\Omega$ a) Ana frekanstaki çıkış geriliminin etkin değeri V_{o1} b) P_o çıkış gücünü c) Her bir anahtarın ortalama (I_a) ve tepe akımlarını (I_p) ve ortalama kaynak akımını (I_s) d) Her bir anahtar üzerinde oluşan gerilimi (V_{BR}) e) THD değerlerini bulunuz

$$A)V_{o1} = 0.45V_s = 21.6V$$

$$B)V_o = V_s / 2 = 24V, P_o = V_o^2 / R = 240W$$

$$C)I_p = \frac{V_s / 2}{R} = 10A, I_a = 0.5I_p = 5A, I_s = P_o / V_s = 5A$$

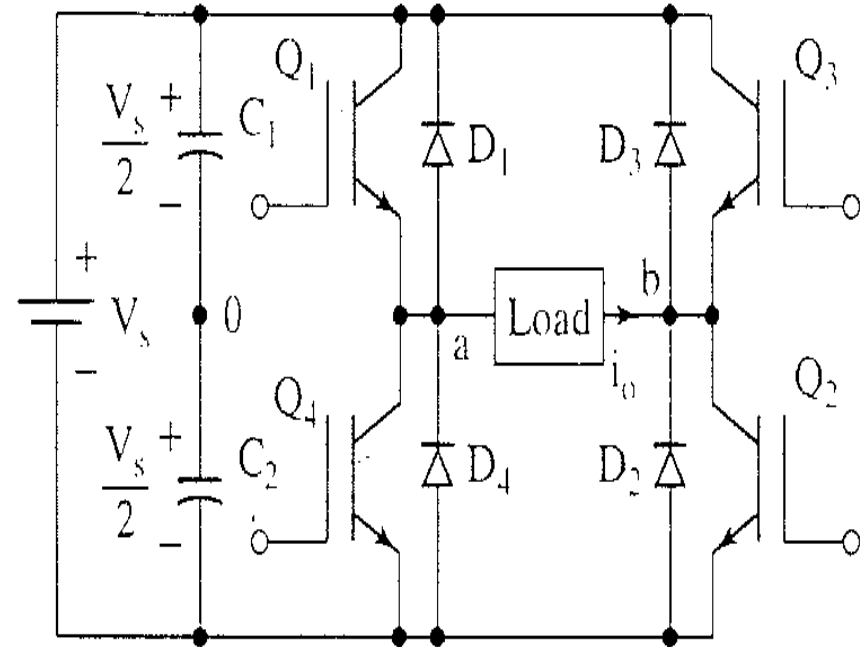
$$D)V_{BR} = V_s = 48V$$

$$E)V_h = \left(\sum_{n=3,5,7..}^{\infty} V_{on}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = (V_o^2 - V_{o1}^2)^{\frac{1}{2}} = 0.2176V_s$$

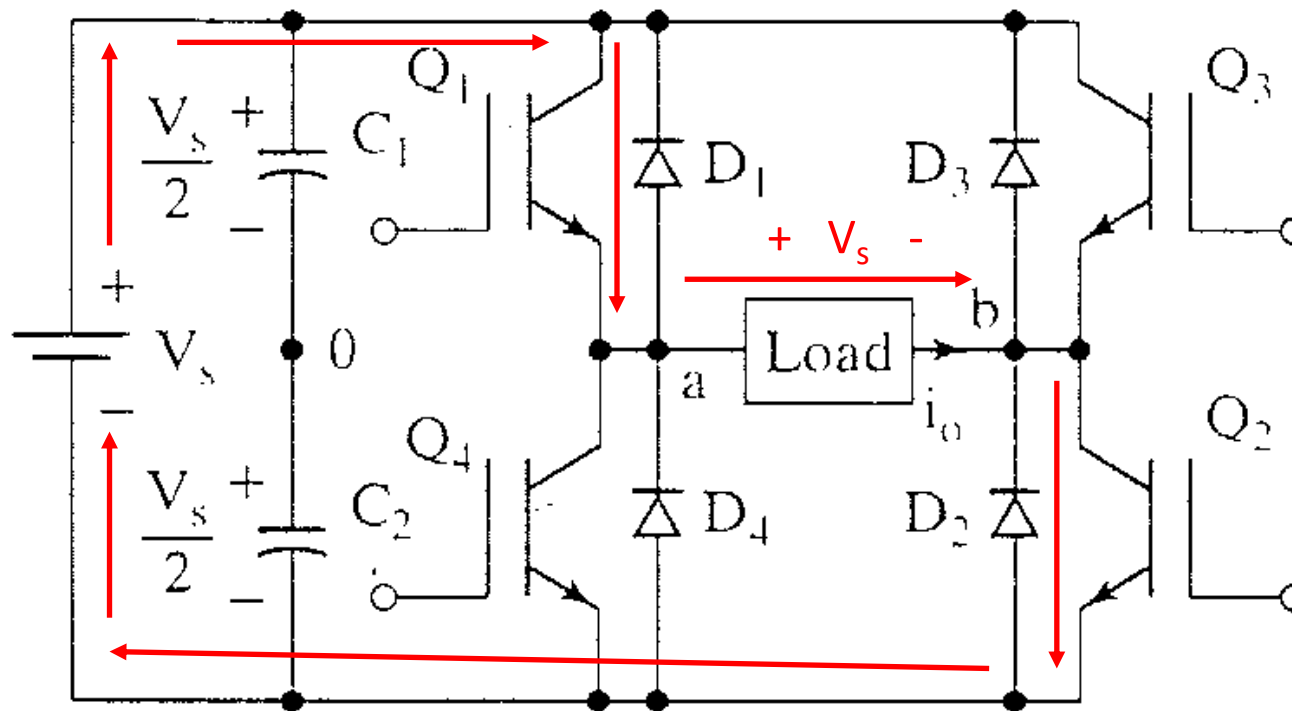
$$THD = \frac{1}{V_{o1}} \left(\sum_{n=3,5,7..}^{\infty} V_{on}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{0.2176V_s}{V_{o1}} = \%48.34$$

Tek Faz Tam Köprü Evirici

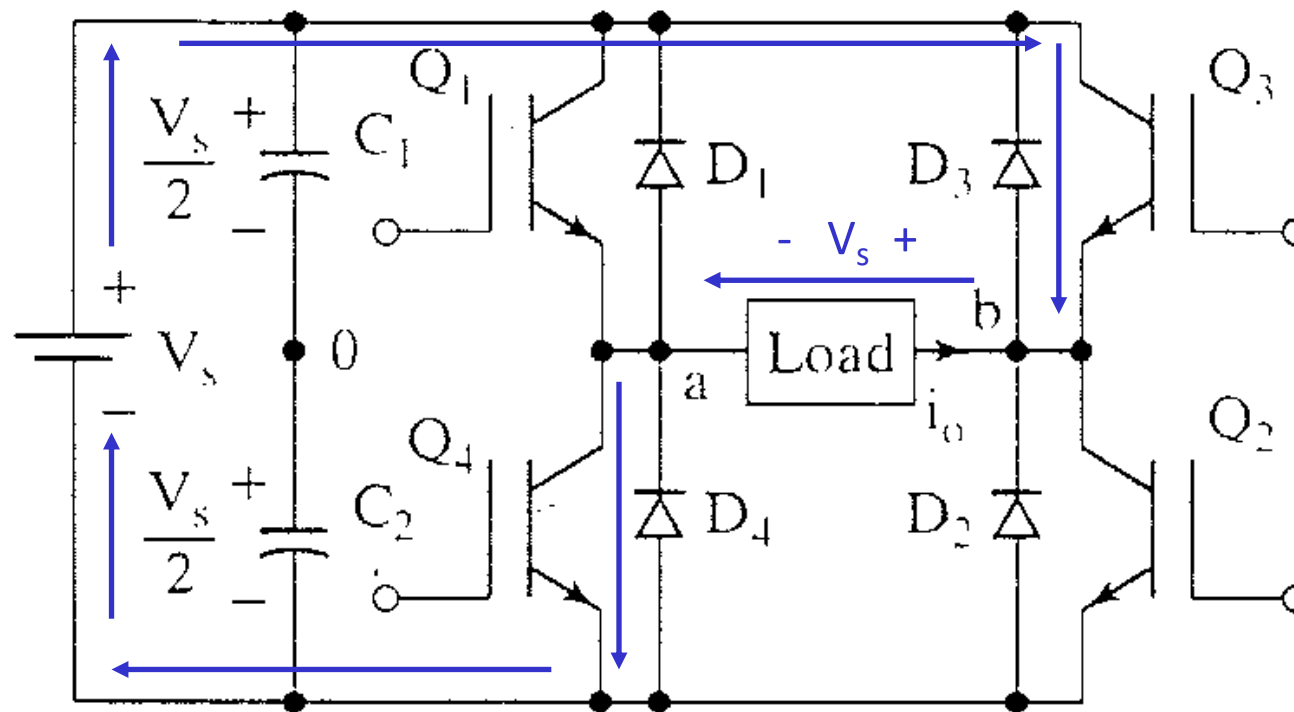
- Q_1 ve Q_2 anahtarları aynı anda ilettime ilettime sokulursa V_s yük uçlarında görülür. Q_3 ve Q_4 anahtarları aynı anda ilettime ilettime sokulursa yük uçlarında $-V_s$ görülür.
- Aynı kol üzerindeki anahtarlar aynı anda iletimde olmamalıdır.



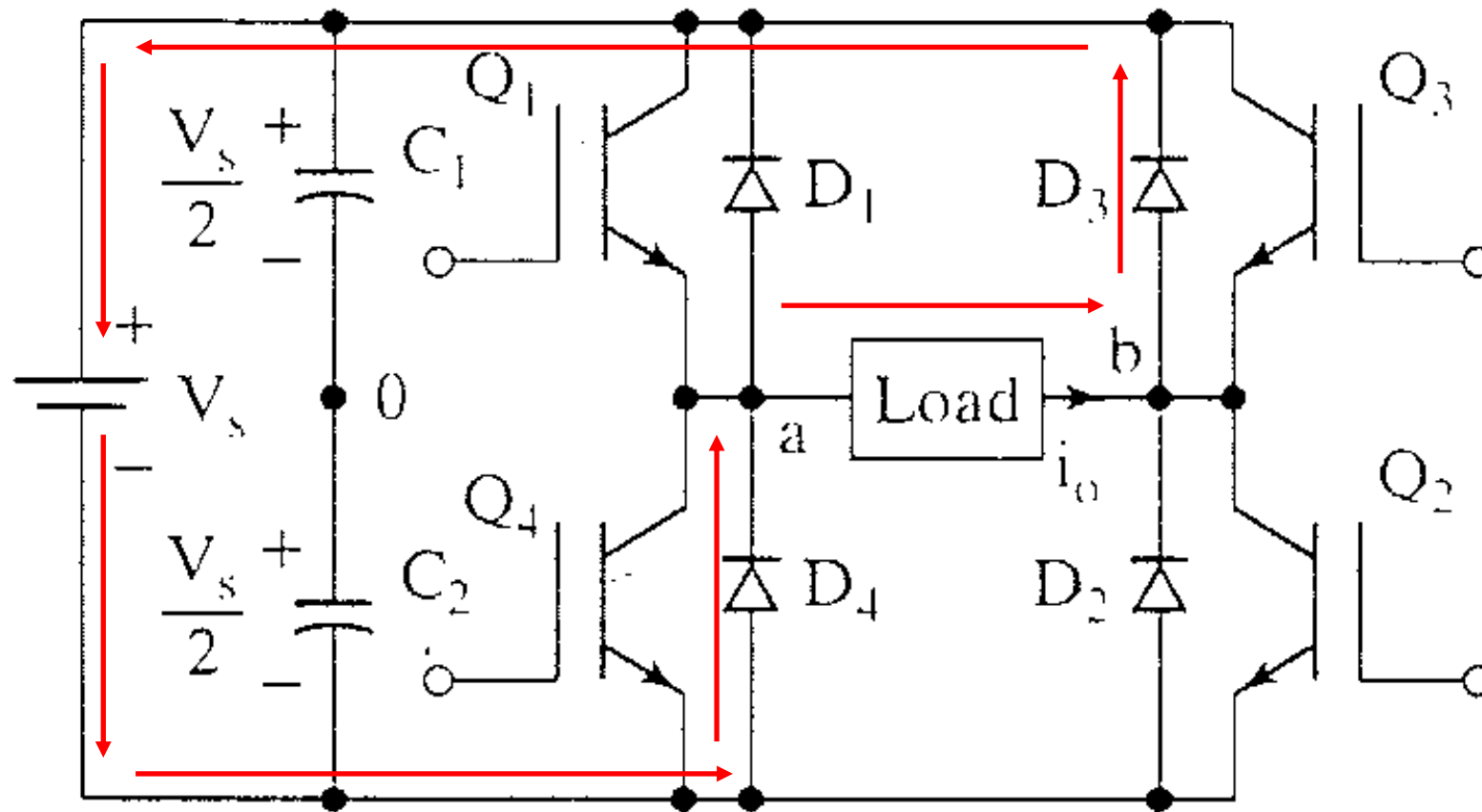
Q_1 - Q_2 on, Q_3 - Q_4 off, $v_o = V_s$



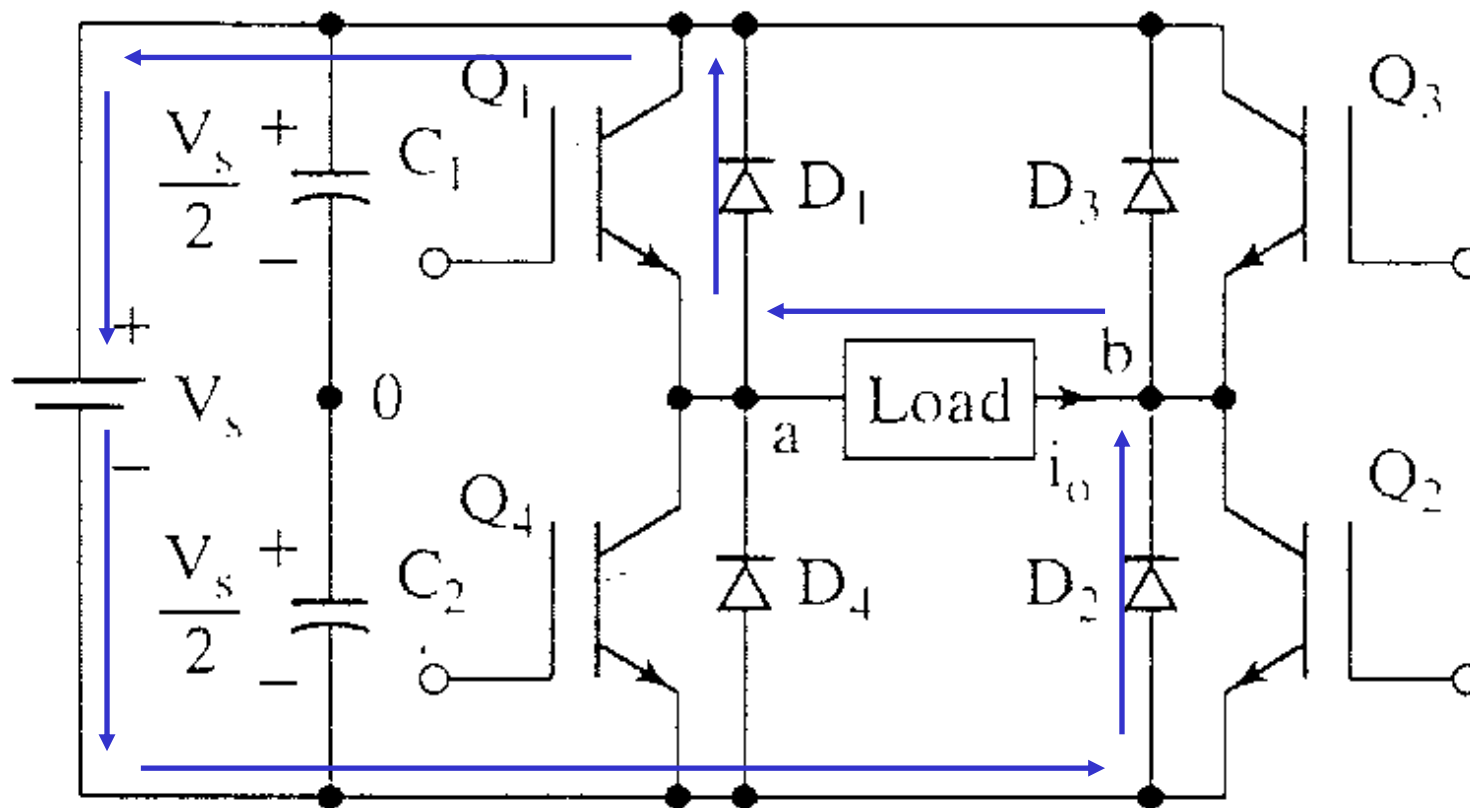
Q_3 - Q_4 on, Q_1 - Q_2 off, $v_o = -V_s$



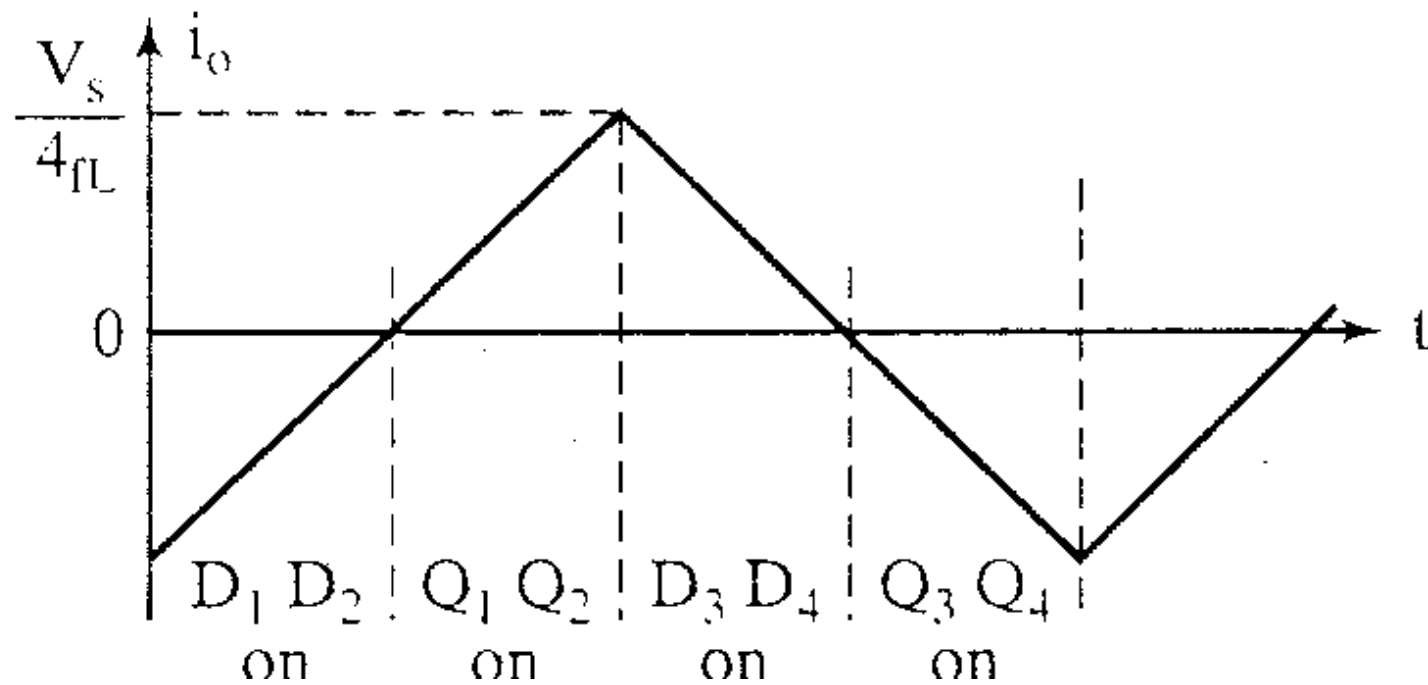
When the load is highly inductive
Turn Q_1 - Q_2 off – Q_3 - Q_4 off



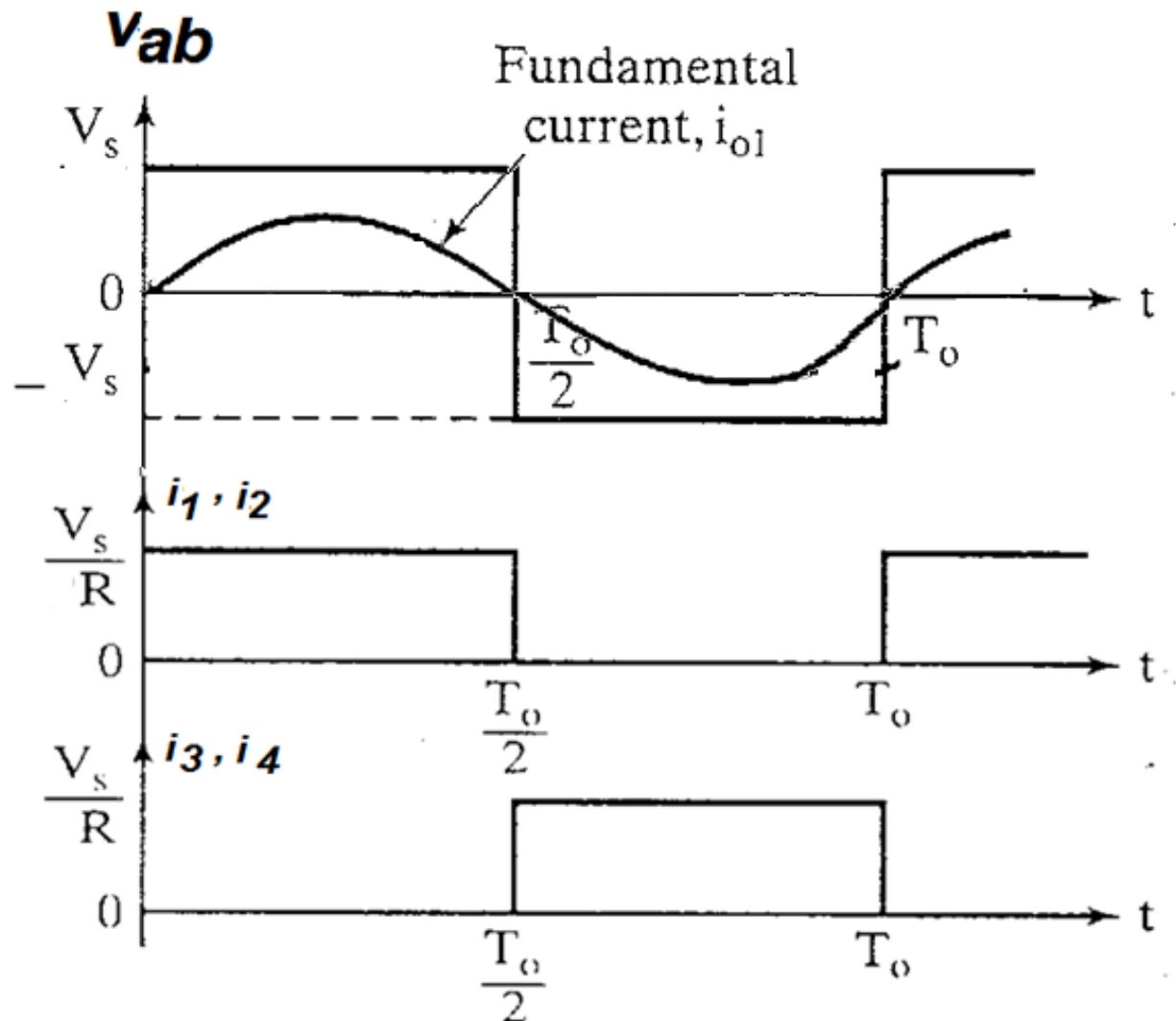
Turn Q_3 - Q_4 off – Q_1 - Q_2 off



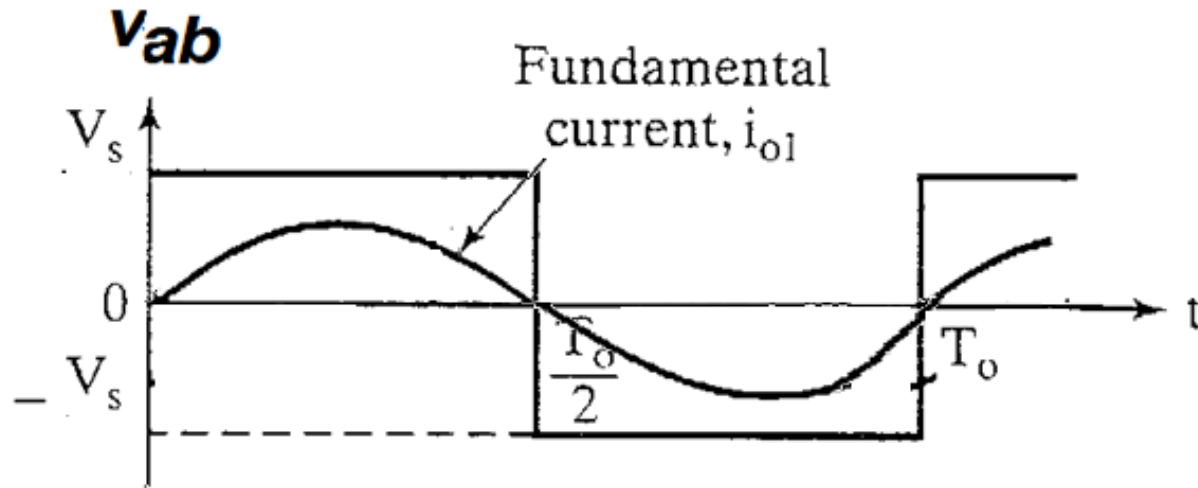
Load current for a highly inductive load



Waveforms with resistive load



Look at the output voltage



rms value of the output voltage, V_o

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{\frac{T_o}{2}} V_s^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} = V_s$$

Fourier Series of the instantaneous output voltage

$$v_o = \sum_{n=1,3,5,..}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin n\omega t$$

$$V_{o1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4V_s}{\pi}$$

$$V_{o1} = 0.9V_s$$

$$i_o = \frac{v_o}{Z} = \frac{v_o}{R + jn\omega L} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n)$$

$$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{n\omega L}{R}\right)$$

ÖRNEK

- Tek faz tam köprü evirici için $V_s=48V$ ve $R=2.4\Omega$ olarak verilmektedir. a) Ana frekanstaki çıkış geriliminin etkin değeri V_{o1} b) P_o çıkış gücünü c) Her bir anahtarın ortalama (I_a) ve tepe akımlarını (I_p) ve ortalama kaynak akımını (I_s) d) Her bir anahtar üzerinde oluşan gerilimi (V_{BR}) e) THD değerlerini bulunuz

$$A)V_{o1} = 0.9V_s = 43.2V$$

$$B)V_o = V_s = 48V, P_o = V_s^2 / R = 9600W$$

$$C)I_p = \frac{V_s}{R} = 20A, I_a = 0.5I_p = 10A, I_s = P_o / V_s = 20A$$

$$D)V_{BR} = V_s = 48V$$

$$E)V_h = \left(\sum_{n=3,5,7..}^{\infty} V_{on}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = (V_o^2 - V_{o1}^2)^{\frac{1}{2}} = 0.4359V_s$$

$$THD = \frac{1}{V_{o1}} \left(\sum_{n=3,5,7..}^{\infty} V_{on}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{0.4359V_s}{V_{o1}} = \%48.43$$

ÖRNEK

- Tek faz tam köprü evirici için $V_s=220\text{V}$, $L=31.5\text{mH}$, $C=112\mu\text{F}$, $R=10\Omega$ ve evirici frekansı (f_o)= 60 Hz olarak verilmektedir. a) Ani yük akımını Fourier seri ile ifade ediniz. b) I_{o1} c) Yük akımının THD d) P_o çıkış gücünü ve P_{o1} ana gücünü e) Ortalama kaynak akımını (I_s) f) Etkin yük açısı θ 'yı hesaplayınız.

$$X_L = nj\omega L = nj11.87\Omega, X_C = \frac{1}{nj\omega C} = \frac{-j23.68}{n}\Omega,$$

$$|Z_n| = \sqrt{R^2 + (n\omega L - \frac{1}{n\omega C})^2} = [10^2 + (11.87n - 23.68/n)^2]^{1/2}$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \frac{11.87n - 23.68/n}{10} = \tan^{-1}$$

$$A)v_o(t) = 280.1\sin(377t) + 93.4\sin(3 \times 377t) + 56.02\sin(5 \times 377t) \\ + 40.02\sin(7 \times 377t) + 31.12\sin(9 \times 377t) + ..$$

$$i_o(t) = v_o(t) / |Z_n| = 18.1\sin(377t + 49.72^\circ) + 3.17\sin(3 \times 377t - 70.17^\circ) \\ + \sin(5 \times 377t - 79.63^\circ) + 0.5\sin(7 \times 377t - 82.85^\circ) + 0.3\sin(9 \times 377t - 84.52^\circ)$$

$$B) I_{m1} = 18.1A, I_{o1} = I_{m1} / \sqrt{2} = 18.1 / \sqrt{2} = 12.8A$$

$$C) I_m = (18.1^2 + 3.17^2 + 1.0^2 + 0.5^2 + 0.3^2)^{1/2} = 18.41A$$

$$THD = \frac{(I_m^2 - I_{m1}^2)^{1/2}}{I_{m1}} = \left[\left(\frac{18.41}{18.1} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} = 18.59\%$$

$$D) I_o = I_m / \sqrt{2} = 18.41 / \sqrt{2} = 13.02A, P_o = I_o^2 \times R = 1695W$$

$$P_{o1} = I_{o1}^2 \times R = \left(\frac{18.1}{\sqrt{2}} \right)^2 \times 10 = 1638.4W$$

$$E) I_s = P_o / V_s = 1695 / 220 = 7.7A$$

$$THD = \frac{1}{V_{o1}} \left(\sum_{n=3,5,7..}^{\infty} V_{on}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{0.4359V_s}{V_{o1}} = \%48.43$$

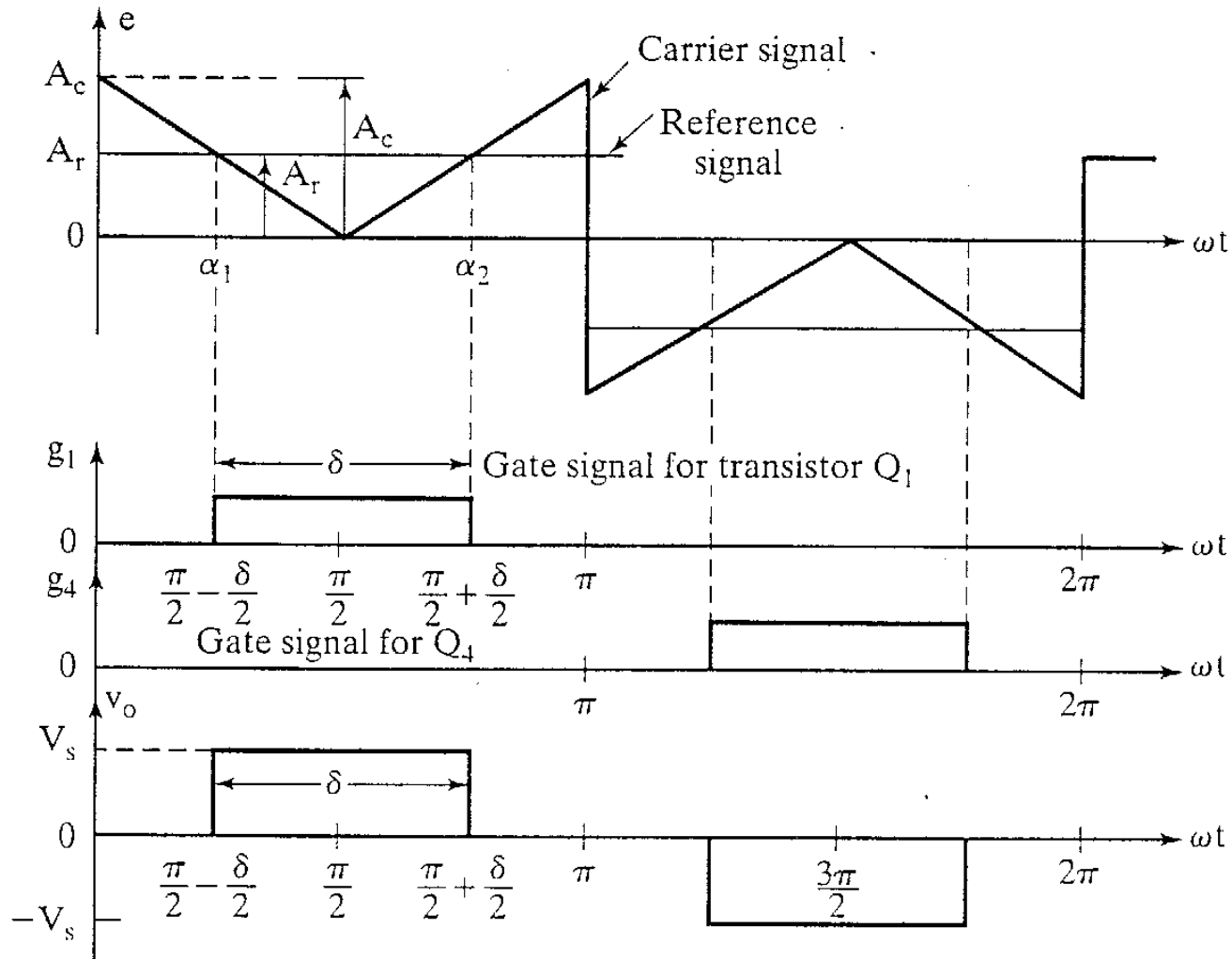
$$F) \cos \theta = \frac{P_o}{V_o I_o} = \frac{1695}{220 \times 13.02}$$

$$\theta = 53.73^\circ$$

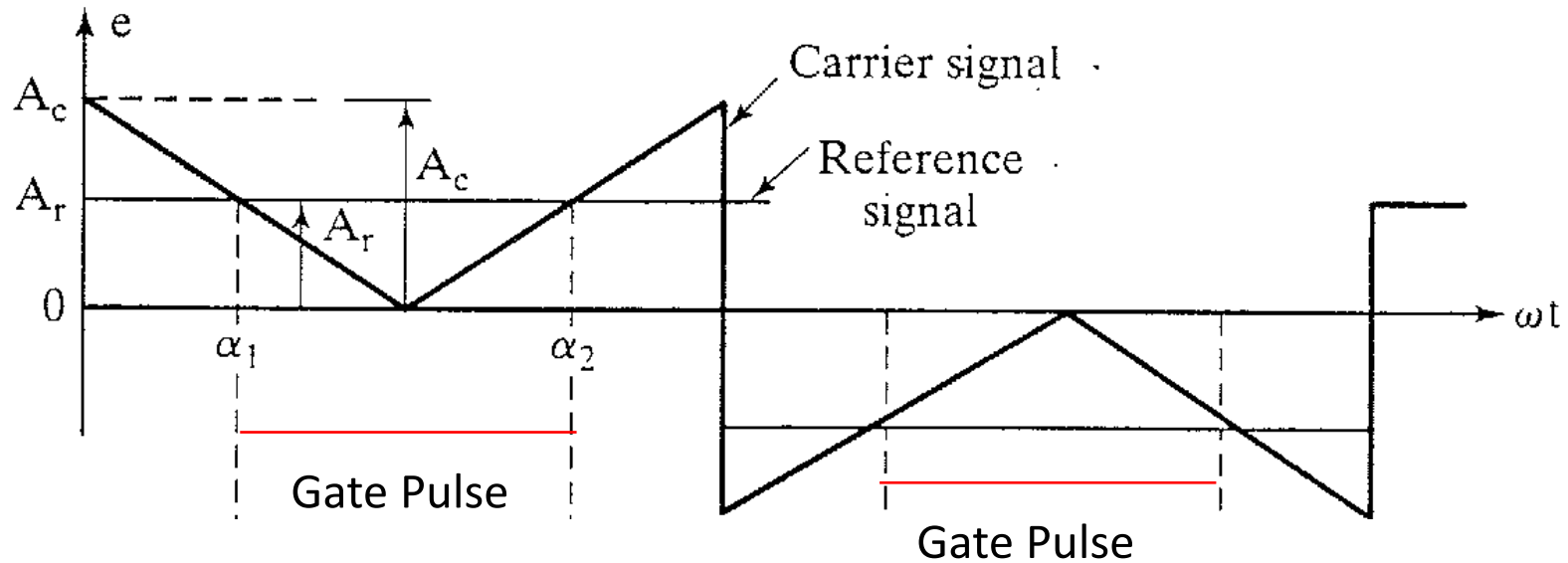
Tek Fazlı Eviricilerin Gerilim Kontrolü

- Tek Darbe Genişlik Modülasyonu
- Çoklu Darbe Genişlik Modülasyonu
- Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu
- Değiştirilmiş Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu
- Faz kaydırmalı kontrol

Tek Darbe Genişlik Modülasyonu

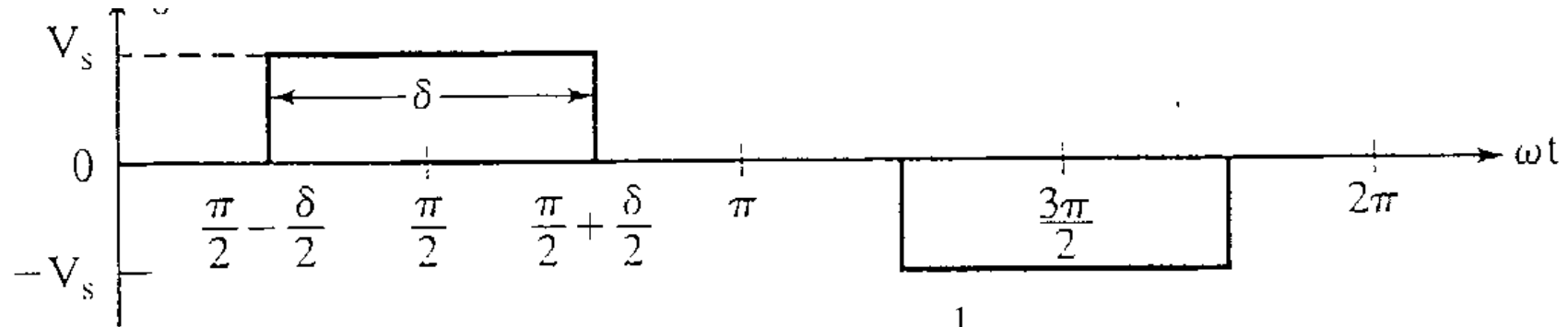


Taşıyıcı (Carrier) ve Referans (Reference) Sinyali



- Modülasyon indeksi= $M = A_r/A_c$

Çıkış geriliminin Etkin değeri



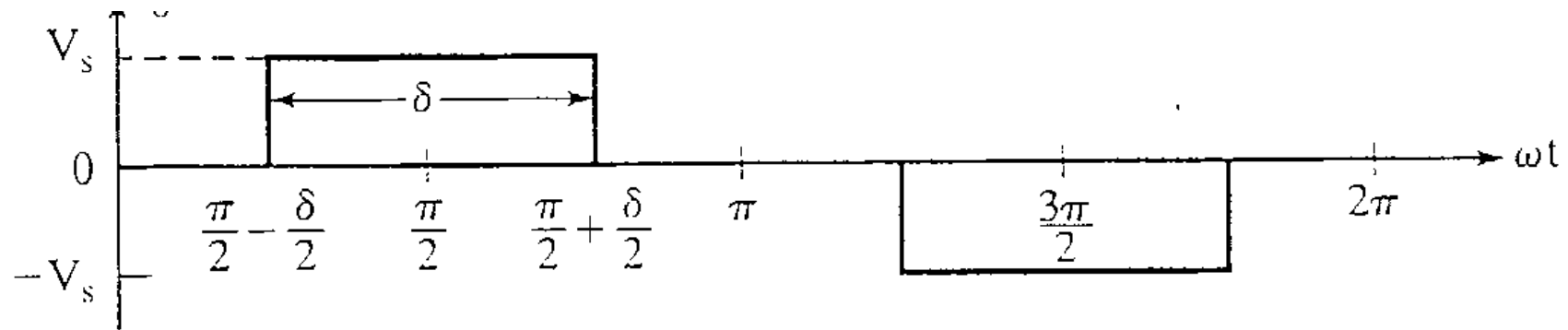
$$V_o = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\frac{\pi-\delta}{2}}^{\frac{\pi+\delta}{2}} V_s^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_o = V_s \sqrt{\frac{\delta}{\pi}}$$

$$0^\circ \leq \delta \leq 180^\circ$$

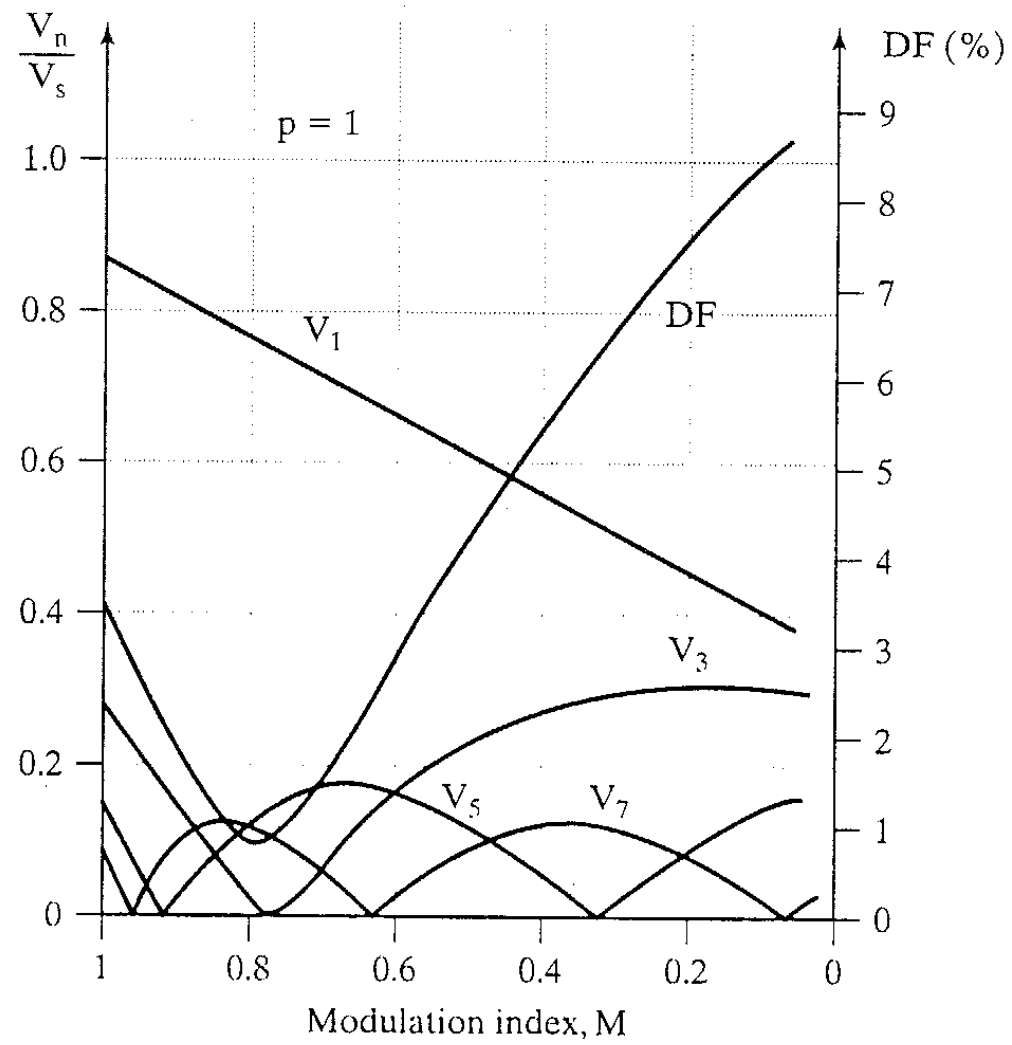
$$0 \leq V_o \leq V_s$$

Çıkış geriliminin Fourier Seri Açılımı

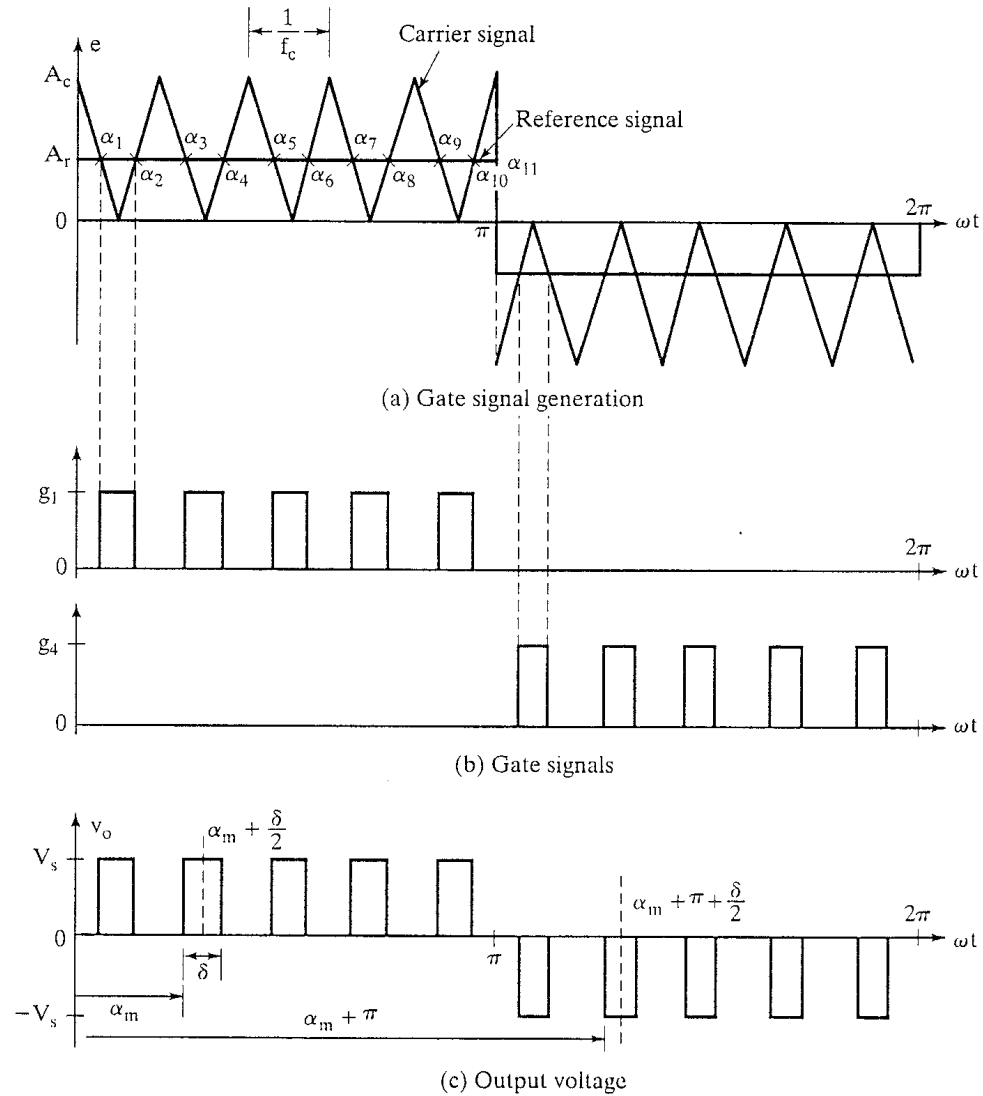


$$v_o(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} \sin n\omega t$$

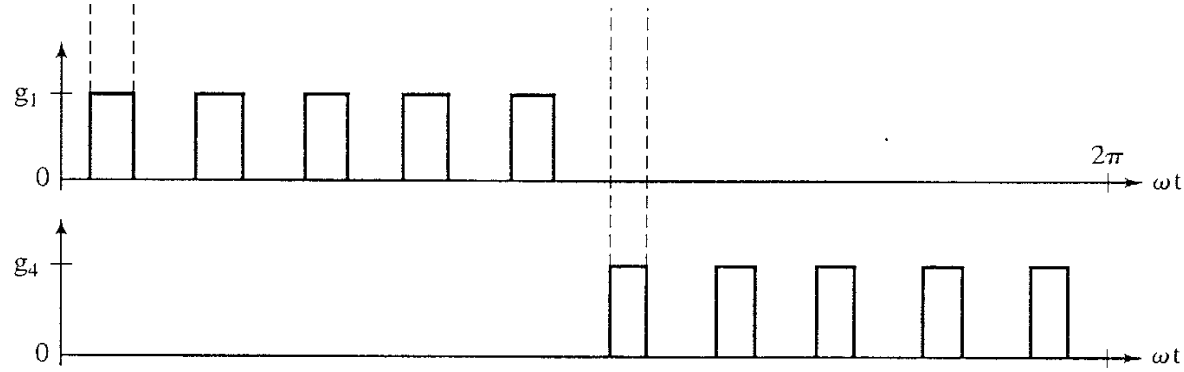
Harmonic Profile



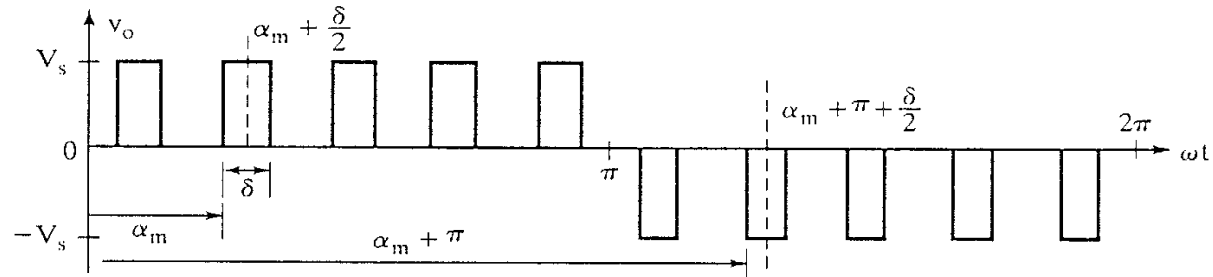
Çoklu Darbe Genişlik Modülasyonu



Kapı Sinyalleri ve Çıkış Gerilimi



(b) Gate signals



(c) Output voltage

Yarım periyottaki darbe sayısı= $p = f_c/2f_o = m_f/2$. Burada m_f = frekans modülasyon oranıdır. f_c taşıyıcı sinyalin frekansıdır. f_o çıkış sinyalin frekansıdır

Çıkış Gerilimin Etkin değeri

$$V_o = \left[\frac{2p}{2\pi} \int_{(\frac{\pi}{p}-\delta)/2}^{(\frac{\pi}{p}+\delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_o = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}}$$

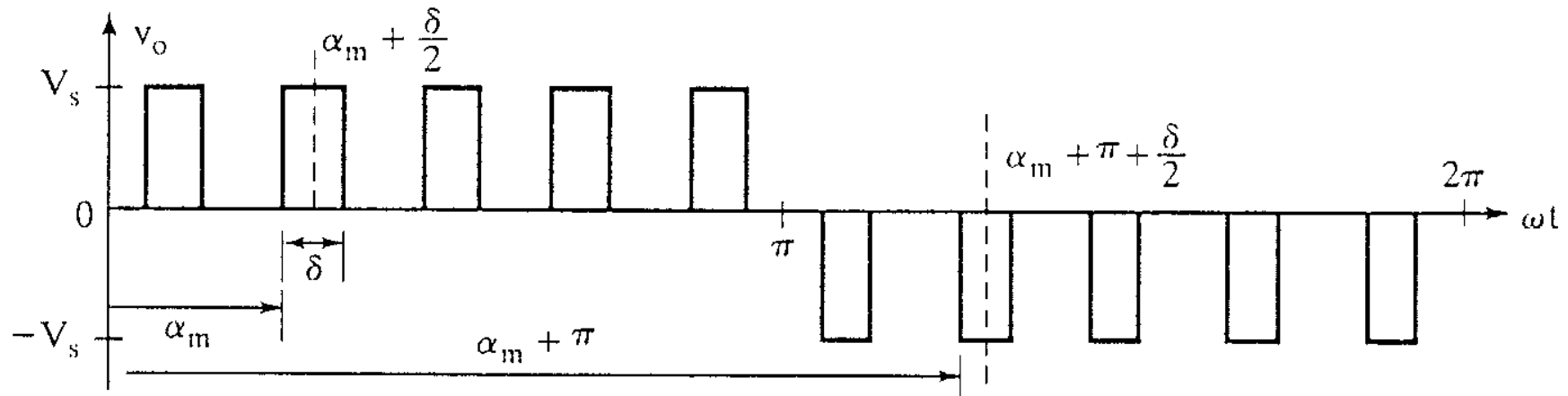
$$0 \leq M \leq 1$$

$$0 \leq \delta \leq \frac{T}{2p}$$

$$0 \leq \delta \leq \frac{\pi}{p}$$

$$0 \leq V_o \leq V_s$$

Çıkış geriliminin Etkin değeri



$$v_o(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} B_n \sin n\omega t$$

$$B_n = \sum_{m=1}^{2p} \frac{4V_s}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{4} \left[\sin n\left(\alpha_m + \frac{3\delta}{4}\right) - \sin n\left(\pi + \alpha_m + \frac{\delta}{4}\right) \right]$$

Harmonic Profile

