

Anahtarlama Modlu DA-AA Evirici

- Giriş
- Anahtarlama modlu eviricilerde temel kavramlar
- Bir fazlı eviriciler
- Üç fazlı eviriciler
- Ölü zamanın PWM eviricinin çıkış gerilimine etkisi
- Diğer evirici anahtarlama yöntemleri
- Doğrultucu modlu çalışma
- Not :Evriciler, AA motor sürücüleri ve kesintisiz güç kaynaklarında kullanılan güç dönüştürücüleridir.

- AA motor sürücüleri ve kesintisiz güç kaynaklarında kullanılırlar,
 - Bu nedenle genliği ve frekansı kontrol edilebilen bir gerilim üretmelidirler,
 - Eviriciler,
 - A) Girişinde doğru gerilim kaynağı bulunan Gerilim Kaynaklı Evirici (VSI)
 - B) Girişinde doğru akım kaynağı bulunan Akım Kaynaklı Evirici olmak üzere iki gruba ayrılabilirler
- CSI' lar genellikle büyük gücü AA motor sürücülerinde kullanılırlar.

- VSI lar üç sınıfa ayrılırlar:
 - a) Kare Dalga Eviriciler (Çıkış geriliminin genliği ancak besleme gerilimi ile kontrol edilebilir. Çıkış gerilimi kare dalga biçimindedir)
 - b) Sinüs Benzetimli (Kısmi Kare Dalga) Eviriciler (Çıkış geriliminin genlik ve frekansı ayarlanabilir. Sadece bir fazlı olarak uygulanabilmektedir.)
 - c) PWM (Darbe Genişlik Modülasyonlu) Eviriciler (Çıkış geriliminin hem frekansı hem de genliği kontrol edilebilir. Çıkış geriliminin dalga şekli sinüse yakındır.)

Anahtarlama Modlu DA-AA Evirici

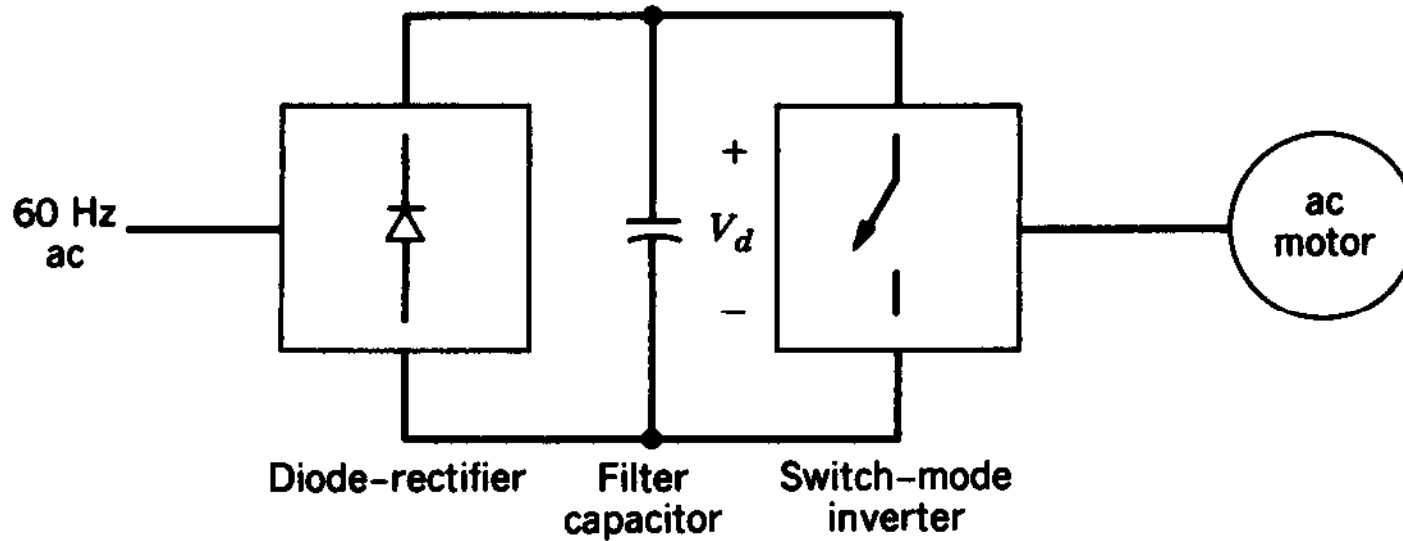


Figure 8-1 Switch-mode inverter in ac motor drive.

- Güç akışının tek yönlü olduğu bir motor sürücüsünün blok diyagramı

Anahtarlama Modlu DA-AA Evirici

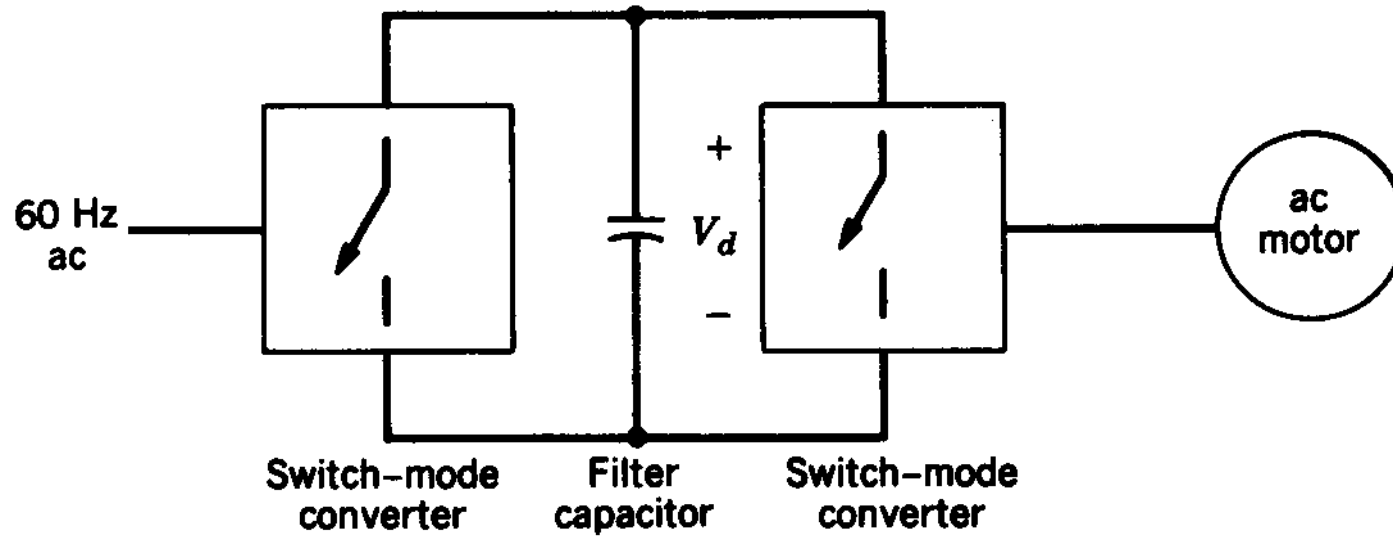


Figure 8-2 Switch-mode converters for motoring and regenerative braking in ac motor drive.

- Güç akışının iki yönlü olduğu bir motor sürücüsünün blok diyagramı

- Şekil 8.1 deki evirici enerjinin iki yönde akmasına imkan tanıyan bir eviricidir. Motor frenlenirken yükte biriken kinetik enerji geri kazanılır ve DA tarafa aktarılır ve kondansatöre paralel bağlı direnç üzerinde harcanır.
- Eğer DA tarafa aktarılan gücün kaynağa dönmesi isteniyorsa doğrultucu olarak akımın iki yönde akmasına imkan veren bir devre seçilmelidir. Bu ters paralel bağlı kontrollü/kontROLSÜZ doğrultucu kullanarak veya anahtarlamaalı doğrultucu kullanarak mümkün olur (Şekil 8.2).

Anahtarlama Modlu DA-AA Evirici

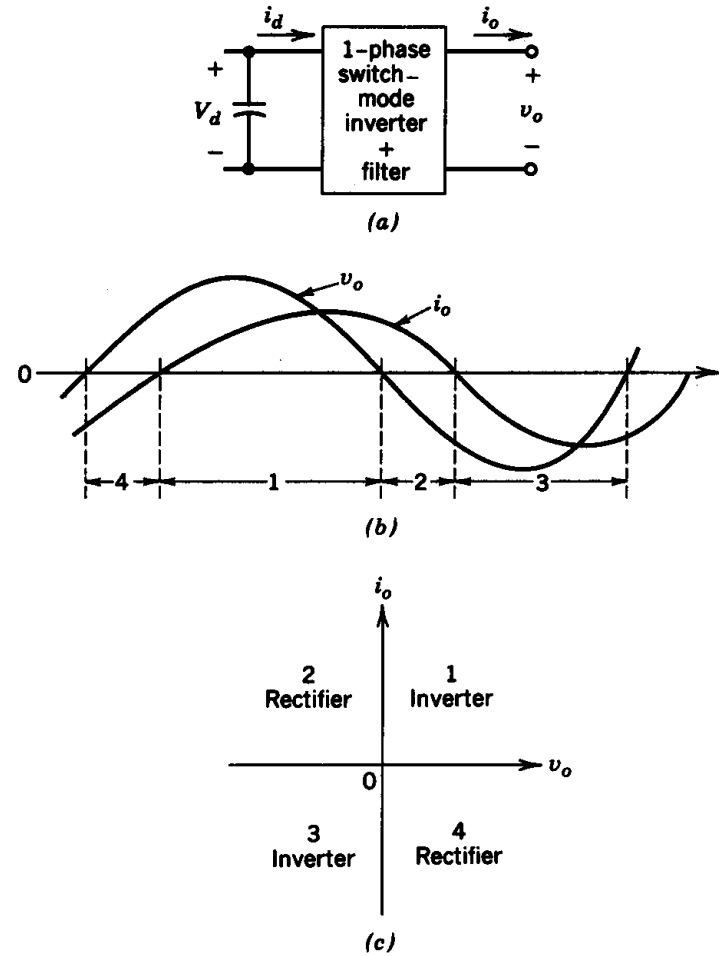


Figure 8-3 Single-phase switch-mode inverter.

- Endüktif yüklü bir eviricinin dört çeyrek çalışması

Anahtarlama Modlu DC-AC Eviricinin Tek Kolu

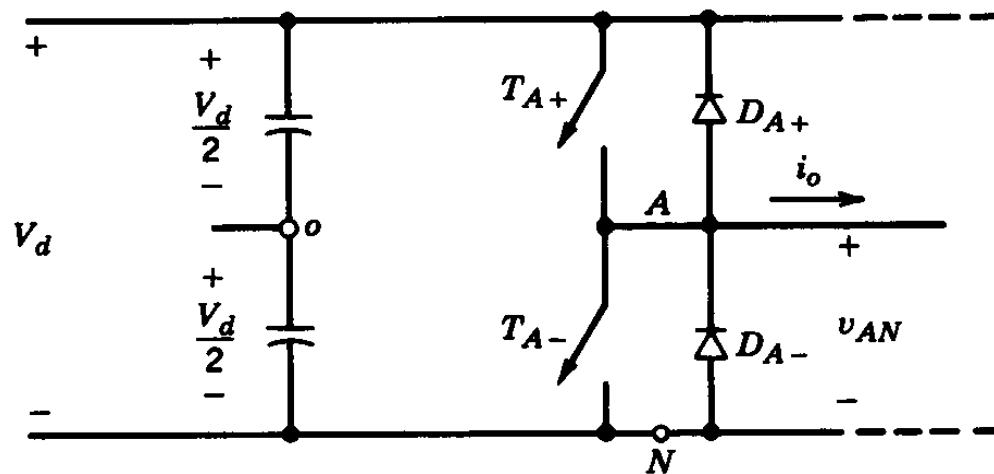


Figure 8-4 One-leg switch-mode inverter.

- o noktası hayali orta noktadır

Kare Dalga Çalışma

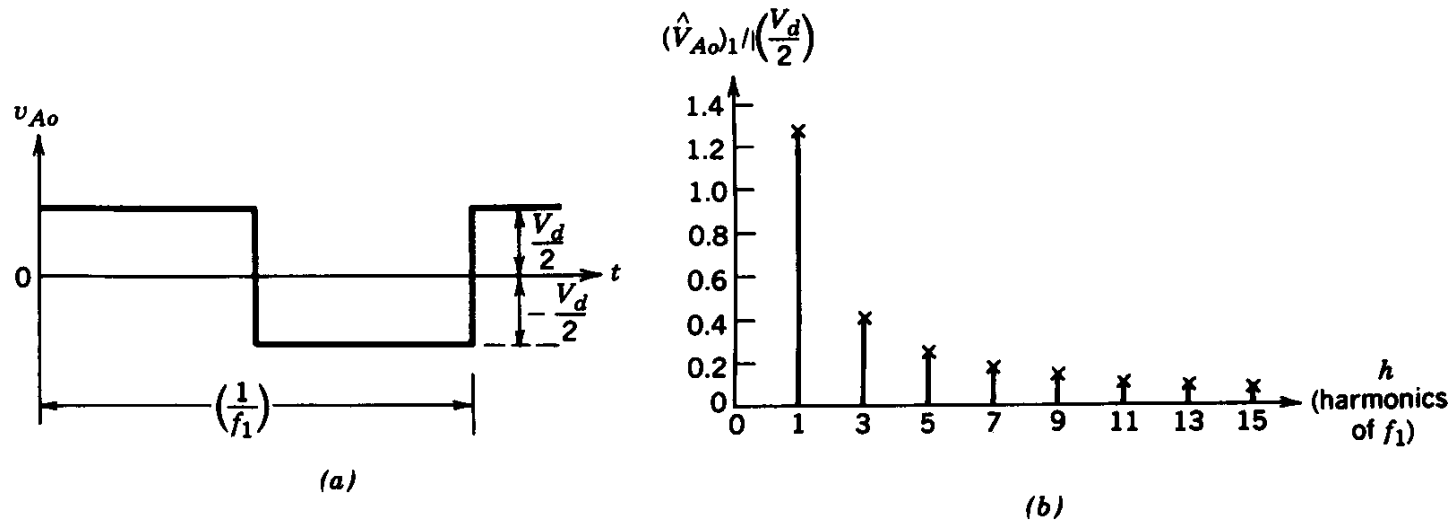


Figure 8-9 Square-wave switching.

- Harmonikler temel bileşenin katları olan frekanslarda oluşmaktadır.

Faz Kaydırmalı Çıkış Kontrolü

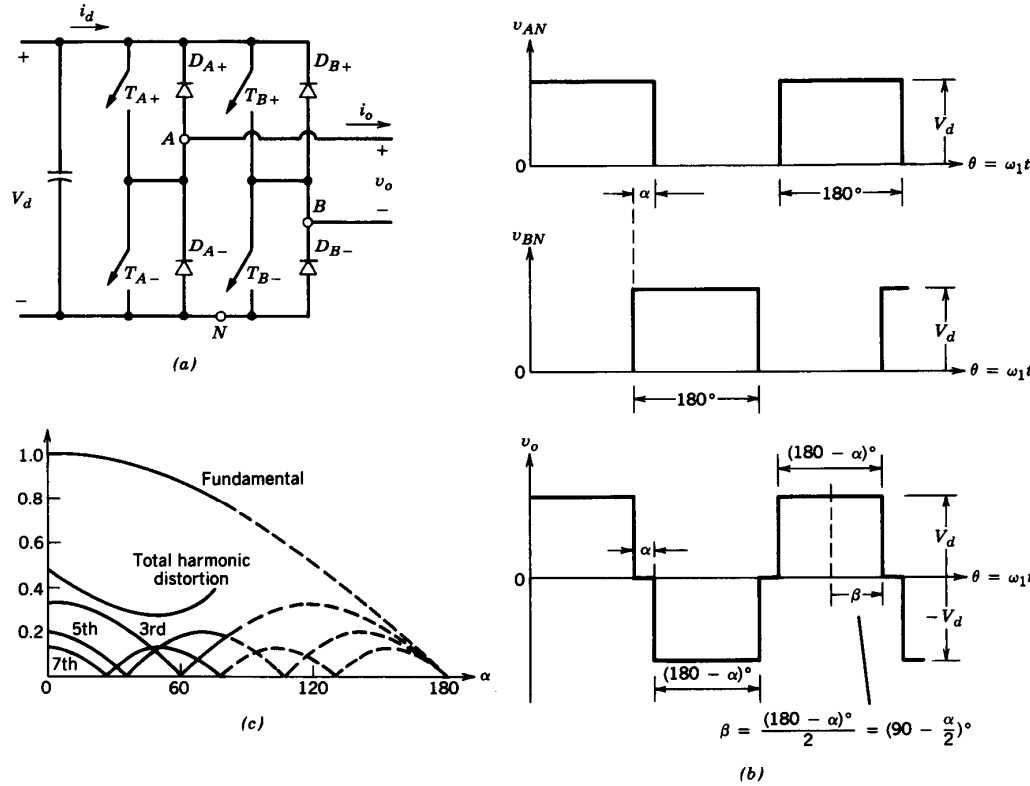


Figure 8-17 Full-bridge, single-phase inverter control by voltage cancellation: (a) power circuit; (b) waveforms; (c) normalized fundamental and harmonic voltage output and total harmonic distortion as a function of α .

- Faz kaydırma yönteminde α açısının kontrolü ile çıkış gerilimi kontrol edilebilir.

Altı Adımlı Evirici (Six Step Inverter)

➤ Altı Adımlı Üç Fazlı Gerilim Kaynaklı Evirici

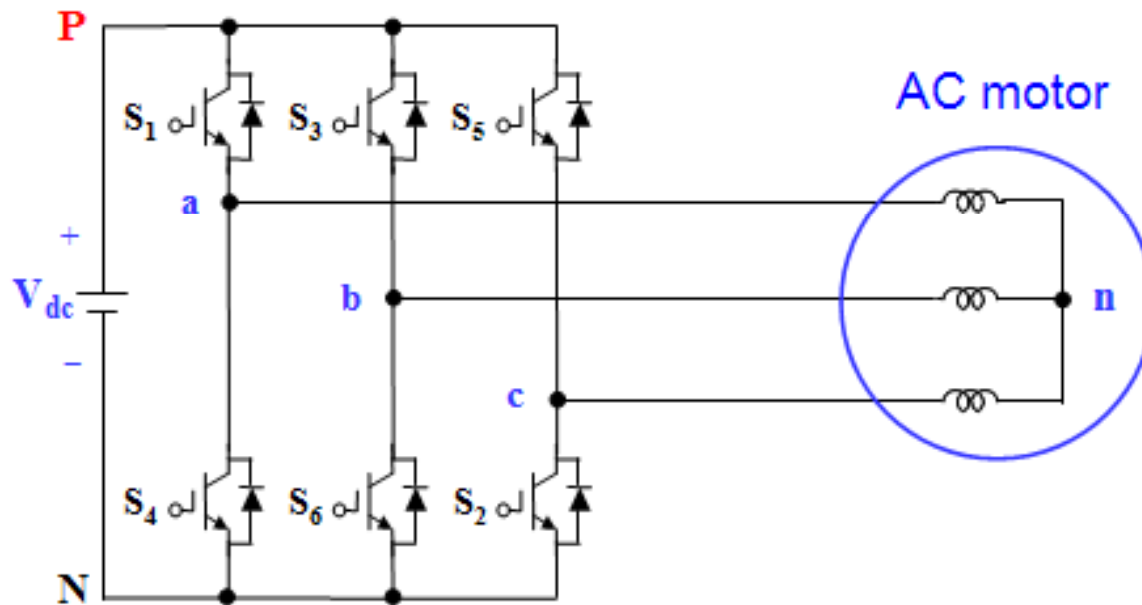


Fig. 1 Üç fazlı gerilim kaynaklı evirici

Altı Adımlı Evirici (Six Step Inverter)

➤ Gate sinyalleri, anahtarlama sıralaması ve faz nötr gerilimleri

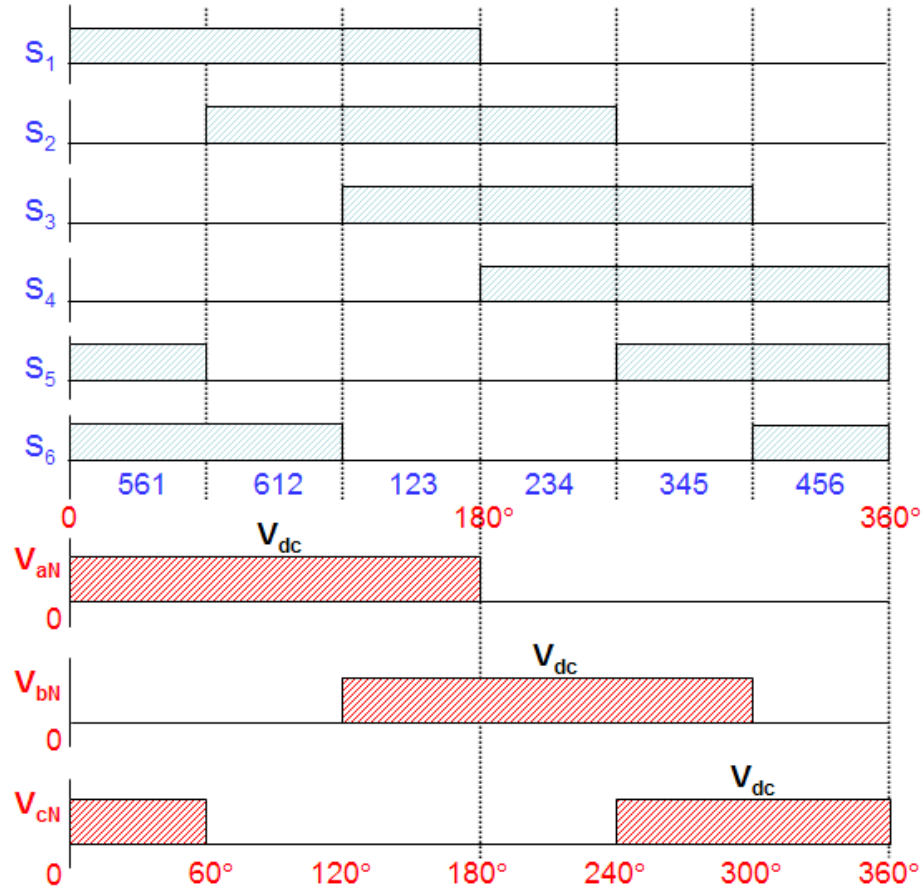


Fig. 2 Altı adımlı gerilim kaynaklı eviricinin gate sinyalleri anahtarlama sıralaması, faz-nötr gerilimleri

Altı Adımlı Evirici (Six Step Inverter)

➤ Faz-faz (Hat) gerilimleri (V_{ab} , V_{bc} , V_{ca}) ve faz-nötr gerilimleri (V_{an} , V_{bn} , V_{cn})

♦ Faz-nötr gerilimleri

$$\Rightarrow V_{ab} = V_{aN} - V_{bN}$$

$$\Rightarrow V_{bc} = V_{bN} - V_{cN}$$

$$\Rightarrow V_{ca} = V_{cN} - V_{aN}$$

♦ Faz-faz gerilimleri

$$\Rightarrow V_{an} = \frac{2}{3}V_{aN} - \frac{1}{3}V_{bN} - \frac{1}{3}V_{cN}$$

$$\Rightarrow V_{bn} = -\frac{1}{3}V_{aN} + \frac{2}{3}V_{bN} - \frac{1}{3}V_{cN}$$

$$\Rightarrow V_{cn} = -\frac{1}{3}V_{aN} - \frac{1}{3}V_{bN} + \frac{2}{3}V_{cN}$$

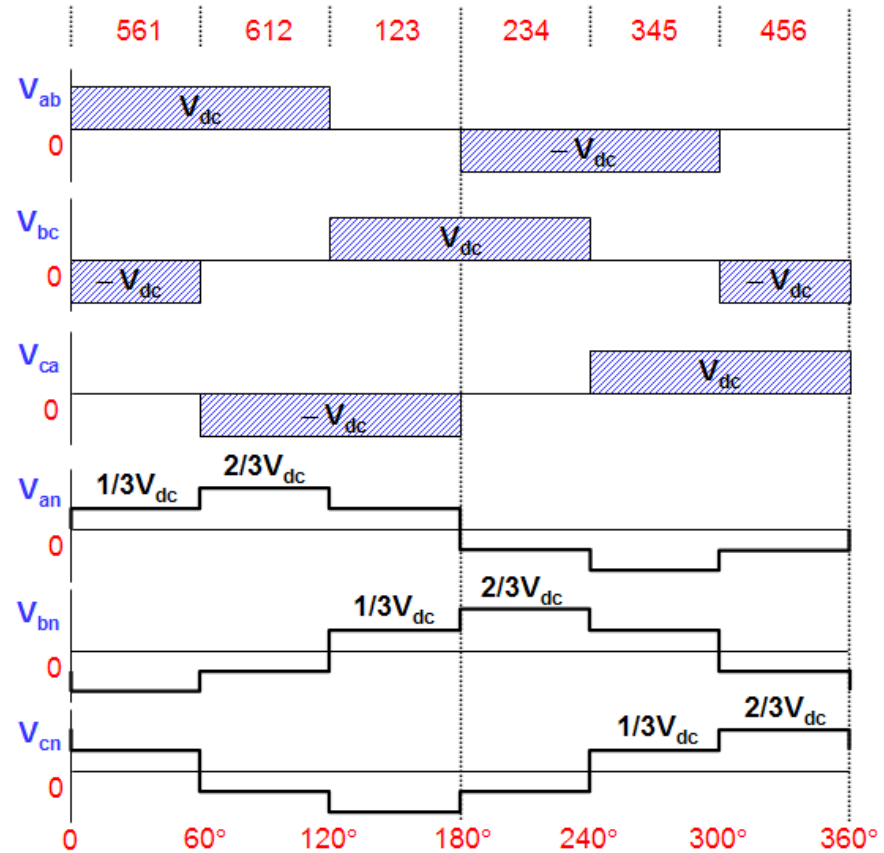


Fig. 4 Altı adımlı gerilim kaynaklı eviricinin faz-nötr ve faz-faz gerilimleri

Altı Adımlı Evirici (Six Step Inverter)

➤ **Faz-faz gerilimlerinin genliği (V_{ab} , V_{bc} , V_{ca})**

♦ **Temel frekans bileşeni (V_{ab})₁**

$$(V_{ab})_1(\text{rms}) = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \frac{4}{\pi} \frac{V_{dc}}{2} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} V_{dc} \approx 0.78 V_{dc}$$

♦ **Harmonik bileşenleri (V_{ab})_h**

: harmonik bileşenlerin genlikleri harmonik derecesi ile birlikte düşer

$$(V_{ab})_h(\text{rms}) = \frac{0.78}{h} V_{dc}$$

$$h = 6n \pm 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

Altı Adımlı Evirici (Six Step Inverter)

➤ Altı adımlı gerilim kaynaklı evirici karakteristiği

- ♦ Faz-nötr gerilimin dalga şeklinde altı “adım” bulunduğu için “Altı Adımlı Evirici” olarak adlandırılır.
- ♦ Üç ve üçün katı olan harmonikler faz-nötr ve faz-faz gerilimlerinde ve bunun sonucu olarak da akımlarda bulunmaz.
- ♦ Üç fazlı eviricinin çıkış gerilim seviyesi ancak DA gerilim seviyesi (V_{dc}) değiştirilerek kontrol edilebilir.

Anahtarlama Modlu DC-AC Eviricinin Tek Kolu

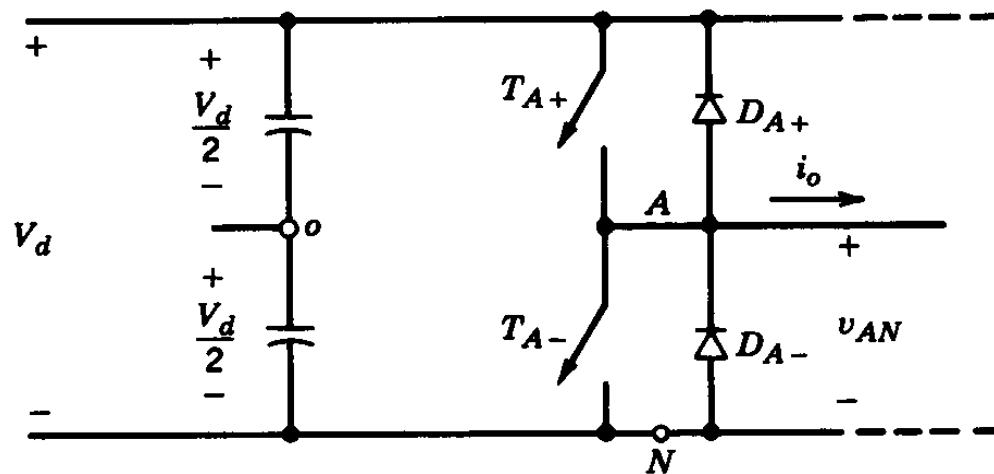


Figure 8-4 One-leg switch-mode inverter.

- o noktası hayali orta noktadır

PWM ile Sinüsoidal Çıkışın Üretilmesi

Modülasyon Genliği:

$$m_a = \frac{\hat{V}_{kontrol}}{\hat{V}_{üçgen}}$$

Frekans Modülasyonu:

$$m_f = \frac{f_s}{f_1}$$

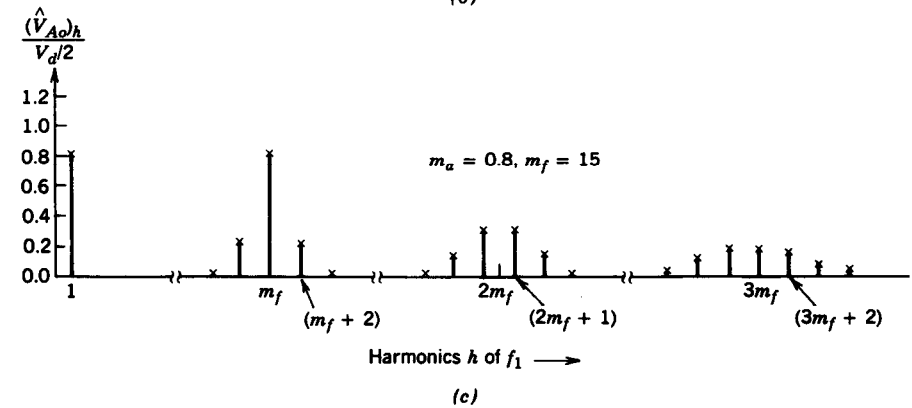
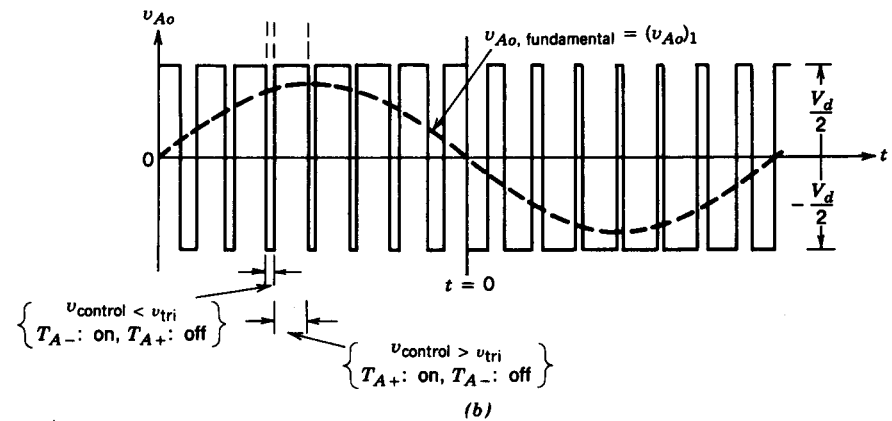
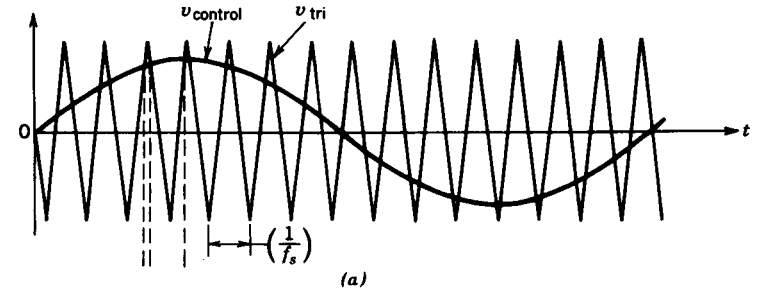


Figure 8-5 Pulse-width modulation.

- $V_{kontrol} < V_{\text{üçgen}} \quad T_{A-}$ iletimde ve $v_{A0} = \frac{1}{2} V_d$

- $V_{kontrol} > V_{\text{üçgen}} \quad T_{A+}$ iletimde ve $v_{A0} = -\frac{1}{2} V_d$

- Evirici çıkış gerilimi;

$$v_{kontrol} \leq \hat{V}_{\text{üçgen}} \quad \text{için} \quad v_{A0} = \frac{v_{kontrol}}{v_{\text{üçgen}}} \frac{V_d}{2} = m_a \frac{V_d}{2}$$

- Evirici çıkış geriliminin temel bileşeni ;

$$(\hat{V}_{A0})_1 = m_a \frac{V_d}{2}$$

Anahtarlama Sürecinin Detayları

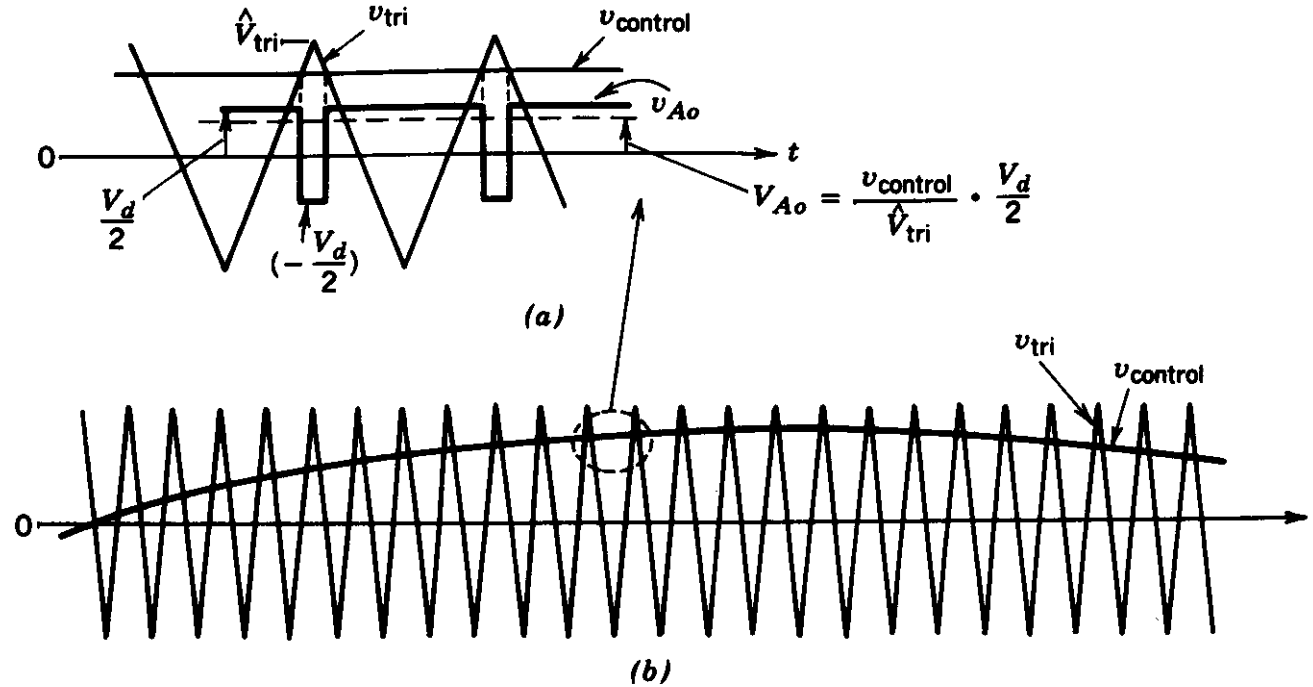


Figure 8-6 Sinusoidal PWM.

- Kontrol gerilimi anahtarlama sürecinde sabit kabul edilebilir ($f_{tri} \gg f_{control}$ olduğundan)

DA-AA Evirici Çıkış Gerilimindeki Harmonikler

Table 8-1 Generalized Harmonics of v_{Ao} for a Large m_f .

$h \backslash m_a$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
<i>Fundamental</i>					
m_f	1.242	1.15	1.006	0.818	0.601
$m_f \pm 2$	0.016	0.061	0.131	0.220	0.318
$m_f \pm 4$					0.018
$2m_f \pm 1$	0.190	0.326	0.370	0.314	0.181
$2m_f \pm 3$		0.024	0.071	0.139	0.212
$2m_f \pm 5$				0.013	0.033
$3m_f$	0.335	0.123	0.083	0.171	0.113
$3m_f \pm 2$	0.044	0.139	0.203	0.176	0.062
$3m_f \pm 4$		0.012	0.047	0.104	0.157
$3m_f \pm 6$				0.016	0.044
$4m_f \pm 1$	0.163	0.157	0.008	0.105	0.068
$4m_f \pm 3$	0.012	0.070	0.132	0.115	0.009
$4m_f \pm 5$			0.034	0.084	0.119
$4m_f \pm 7$				0.017	0.050

Note: $(\hat{V}_{Ao})_h / \frac{1}{2}V_d [= (\hat{V}_{AN})_h / \frac{1}{2}V_d]$ is tabulated as a function of m_a .

- Taşıyıcı sinyalin frekansı ve onun katları olan frekanslarda harmonik bileşenler görülmektedir.

Aşırı modülasyon (modülasyon üstü çalışma) nedeniyle oluşan harmonikler

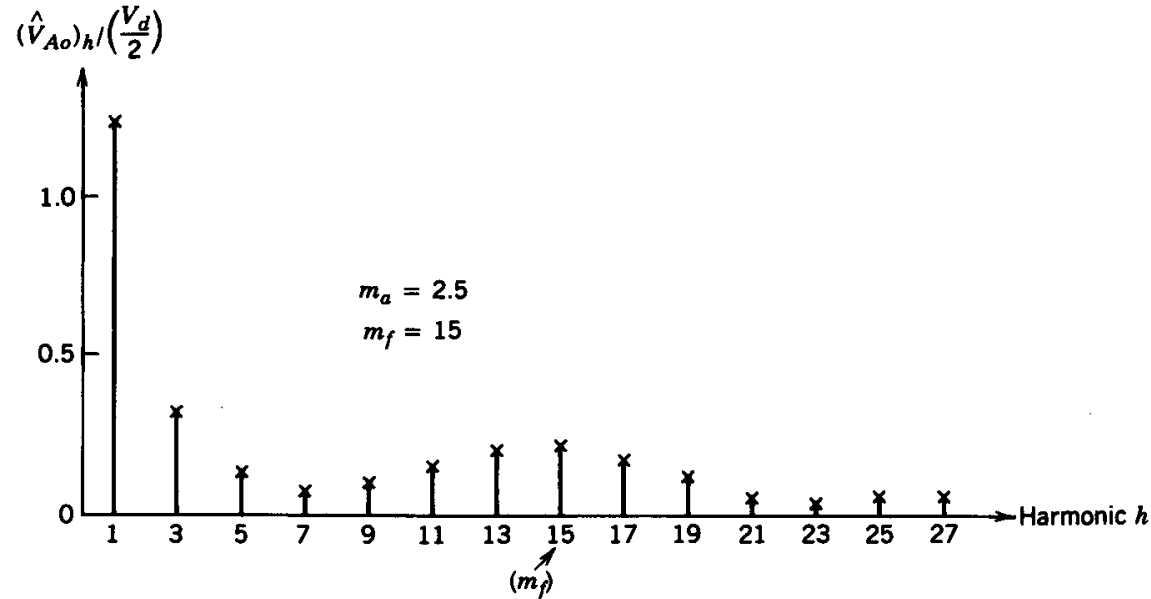


Figure 8-7 Harmonics due to overmodulation; drawn for $m_a = 2.5$ and $m_f = 15$.

- Temel frekans bileşenin katları olan frekanslarda harmonik bileşenler oluşmaktadır.

Modülasyon oranına (genliğine) bağlı olarak çıkış geriliminin temel bileşeni

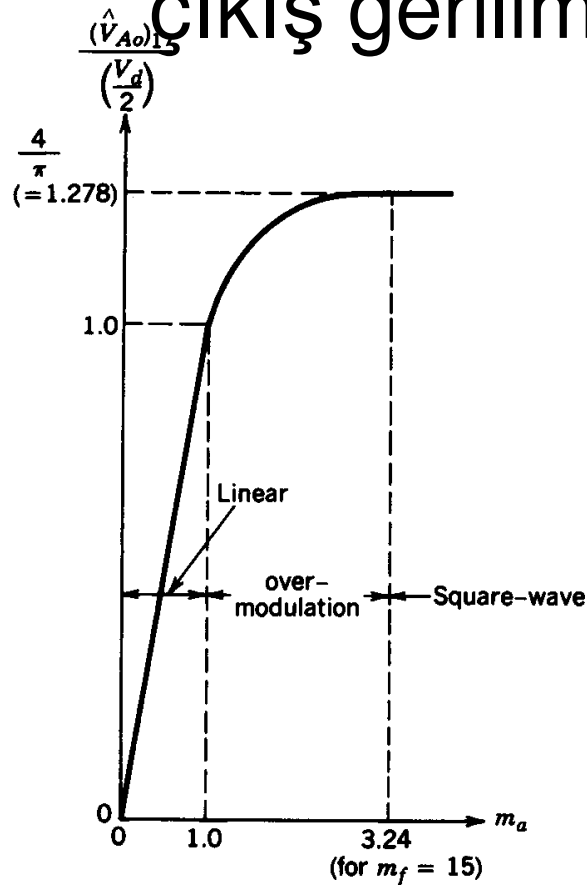


Figure 8-8 Voltage control by varying m_a .

- Doğrusal ve modülasyon üstü çalışma bölgeleri görülmektedir (m_a arttırılmaya devam edildiğinde PWM sona erer ve çıkış gerilimi kare dalga şeklini alır)

Yarım Köprü (Half Bridge) Evirici

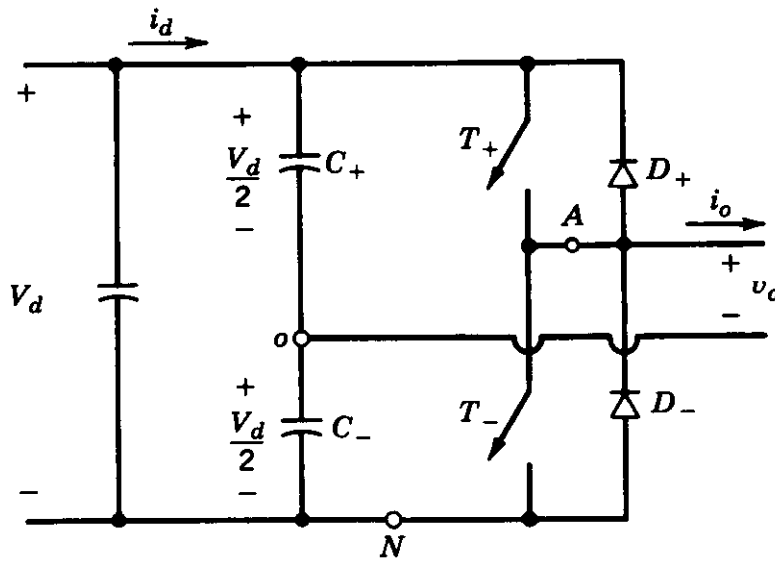


Figure 8-10 Half-bridge inverter.

- Kondansatör orta noktayı meydana getirmektedir.

Bir Fazlı Köprü Tipi (Full-Bridge) DA-AA Evirici

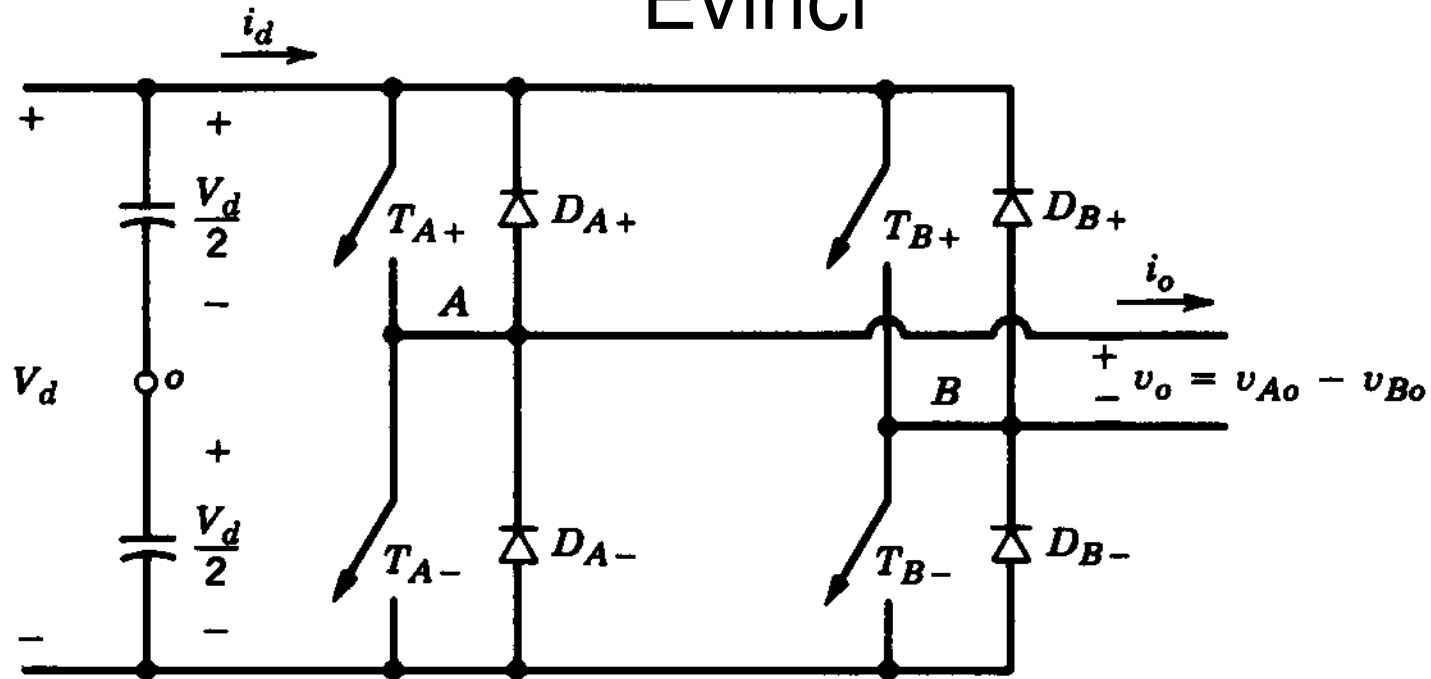


Figure 8-11 Single-phase full-bridge inverter.

- İki koldan oluşmaktadır

Çıkış Geriliminin PWM ile Üretilmesi

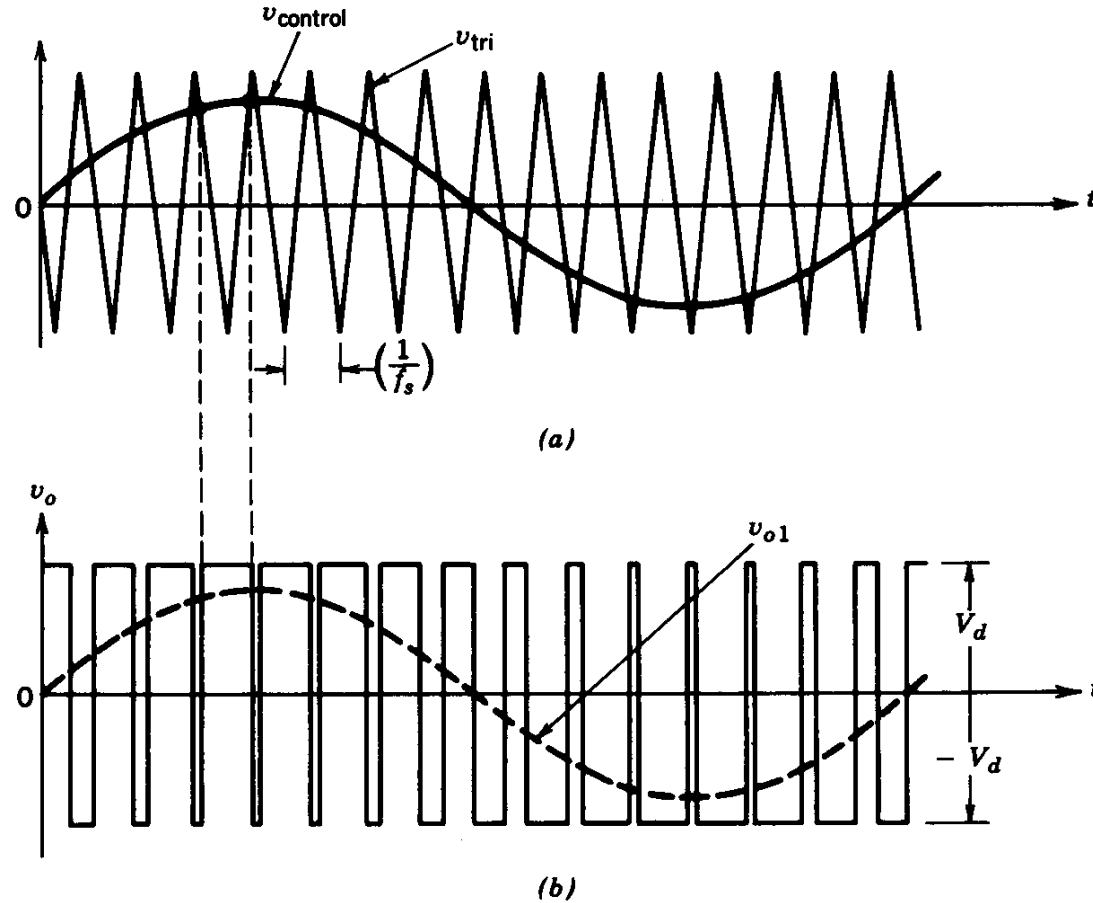


Figure 8-12 PWM with bipolar voltage switching.

- Kesik çizgi ile istenilen çıkış gerilimi ve temel frekans bileşeni gösterilmektedir.

Analysis assuming Fictitious Filters

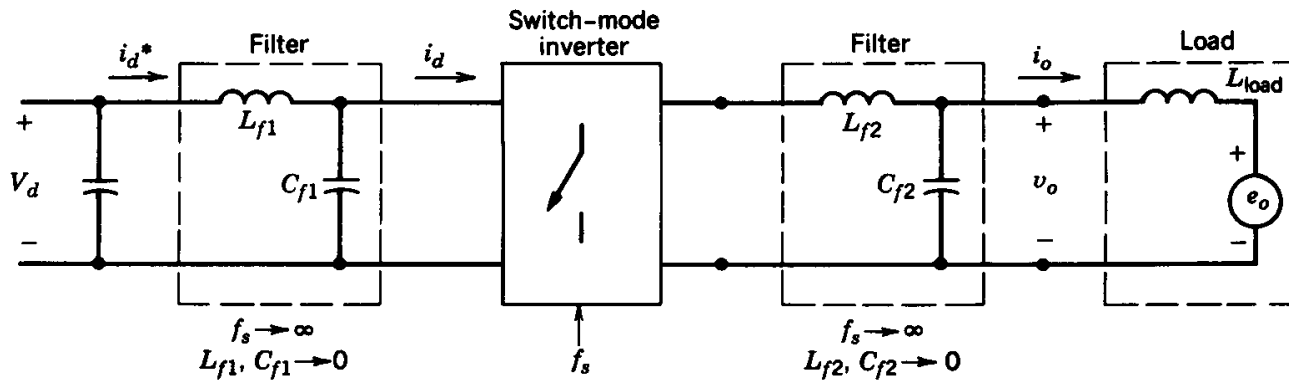


Figure 8-13 Inverter with “fictitious” filters.

- Küçük kurgusal filtreler anahtarlama frekansına bağlı ripılları yok eder.

DA Akımı

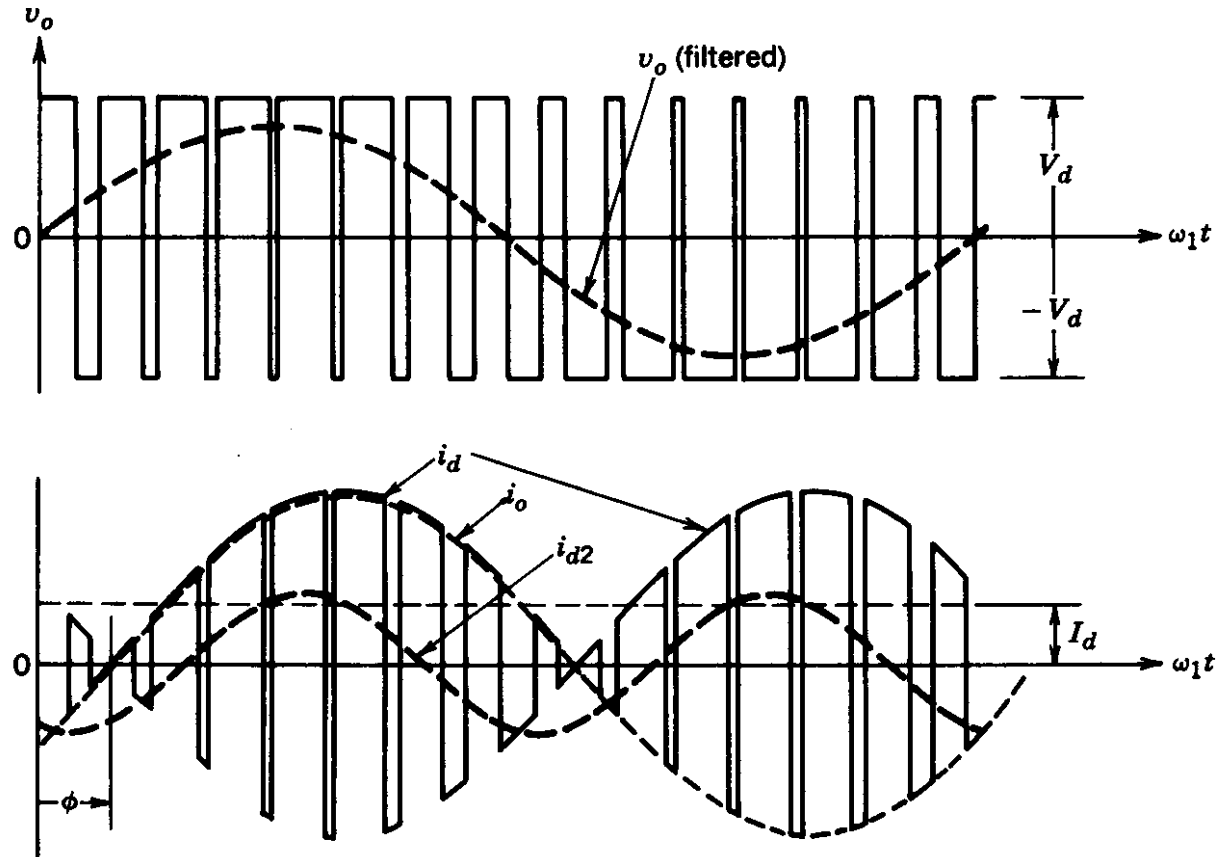


Figure 8-14 The dc-side current in a single-phase inverter with PWM bipolar voltage switching.

- İki Yönlü (Bi-Polar) Gerilim Anahtarlama

Çıkış Dalgasekilleri: Tek kutuplu (Uni- polar) Gerilim Anahtarlama

- Anahtarlama frekansı civarındaki harmonik bileşenler yok edilmiştir.

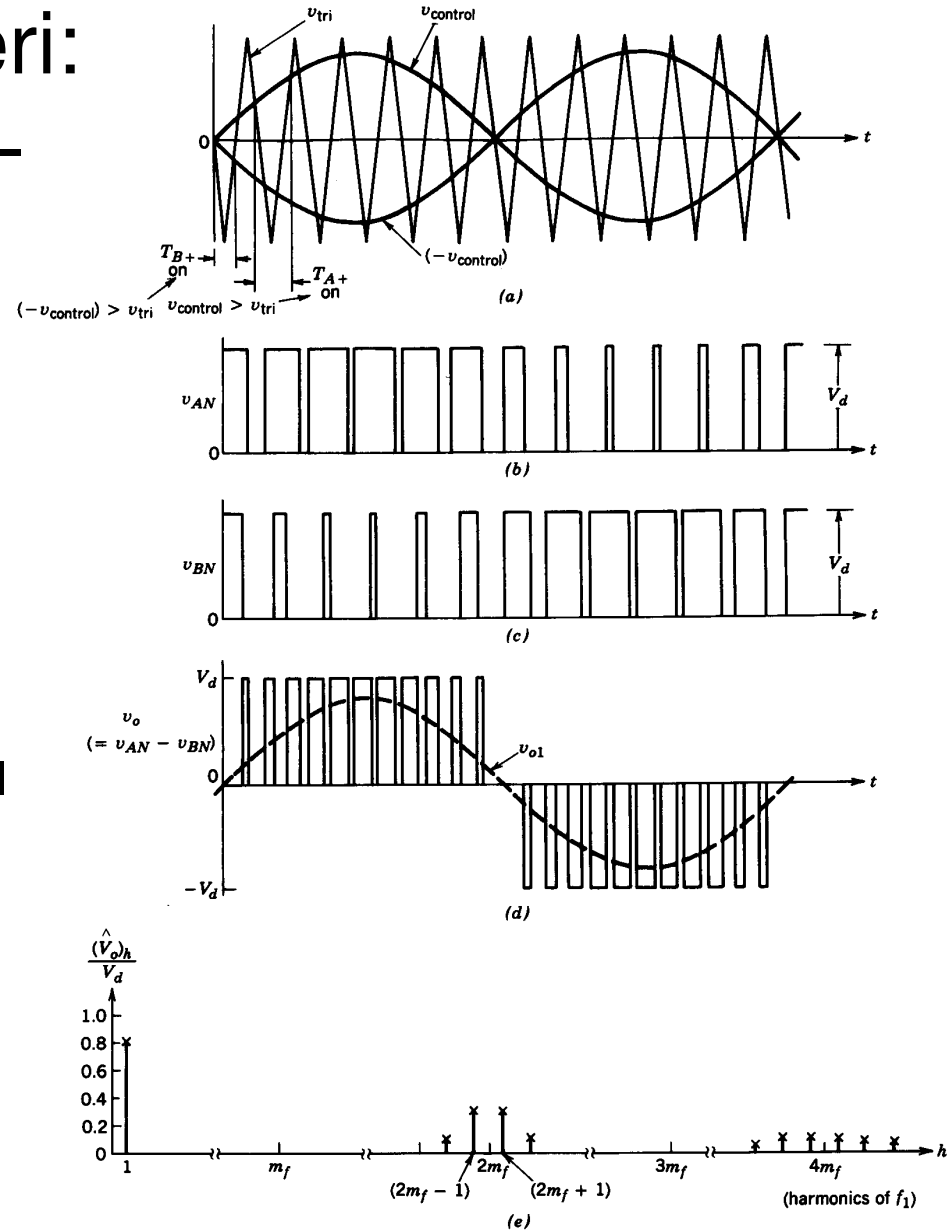


Figure 8-15 PWM with unipolar voltage switching (single phase).

Bir Fazlı Evirici DA Akımı

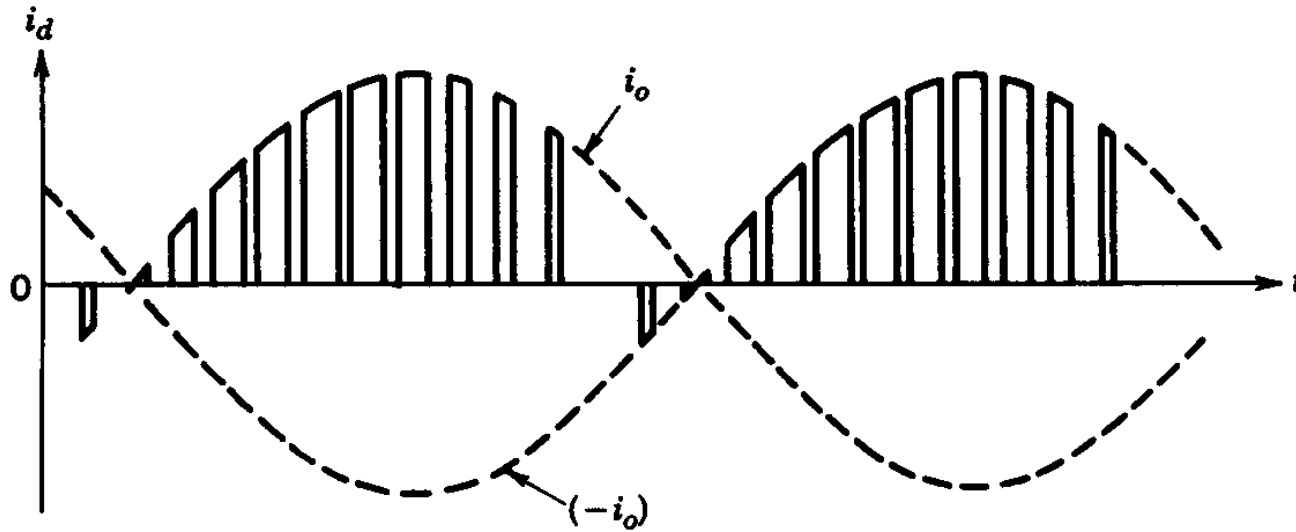


Figure 8-16 The dc-side current in a single-phase inverter with PWM unipolar voltage switching.

- Tek Yönlü (Uni-polar) gerilim anahtarlama

Doğrusallaştırılmış Bir Fazlı Eviricinin Matematiksel Modeli

- Eviricinin matematiksel modeli çıkartılırken ilk önce anahtarların durumları tespit edilmelidir. Anahtarların açık veya kapalı olmasına göre şekillenen gerilimin L-C filtreden geçirilmesiyle yük gerilimi elde edilmektedir.

$$s = \begin{cases} 1 & U_{sin} > U_{üçgen}; S_1 \text{ ve } S_3 \text{ ON} \\ 0 & U_{sin} < U_{üçgen}; S_2 \text{ ve } S_4 \text{ ON} \end{cases}$$

$$u_i = V_{da}(2s - 1)$$

Doğrusallaştırılmış Bir Fazlı Eviricinin Matematiksel Modeli

- Evirici çıkış geriliminin genliği sinüs (kontrol) sinyalinin genliği kontrol edilerek ayarlanabilir. Sinüs ve üçgen sinyallerinin tepe değerlerinin oranı olarak tanımlanan modülasyon indeksi:

$$m_a = \frac{U_{\sin}}{U_{\text{üçgen}}}$$

- S yerine zamana bağlı olan görev oranı dc değişkeni tanımlanabilir.

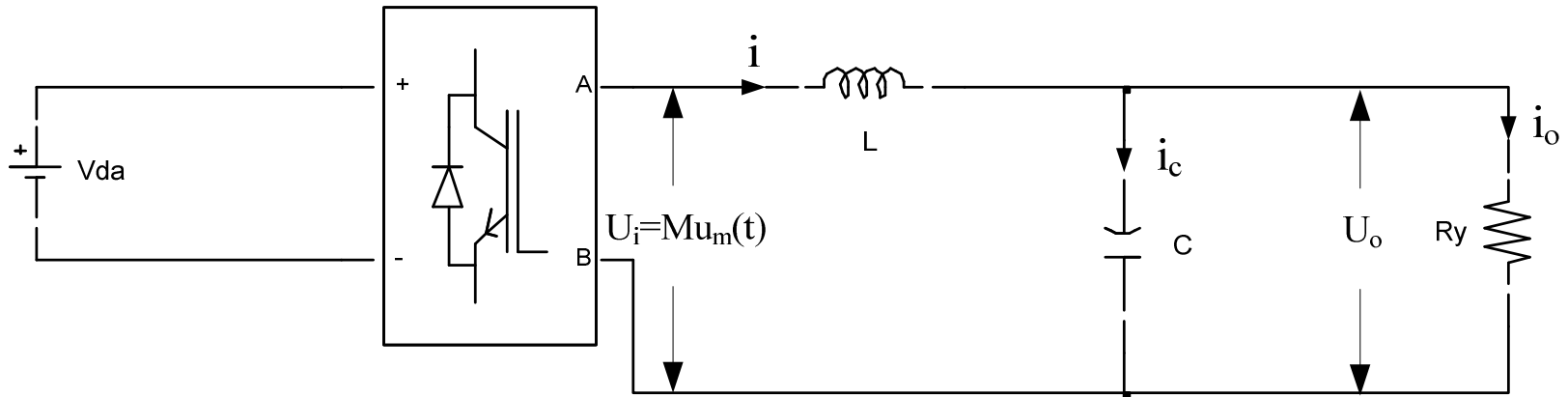
$$dc(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{u_{\sin}(t)}{U_{\text{üçgen}}} + 1 \right)$$

Doğrusallaştırılmış Bir Fazlı Eviricinin Matematiksel Modeli

- s yerine dc yazılırsa eviricinin zamana bağlı modeli elde edilebilir:

$$u_i = V_{da} \cdot \frac{u_{\sin}(t)}{U_{\text{üçgen}}} = M \cdot u_{\sin}(t)$$

- Burada $M = \frac{V_{da}}{U_{\text{üçgen}}}$ modülasyon kazancı olarak tanımlanabilir. Böylece evirici devresi kontrollü gerilim kaynağı olarak gösterilebilir.



Doğrusallaştırılmış Bir Fazlı Eviricinin Matematiksel Modeli

- Şekilde gösterilen model için aşağıdaki durum denklemleri yazılabilir:

$$u_i = L \frac{di}{dt} + u_o \quad u_o = \frac{1}{C} \int i_c dt \quad \frac{du_o}{dt} = \frac{i_c}{C}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{u_i - u_o}{L}$$

$$i_c = i - i_o$$

$$\frac{du_o}{dt} = \frac{i - i_o}{C}$$

$$i_o = \frac{u_o}{R_y}$$

Doğrusallaştırılmış Bir Fazlı Eviricinin Matematiksel Modeli

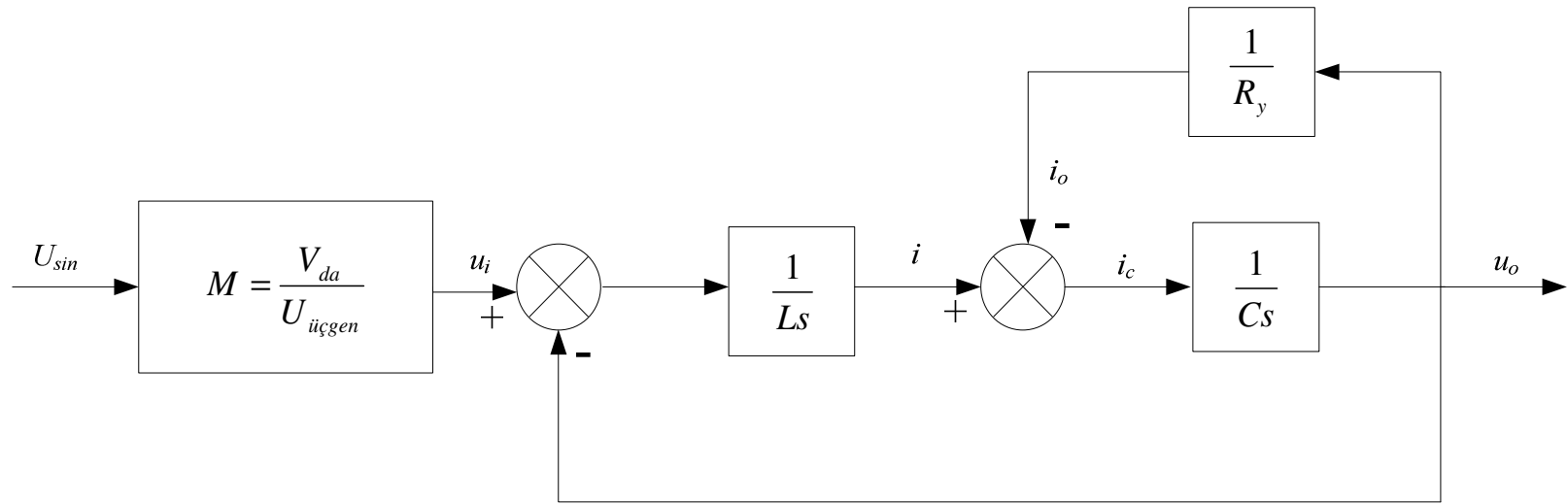
$$\frac{du_o}{dt} = \frac{i}{C} - \frac{u_o}{R_y \cdot C}$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i \\ u_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{R_y \cdot C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ u_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} u_i$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i \\ u_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{R_y \cdot C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ u_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{M}{L} \\ 0 \end{bmatrix} u_{\sin}$$

Doğrusallaştırılmış Bir Fazlı Eviricinin Matematiksel Modeli

- Yukarıdaki eşitliklere laplace dönüşümü uygulanarak Şekildeki blok diyagram elde edilebilir:



Bir Fazlı Eviricinin Çıkışındaki Salınımlar (Ripple)

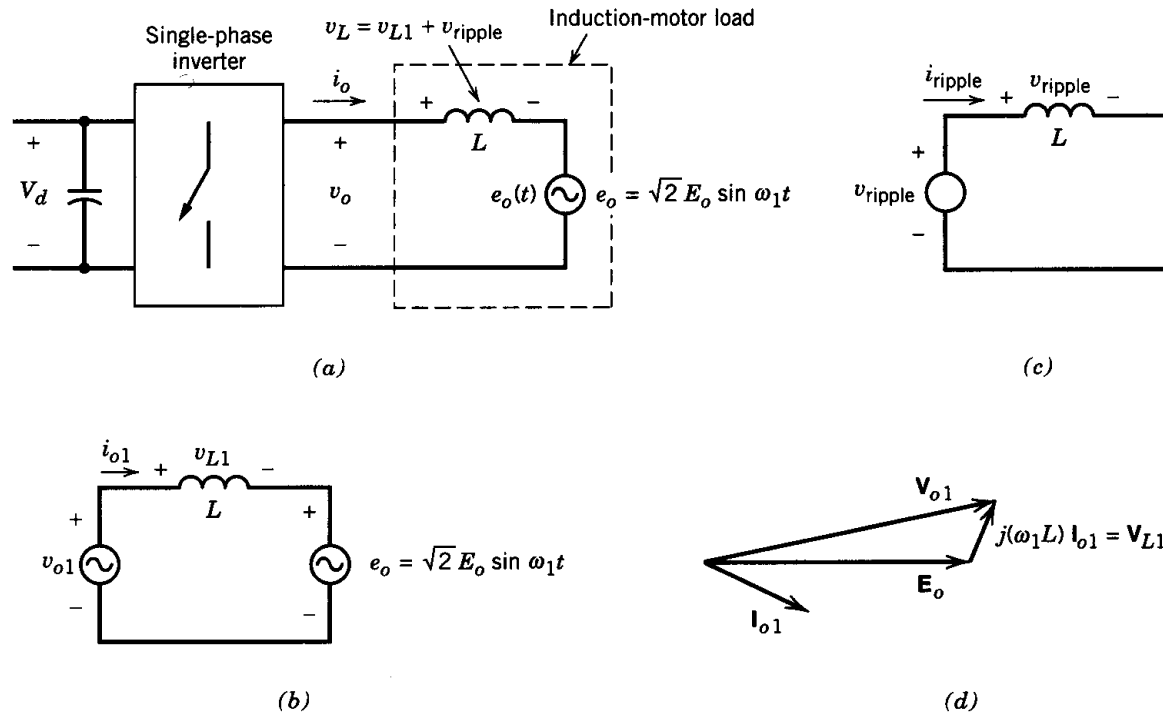


Figure 8-18 Single-phase inverter: (a) circuit; (b) fundamental-frequency components; (c) ripple frequency components; (d) fundamental-frequency phasor diagram.

- Temel frekansta analizi

Kare Dalga ve PWM Çalışma

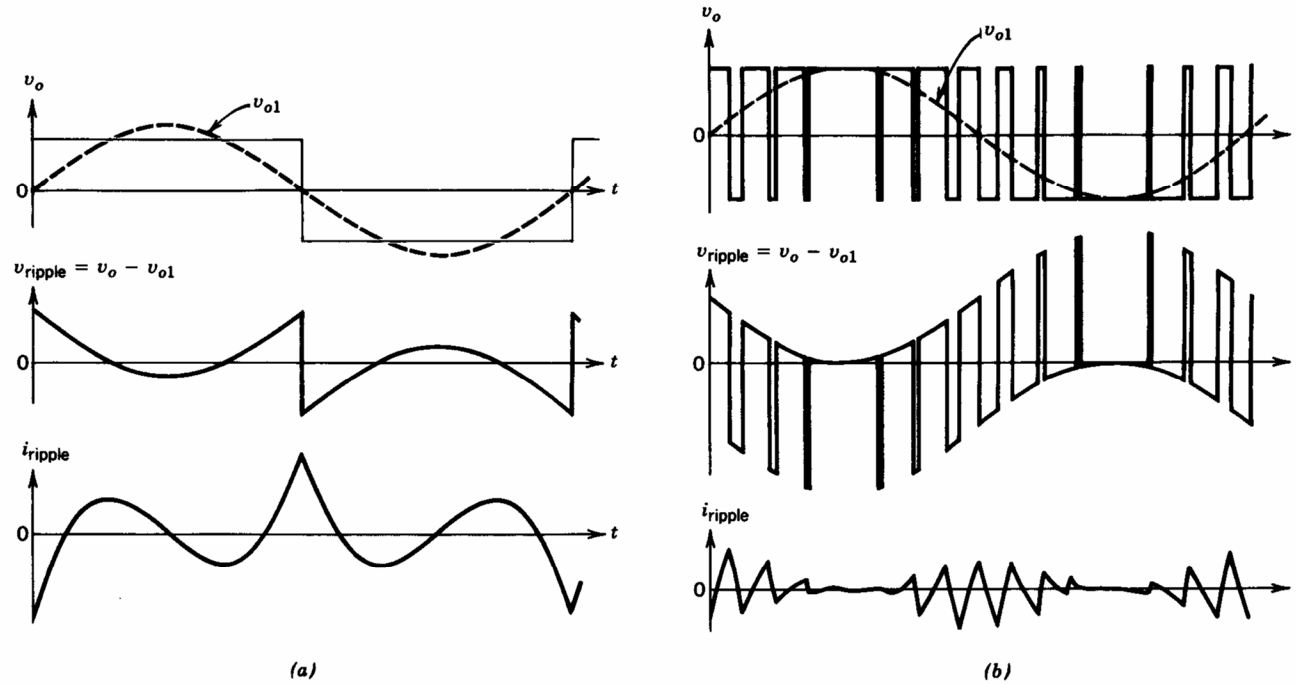


Figure 8-19 Ripple in the inverter output: (a) square-wave switching; (b) PWM bipolar voltage switching.

- PWM yöntemi ile ripple akım değeri önemli miktarda azaltılmıştır.

Push-Pull Evirici

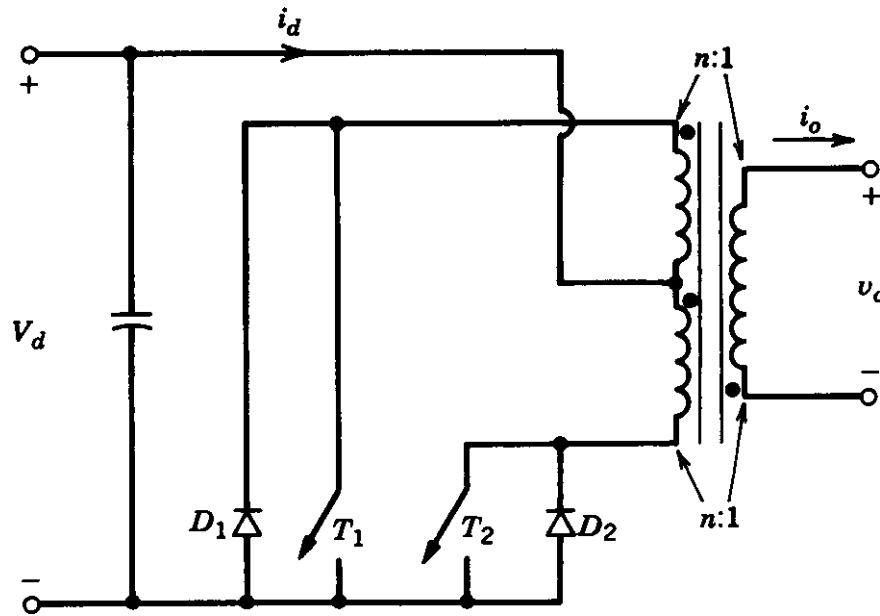


Figure 8-20 Push–pull inverter (single phase).

- Kare dalga çalışma kullanılarak düşük gerilimden yüksek gerilim elde edilir.

Üç Fazlı Eviriciler

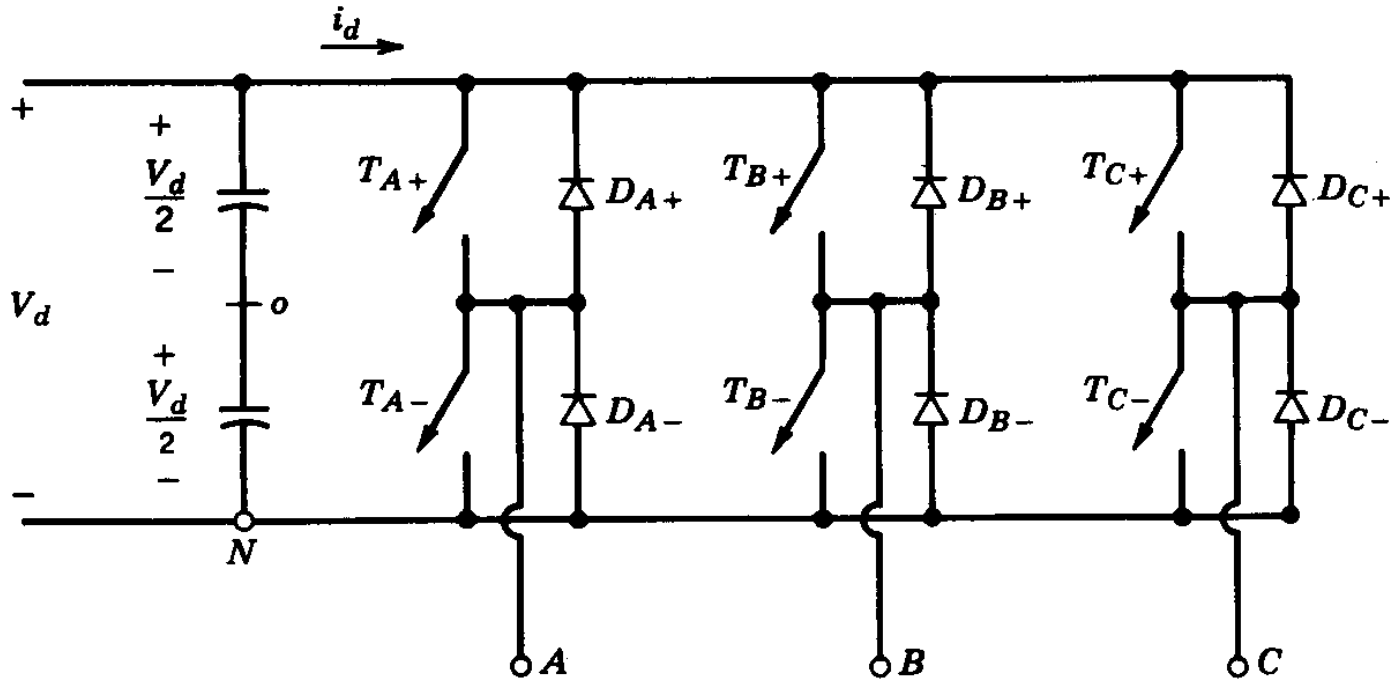


Figure 8-21 Three-phase inverter.

- Üç evirici kolu vardır (kondansatör orta noktası hayalidir)

Üç fazlı PWM Dalga Şekilleri

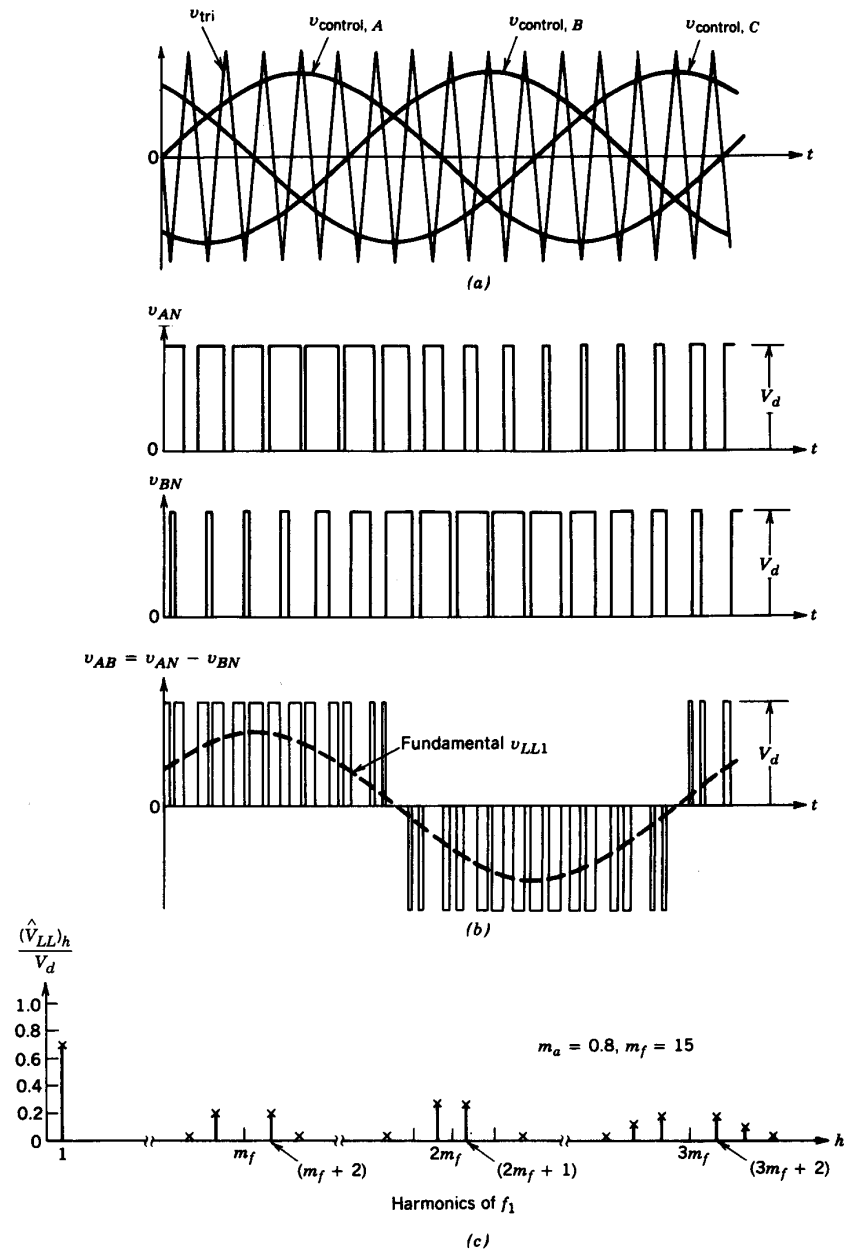


Figure 8-22 Three-phase PWM waveforms and harmonic spectrum.

Üç Fazlı Evirici Harmonikleri

Table 8-2 Generalized Harmonics of v_{LL} for a Large and Odd m_f That Is a Multiple of 3.

$h \backslash m_a$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.122	0.245	0.367	0.490	0.612
$m_f \pm 2$	0.010	0.037	0.080	0.135	0.195
$m_f \pm 4$				0.005	0.011
$2m_f \pm 1$	0.116	0.200	0.227	0.192	0.111
$2m_f \pm 5$				0.008	0.020
$3m_f \pm 2$	0.027	0.085	0.124	0.108	0.038
$3m_f \pm 4$		0.007	0.029	0.064	0.096
$4m_f \pm 1$	0.100	0.096	0.005	0.064	0.042
$4m_f \pm 5$			0.021	0.051	0.073
$4m_f \pm 7$				0.010	0.030

Note: $(V_{LL})_h/V_d$ are tabulated as a function of m_a where $(V_{LL})_h$ are the rms values of the harmonic voltages.

Üç Fazlı Evirici Çıkışı

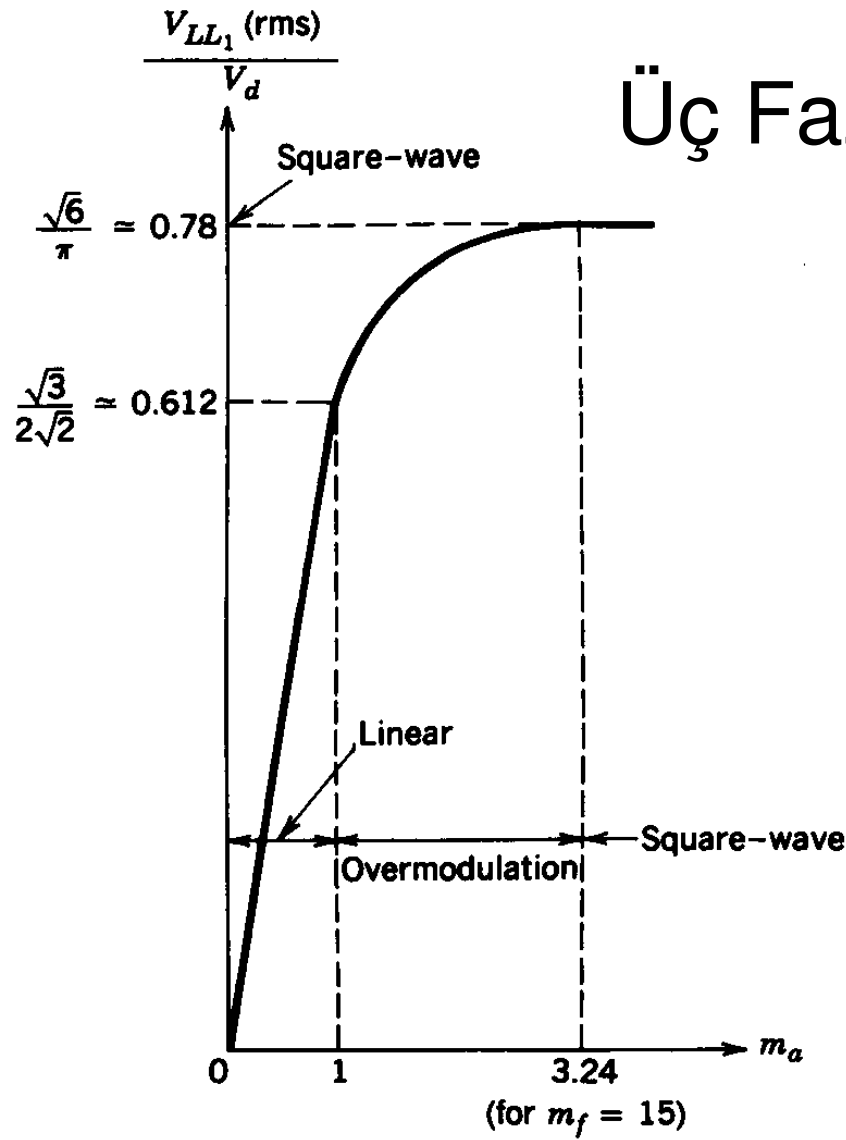


Figure 8-23 Three-phase inverter; $V_{LL1}(\text{rms})/V_d$ as a function of m_a .

- Doğrusal ve modülasyon üstü çalışma aralıkları

Üç Fazlı Eviriciler-Kare Dalga Modu

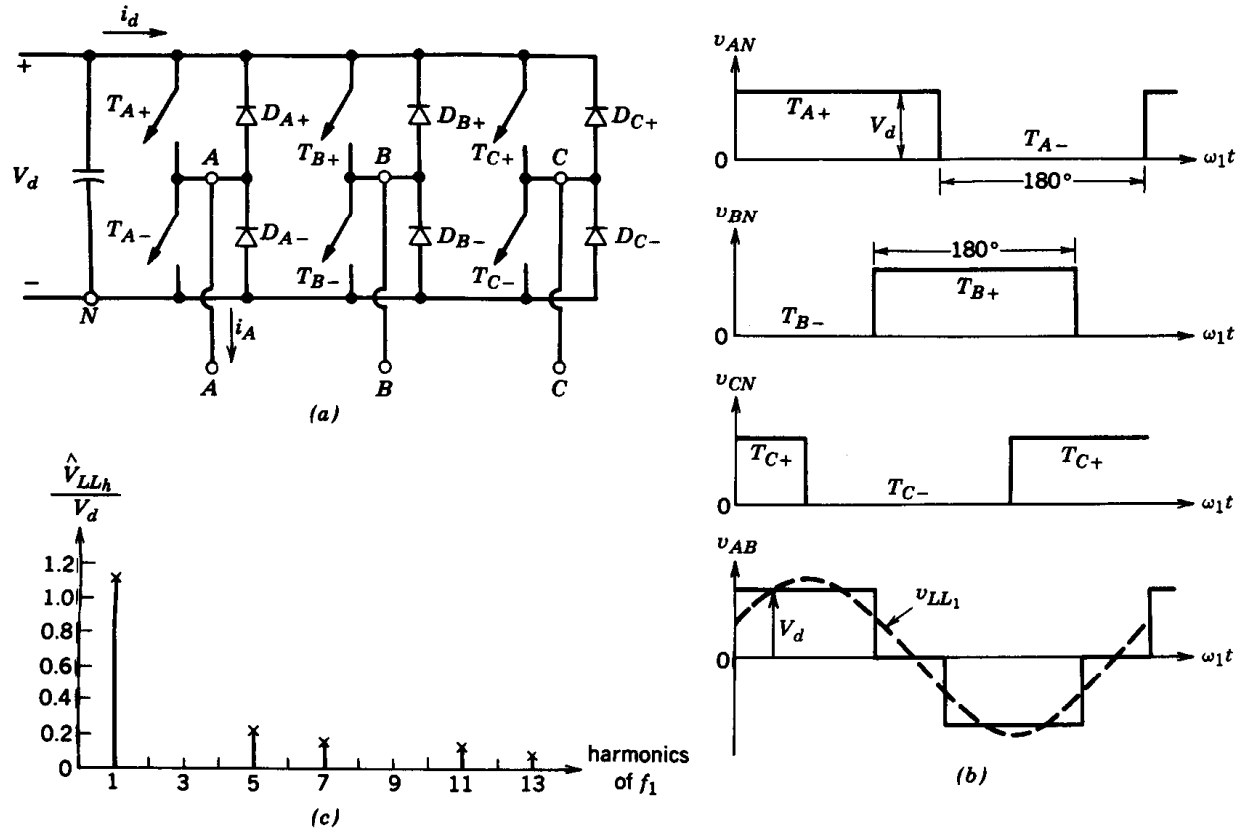


Figure 8-24 Square-wave inverter (three phase).

- Harmonikler temel frekans bileşenin katları frekanslarda oluşmaktadır.

Three-Phase Inverter: Fundamental Frequency

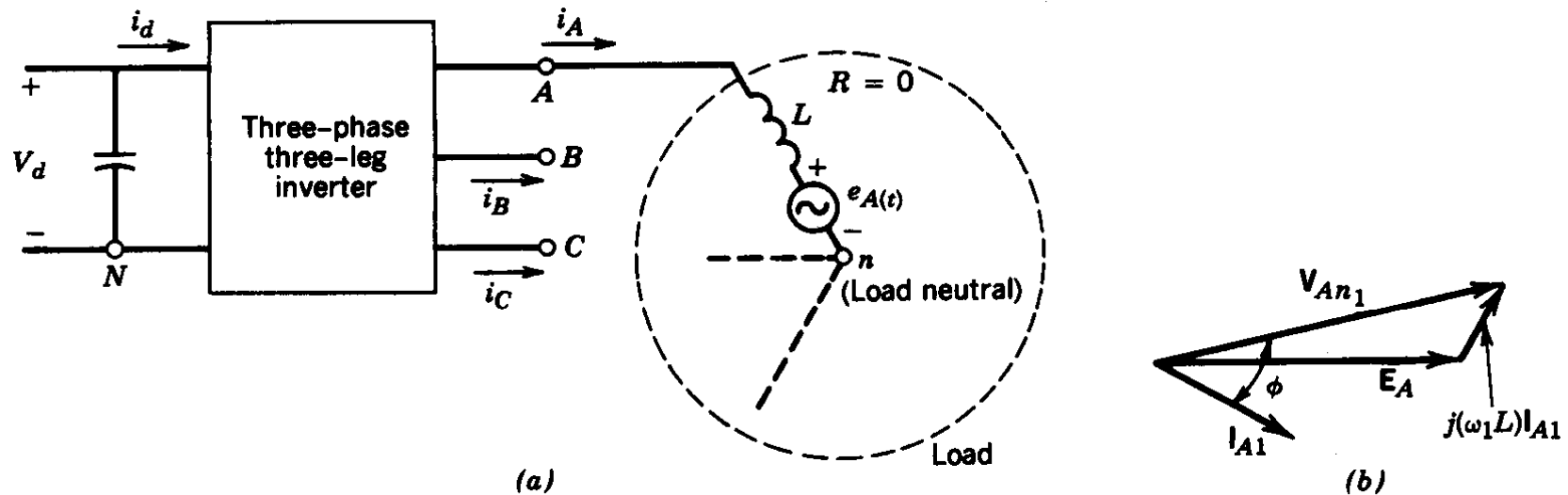


Figure 8-25 Three-phase inverter: (a) circuit diagram; (b) phasor diagram (fundamental frequency).

- Temel frekansta analiz fazörler kullanılarak yapılabilir.

Kare Dalga ve PWM Çalışma

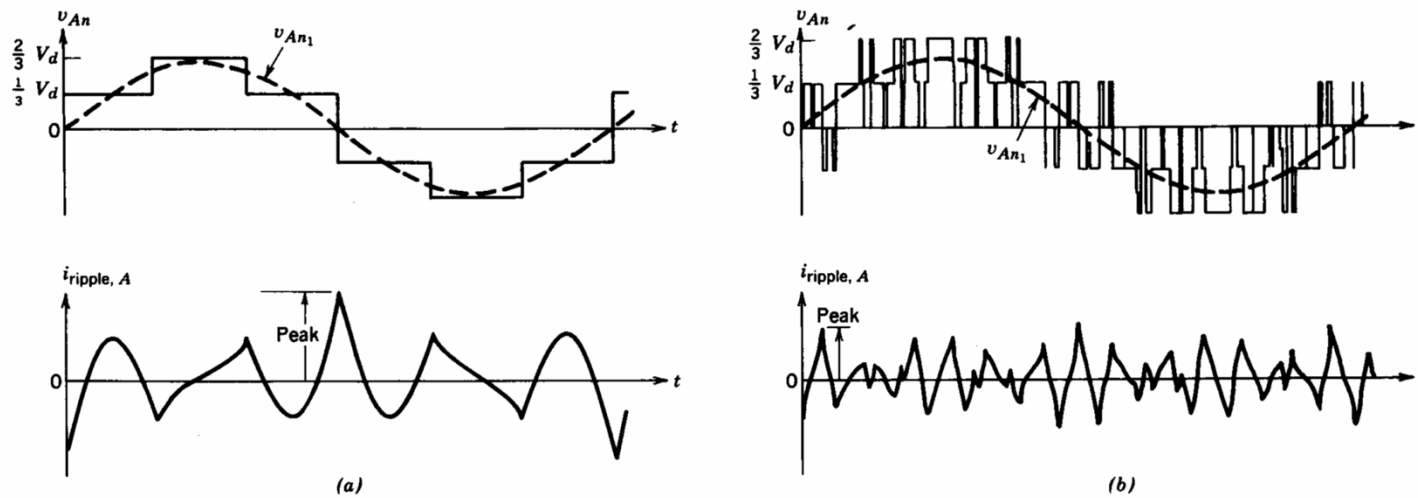


Figure 8-26 Phase-to-load-neutral variables of a three-phase inverter: (a) square wave; (b) PWM.

- PWM çalışma çok daha küçük ripil akımlarına neden olur.

Üç Fazlı Eviricilerde DA Akımı

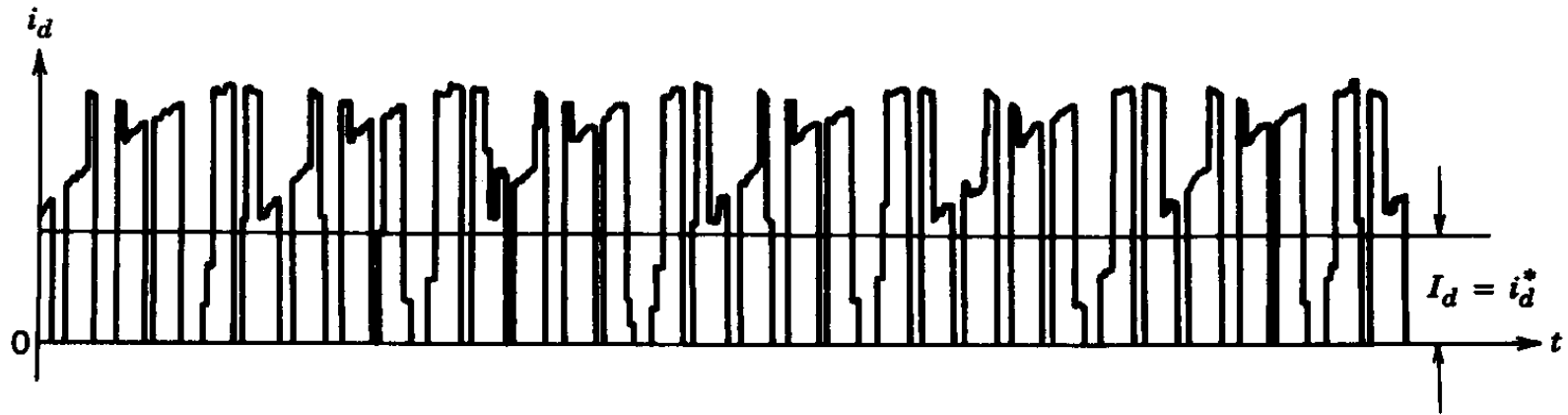


Figure 8-27 Input dc current in a three-phase inverter.

- Akım DA bileşen ve anahtarlama frekansına bağlı harmonikler içerir.

Kare Dalga Çalışma

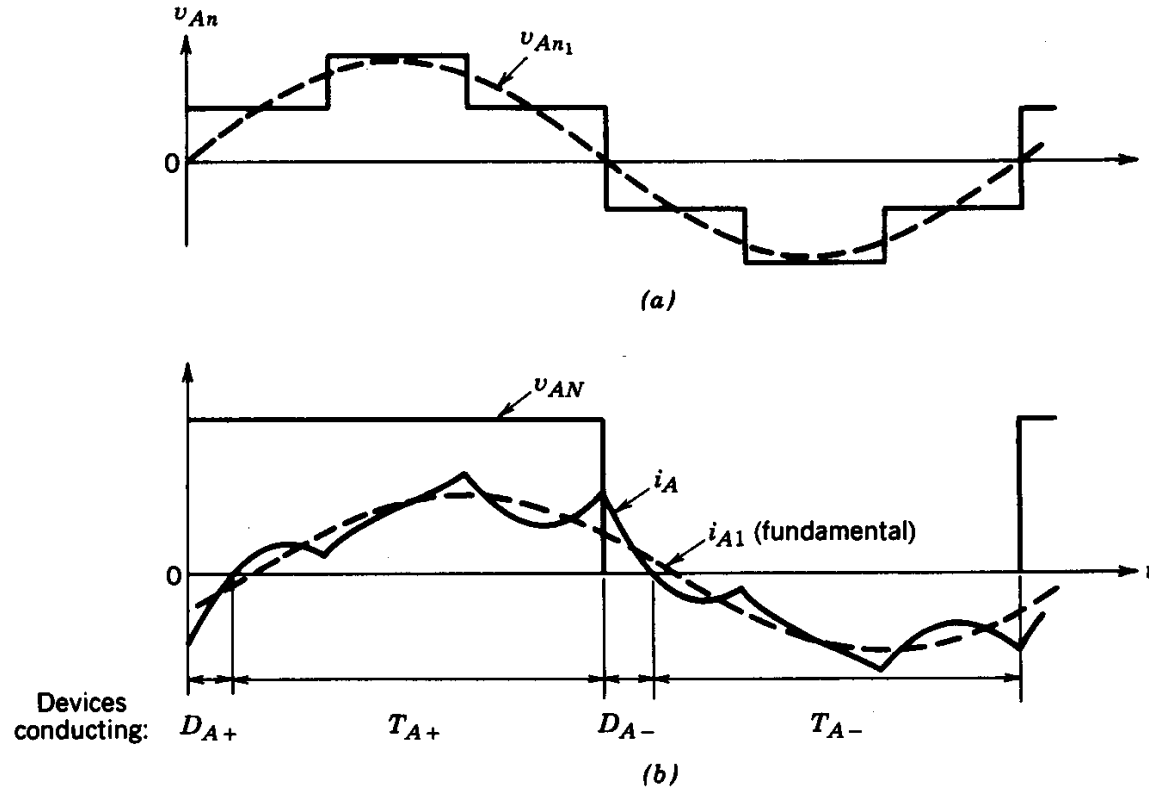


Figure 8-28 Square-wave inverter: phase A waveforms.

- iletimdeki elemanlar görülmektedir

PWM Çalışma

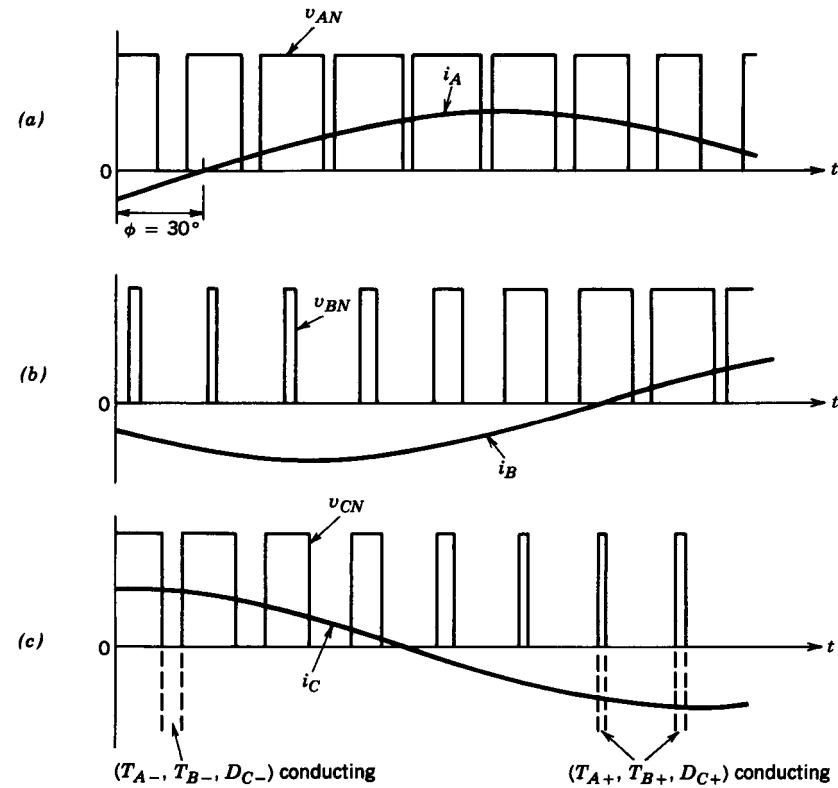


Figure 8-29 PWM inverter waveforms: load power factor angle = 30° (lag).

- iletimdeki elemanlar görülmektedir

Short-Circuit States in PWM Operation

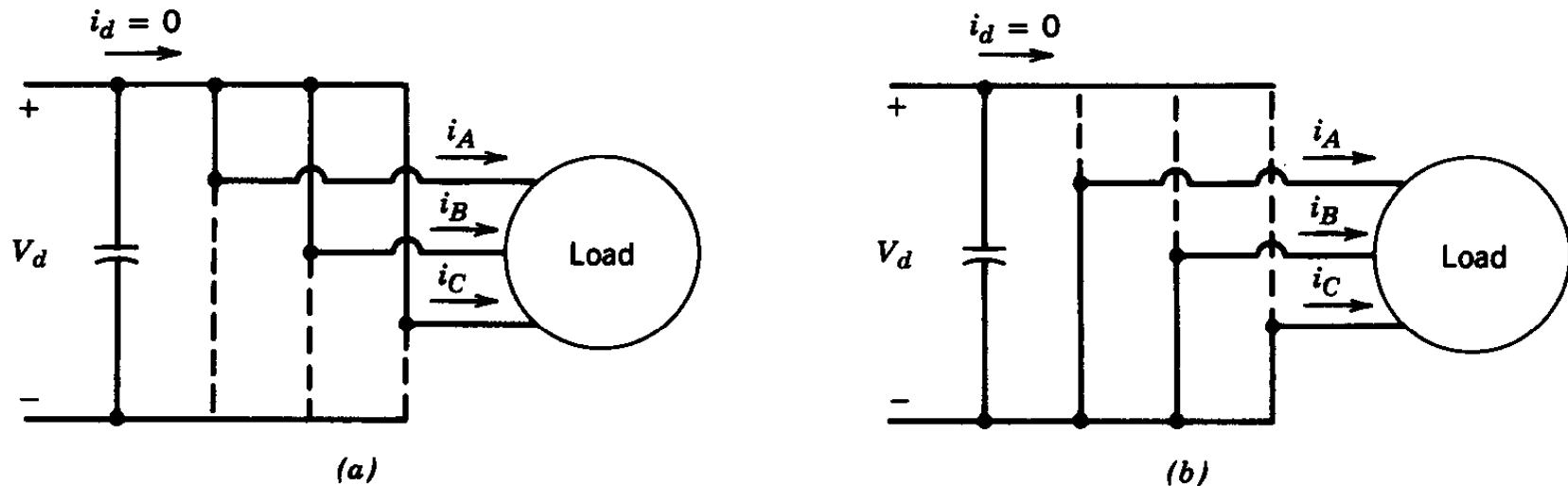


Figure 8-30 Short-circuit states in a three-phase PWM inverter.

- üst gruptaki veya alt gruptaki anahtarlar aynı anda ilettime geçerse yük uçları kısa devre olur

Ölü Zamanının Etkisi

- Doğrusallığın bozulmasına neden olur

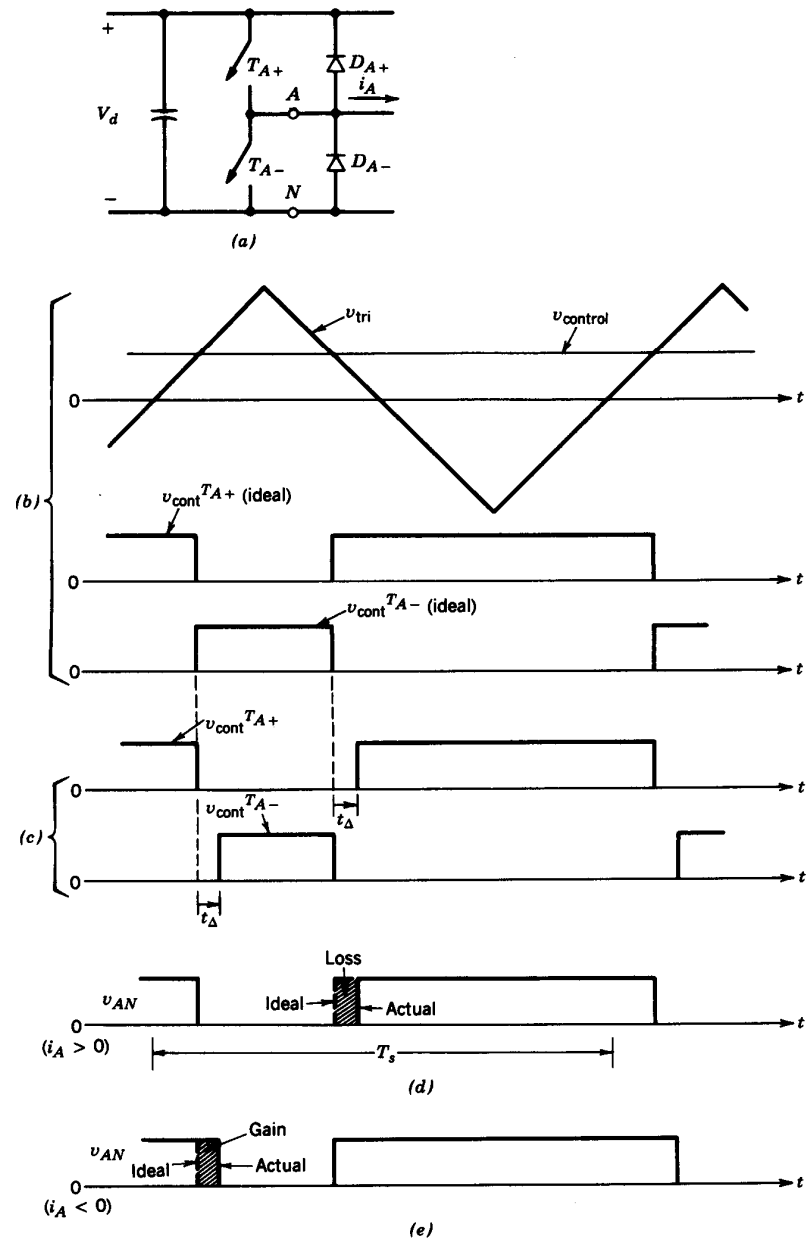


Figure 8-31 Effect of blanking time t_{Δ} .

Ölü Zamanının Etkisi

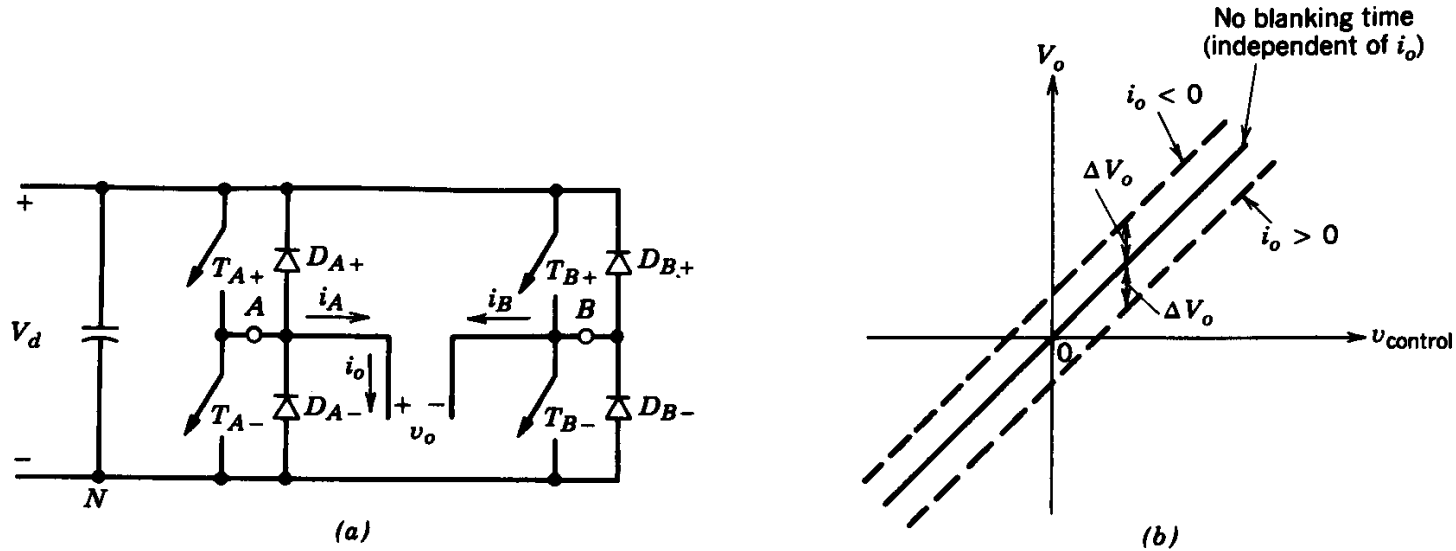


Figure 8-32 Effect of t_{Δ} on V_o , where ΔV_o is defined as a voltage drop if positive.

- Akım yön değiştirdiğinde gerilim sıçrar

Ölü Zamanının Etkisi

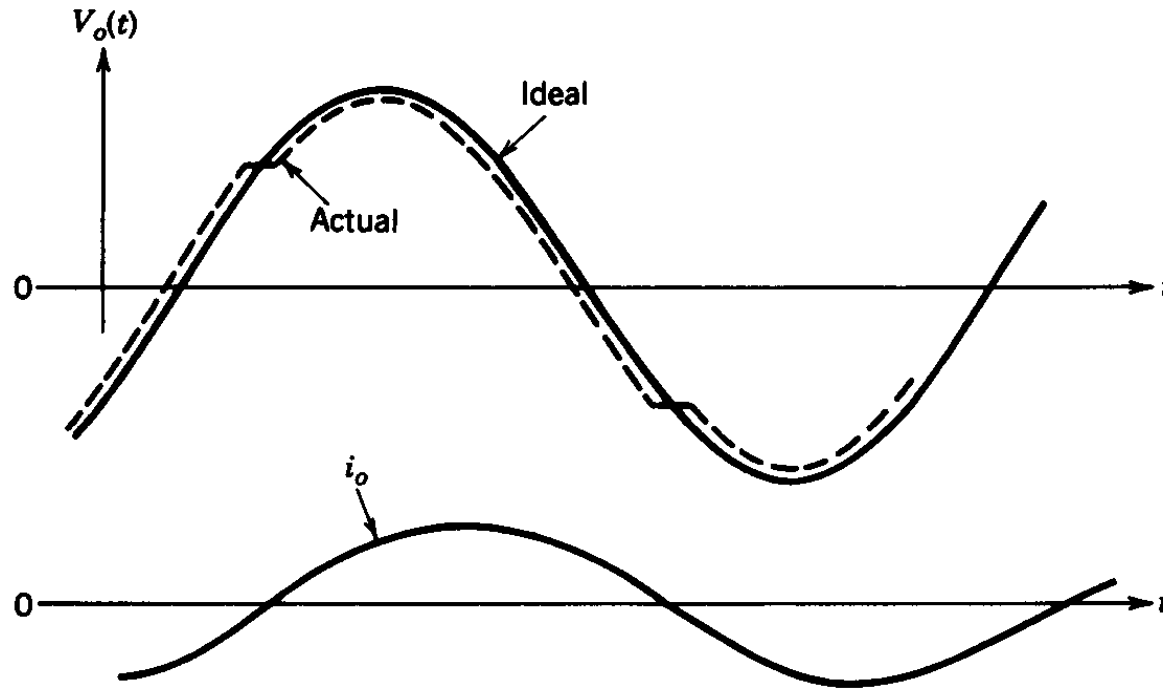


Figure 8-33 Effect of t_Δ on the sinusoidal output.

- Çıkış gerilimine etkisi

Eviricilerde Diğer Anahtarlama Yöntemleri

- Kare Dalga Anahtarlama
- Programlanmış Harmonik Yok Etme Yöntemi
- Akım Kontrollü Modülasyon
 - a) Tolerans Bant (Histerezis Bant) Kontrolü
 - b) Sabit Frekans Kontrolü

Programlanmış Harmonik Yok Etme Yöntemi

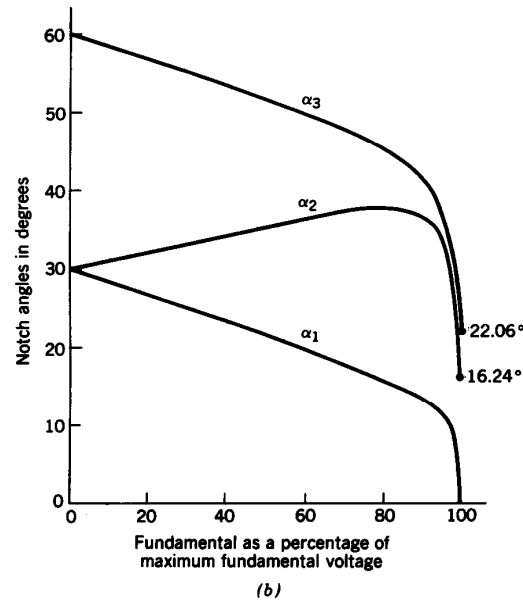
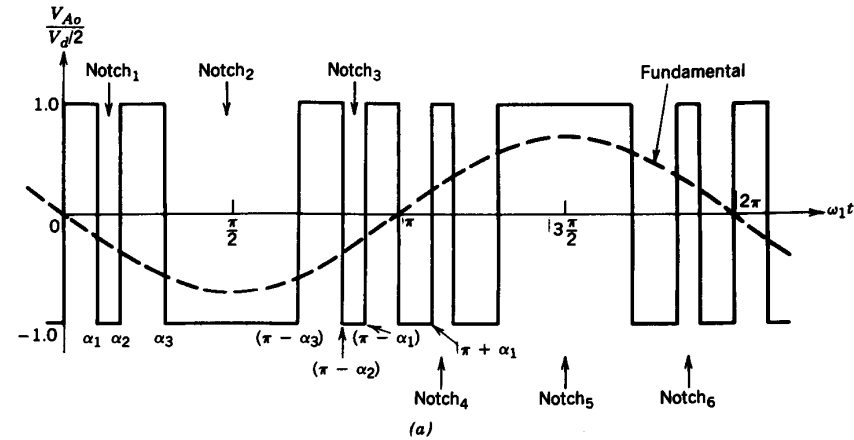


Figure 8-34 Programmed harmonic elimination of fifth and seventh harmonics.

- α açısı istenilen çıkış gerilimine göre belirlenir

Tolerans Bant (Histerzis Bant) Kontrolü

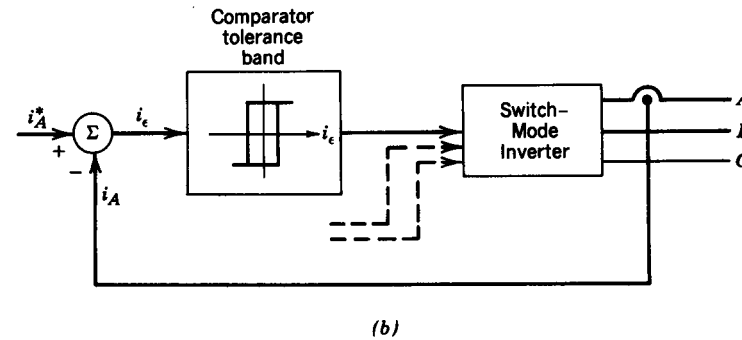
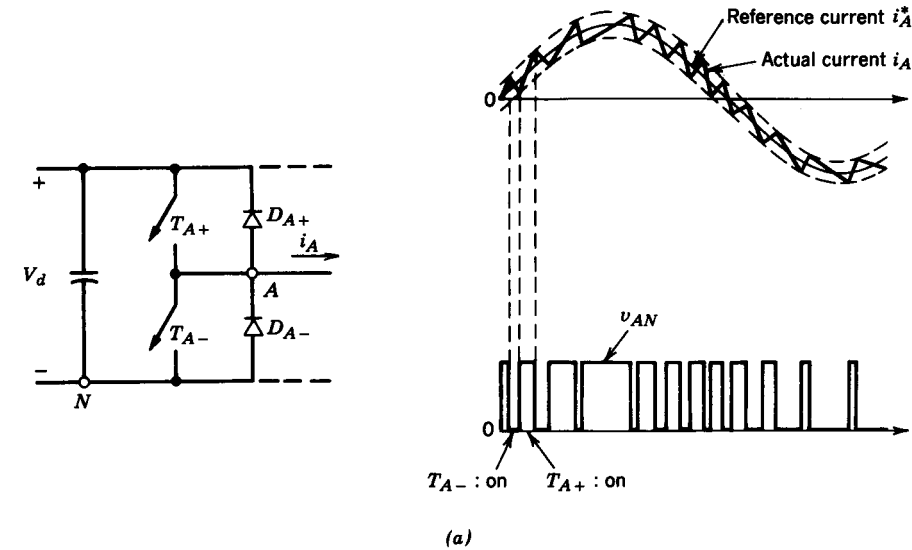


Figure 8-35 Tolerance band current control.

- Anahtarlama frekansı değişkendir

Sabit Frekanslı Çalışma

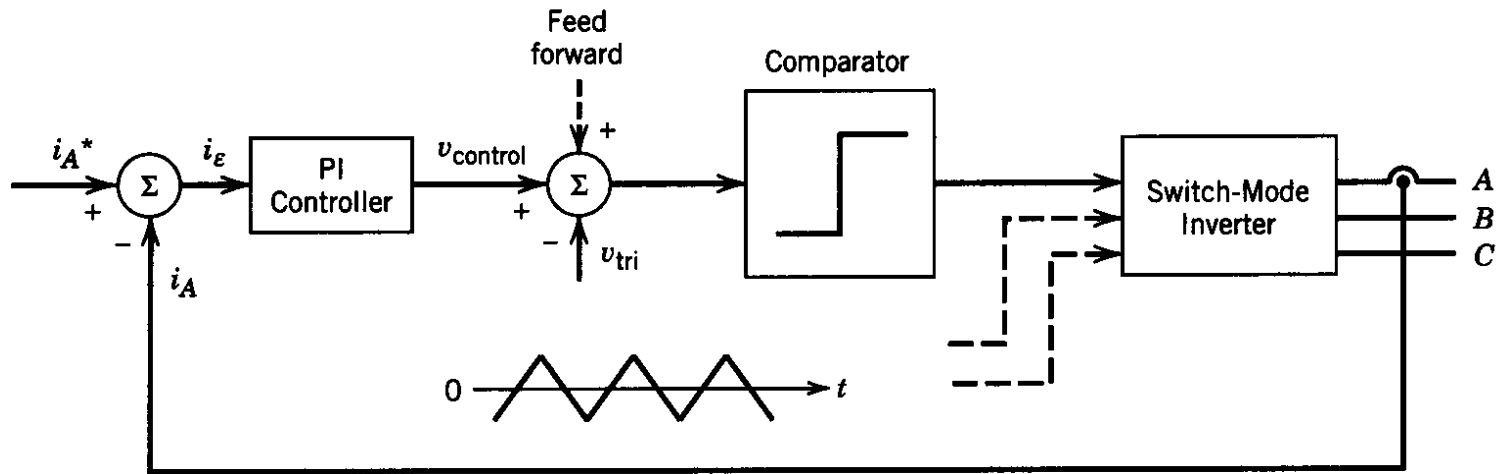


Figure 8-36 Fixed-frequency current control.

- dq analizi kullanılarak daha iyi kontrol mümkündür

Evirici Modundan Doğrultucu Moduna Geçiş

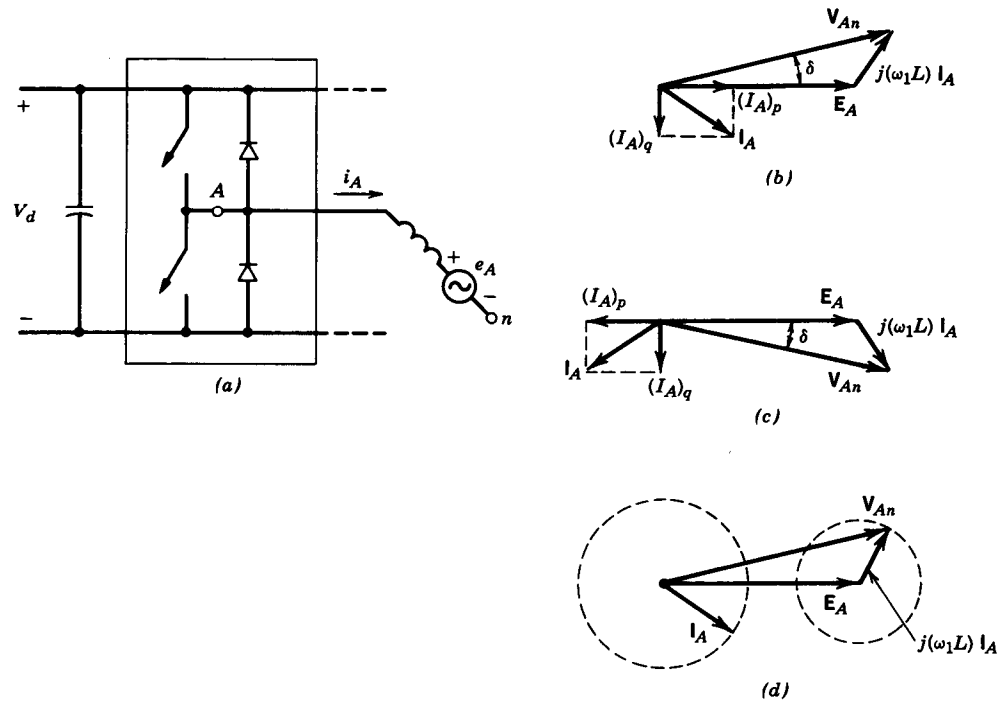


Figure 8-37 Operation modes: (a) circuit; (b) inverter mode; (c) rectifier mode; (d) constant I_A .

- Temel frekans bileşeni temel alınarak analiz yapılabilir

The diagram shows a control loop starting with an input v_{control} entering a block labeled $\frac{1}{V_{\text{tri}}}$. The output of this block is m_a , which enters a block labeled $k(m_a)$. The output of $k(m_a)$ enters a multiplier block (represented by a square with an 'X'). A disturbance V_d also enters this multiplier block from above. The final output is $V_{o1} = k(m_a) V_d$ (rms, line-line). A dashed feedback loop connects the output back to the input of the first block.

$\text{for } m_a \leq 1.0 \quad k(m_a) = \begin{matrix} 0.707 m_a & \text{1-phase} \\ 0.612 m_a & \text{3-phase} \end{matrix}$

Block diagram of the Inverter:

The diagram shows a block labeled "Inverter". An input arrow from the left is labeled V_d . An output arrow to the right is labeled $V_{o1} = k V_d$ (rms, line-to-line).

$$k = 0.9 \quad \text{1-phase}$$
$$= 0.78 \quad \text{3-phase}$$

- Blok diyagram olarak fonksiyonel gösterimi