

Dördüncü Basımdan Çeviri

GÜÇ ELEKTRONİĞİ

Yarıiletken Elemanlar, Devreler ve Uygulamaları

Fourth Edition

POWER ELECTRONICS

Devices, Circuits, and Applications



MUHAMMAD H.
RASHID

Çeviri Editörleri:
Prof. Dr. Sedat SÜNER
Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR

PEARSON



BÖLÜM 10

Kontrollü Doğrultucular

Bölüm 10 Kontrollü Doğrultucular 503

- 10.1 Giriş 504
- 10.2 Tek Fazlı Tam Köprü Doğrultucular 504
 - 10.2.1 Tek fazlı *RL* Yüklü Tam Köprü Doğrultucu 508
- 10.3 Tek Fazlı Çift Köprülü Doğrultucular 511
- 10.4 Üç Fazlı Tam Köprü Doğrultucular 514
 - 10.4.1 Üç Fazlı *RL* Yüklü Tam Köprü Doğrultucu 518
- 10.5 Üç Fazlı Çift Köprülü Doğrultucular 520
- 10.6 Darbe Genişlik Modülasyonu Kontrolü 523
 - 10.6.1 PWM Kontrolü 524
 - 10.6.2 Tek Fazlı Sinüzoidal PWM 526
 - 10.6.3 Üç Fazlı PWM Doğrultucu 527
- 10.7 Tek Fazlı Seri Bağlı Doğrultucular 531
- 10.8 On İki Darbeli Doğrultucular 534
- 10.9 Doğrultucu Devrelerinin Tasarımı 536
- 10.10 Yük ve Kaynak Endüktanslarının Etkileri 542
 - Özet 544
 - Kaynaklar 544
 - Gözden Geçirme Soruları 546
 - Problemler 546

Semboller ve Anlamları

Semboller	Anlamları
α	Bir doğrultucunun tetikleme (ateşleme) açısı
$A_r; A_{cr}$	Sırasıyla referans ve taşıyıcı sinyallerin tepe büyüklükleri
HF; FF; DF; PF; TUF	Sırasıyla harmonik, form, yer değiştirme, güç ve transformatör kullanım katsayıları
$i_s; i_o$	Sırasıyla giriş kaynağı ve çıkış yükü anlık akımları
$I_R; I_A$	Sırasıyla etkin ve ortalama tristör akımları
$I_{rms}; V_{rms}$	Sırasıyla etkin çıkış akımı ve etkin çıkış gerilimi
M	Modülasyon indeksi
$P_{ac}; P_{dc}$	Sırasıyla alternatif akım ve doğru akım çıkış güçleri
$v_{an}; v_{bn}; v_{cn}$	Sırasıyla a, b ve c fazlarının anlık gerilimleri
$v_{ab}; v_{bc}; v_{ca}$	Sırasıyla a, b ve c hatlarının anlık hat gerilimleri
$v_{g1}; v_{g2}$	Sırasıyla S_1 ve S_2 anahtarlama elemanları için anlık kapı işareti gerilimleri
$v_p; v_s$	Sırasıyla bir transformatörün anlık primer ve sekonder gerilimleri
$v_o; V_{dc}$	Sırasıyla anlık ve ortalama çıkış gerilimleri
V_m	Giriş kaynağı tepe gerilimi

10.1 GİRİŞ

Bolum 3'te diyotlu doğrultucuların sadece sabit bir çıkış gerilimi sağladıklarını görmüştük. Kontrollü çıkış gerilimleri elde edebilmek için, diyotların yerine faz kontrollü tristörler kullanılır. Tristörlü doğrultucuların çıkış gerilimleri, tristörlerin tetikleme (ateşleme) acılarının kontrolü ile değiştirilir. Faz kontrolünde kullanılan bir tristör, kapısına kısa bir darbe uygulanması ile ilettime sokulur ve *doğal veya hat komütasyonu nedeniyle* kesime sokulur; oldukça yüksek endüktif yük durumunda, giriş geriliminin negatif yarı cevrimi boyunca doğrultucunun diğer tristörünün tetiklenmesi ile kesime sokulur.

Faz kontrollü doğrultucular, AA-DA dönüştüren doğrultuculardır ve endüstriyel uygulamalarda özellikle değişken hızlı sürücülerde, küçük beygir güçlerinden megawatt seviyelerine kadar kullanılırlar.

Tek fazlı ve üç fazlı olmak üzere iki sınıftırlar;

Yarı doğrultucu, tam doğrultucu ve ikili doğrultucu olmak üzere alt gruplara ayrılırlar

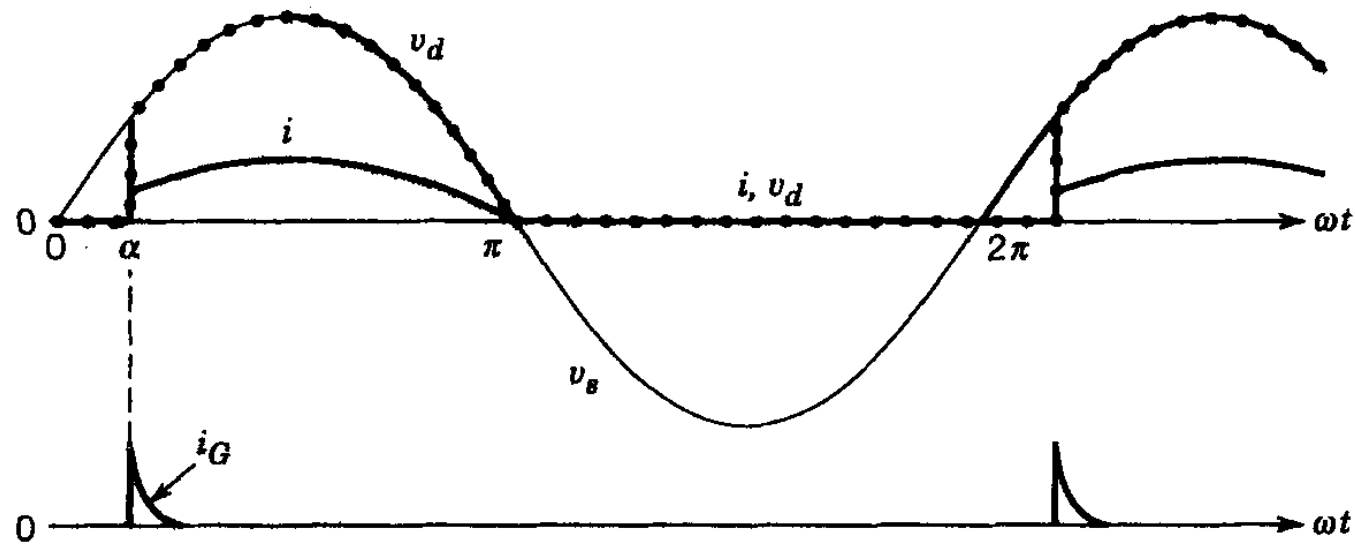
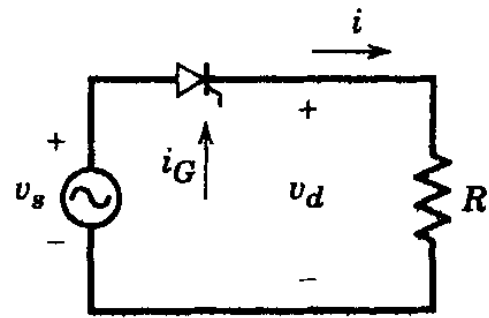
10.1 GİRİŞ

Yarı doğrultucular tek bölgede çalışırlar ve çıkış gerilimi ile akımı tek yönlüdür.

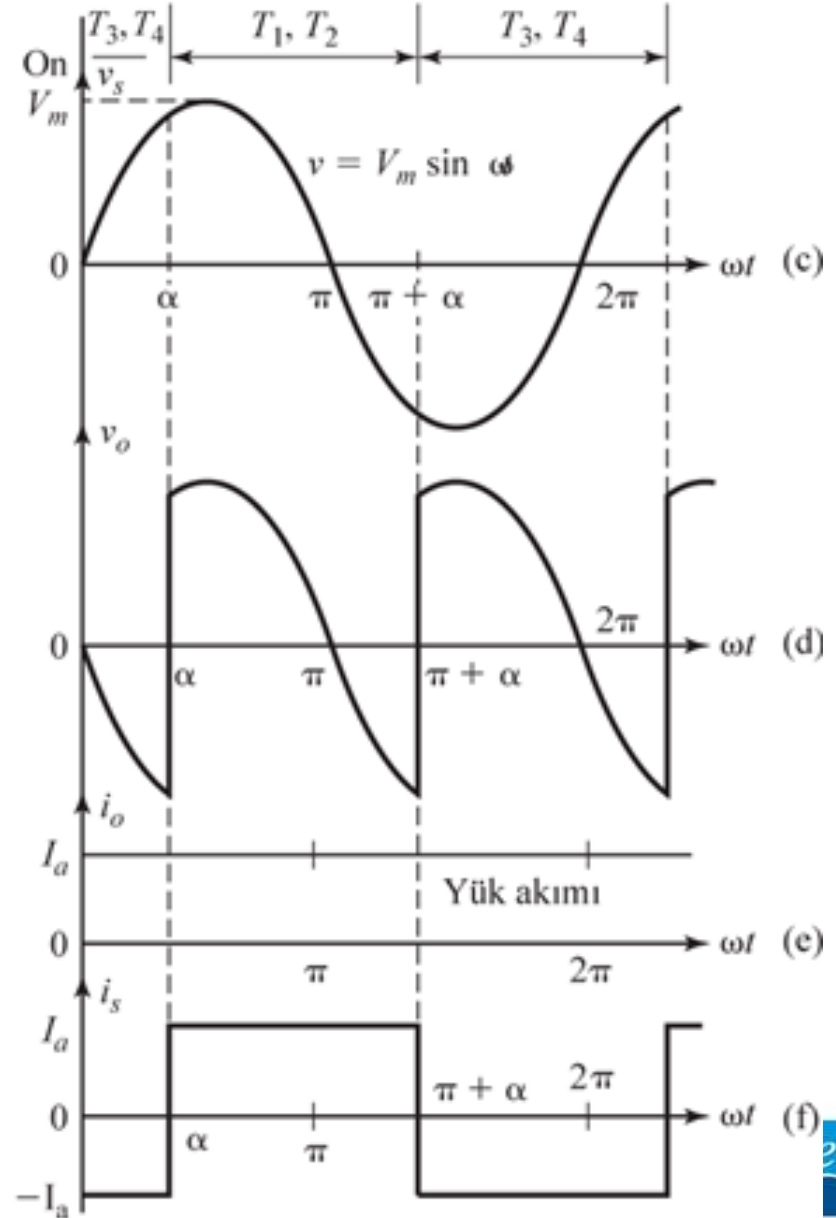
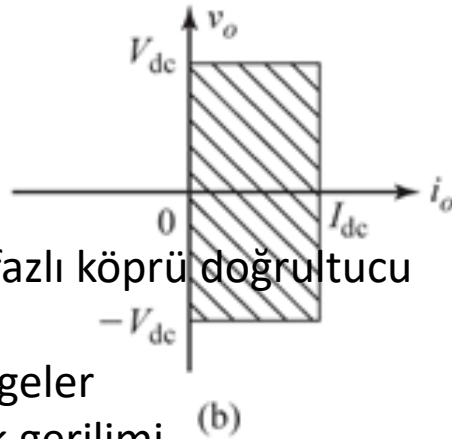
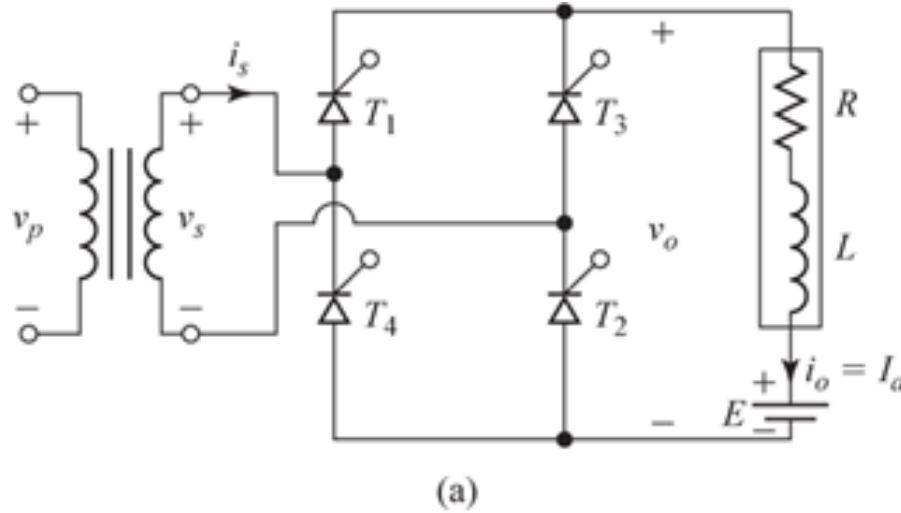
Tam doğrultucu iki bölgede çalışırlar ve çıkış gerilimi pozitif veya negatif olabilir, ancak çıkış akımı tek yönlüdür.

İkili (çift köprülü) doğrultucu dört bölgede de çalışabilir ve çıkış gerilimi ile akımının her ikisi de pozitif veya negatif olabilir.

Diyotlu doğrultucularda olduğu gibi giriş kaynak gerilimi 120 V, 60 Hz veya 240 V, 50 Hz'lik bir sinüs dalgasıdır. Yük endüktansı yeteri kadar yüksek kabul edilirse, yük akımı sürekli ve ihmal edilebilen dalgalılığa sahip olur.



10.2 TEK FAZLI TAM KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR



Şekil 10.1. Tek fazlı köprü doğrultucu

- a) Devresi
- b) Çalıştığı bölgeler
- c) Giriş kaynak gerilimi
- d) Çıkış gerilimi
- e) Sabit yük akımı
- f) Giriş kaynak akımı

10.2 TEK FAZLI TAM KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR

Yük akımını sürekli ve dalgasız yapan yüksek endüktans yük ile birlikte Şekil 10.1a'da gösterilmiştir. Pozitif yarı periyot boyunca T_1 ve T_2 tristörleri ileri öngerilimlenir. Bu tristörler eş zamanlı olarak $\omega t = \alpha'$ 'da ilettime girdiğinde yük, giriş kaynağına T_1 ve T_2 üzerinden bağlanır. Endüktif yük edeniyle T_1 ve T_2 tristörleri giriş geriliminin negatif olmasına rağmen $\omega t = \pi'$ 'den sonra da ilettime devam eder. Giriş gerilimi negatif iken T_3 ve T_4 ileri öngerilimlenir. T_3 ve T_4 'ün ilettime girmesiyle ters tıkama gerilimi olarak T_1 ve T_2 'nin uçlarına kaynak gerilimi uygulanır. T_1 ve T_2 doğal veya hat komutasyon ile kesime sokulur ve yük akımı T_1 ve T_2 'den T_3 ve T_4 'e aktarılır. α' 'dan π' 'ye kadar olan sürede giriş gerilimi v_s ve giriş akımı i_s pozitifdir ve güç kaynaktan yüke akar. Bu duruma doğrultma modu denir. π' 'den $\pi + \alpha'$ 'ya giriş gerilimi negatiftir ve güç yükten kaynağa akar, buna da evirme modu denir. Bu doğrultucu 15 kW'a kadar olan uygulamalarda kullanılır. Böylece iki bölgede çalışma olur.

10.2 TEK FAZLI TAM KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR

Ortalama çıkış gerilimi aşağıdaki denklemlerden bulunabilir;

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi+\alpha} \\ &= \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha \end{aligned}$$

α Açısı 0 ile π arasında değiştirilerek V_{dc} , $2V_m/\pi$ 'den $-2V_m/\pi$ 'ye kadar değiştirilebilir. Normalize edilmiş ortalama gerilim değeri ise;

$$V_n = \frac{V_{dc}}{V_{dm}} = \cos \alpha$$

Olur. Çıkış geriliminin etkin değeri aşağıdaki şekilde verilir;

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} = \left[\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{1/2} \\ &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_s \end{aligned}$$



Örnek 10.1 Tek Fazlı Tam Köprü Doğrultucunun Giriş Güç Katsayısının Bulunması

Şekil 10.1a'daki tam köprü doğrultucu 120-V, 60-Hz'lik bir kaynağa bağlıdır. Yük akımı I_a sürekli ve dalgalanma içeriği ihmal edilebilir. Transformatörün sarım oranı birdir. (a) Giriş akımını Fourier serisi ile ifade ediniz; giriş akımının HF, DF, ve giriş PF değerlerini belirleyiniz. (b) Eğer tetikleme açısı $\alpha = \pi/3$ ise, V_{dc} , V_n , V_{rms} , HF, DF ve PF değerlerini hesaplayınız.

Çözüm

- a. Giriş akımının dalga şekli Şekil 10.1c'de gösterilmiştir ve anlık giriş akımının Fourier serisine açılımı şu biçimdedir:

$$i_s(t) = a_0 + \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t)$$

Bu ifadedeki katsayılar aşağıda tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi+\alpha} i_s(t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_a d(\omega t) - \int_{\pi+\alpha}^{2\pi+\alpha} I_a d(\omega t) \right] = 0 \\ a_n &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{2\pi+\alpha} i_s(t) \cos n\omega t d(\omega t) \\ &= \frac{1}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_a \cos n\omega t d(\omega t) - \int_{\pi+\alpha}^{2\pi+\alpha} I_a \cos n\omega t d(\omega t) \right] \end{aligned}$$

$$= -\frac{4I_a}{n\pi} \sin n\alpha \quad n = 1, 3, 5, \dots \text{ için}$$

$$= 0 \quad n = 2, 4, \dots \text{ için}$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{2\pi+\alpha} i(t) \sin n\omega t d(\omega t)$$

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

$$= \frac{4I_a}{n\pi} \cos n\alpha \quad n = 1, 3, 5, \dots \text{ için}$$

$$= 0 \quad n = 2, 4, \dots \text{ için}$$

$a_0 = 0$ olduğundan giriş akımı aşağıdaki şekilde yazılabilir

$$i_s(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t + \phi_n)$$

Burada:

$$\phi_n = \tan^{-1} \frac{a_n}{b_n} = -n\alpha \quad (10.4)$$

ve ϕ_n n 'inci harmonik akımının yer değiştirme açısıdır. n 'inci harmonik giriş akımının etkin değeri

$$I_{sn} = \frac{1}{\sqrt{2}} (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} = \frac{4I_a}{\sqrt{2} n\pi} = \frac{2\sqrt{2} I_a}{n\pi} \quad (10.5)$$

ve ana akımın etkin değeri

$$I_{s1} = \frac{2\sqrt{2} I_a}{\pi}$$

biçiminde tanımlanır. Denk. (10.5)'ten giriş akımının etkin değeri hesaplanabilir.

$$I_s = \left(\sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} I_{sn}^2 \right)^{1/2}$$

I_s doğrudan aşağıdaki denklemden de belirlenebilir.

$$I_s = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} I_a^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = I_a$$

Denk. (3.22)'den HF bulunur

$$\text{HF} = \left[\left(\frac{I_s}{I_{s1}} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} = 0.483 \text{ veya } \%48.3$$

Denk. (3.21) ve (10.4)'ten de DF hesaplanabilir.

$$\text{DF} = \cos \phi_1 = \cos(-\alpha) \quad (10.6)$$

Denk. (3.23)'ten PF aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos(-\alpha) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos \alpha \quad (10.7)$$

b. $\alpha = \pi/3$

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha = 54.02 \text{ V} \quad \text{ve} \quad V_n = 0.5 \text{ pu}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = V_s = 120 \text{ V}$$

$$I_{s1} = \left(2\sqrt{2} \frac{I_a}{\pi} \right) = 0.90032 I_a \quad \text{ve} \quad I_s = I_a$$

$$HF = \left[\left(\frac{I_s}{I_{s1}} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} = 0.4834 \quad \text{veya} \quad 48.34\%$$

$$\phi_1 = -\alpha \quad \text{ve} \quad DF = \cos(-\alpha) = \cos \frac{-\pi}{3} = 0.5$$

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos(-\alpha) = 0.45 \text{ (geride)}$$

Not: Giriş akımının temel bileşeni, her zaman I_a 'nın %90.03'üne eşittir. HF, %48,34'te sabit kalır.

10.2.1 Tek Fazlı *RL* Yüklü Tam Köprü Doğrultucu

Şekil 10.1a'daki doğrultucu iki modda çalışır;

Mod 1: T_1 ve T_2 'nin ilettiği mod; $\alpha \leq \omega t \leq (\alpha + \pi)$ aralığı

Mod 2: T_3 ve T_4 'ün ilettiği mod

Yalnızca bir mod için i_L çıkış akımını bulmak yeterli olacaktır;

Mod 1 aralığında, eğer giriş gerilimi $v_s = \sqrt{2} V_s \sin \omega t$ ise i_L yük akımı;

$$L \frac{di_L}{dt} + Ri_L + E = |\sqrt{2} V_s \sin \omega t| \quad \text{for } i_L \geq 0$$

Bu denklemin çözümü;

$$i_L = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \sin(\omega t - \theta) + A_1 e^{-(R/L)t} - \frac{E}{R} \quad \text{for } i_L \geq 0$$

$$Z = [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2} \quad \theta = \tan^{-1}(\omega L/R)$$

Yerleştirilirse;
$$i_L = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \sin(\omega t - \theta) - \frac{E}{R}$$

$$+ \left[I_{Lo} + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \sin(\alpha - \theta) \right] e^{(R/L)(\alpha/\omega - t)}$$

• 10.2.1 Tek Fazlı *RL* Yüklü Tam Köprü Doğrultucu

Tetikleme sırası şu şekildedir;

1. Kaynak gerilimi v_s 'nin sıfırdan pozitif geçişinde bir darbe sinyali üret. Darbeyi istenen açı α kadar geciktir ve aynı darbeyi kapı yalıtım devrelerinden geçirerek T_1 ve T_2 'nin kapılarına uygula
2. Tetikleme açısı $\pi + \alpha$ 'da başka bir darbe üret ve aynı darbeyi kapı yalıtım devrelerinden geçirerek T_3 ve T_4 'ün kapı ve katot uçları arasına uygula

Bölüm 10.2'nin Önemli Noktaları

- Yükün oldukça yüksek derece endüktif olması ve akımın sürekli olması durumunda tetikleme açısı α 'nın 0'dan π 'ye kadar değişmesi, ortalama çıkış gerilimini $2V_m/\pi$ 'den $-2V_m/\pi$ 'ye değiştirebilir,
- Tamamen rezistif bir yük için, tetikleme açısı α 'nın 0'dan $\pi/2$ 'ye değiştirilmesi, $2V_m/\pi$ 'den 0'a değişen bir çıkış gerilimi üretir.
- Tam köprü doğrultucu oldukça yüksek oranda endüktif bir yük için iki bölgede ve tamamen rezistif bir yük için ise sadece bir bölgede çalışabilir.

Problem 10.2 Tek Fazlı *RL* Yüklü Tam Köprü Doğrultucunun Akım Değerlerinin Bulunması

Şekil 10.1a'daki devrede, $L=6,5$ mH, $R=0,5$ Ω ve $E=10$ V değerindedir. $f=60$ Hz, $V_s=120$ V'tur. a) $\omega t=\alpha=60^\circ$ iken I_L yük akımı, b) I_A ortalama tristör akımı c) I_R etkin tristör akımı, d) I_{rms} etkin çıkış akımı e) I_{dc} ortalama çıkış akımı değerlerini bulunuz.

Çözüm:

$\alpha = 60^\circ$, $R = 0.5$ Ω , $L = 6.5$ mH, $f = 60$ Hz, $\omega = 2\pi \times 60 = 377$ rad/s, $V_s = 120$ V, and $\theta = \tan^{-1}(\omega L/R) = 78.47^\circ$.

- The steady-state load current at $\omega t = \alpha$, $I_{Lo} = 49.34$ A.
- The numerical integration of i_L in Eq. (10.8) yields the average thyristor current as $I_A = 44.05$ A.
- By numerical integration of i_L^2 between the limits $\omega t = \alpha$ to $\pi + \alpha$, we get the rms thyristor current as $I_R = 63.71$ A.
- The rms output current $I_{rms} = \sqrt{2} I_R = \sqrt{2} \times 63.71 = 90.1$ A.
- The average output current $I_{dc} = 2I_A = 2 \times 44.04 = 88.1$ A.

Şekil 10.1a'daki tek fazlı tam köprü doğrultucu $L = 6.5 \text{ mH}$, $R = 0.5 \Omega$, ve $E = 10 \text{ V}$ değerlerini içeren RL yüküne sahiptir. 60 Hz 'deki giriş geriliminin etkin değeri $V_s = 120 \text{ V}$ 'tur. (a) $\omega t = \alpha = 60^\circ$ iken, I_{Lo} yük akımını, (b) I_A ortalama tristör akımını, (c) I_R etkin tristör akımını, (d) I_{rms} etkin çıkış akımını, (e) I_{dc} ortalama çıkış akımını, ve (f) α_c kritik tetikleme açısını bulunuz.

Çözüm

$\alpha = 60^\circ$, $R = 0.5 \Omega$, $L = 6.5 \text{ mH}$, $f = 60 \text{ Hz}$, $\omega = 2\pi \times 60 = 377 \text{ rad/s}$, $V_s = 120 \text{ V}$ ve $\theta = \tan^{-1}(\omega L/R) = 78.47^\circ$.

- $\omega t = \alpha$ 'da kalıcı durum yük akımı; $I_{Lo} = 49.34 \text{ A}$ 'dir.
- Denk. (10.8)'de i_L 'nin sayısal integrasyonu sonucunda ortalama tristör akımı $I_A = 44.05 \text{ A}$ olarak bulunur.
- i_L^2 'nin $\omega t = \alpha$ ve $\pi + \alpha$ sınırları arasındaki sayısal integrasyonu ile etkin tristör akımını $I_R = 63.71 \text{ A}$ olarak buluruz.
- Etkin çıkış akımı $I_{rms} = \sqrt{2} I_R = \sqrt{2} \times 63.71 = 90.1 \text{ A}$.
- Ortalama çıkış akımı $I_{dc} = 2I_A = 2 \times 44.04 = 88.1 \text{ A}$

Denk. (10.10)'dan yineleme ile kritik tetikleme açısını $\alpha_c = 73.23^\circ$ olarak buluruz.

$$I_{Lo} = I_{L1} = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \left[\frac{-\sin(\alpha - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{-(R/L)(\pi)/\omega}}{1 - e^{-(R/L)(\pi)/\omega}} \right] - \frac{E}{R}$$

$$i_L = \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \sin(\omega t - \theta) - \frac{E}{R} + \left[I_{Lo} + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2} V_s}{Z} \sin(\alpha - \theta) \right] e^{(R/L)(\alpha/\omega - t)}$$

$$I_R = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} i_L^2 d(\omega t) \right]^{1/2}$$

$$I_A = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} i_L d(\omega t)$$

$$I_{rms} = (I_R^2 + I_R^2)^{1/2} = \sqrt{2} I_R$$

$$I_{dc} = I_A + I_A = 2I_A$$

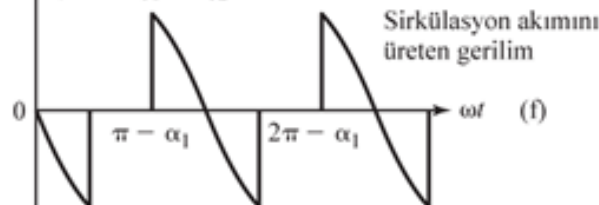
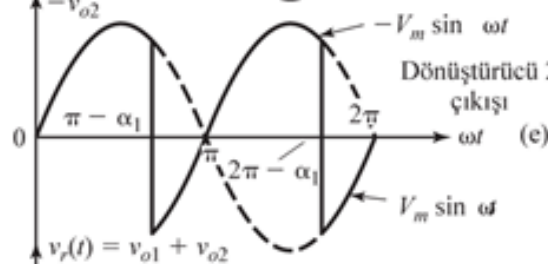
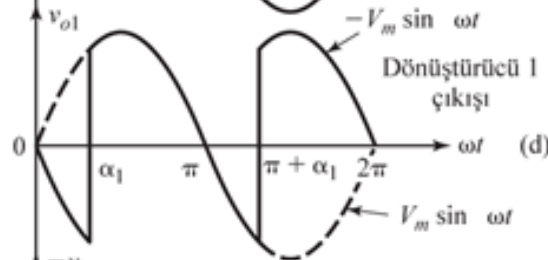
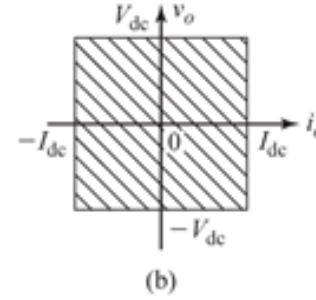
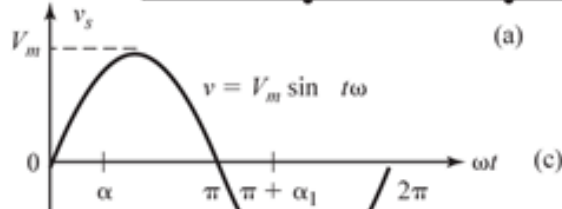
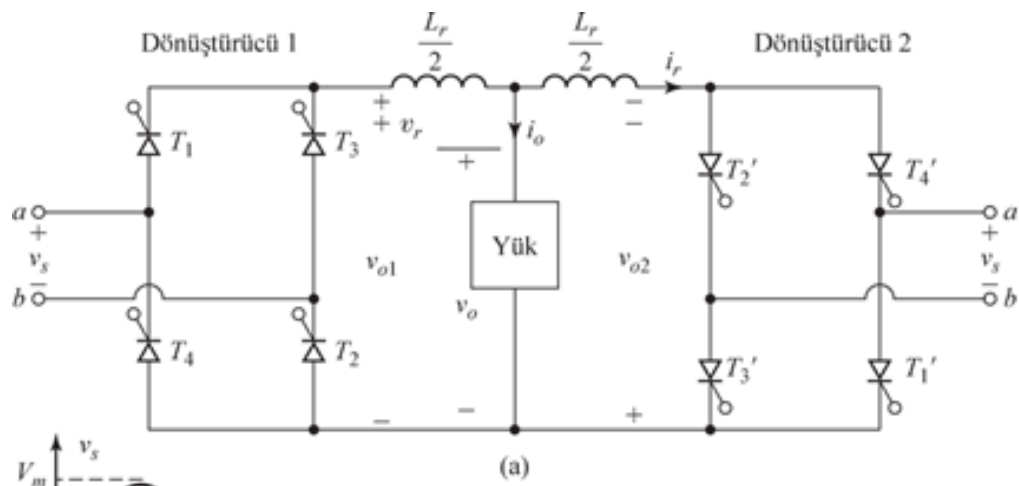
10.3 TEK FAZLI ÇİFT KÖPRÜLÜ DOĞRULTUCULAR

İki tam köprü doğrultucu Şekil 10.2a'da gösterildiği gibi sırt sırta bağlanırsa, hem çıkış gerilimi hem de yük akım akışı tersine döndürülebilir. Sistem dört bölgede çalışmayı sağlar ve çift köprülü doğrultucu olarak adlandırılır. Bunlar yüksek güçlü ve değişken hızlı sürücülerde kullanılır. Tetikleme açıları bir dönüştürücünün doğrultma modunda olarak, diğerinin ise evirme modunda çalışması için kontrol edilir, fakat ikisi de aynı ortalama çıkış gerilimini üretir.

$$V_{dc1} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha_1 \quad V_{dc2} = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha_2$$

$$V_{dc1} = -V_{dc2} \quad \text{or} \quad \cos \alpha_2 = -\cos \alpha_1 = \cos(\pi - \alpha_1)$$

$$\alpha_2 = \pi - \alpha_1$$



Şekil 10.2

Tek fazlı çift köprülü doğrultucu

a) Devresi

b) Çalışma bölgeleri

c) Giriş kaynak gerilimi

d) Doğrultucu 1'in çıkış gerilimi

e) Doğrultucu 2'nin çıkış gerilimi

f) Sirkülasyon endüktör gerilimi

İki doğrultucunun anlık çıkış gerilimleri aynı fazda olmadığından, anlık bir gerilim farkı olabilir ve bu durum, iki doğrultucu arasında bir sirkülasyon akımına neden olabilir.

L_r endüktansı sirkülasyon akımını sınırlar.

$\alpha_1=0$ için sadece 1 nolu doğrultucu çalışır,

$\alpha_1=\pi$ için sadece 2 nolu doğrultucu çalışır.

$0 \leq \alpha_1 \leq \pi/2$ için 1 nolu doğrultucu $+i_o$ pozitif yük akımı sağlar ve bu yüzden sirkülasyon akımı sadece pozitif olabilir.

$\pi/2 \leq \alpha_1 \leq \pi$ için 2 nolu doğrultucu $-i_o$ negatif yük akımı sağlar ve bu yüzden sirkülasyon akımı sadece negatif olabilir.

Oldukça yüksek endüktif bir yük için, çift köprülü doğrultucu 4 bölgede çalışabilir. Akım, yükten her iki yönde de akabilir. Sirkülasyon akımının azaltılması için bir DA endüktörü gereklidir.

1. Sirkülasyon akımı, yükten bağımsız olarak tüm kontrol aralığında iki doğrultucunun sürekli iletimini sağlar
2. Bir doğrultucu her zaman artı yönde ve diğer doğrultucu her zaman ters yönde çalıştığından, herhangi bir anda iki yönde de güç akışı mümkündür.
3. Doğrultucularda ikisi de sürekli iletimde olduğundan, bir bölgedeki çalışmadan diğer bölgeye geçişteki zaman tepkisi daha hızlıdır.

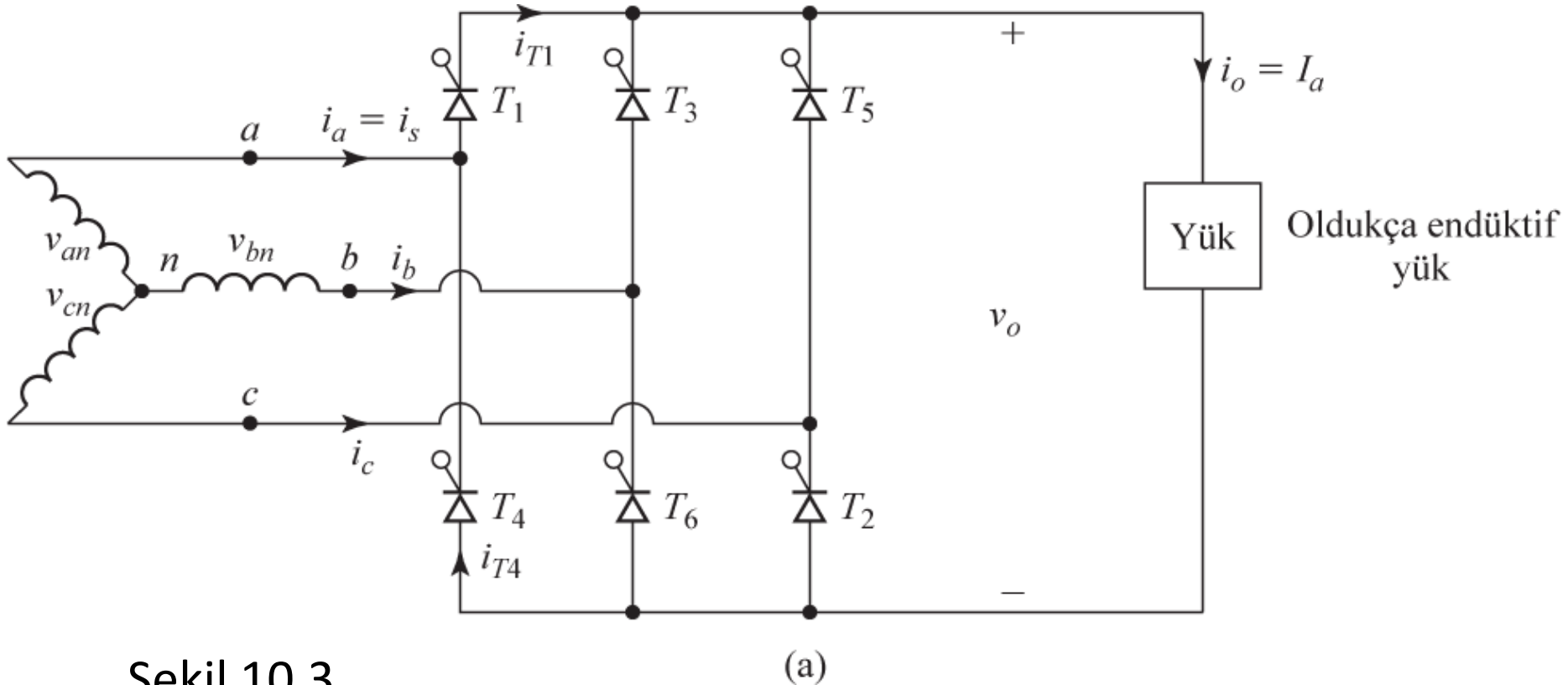
Tetikleme sırası şu şekildedir;

1. Pozitif doğrultucuyu $\alpha_1 = \alpha$ tetikleme açısıyla tetikle
2. Negatif doğrultucuyu kapı yalıtım devreleri kullanarak $\alpha_2 = \pi - \alpha$ tetikleme açısı ile tetikle

Bölüm 10.3'ün Önemli Noktaları

- Çift köprülü doğrultucu devresinde bir doğrultucu pozitif çıkış gerilimi, diğer doğrultucu ise negatif çıkış gerilimi üretir. Yükün oldukça endüktif ve akımın sürekli olması durumunda tetikleme açısı α 'nın 0'dan π 'ye değişmesi ortalama çıkış gerilimini $2V_m/\pi$ 'den $-2V_m/\pi$ 'ye değiştirebilir.
- Oldukça yüksek değerli endüktif bir yük için, çift köprülü doğrultucu 4 bölgede çalışabilir. Akım, yükten her iki yönde de akabilir. Sirkülasyon akımının azaltılması için bir DA endüktörü gereklidir.

10.4 ÜÇ FAZLI TAM KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR



Şekil 10.3

Üç fazlı tam köprü doğrultucu

a) Devresi

Devam ediyor →

10.4 ÜÇ FAZLI TAM KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR

Üç fazlı doğrultucular, iki bölge çalışması gerektiren endüstriyel uygulamalarda 120 kW seviyesine kadar yaygın bir şekilde kullanılır. Tristörler $\pi/3$ aralıklarla ilettime sokulur. Çıkış geriliminin dalgalanma frekansı $6f_s$ 'dir ve süzme ihtiyacı yarım dalga doğrultuculardan daha azdır. $\omega t = \pi/6 + \alpha$ iken T_6 tristörü hali hazırda iletimdedir ve T_1 tristörü ilettime sokulur. $(\pi/6 + \alpha) \leq \omega t \leq (5\pi/6 + \alpha)$ boyunca T_1 ve T_6 tristörleri iletir ve fazlar arası gerilim $v_{ab}(=v_{an}-v_{bn})$ yük üzerinde görülür. $\omega t = \pi/2 + \alpha$ iken, T_2 tristörü ilettime sokulur ve T_6 tristörü hemen ters ömgerilimlenir. T_6 doğal komutasyon nedeni ile kesime girer. $(\pi/2 + \alpha) \leq \omega t \leq (5\pi/6 + \alpha)$ boyunca T_1 ve T_2 tristörleri iletir ve fazlar arası gerilim v_{ac} yük uçlarında görünür.

Faz (faz-nötr) gerilimleri;

$$v_{an} = V_m \sin \omega t$$

$$v_{bn} = V_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$v_{cn} = V_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right)$$

Şekil 10.3

Üç fazlı tam köprü doğrultucu

a) Devresi

b) Tetikleme sıraları

c) Faz-nötr gerilimleri

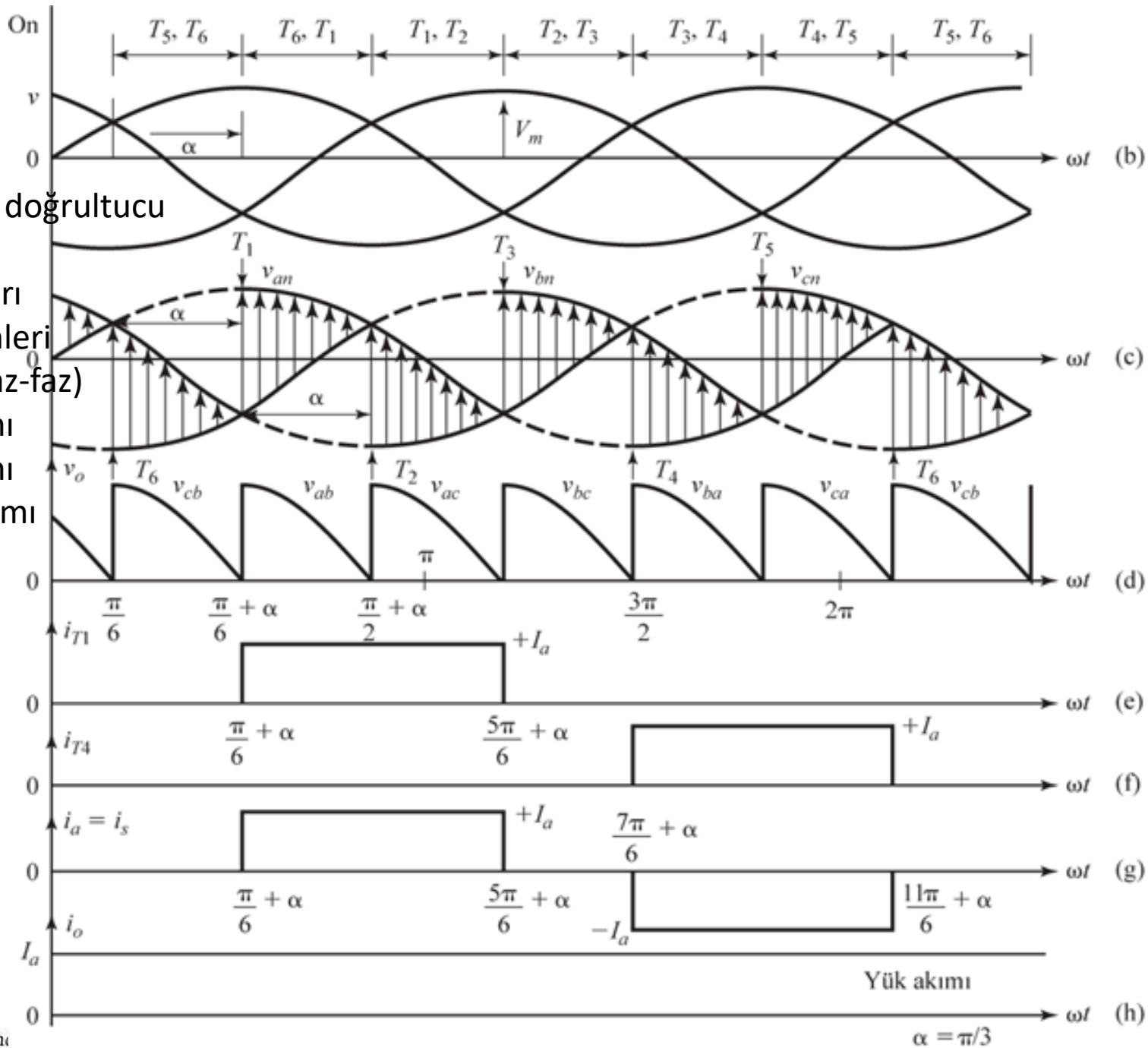
d) Çıkış gerilimi (faz-faz)

e) T1 tristörü akımı

f) T2 tristörü akımı

g) Giriş kaynak akımı

h) Sabit yük akımı



10.4 ÜÇ FAZLI TAM KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR

Bu durumda fazlar arası (hat veya faz-faz) gerilimleri aşağıdaki gibidir;

$$v_{ab} = v_{an} - v_{bn} = \sqrt{3} V_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right)$$

$$v_{bc} = v_{bn} - v_{cn} = \sqrt{3} V_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$v_{ca} = v_{cn} - v_{an} = \sqrt{3} V_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Ortalama çıkış gerilimi;

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} v_{ab} d(\omega t) = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} \sqrt{3} V_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right) d(\omega t) \\ &= \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha \end{aligned}$$

$\alpha=0^\circ$ için en büyük ortalama çıkış gerilimi; $V_{dm} = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi}$

10.4 ÜÇ FAZLI TAM KÖPRÜ DOĞRULTUCULAR

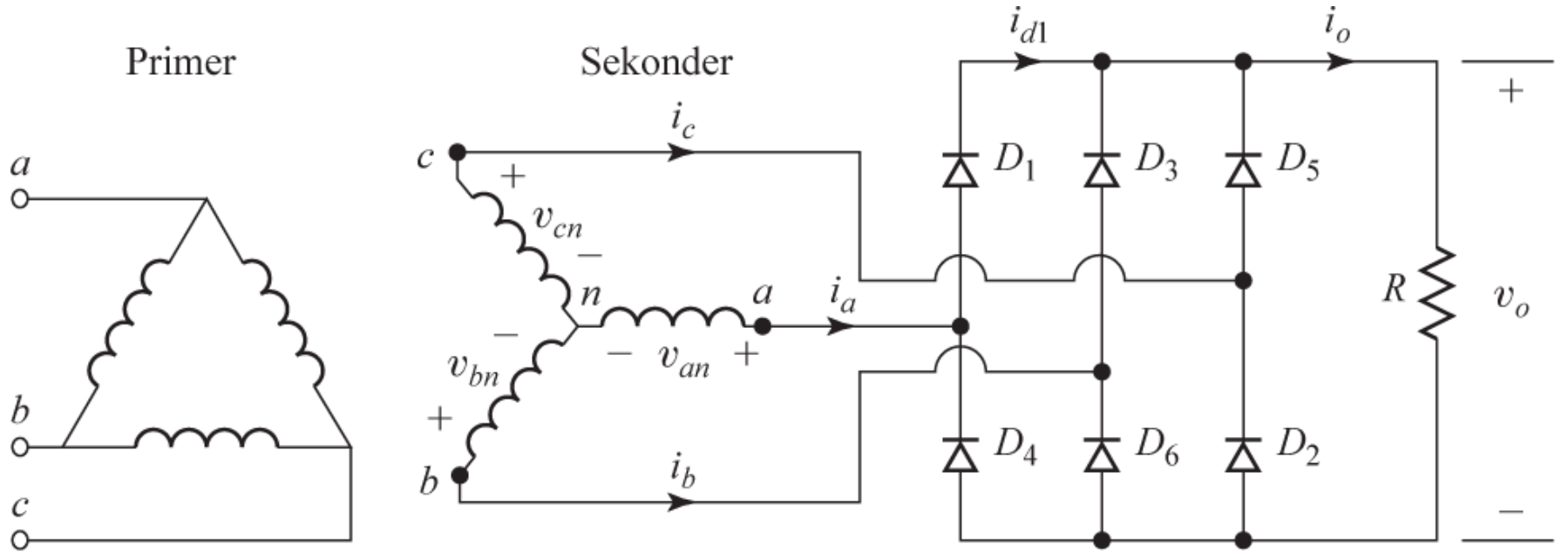
Normalize edilmiş ortalama çıkış gerilimi; $V_n = \frac{V_{dc}}{V_{dm}} = \cos \alpha$

Çıkış geriliminin etkin değeri;

$$V_{rms} = \left[\frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} 3V_m^2 \sin^2 \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right) d(\omega t) \right]^{1/2}$$
$$= \sqrt{3} V_m \left(\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right)^{1/2}$$

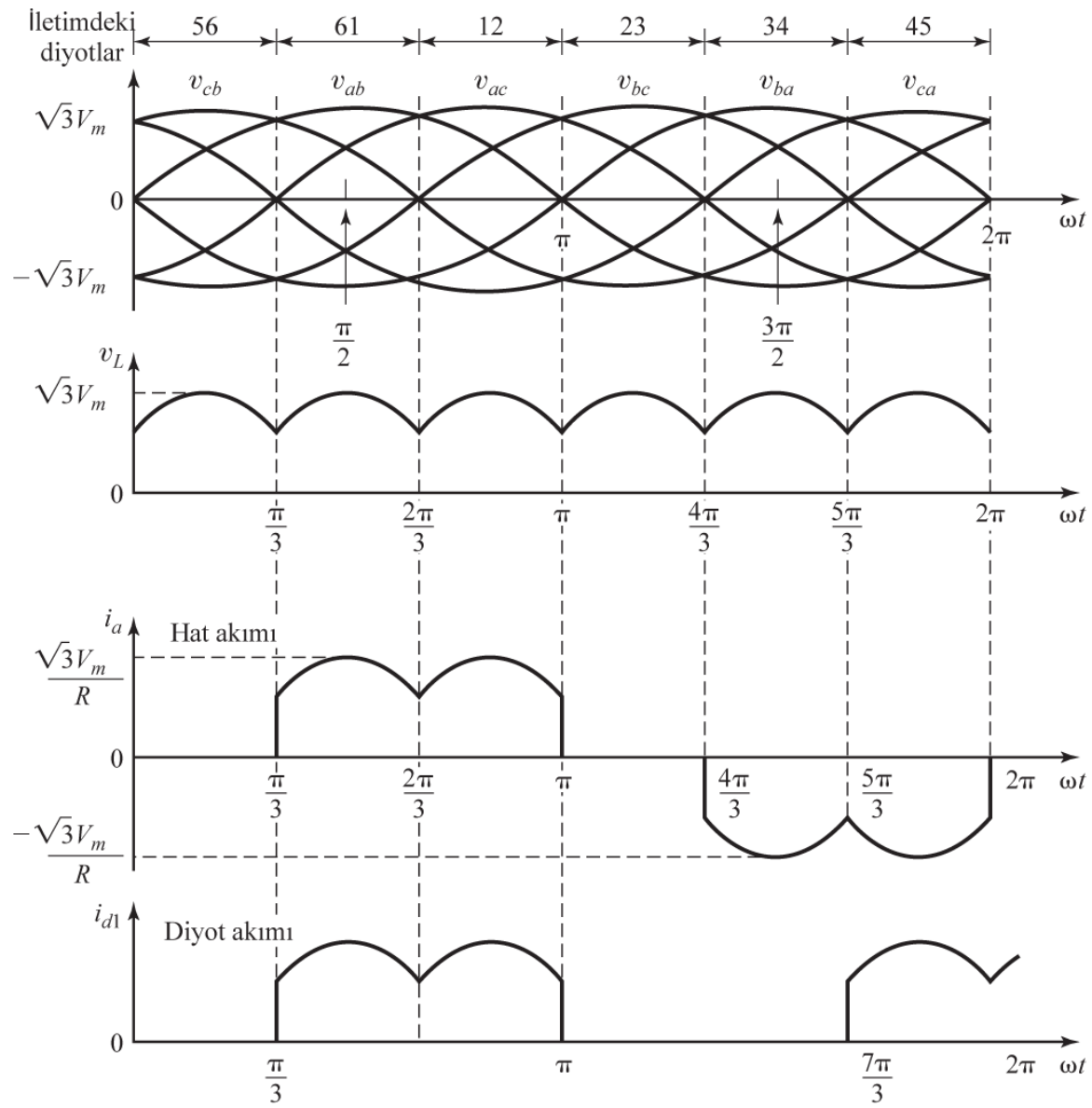
Tetikleme sırası şu şekildedir;

1. v_{an} faz gerilimlerinin pozitif geçişi esnasında bir darbe işareti üret. Darbeyi arzu edilen açı olan $\alpha + \pi/6$ kadar geciktir ve aynı darbeyi bir kapı yalıtım devresiyle T_1 'in kapı ve katot uçları arasına uygula
2. Kapı yalıtım devreleriyle $T_2, T_3, \dots T_6$ 'yı sırayla tetiklemek için her biri diğerinden $\pi/6$ kadar geciktirilmiş beş darbe daha üret



ŞEKİL 3.11

Üç-fazlı köprü doğrultucu..



ŞEKİL 3.12

Diyotların iletim süreleri ve dalga şekilleri.

Problem 10.4 Üç Fazlı Tam Dalga Doğrultucunun Performansının Hesaplanması

Şekil 10.3a'da üç fazlı tam dalga doğrultucu üç fazlı Y-bağlantılı 208 V, 60 Hz bir kaynak tarafından çalıştırılmaktadır ve yük direnci $R=10 \Omega$ 'dur. Eğer maksimum çıkış geriliminin %50'si kadar bir ortalama çıkış gerilimi elde etmek gerekliyse

- α tetikleme açısını
- Etkin ve ortalama çıkış akımlarını
- Ortalama ve etkin tristör akımlarını
- Doğrultma verimliliğini
- TUF değerini
- Giriş güç katsayısını (PF) hesaplayınız

Çözüm:

Faz gerilimi $V_s=208/\sqrt{3}=120,1 \text{ V}$, $V_m=\sqrt{2}V_s=169,83 \text{ V}$, $V_n=0,5$ ve $R=10 \Omega$.
Maksimum çıkış gerilimi $V_{dm}=3\sqrt{3}V_m/\pi=3\sqrt{3}\times 169,83/\pi=280,9 \text{ V}$
Ortalama çıkış gerilimi $V_{dc}=0,5\times 280,9=140,45 \text{ V}$

a) Denklem (10.16)'dan $0,5 = \cos \alpha$ ise tetikleme açısı $\alpha = 60^\circ$ bulunur.

b) Ortalama çıkış akımı $I_{dc} = V_{dc}/R = 140,45/10 = 14,05 \text{ A}$

$$V_{rms} = \sqrt{3} \times 169.83 \left[\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos(2 \times 60^\circ) \right]^{1/2} = 159.29 \text{ V}$$

Etkin akım değeri $I_{rms} = 159,29/10 = 15,93 \text{ A}$ elde edilir.

c) Tristörün ortalama akımı $I_A = I_{dc}/3 = 14,05/3 = 4,68 \text{ A}$ ve tristörün etkin akımı $I_R = I_{rms} \sqrt{(2/6)} = 15,93 \sqrt{(2/6)} = 9,2 \text{ A}$

d) Denklem (3.3)'den doğrultma verimliliği

$$\eta = \frac{V_{dc} I_{dc}}{V_{rms} I_{rms}} = \frac{140.45 \times 14.05}{159.29 \times 15.93} = 0.778 \text{ or } 77.8\%$$

e) Etkin giriş hat akımı $I_s = I_{rms} \sqrt{(4/6)} = 13 \text{ A}$, ve giriş VAR değeri

$VI = 3V_s I_s = 3 \times 120,1 \times 13 = 4683,9 \text{ VA}$. Denklem (3.8)'den

$TUF = V_{dc} I_{dc} / (VI) = 140,45 \times 14,05 / 4683,9 = 0,421$

f) Çıkış gücü;

$$P_o = I_{rms}^2 R = 15.93^2 \times 10 = 2537.6 \text{ W. The PF} = P_o / VI$$

$= 2537,6 / 4683,9 = 0,542$ (geride)

• 10.4.1 Üç Fazlı *RL* Yüklü Tam Köprü Doğrultucu

$$v_o = v_{ab} = \sqrt{2} V_{ab} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \quad \text{for } \frac{\pi}{6} + \alpha \leq \omega t \leq \frac{\pi}{2} + \alpha$$

$$= \sqrt{2} V_{ab} \sin \omega t' \quad \text{for } \frac{\pi}{3} + \alpha \leq \omega t' \leq \frac{2\pi}{3} + \alpha$$

$$L \frac{di_L}{dt} + Ri_L + E = \sqrt{2} V_{ab} \sin \omega t' \quad \text{for } \frac{\pi}{3} + \alpha \leq \omega t' \leq \frac{2\pi}{3} + \alpha$$

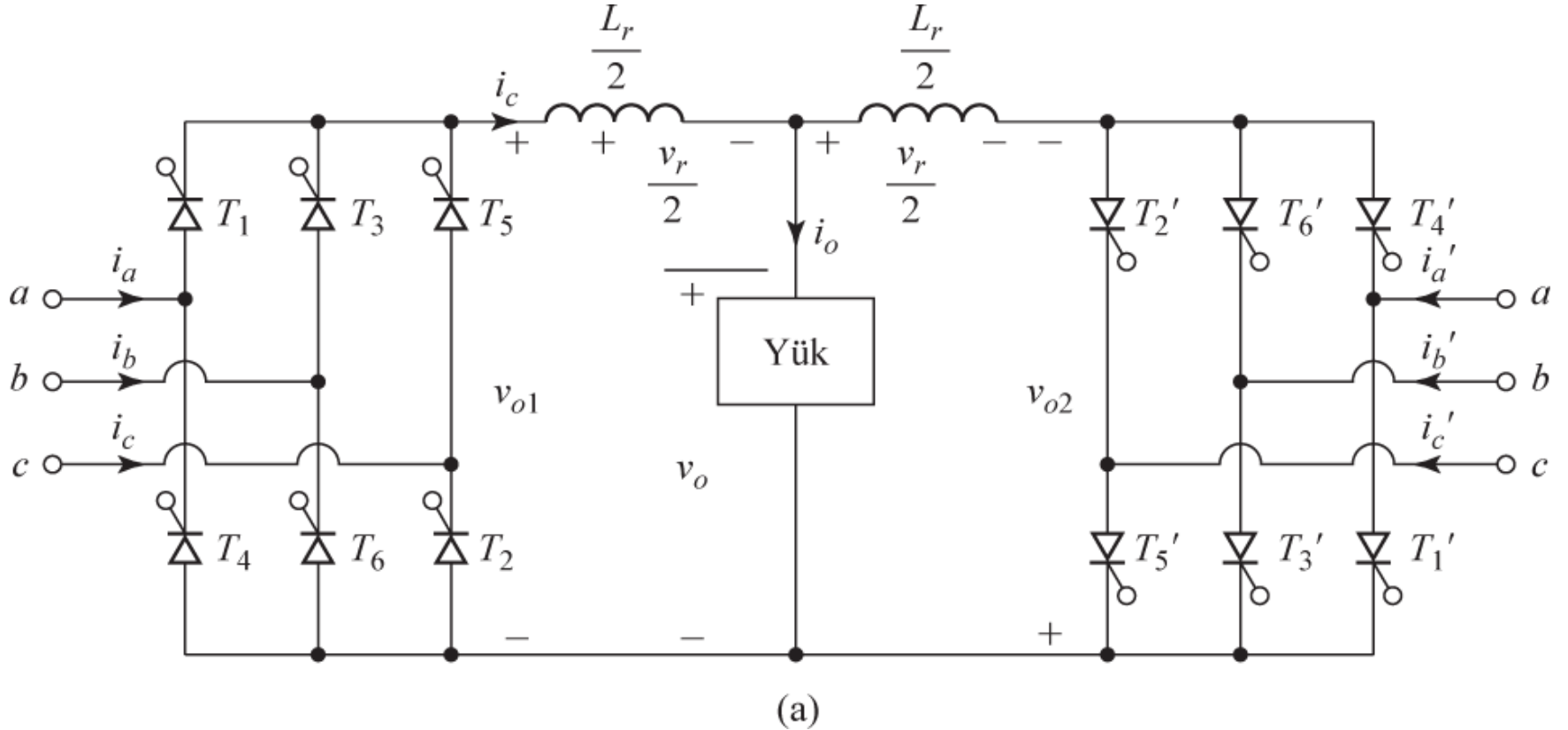
$$i_L = \frac{\sqrt{2} V_{ab}}{Z} \sin(\omega t' - \theta) - \frac{E}{R}$$

$$+ \left[I_{L1} + \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2} V_{ab}}{Z} \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha - \theta\right) \right] e^{(R/L)[(\pi/3+\alpha)/\omega - t']}$$

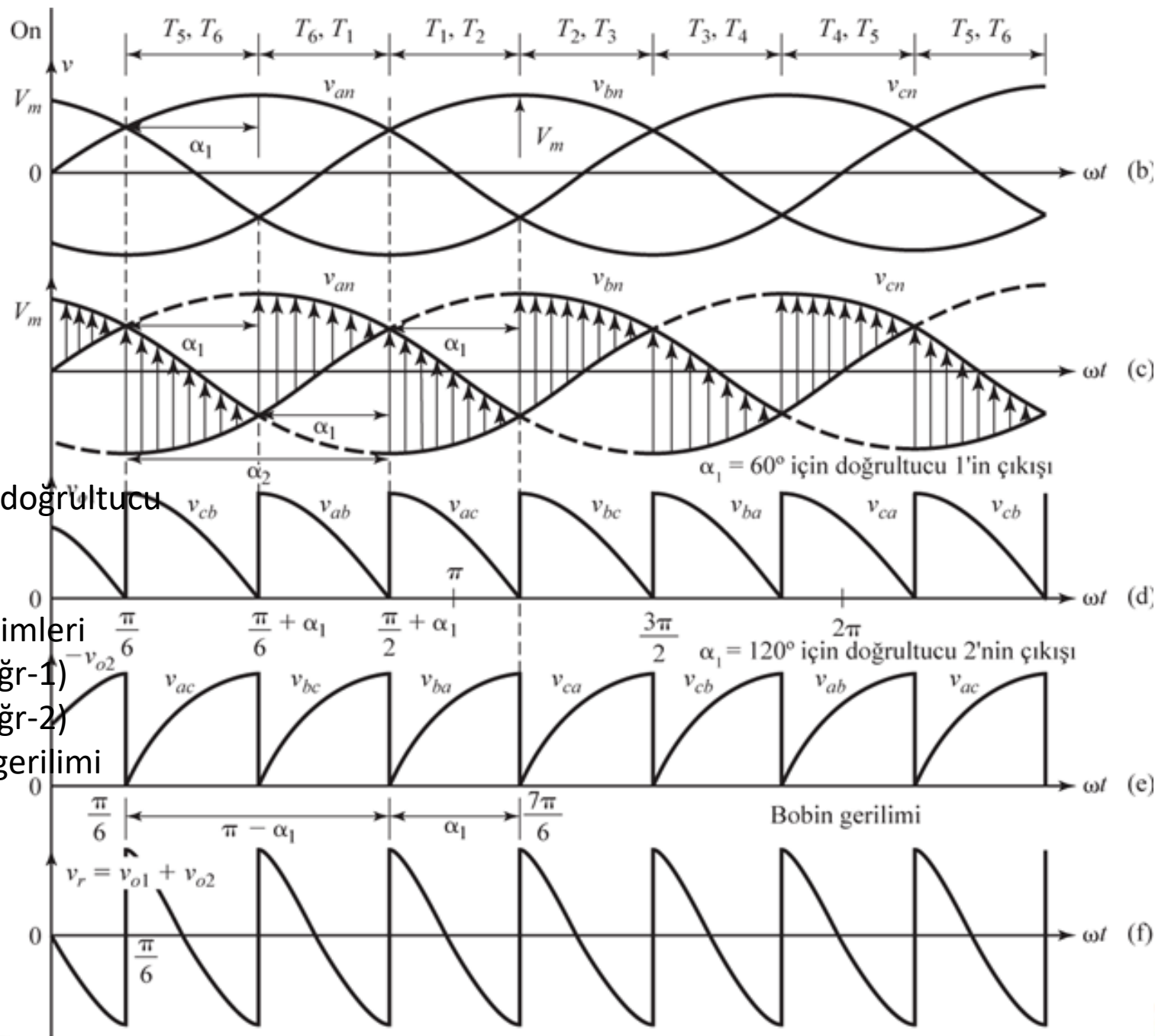
Bölüm 10.4'ün Önemli Noktaları

- Çıkış dalgalanmasının frekansı kaynak frekansının altı katıdır.
- Üç fazlı tam köprü doğrultucu pratik uygulamalarda yaygın kullanılır.
- Yükün oldukça endüktif olması ve sürekli akım durumunda iki bölge çalışabilir.

10.5 ÜÇ FAZLI ÇİFT KÖPRÜLÜ DOĞRULTUCULAR



Devam ediyor



Şekil 10.4

Üç fazlı çift köprülü doğrultucu

a) Devresi

b) Tetikleme sıraları

c) Giriş kaynak gerilimleri

d) Çıkış gerilimi (Doğr-1)

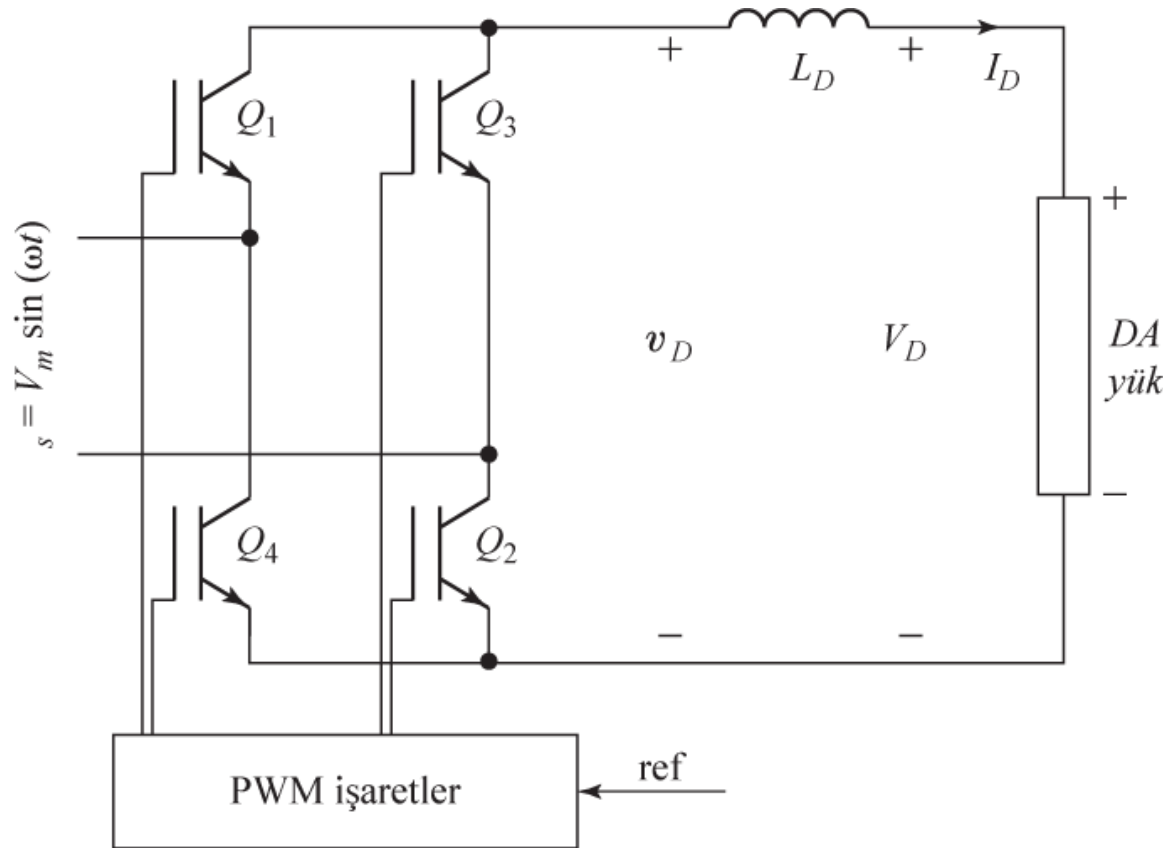
e) Çıkış gerilimi (Doğr-2)

f) Sirkülasyon end gerilimi

Bölüm 10.5'in Önemli Noktaları

- Üç fazlı çift köprülü doğrultucular 2000-kW'a kadar olan yüksek güçlü uygulamalarda kullanılır.
- Oldukça endüktif bir yük için, çift köprülü doğrultucu dört bölgede de çalışabilir. Akım, yükten her iki yönde de akabilir.
- Sirkülasyon akımını azaltmak için bir DA endüktörü gereklidir.

10.6 DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONU KONTROLÜ

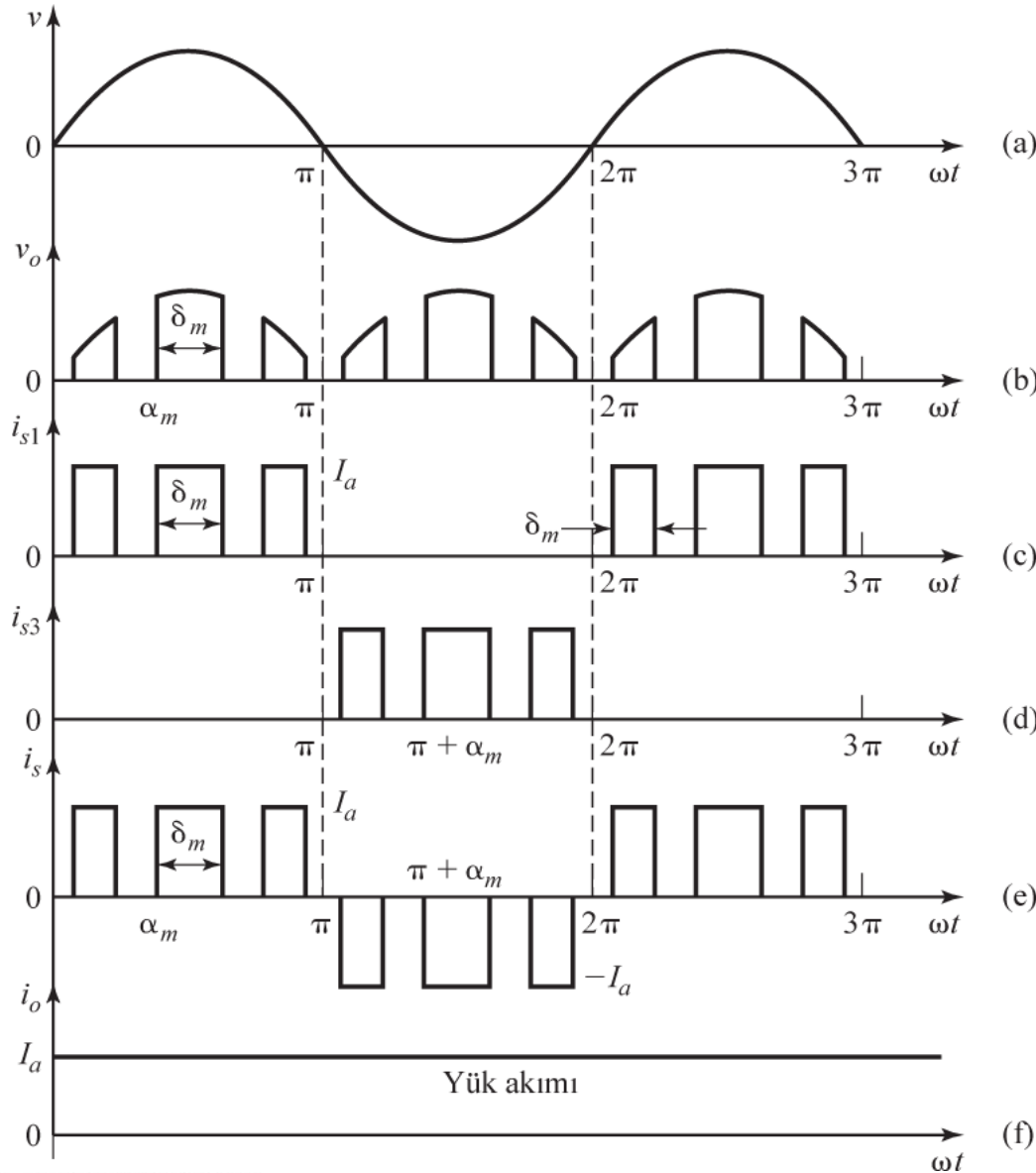


Q_1, Q_2, Q_3, Q_4
anahtarları
MOSFET, IGBT
veya Güç
Transistörü olabilir
Yani iletimleri
tetikleme ile değil,
kapılara sürekli
işaret verilmesi ile
gerçekleştirilir.

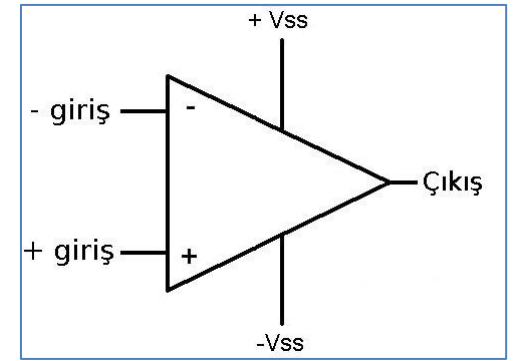
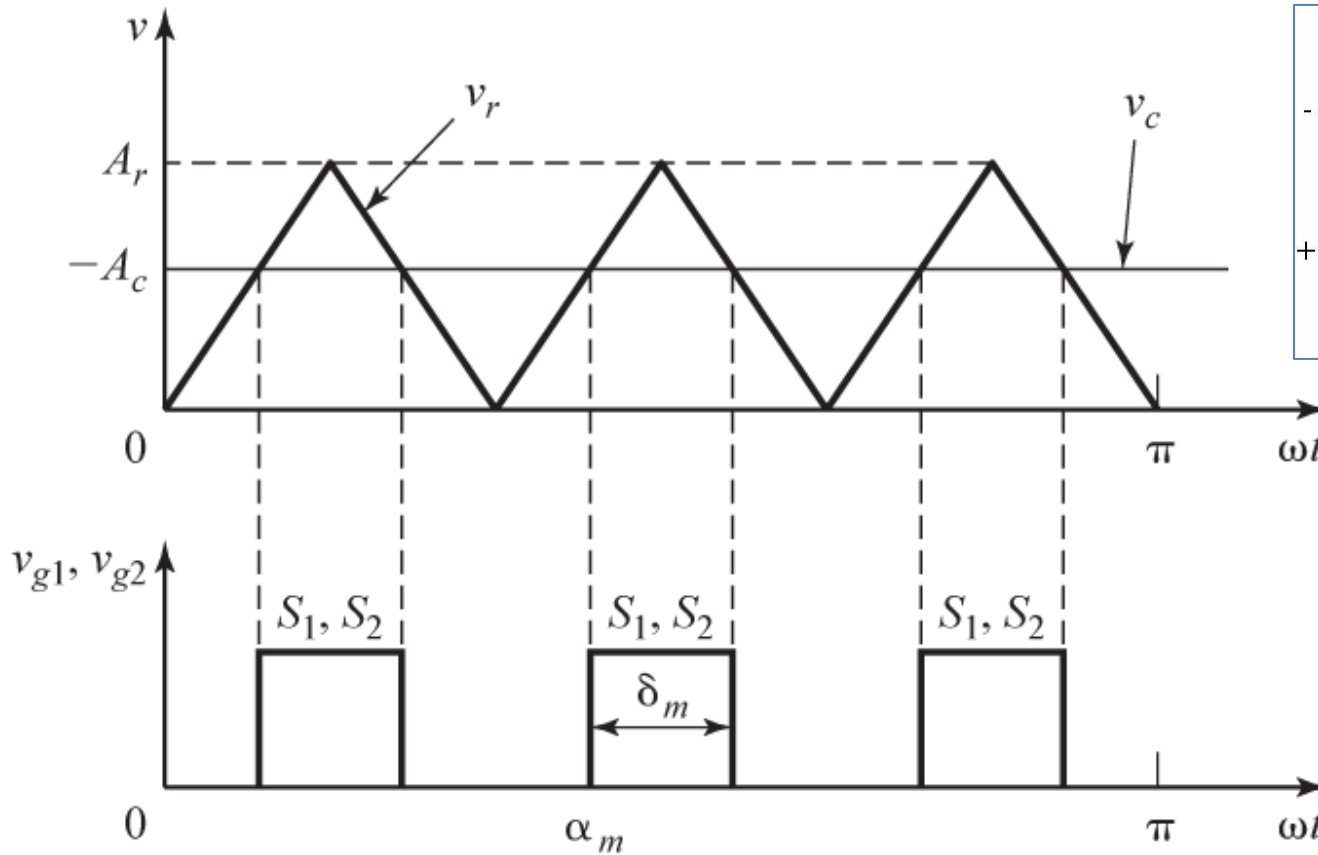
ŞEKİL 10.5

PWM kontrollü tek fazlı
doğrultucu

• 10.6.1 PWM Kontrolü



İletim için, kapılara işaret verilir, işaret verilmediği zaman ise anahtar kesime gitmektedir. Bu tip bir çalışma Tristörler ile ancak zorunlu aktarım devreleri ile yapılabilir ve dolayısı ile bunun yerine MOSFET veya IGBT kullanılır



$v_r \rightarrow + \text{giriş}$
 $v_c \rightarrow - \text{giriş}$

(g)

$v_r > v_c$ çıkış = $+V_{ss}$
 $v_r < v_c$ çıkış = $-V_{ss}$ burada 0 V

ŞEKİL 10.6

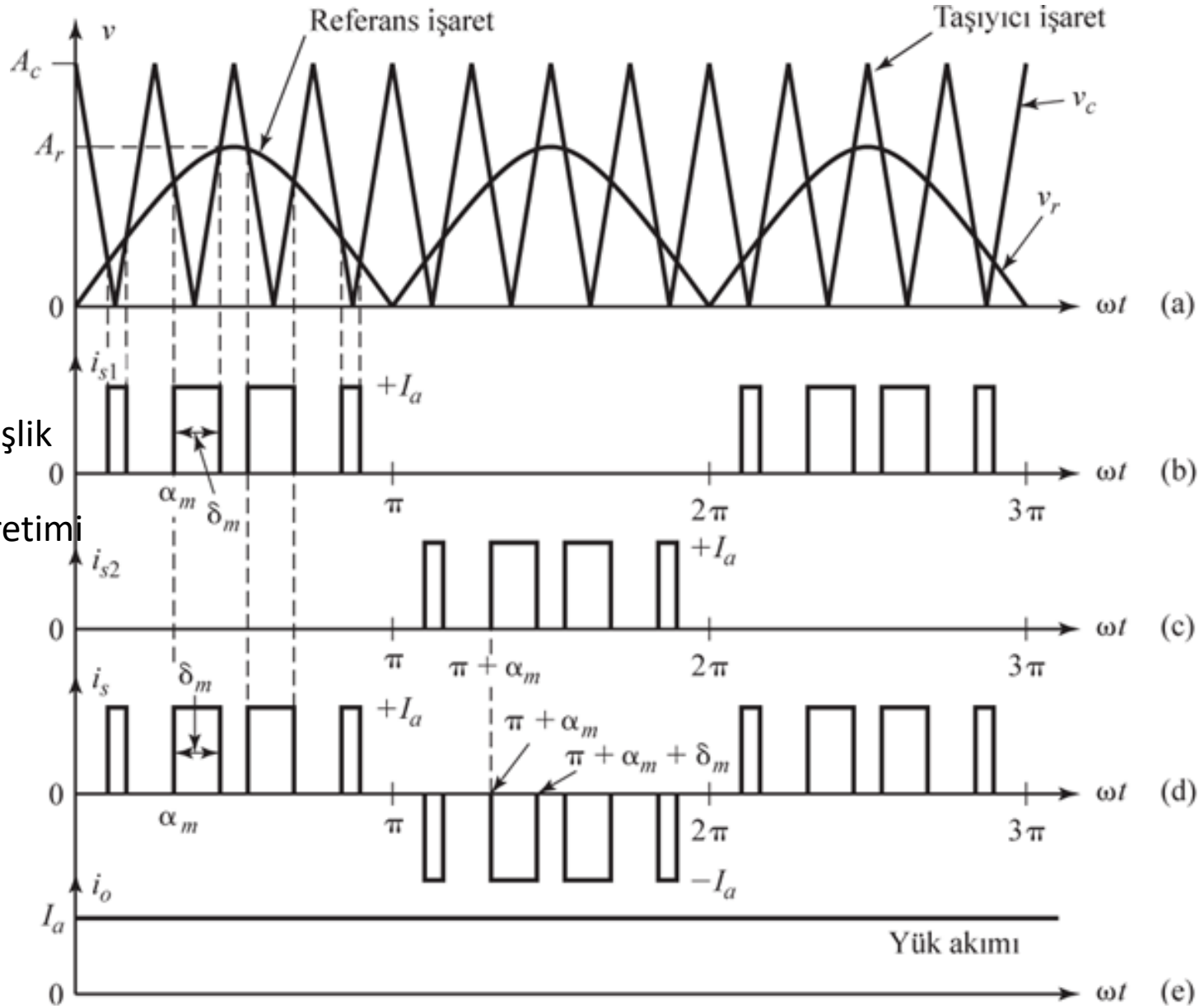
PWM kontrol. (a) Giriş kaynak gerilimi, (b) Çıkış gerilimi, (c) S1 anahtarından akan hat akımı, (d) S3 anahtarından akan akım, (e) Giriş kaynak akımı, (f) Sabit yük akımı, ve (g) Tetikleme işaretlerinin üretimi.

• 10.6.2 Tek Fazlı Sinüzoidal PWM

Çıkış gerilimini kontrol etmek için darbe genişlikleri değiştirilebilir. Eğer her bir yarı periyotta eşit genlikli p darbe varsa, bir darbenin en büyük genişliği π/p olur. Bununla birlikte darbe genişlikleri farklı olabilirler. Belirli harmonikleri tamamen ortadan kaldıracak şekilde darbe genişlikleri seçmek mümkündür. Darbe genişliklerinin değiştirilmesi için farklı yöntemler mevcuttur ve en yaygın olanı sinüzoidal darbe genişlik modülasyonudur (SPWM) (Şekil 10.7). M , modülasyon indeksi aşağıdaki gibi tanımlanır; $M = \frac{A_r}{A_c}$

Sinüzoidal PWM kontrolde, DF değeri bire eşit olup, PF değeri de iyileştirilmiştir. Düşük dereceli harmonikler azaltılmış veya tamamen yok edilmiştir. Mesela, her bir yarı periyotta dört darbe olması durumunda en düşük dereceli harmonik, beşinci harmonik olur; yarı periyot başına altı darbe mevcutsa en düşük dereceli harmonik, yedinci harmonik olacaktır.

• 10.6.2 Tek Fazlı Sinüzoidal PWM



Şekil 10.7
Sinüzoidal darbe genişlik
modülasyonu
a) Tetikleme sinyal üretimi
b) S1 anahtar akımı
c) S3 anahtar akımı
d) Giriş kaynak akımı
e) Sabit yük akımı

• 10.6.3 Üç Fazlı PWM Doğrultucu

Üç fazlı doğrultucular için iki devre topolojisi mevcuttur;

1. DA geriliminin ters yöne çevrilmesiyle gücün ters yöne çevrildiği akım kaynaklı doğrultucular
2. DA bara akımının ters yöne çevrilmesiyle gücün ters yöne çevrildiği gerilim kaynaklı doğrultucu

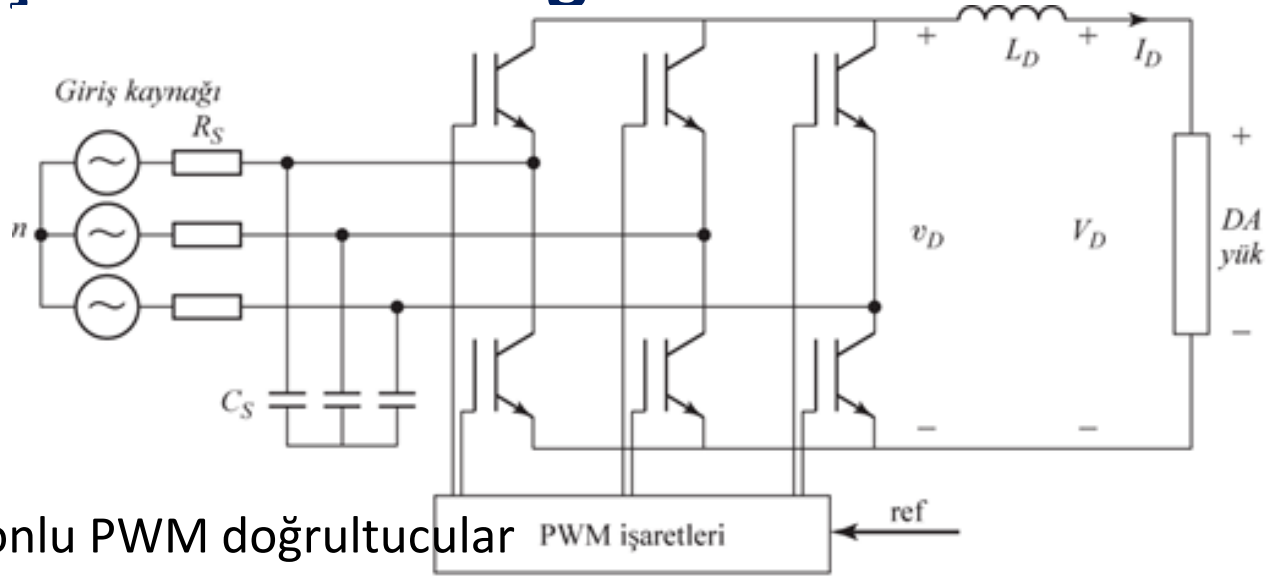
Şekil 10.8’de bu iki topolojinin temel devreleri gösterilmektedir.

Kontrol devresi anahtarlama elemanları için uygun PWM işaretlerini üretecek gücü kaynaktan alır.

PWM hem aktif gücü hem de reaktif gücü kontrol edebilir. Bu yüzden bu doğrultucu tipi PF (Power Factor veya GF:Güç Faktörü) düzeltmesi-iyileştirmesi için kullanılabilir.

AA akım dalga şekillerinin neredeyse sinüzoidal kalması sağlanır ve bu durum şebeke gerilimindeki harmonik kirliliğini azaltır. PWM, önceden belirlenmiş genellikle sinüzoidal bir gerilim ve akım formunda anahtarları iletme ve kesime geçirir (Şekil 10.9b)

• 10.6.3 Üç Fazlı PWM Doğrultucu



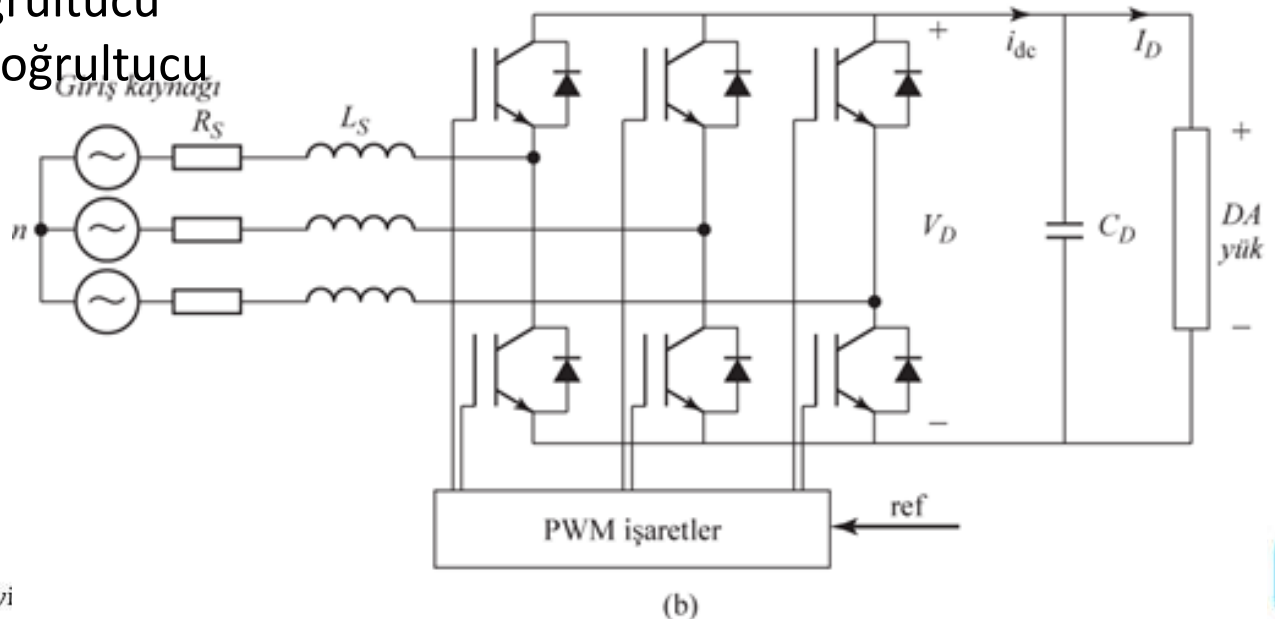
Şekil 10.8

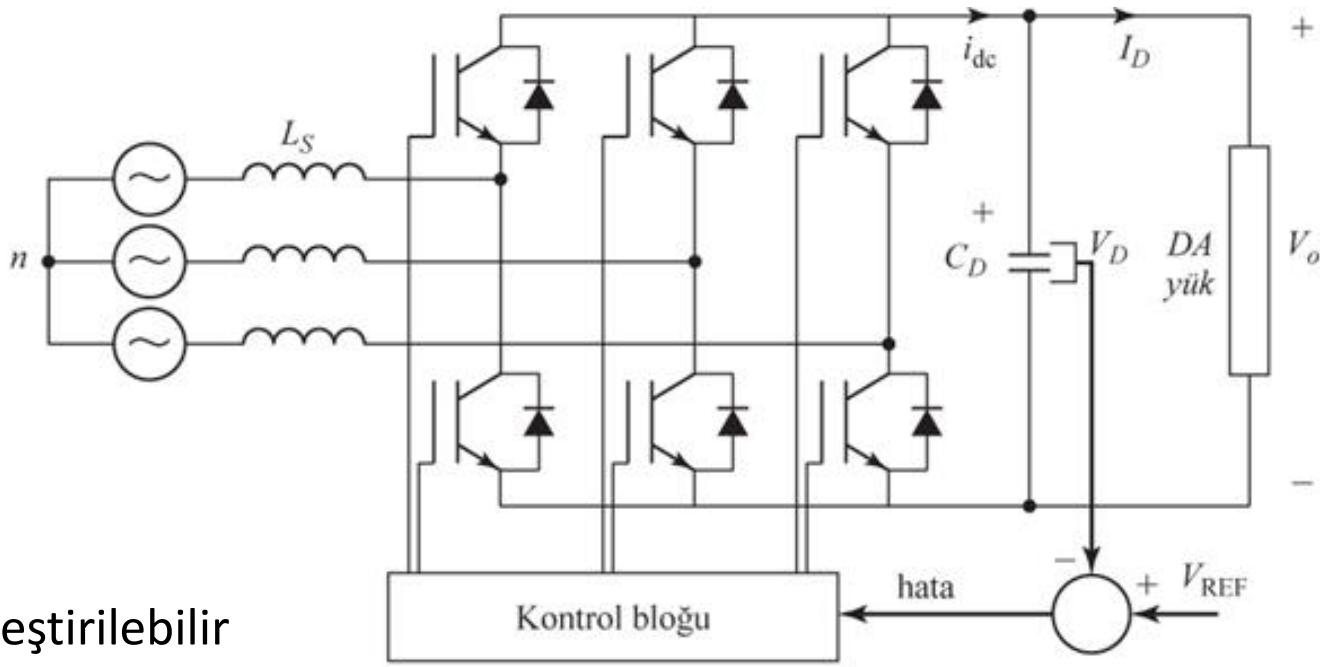
Zorlamalı komutasyonlu PWM doğrultucular

için temel topolojiler

a) Akım kaynaklı doğrultucu

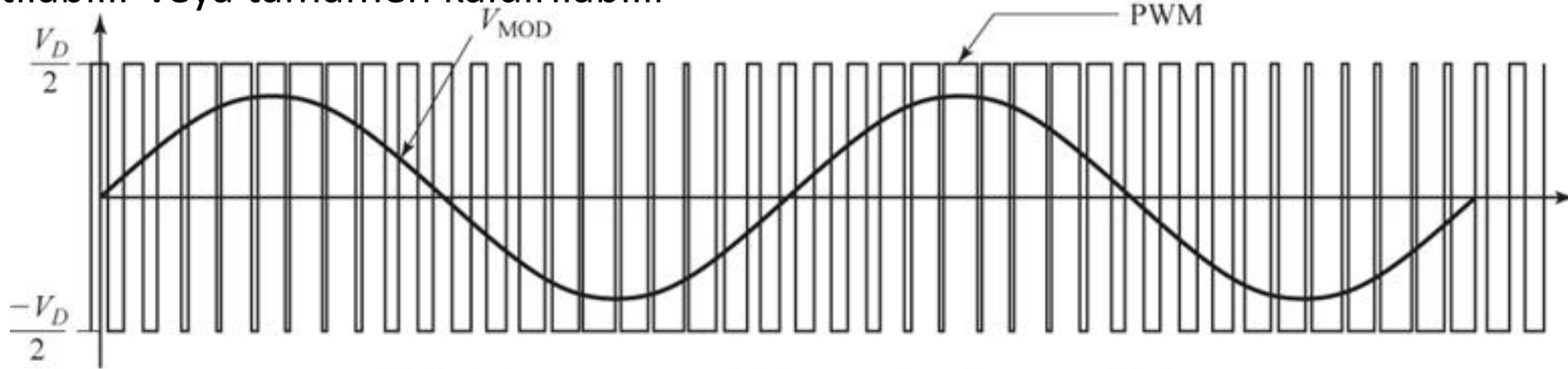
b) Gerilim kaynaklı doğrultucu





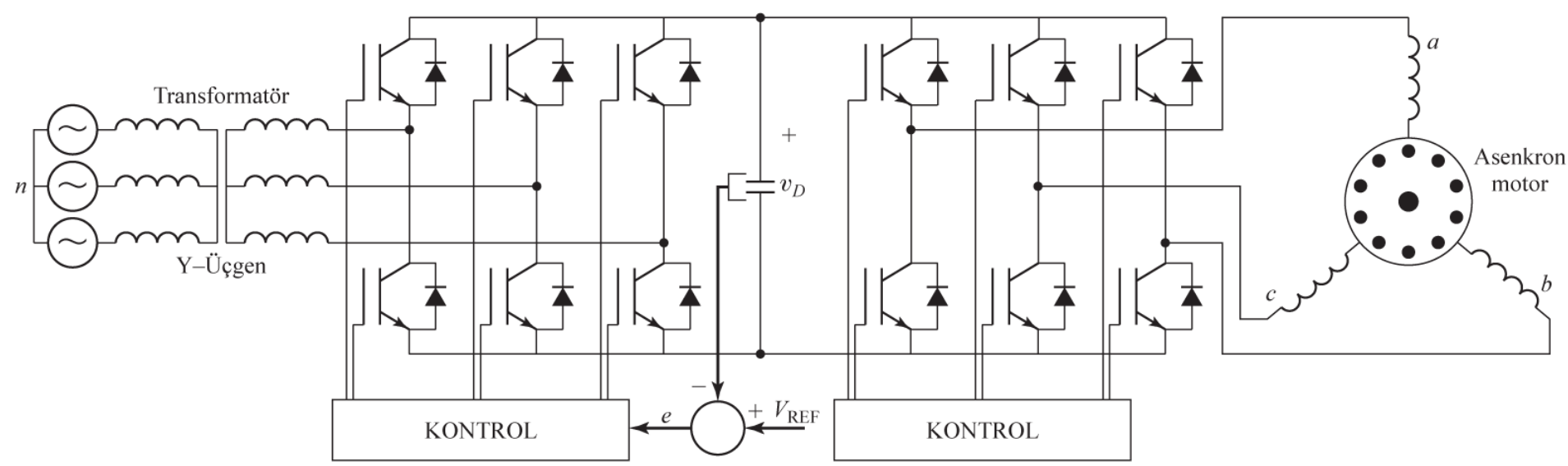
(a) Gerilim kaynaklı doğrultucu devresi

PF değeri iyileştirilebilir
Düşük dereceli harmonikler
Azaltılabilir veya tamamen kaldırılabilir



(b) PWM örüntüsü ve ona ait V_{MOD} temel modülasyon gerilimi

Şekil 10.8. Zorlamalı komutasyonlu gerilim kaynaklı doğrultucu



ŞEKİL 10.10

İki zorlamalı komütasyonlu kaskat bağlanmış doğrultucu.

Bölüm 10.6'nın Önemli Noktaları

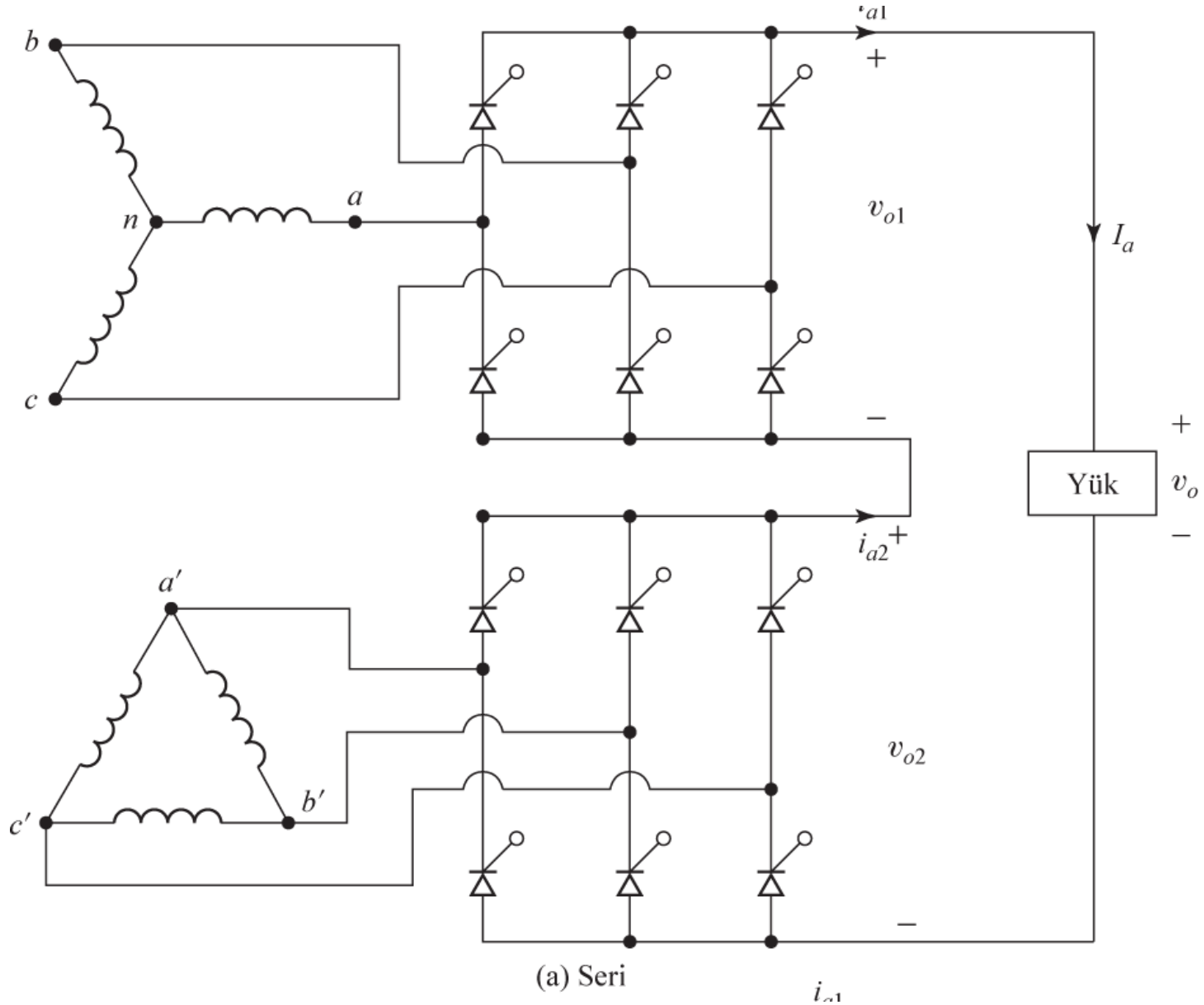
- Zorlamalı komütasyonlu doğrultucular, harmonik içeriğini en aza indirirken ve yüksek giriş güç katsayısı sağlarken, AA kaynaktan DA yüküne ve tam tersi durum için güç katsayısının kontrolüne izin verir.
- Aynı devre topolojisi, doğrultma (AA-DA) ve evirme (DA-AA) için kullanılabilir.
- Tristör ve GTO doğrultucular özellikle yüksek gerilim ve yüksek güç uygulamalarında kullanılır.

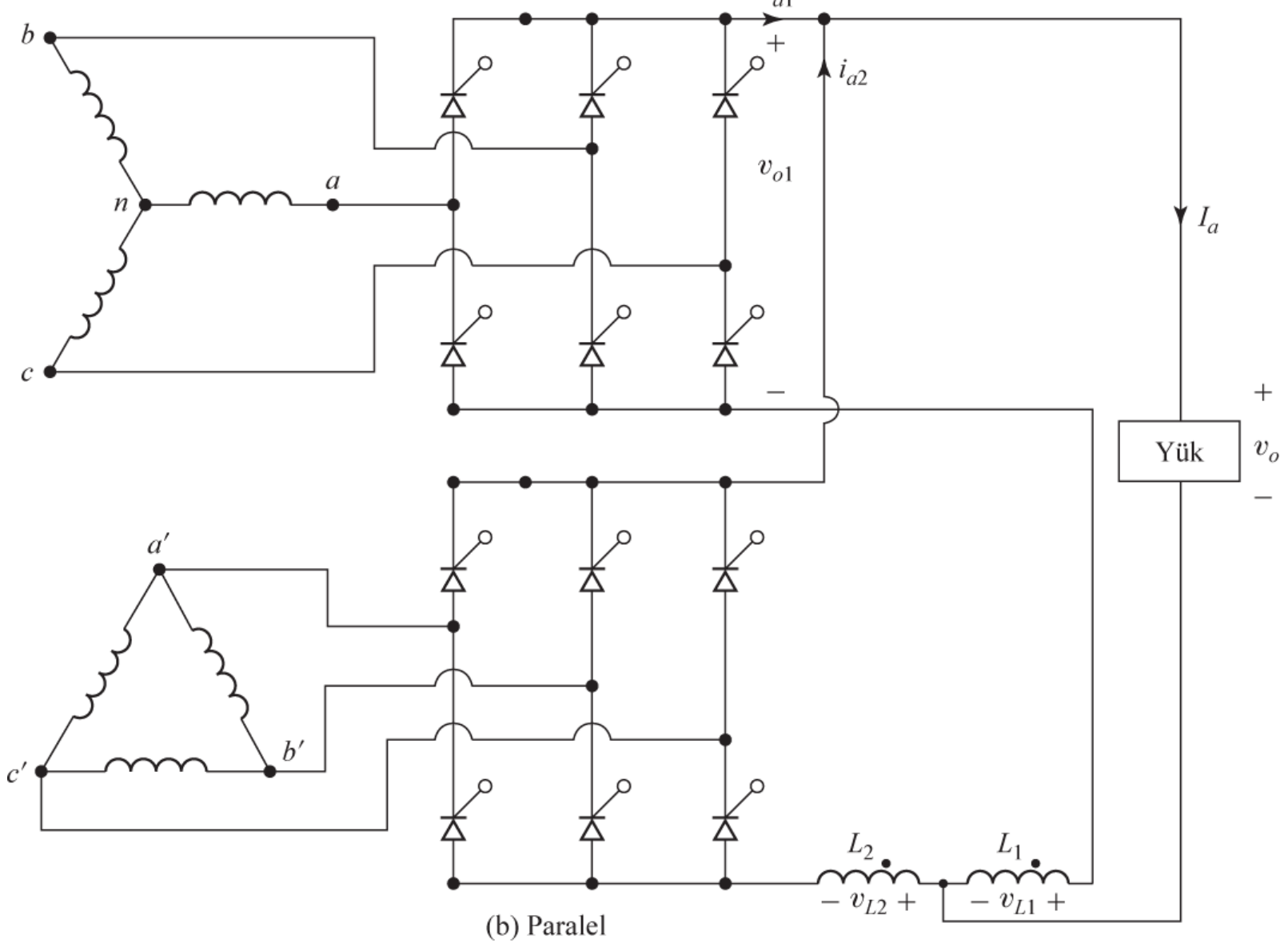
10.7 TEK FAZLI SERİ BAĞLI DOĞRULTUCULAR

Bölüm 10.7'nin Önemli Noktaları

- Yarı dalga doğrultucular ve tam köprü doğrultucular gerilimi paylaşmak ve giriş güç katsayısını iyileştirmek için seri bağlanabilirler.

10.8 ON İKİ DARBELİ DOĞRULTUCULAR





ŞEKİL 10.12

12 darbeli çıkış için konfigürasyonlar.

10.9 DOĞRULTUCU DEVRELERİN TASARIMI

Doğrultucu devrelerinin tasarımında, anahtarlama elemanlarının (örneğin, tristörler) ve diyotların değerlerine karar verilmesi gereklidir. Anahtarlar ve diyotlar ortalama akım, etkin akım, tepe akımı, ve ters tepe gerilimlerine göre belirlenir. Kontrollü doğrultucularda, elemanların akım değerleri tetikleme (veya kontrol) açısına bağlıdır. Güç elemanlarının değerleri en kötü durum koşulu altında tasarlanmak zorundadır ve bu durum, doğrultucu en büyük ortalama çıkış gerilimini (V_{dm}) verdiğinde ortaya çıkar.

Doğrultucuların çıkışı, kontrol (tetikleme) açısına bağlı harmonikler içerir ve en kötü durum, genellikle minimum çıkış gerilimi durumunda ortaya çıkar. Giriş ve çıkış filtreleri minimum çıkış gerilimi koşulu altında tasarlanmak zorundadır. Doğrultucu ve filtrelerin tasarımında ortaya çıkan adımlar, Bölüm 3.11'deki doğrultucu devre tasarımındaki adımlara benzerdir.

Örnek 10.8 Üç Fazlı Bir Tam Köprü Doğrultucu için Tristör Anma Değerlerinin Bulunması

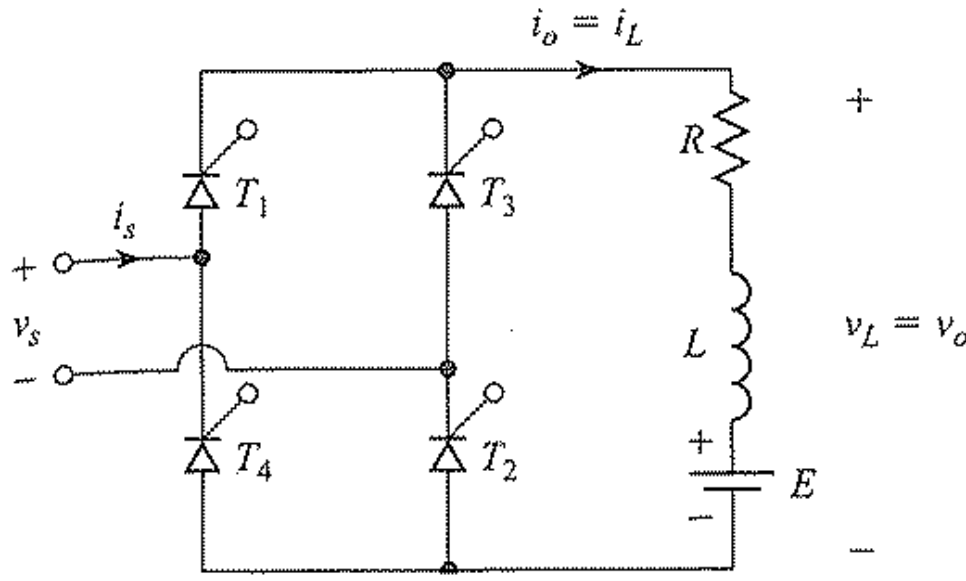
Şekil 10.3a'da gösterilen üç fazlı tam köprü doğrultucu, üç fazlı 230-V ve 60 Hz'lik bir kaynaktan çalıştırılmaktadır. Yük oldukça endüktiftir, ortalama yük akımı $I_a = 150$ A'dır. Yük akımındaki dalgalanma ihmal edilebilir. Eğer tetikleme açısı $\alpha = \pi/3$ ise, tristör değerlerini bulunuz.

Çözüm

Şekil 10.3e-g'de tristör akımlarının dalga şekilleri gösterilmiştir. $V_s = 230/\sqrt{3} = 132.79$ V, $V_m = 187.79$ V, ve $\alpha = \pi/3$. Denk. (10.17)'den, $V_{dc} = 3(\sqrt{3}/\pi) \times 187.79 \times \cos(\pi/3) = 155.3$ V. Çıkış gücü; $P_{DA} = 155.3 \times 150 = 23.295$ W. Tristörün ortalama akımı; $I_A = 150/3 = 50$ A'dır. Tristörün etkin akımı; $I_R = 150\sqrt{2/6} = 86.6$ A'dır. Tristörün tepe akımı; $I_{PT} = 150$ A'dır. Ters tepe gerilimi hatlar arası gerilimin tepe genliğidir; $PIV = \sqrt{3}V_m = \sqrt{3} \times 187.79 = 325.27$ V.

Örnek 10.9 Tek Fazlı Bir Tam Köprü Doğrultucu için C Çıkış Filtresi Değerinin Bulunması

Şekil 10.13'te gösterilen tek fazlı bir tam köprü doğrultucu tetikleme açısı kontrolü kullanmakta ve 120-V, 60-Hz'lik bir kaynaktan beslenmektedir. (a) Fourier serisi yöntemini kullanarak çıkış gerilimi $v_o(t)$ ve yük akımı $i_o(t)$ 'yi tetikleme açısı α 'nın fonksiyonu olarak ifade ediniz. (b) Eğer $\alpha = \pi/3$, $E = 10$ V, $L = 20$ mH, ve $R = 10$ Ω ise, yükteki en düşük dereceli harmonik akımının etkin



ŞEKİL 10.13

RL yüklü tek fazlı tam köprü doğrultucu.

değerini bulunuz. (c) Eğer (b)'de bir filtre kapasitörü yük üzerine bağlanırsa, en düşük dereceli harmonik akımını, kapasitörsüz durumdaki değerinin %10'una düşürecek kapasitör değerini bulunuz. (d) Çıkış gerilimini ve yük akımını çizmek ve yük akımının THD değerini ve (c)'deki çıkış filtre kapasitörü mevcut olması durumunda giriş güç katsayısını hesaplamak için PSpice kullanınız.

Çözüm

- a. Çıkış gerilimi için dalga şekli Şekil 10.1d'de gösterilmiştir. Çıkış geriliminin frekansı ana şebekeninkinin iki katıdır. Anlık çıkış gerilimi Fourier serisi ile ifade edilebilir:

$$v_o(t) = V_{dc} + \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (10.42)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi+\alpha} V_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \omega t \cos n\omega t d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi} \left[\frac{\cos(n+1)\alpha}{n+1} - \frac{\cos(n-1)\alpha}{n-1} \right]$$

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

Yük empedansı

$$Z = R + j(n\omega L) = [R^2 + (n\omega L)^2]^{1/2} / \angle \theta_n$$

ve $\theta_n = \tan^{-1}(n\omega L/R)$ 'dir. Denk. (10.42)'deki $v_o(t)$ 'nin Z yük empedansı ile bölünmesi ve sinüs ve kosinüslü terimlerin sadeleştirilmesi anlık yük akımını verir:

$$i_o(t) = I_{dc} + \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t + \phi_n - \theta_n) \quad (10.43)$$

Burada: $I_{dc} = (V_{dc} - E)/R$, $\phi_n = \tan^{-1}(A_n/B_n)$

$$I_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{(a_n^2 + b_n^2)^{1/2}}{\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}}$$



b. Eğer $\alpha = \pi/3$, $E = 10 \text{ V}$, $L = 20 \text{ mH}$, $R = 10 \Omega$ ise, $\omega = 2\pi \times 60 = 377 \text{ rad/s}$, $V_m = \sqrt{2} \times 120 = 169.71 \text{ V}$ ve $V_{dc} = 54.02 \text{ V}$ 'tur.

$$I_{dc} = \frac{54.02 - 10}{10} = 4.40 \text{ A}$$

$$a_2 = -0.833, b_2 = -0.866, \phi_2 = -223.9^\circ, \theta_2 = 56.45^\circ$$

$$a_4 = 0.433, b_4 = -0.173, \phi_4 = -111.79^\circ, \theta_4 = 71.65^\circ$$

$$a_6 = -0.029, b_6 = 0.297, \phi_6 = -5.5^\circ, \theta_6 = 77.53^\circ$$

$$\begin{aligned} i_L(t) &= 4.4 + \frac{2V_m}{\pi[R^2 + (n\omega L)^2]^{1/2}} [1.2 \sin(2\omega t + 223.9^\circ - 56.45^\circ) + 0.47 \sin(4\omega t \\ &\quad + 111.79^\circ - 71.65^\circ) + 0.3 \sin(6\omega t - 5.5^\circ - 77.53^\circ) + \dots] \\ &= 4.4 + \frac{2 \times 169.71}{\pi[10^2 + (7.54n)^2]^{1/2}} [1.2 \sin(2\omega t + 167.45^\circ) \\ &\quad + 0.47 \sin(4\omega t + 40.14^\circ) + 0.3 \sin(6\omega t - 80.03^\circ) + \dots] \end{aligned} \quad (10.44)$$

İkinci harmonik en düşük olanıdır ve etkin değeri şu biçimdedir:

$$I_2 = \frac{2 \times 169.71}{\pi[10^2 + (7.54 \times 2)^2]^{1/2}} \left(\frac{1.2}{\sqrt{2}} \right) = 5.07 \text{ A}$$

- c. Şekil 10.14, harmonikler için eşdeğer devreyi göstermektedir. Akım bölme kuralını kullanarak, yükteki harmonik akım aşağıdaki şekilde verilir:

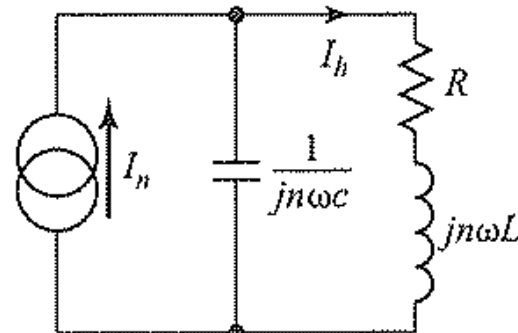
$$\frac{I_h}{I_n} = \frac{1/(n\omega C)}{\{R^2 + [n\omega L - 1/(n\omega C)]^2\}^{1/2}}$$

$n = 2$ ve $\omega = 377$ rad/s için,

$$\frac{I_h}{I_n} = \frac{1/(2 \times 377C)}{\{10^2 + [2 \times 7.54 - 1/(2 \times 377C)]^2\}^{1/2}} = 0.1$$

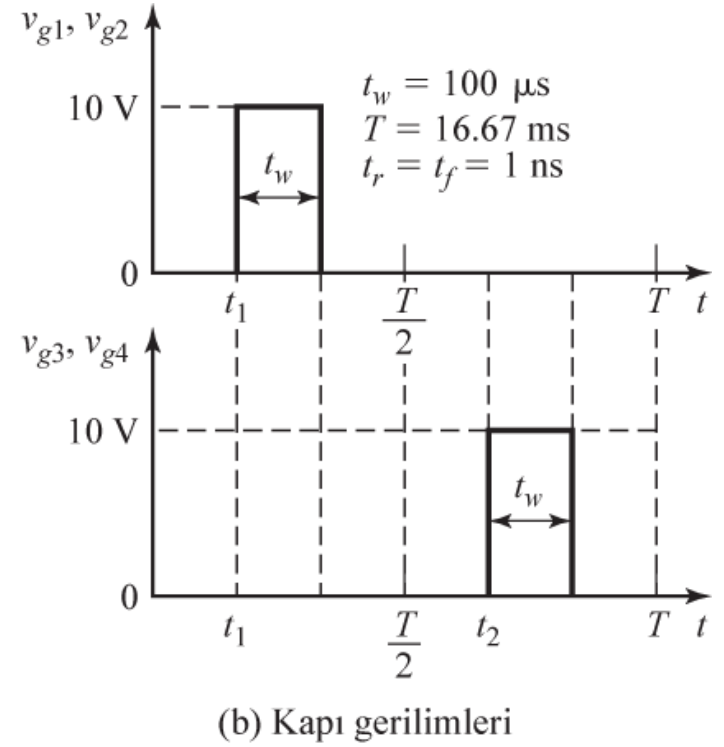
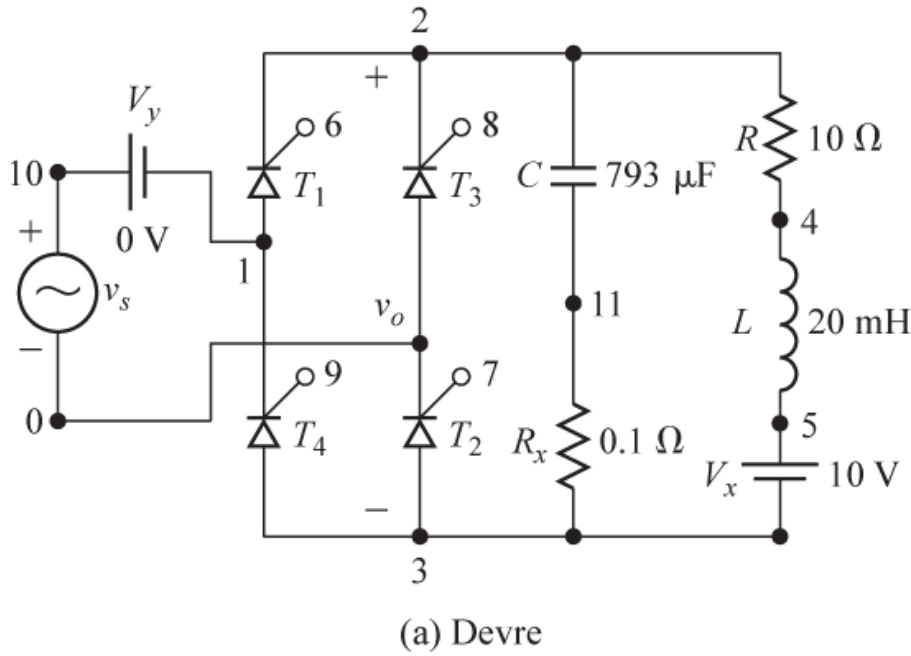
olur. Olası çözümler $-670 \mu\text{F}$ ve $793 \mu\text{F}$ olup doğru çözüm $C = 793 \mu\text{F}$ 'tır.

- d. Kaynak geriliminin tepe değeri $V_m = 169.7$ V'tur. $\alpha_1 = 60^\circ$ için, t_1 zaman gecikmesi $t_1 = (60/360) \times (1000/60 \text{ Hz}) \times 1000 = 2777.78 \mu\text{s}$ ve t_2 zaman gecikmesi $t_2 = (240/360) \times (1000/60 \text{ Hz}) \times 1000 = 11111.1 \mu\text{s}$ 'dir. PSpice benzetimi için tek fazlı tam köprü doğrultucu devresi Şekil 10.15a'da gösterilmiştir. Tristörlerin V_{g1} , V_{g2} , V_{g3} , ve V_{g4} kapı gerilimleri, Şekil 10.15b'de gösterilmiştir. Silisyum kontrollü doğrultucu (SCR) tristör modeli için alt devre tanımı Bölüm 9.11'de anlatılmıştır.



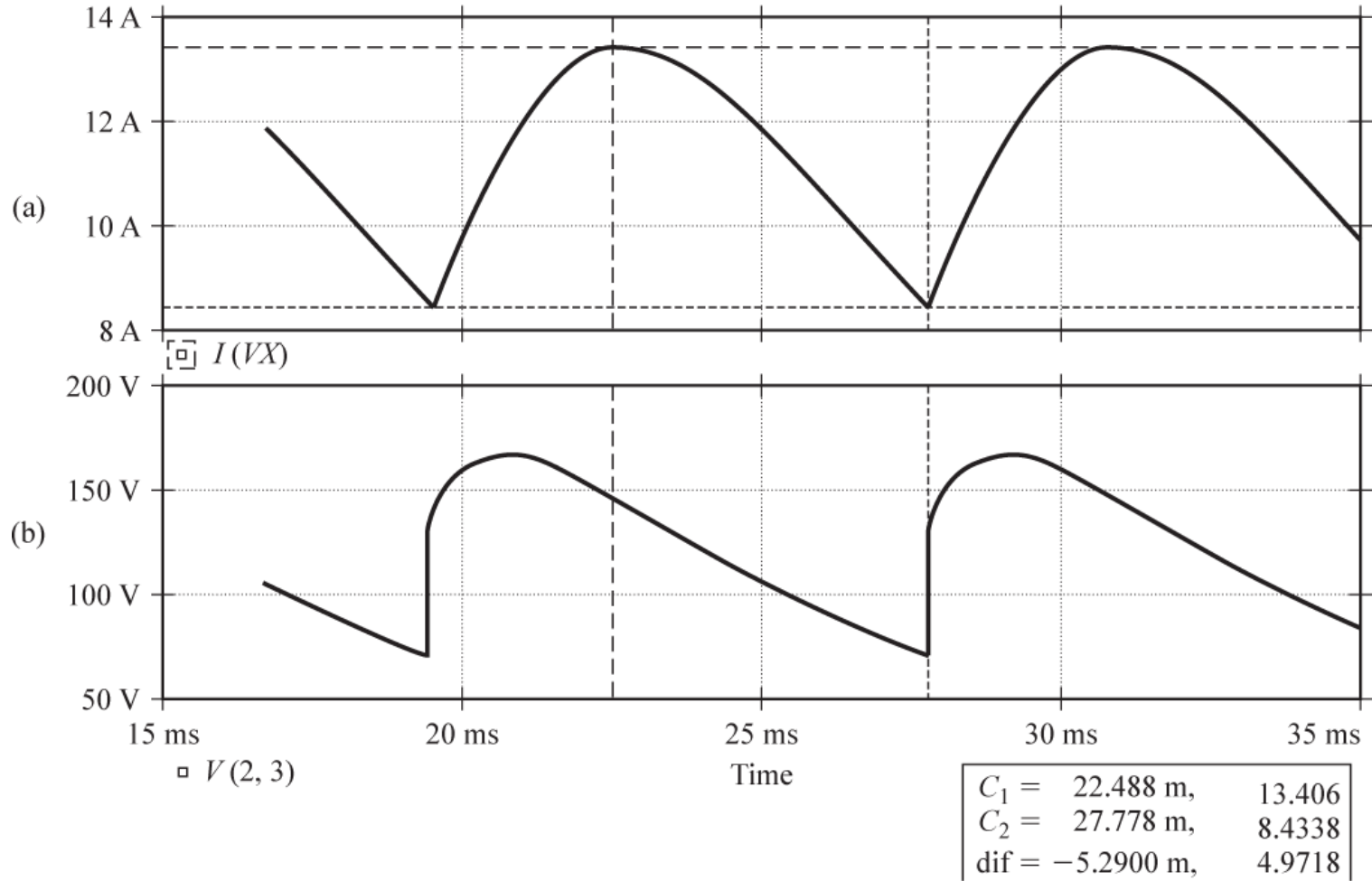
ŞEKİL 10.14

Harmonikler için eşdeğer devre.



ŞEKİL 10.15

PSpice benzetimi için tek fazlı tam köprü doğrultucu.



ŞEKİL 10.16

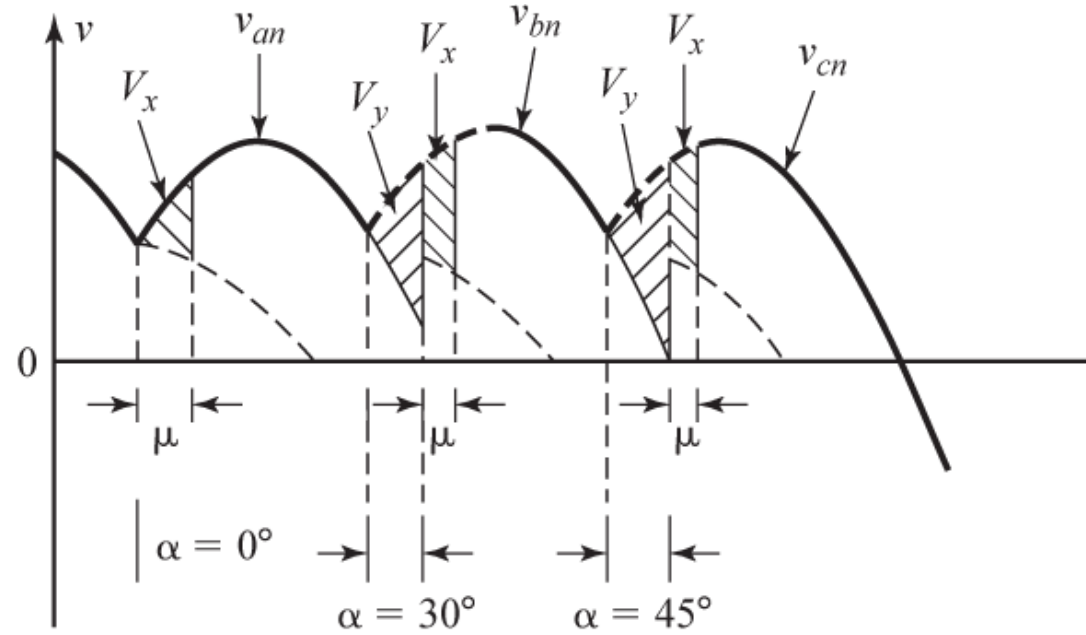
Örnek 10.9 için SPICE çizimleri. (a) Giriş kaynağının akımı, ve (b) Çıkış gerilimi.

Bölüm 10.9'un Önemli Noktaları

- Bir doğrultucu devresinin tasarımı (a) güç elemanlarının gerilim ve akım değerlerinin hesaplanmasını, (b) çıkış gerilimi ve giriş akımının Fourier serilerinin bulunmasını, ve (c) en kötü durum koşulları altında giriş ve çıkış filtre değerlerinin hesaplanmasını gerektirir.



10.10 YÜK VE KAYNAK ENDÜKTANSLARININ ETKİLERİ



ŞEKİL 10.17

Tetikleme açısı ve çakışma açısı arasındaki ilişki.

Bölüm 10.10'un Önemli Noktaları

- Yük akım harmonikleri ve giriş güç katsayısı yükün güç katsayısına bağlıdır.
- Her kaynak gerçekte bir kaynak reaktansına sahip olacaktır. Sonuç olarak, akımın bir elemandan diğerine transferi anlık olmayacaktır. Komütasyon veya çakışma açısı ile tanımlanan çakışmadan dolayı doğrultucunun etkin çıkış gerilimi azalır.

ÖZET

- Bu bölümde, AA-DA doğrultucuların ortalama çıkış geriliminin (ve çıkış gücünün) güç elemanlarının iletim zamanının değiştirilmesiyle kontrol edilebileceğini gördük. Kaynağın faz sayısına bağlı olarak, doğrultucular tek fazlı veya üç fazlı olabilirler. Her kaynak tipi ile birlikte yarı dalga, yarı köprü veya tam köprü doğrultucu kullanılabilir.

GÖZDEN GEÇİRME SORULARI

- 10.1 Doğal komütasyon veya hat komütasyonu nedir?
- 10.2 Kontrollü doğrultucu nedir?
- 10.3 Doğrultucu nedir?
- 10.4 Doğrultucuların tetikleme açısı kontrolü nedir?
- 10.5 Tam köprü doğrultucu nedir? İki tane tam köprülü doğrultucu devresi çiziniz.
- 10.6 İkili doğrultucu nedir? İki çift köprülü doğrultucu devresi çiziniz.
- 10.7 Faz kontrolünün ilkesi nedir?
- 10.8 Çift köprülü doğrultuculardaki sirkülasyon akımının sebebi nedir?
- 10.9 Çift köprülü doğrultucularda neden bir sirkülasyon akımı endüktörüne gereksinim duyulur?
- 10.10 Seri bağlı doğrultucuların avantajları ve dezavantajları nelerdir?
- 10.11 Çift köprülü doğrultucu sisteminde bir doğrultucunun tetikleme açısı ile diğer doğrultucunun tetikleme açısı arasında nasıl bir ilişki vardır?
- 10.12 Dönüştürücülerin evirme modu nedir?
- 10.13 Dönüştürücülerin doğrultma modu nedir?
- 10.14 Üç fazlı yarı köprü doğrultucularda en düşük dereceli harmoniğin frekansı nedir?
- 10.15 Üç fazlı tam köprü doğrultucularda en düşük dereceli harmoniğin frekansı nedir?
- 10.16 Kapısından kesime sokulabilen tristörler (GTO) nasıl iletme ve kesime sokulur?
- 10.17 Faz kontrollü tristör nasıl iletme ve kesime sokulur?
- 10.18 Zorlamalı komütasyon nedir? AA-DA dönüştürücüler için zorlamalı komütasyonun avantajları nelerdir?
- 10.19 Doğrultucuların darbe genişlik modülasyon kontrolü nedir?
- 10.20 Doğrultucunun sinüzoidal darbe genişlik modülasyon kontrolü nedir?
- 10.21 Modülasyon indeksi nedir?
- 10.22 Faz kontrollü doğrultucuda çıkış gerilimi nasıl değiştirilir?
- 10.23 Sinüzoidal PWM kontrol doğrultucusunda çıkış gerilimi nasıl değiştirilir?
- 10.24 Çakışma açısı, doğrultucuların tetikleme açısına bağlı mıdır?
- 10.25 Komütasyon endüktanslarının neden olduğu gerilim düşümü doğrultucuların tetikleme açısına bağlı olarak değişir mi?
- 10.26 Doğrultucuların giriş güç katsayısı yükün güç katsayısına bağlı mıdır?
- 10.27 Doğrultucuların çıkış dalgalanma gerilimleri tetikleme açısına bağlı mıdır?

Problems

10.1 The converter in Figure P10.1 is connected to a 120-V, 60-Hz supply and has a purely resistive load of $R = 10\ \Omega$. If the delay angle is $\alpha = \pi/2$, determine **(a)** the rectification efficiency, **(b)** the form factor (FF), **(c)** the ripple factor (RF), **(d)** the TUF, and **(e)** the peak inverse voltage (PIV) of thyristor T_1 .

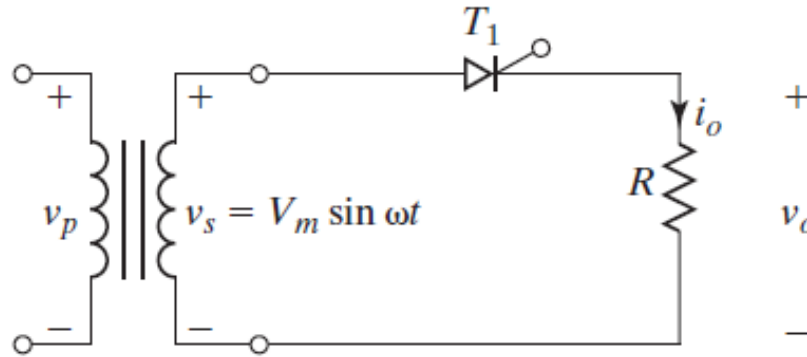


FIGURE P10.1

- 10.2** A single-phase half-wave converter in Figure P10.1 is operated from a 120-V, 60-Hz supply. If the load resistive load is $R = 5\ \Omega$ and the delay angle is $\alpha = \pi/3$, determine **(a)** the efficiency, **(b)** the form factor, **(c)** the ripple factor, **(d)** the transformer utilization factor, and **(e)** the peak inverse voltage (PIV) of thyristor T_1 .
- 10.3** A single-phase half-wave converter in Figure P10.1 is operated from a 120-V, 60-Hz supply and the load resistive load is $R = 10\ \Omega$. If the average output voltage is 50% of the maximum possible average output voltage, calculate **(a)** the delay angle, **(b)** the rms and average output currents, **(c)** the average and rms thyristor currents, and **(d)** the input power factor.

..... Devam ediyor