

# Yaygın Kullanılan Güç ve Dönüştürücü Denklemleri

Anlık güç:  $p(t) = v(t)i(t)$

$$\text{Enerji: } W = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt$$

$$\text{Ortalama güç: } P = \frac{W}{T} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v(t)i(t) dt$$

Dc gerilim kaynağı için ortalama güç:  $P_{dc} = V_{dc} I_{ort}$

$$\text{rms gerilim: } V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

$$v = v_1 + v_2 + v_3 + \dots \text{ için rms: } V_{rms} = \sqrt{V_{1,rms}^2 + V_{2,rms}^2 + V_{3,rms}^2 + \dots}$$

$$\text{Üçgen dalga için rms akım: } I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Kaydırılmış üçgen dalga için rms akım: } I_{rms} = \sqrt{\left(\frac{I_m}{\sqrt{3}}\right)^2 + I_{dc}^2}$$

Sinüs dalgası veya tam-dalga doğrultulmuş sinüs dalgası için rms gerilim:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Yarım-dalga doğrultulmuş sinüs dalgası için rms gerilim:  $V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{2}$

Güç faktörü:  $\text{pf} = \frac{P}{S} = \frac{P}{V_{\text{rms}} I_{\text{rms}}}$

Toplam harmonik distorsiyonu:  $\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$

Distorsiyon faktörü:  $\text{DF} = \sqrt{\frac{1}{1 + (\text{THD})^2}}$

Form faktörü:  $\frac{I_{\text{rms}}}{I_{\text{ort}}}$

Tepe (Crest) faktörü:  $\frac{I_{\text{tepe}}}{I_{\text{rms}}}$

Buck (Düşürücü) dönüştürücü:  $V_o = V_s D$

Boost (Yükseltici) dönüştürücü:  $V_o = \frac{V_s}{1 - D}$

Buck-boost (Düşürücü-yükseltici) ve Çuk dönüştürücüler:  $V_o = -V_s \left( \frac{D}{1 - D} \right)$

SEPIC:  $V_o = V_s \left( \frac{D}{1 - D} \right)$

Flyback (Geri dönüşlü) dönüştürücü:  $V_o = V_s \left( \frac{D}{1 - D} \right) \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$

Forward (İleri) dönüştürücü:  $V_o = V_s D \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$

# GÜÇ ELEKTRONİĞİ

**Daniel W. Hart**

*Valparaiso University*

*Valparaiso, Indiana*



© Copyright 2023

*Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.*

**Orijinal ISBN**      **ISBN**  
978-0-07-338067-4      978-625-399-083-1

**Orijinal Adı**      **Kitap Adı**  
Power Electronics      Güç Elektroniği

**Editör**      **Çeviren**  
Daniel W. Hart      Prof. Dr. Uğur S. Selamoğulları  
ORCID iD: 0000-0002-2272-4355

**Yayın Koordinatörü**      **Sayfa ve Kapak Tasarımı**  
Yasin DİLMEN      Akademisyen Dizgi Ünitesi

**Yayıncı Sertifika No**      **Baskı ve Cilt**  
47518      Göktuğ Ofset

**Bisac Code**  
TEC008010

**DOI**  
10.37609/akya.2517

#### **Kütüphane Kimlik Kartı**

Güç Elektroniği / editör : Daniel W. Hart, çeviren : Uğur S. Selamoğulları.  
Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2023.  
493 sayfa. : şekil. ; 160x240 mm.  
Özgün eser adı: Power Electronics.  
Kaynakça ve İndeks var.  
ISBN 9786253990831  
1. Elektronik devreler.

**GENEL DAĞITIM**  
**Akademisyen Kitabevi A.Ş.**

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara  
Tel: 0312 431 16 33  
siparis@akademisyen.com

[www.akademisyen.com](http://www.akademisyen.com)

**Aileme, arkadaşlarıma ve rehberlik etme  
ayrıcılığına ve mutluluğına sahip olduğum öğrencilerime**

---

# KISA İÇERİKLER

---

## Bölüm 1

Giriş 1

## Bölüm 2

Güç Hesaplamaları 21

## Bölüm 3

Yarım-Dalga Doğrultucular 65

## Bölüm 4

Tam-Dalga Doğrultucular 111

## Bölüm 5

AC Gerilim Kontrolörleri 171

## Bölüm 6

DC-DC Dönüştürücüler 196

## Bölüm 7

DC Güç Kaynakları 265

## Bölüm 8

İnverterler (Eviriciler) 331

## Bölüm 9

Rezonans Dönüştürücüler 387

## Bölüm 10

Sürme Devreleri, Bastırma (Snubber)  
Devreleri ve Soğutucular 431

Ek A Bazı Yaygın Dalga Şekillerinin  
Fourier Serileri 461

Ek B Durum-Uzayı Ortalaması 467

İndeks 473

# İÇİNDEKİLER

## Bölüm 1

### **Giriş 1**

- 1.1 Güç Elektroniği 1
- 1.2 Dönüştürücü Sınıflandırması 1
- 1.3 Güç Elektroniği Kavramları 3
- 1.4 Elektronik Anahtarlar 5
  - Diyot 6*
  - Tristörler 7*
  - Transistörler 8*
- 1.5 Anahtar Seçimi 11
- 1.6 Spice, PSpice ve Capture 13
- 1.7 Pspice Programında Anahtarlar 14
  - Gerilim-Kontrollü Anahtar 14*
  - Transistörler 16*
  - Diyotlar 17*
  - Tristörler (SCR'ler) 18*
  - PSpice Programında Yakınsama Problemleri 18*
- 1.8 Kaynakça 19
  - Problemler 20

## Bölüm 2

### **Güç Hesaplamaları 21**

- 2.1 Giriş 21
- 2.2 Güç ve Enerji 21
  - Anlık Güç 21*
  - Enerji 22*
  - Ortalama Güç 22*
- 2.3 İndüktörler ve Kondansatörler 25
- 2.4 Enerji Geri Kazanımı 27

- 2.5 Efektif (Etkin) Değerler: RMS 34
- 2.6 Görünür Güç ve Güç Faktörü 42
  - Görünür Güç S 42*
  - Güç Faktörü 43*
- 2.7 Sinüzoidal AC Devreler için Güç Hesaplamaları 43
- 2.8 Sinüzoidal Olmayan (Non-sinüzoidal) Periyodik Dalga Şekilleri için Güç Hesaplamaları 44
  - Fourier Serisi 45*
  - Ortalama Güç 46*
  - Sinüzoidal Olmayan Kaynak ve Lineer Yük 46*
  - Sinüzoidal Kaynak ve Lineer Olmayan (Non-linear) Yük 48*
- 2.9 PSpice Programı ile Güç Hesaplamaları 51
- 2.10 Özet 58
- 2.11 Kaynakça 59
  - Problemler 59

## Bölüm 3

### **Yarım-Dalga Doğrultucular 65**

- 3.1 Giriş 65
- 3.2 Direnç Yüğü 65
  - Elektronik Anahtar Kullanarak DC Bileşen Oluşturma 65*
- 3.3 Rezistif-İndüktif Yük 67
- 3.4 PSpice Simülasyonu 72
  - Nümerik Hesaplamalar için Simülasyon Yazılımını Kullanma 72*

- 3.5 RL-Kaynak Yüğü 75  
*AC Kaynaktan DC Kaynağa Güç Sağlama 75*
- 3.6 İndüktör-Kaynak Yüğü 79  
*Akıını Sınırlamak için İndüktans Kullanmak 79*
- 3.7 Serbest Geçiş Diyotu 81  
*DC Akım Oluşturma 81*  
*Yük Akımı Harmoniklerinin Azaltılması 86*
- 3.8 Kondansatör Filtreli Yarım-Dalga Doğrultucu 88  
*AC Kaynaktan DC Kaynak Oluşturma 88*
- 3.9 Kontrollü Yarım-Dalga Doğrultucu 94  
*Direnç Yüğü 94*  
*RL Yüğü 96*  
*RL-Kaynak Yüğü 98*
- 3.10 Kontrollü Doğrultucular için PSpice Çözümleri 100  
*PSpice Programında SCR'nin Modellenmesi 100*
- 3.11 Komütasyon 103  
*Kaynak İndüktansının Etkisi 103*
- 3.12 Özet 105
- 3.13 Kaynakça 106  
Problemler 106
- 4.3 Kontrollü Tam-Dalga Doğrultucular 131  
*Direnç Yüğü 131*  
*RL Yüğü, Süreksiz Akım 133*  
*RL Yüğü, Sürekli Akım 135*  
*Kontrollü Tam Dalga Doğrultucuların PSpice Simülasyonu 139*  
*RL-Kaynak Yüğü Kontrollü Doğrultucu 140*  
*İnverter Olarak Çalışan Kontrollü Tek-Fazlı Dönüştürücü 142*
- 4.4 Üç-Fazlı Doğrultucular 144
- 4.5 Kontrollü Üç-Fazlı Doğrultucular 149  
*On İki Darbeli Doğrultucu 151*  
*İnverter Olarak Çalışan Üç-Fazlı Dönüştürücü 154*
- 4.6 DC Güç İletimi 156
- 4.7 Komütasyon: Kaynak İndüktansının Etkisi 160  
*Tek-Fazlı Köprü Doğrultucu 160*  
*Üç-Fazlı Doğrultucu 162*
- 4.8 Özet 163
- 4.9 Kaynakça 164  
Problemler 164

## **Bölüm 4**

### **Tam-Dalga Doğrultucular 111**

- 4.1 Giriş 111
- 4.2 Tek-Fazlı Tam-Dalga Doğrultucular 111  
*Köprü Doğrultucu 111*  
*Orta-uçlu Transformatörlü Doğrultucu 114*  
*Direnç Yüğü 115*  
*RL Yüğü 115*  
*Kaynak Harmonikleri 118*  
*PSpice Simülasyonu 119*  
*RL-Kaynak Yüğü 120*

## **Bölüm 5**

### **AC Gerilim Kontrolörleri 171**

- 5.1 Giriş 171
- 5.2 Tek-Fazlı AC Gerilim Kontrolörü 171  
*Temel Çalışma 171*  
*Direnç Yüğü Tek-Fazlı Kontrolör 173*  
*RL Yüğü Tek-Fazlı Kontrolör 177*  
*Tek-Fazlı AC Gerilim Kontrolörlerinin PSpice Simülasyonu 180*



- 5.3 Üç-Fazlı Gerilim Kontrolörleri 183  
*Y-Bağlı Direnç Yüğü 183*  
*Y-Bağlı RL Yüğü 187*  
*Üçgen-Bağlı Direnç Yüğü 189*
- 5.4 Asenkron Motor Hız Kontrolü 191
- 5.5 Statik VAR Kontrolü 191
- 5.6 Özet 192
- 5.7 Kaynakça 193  
 Problemler 193

## **Bölüm 6**

### **DC-DC Dönüştürücüler 196**

- 6.1 Lineer Gerilim Regülatörleri 196
- 6.2 Temel Anahtarlamalı Dönüştürücüsü 197
- 6.3 Buck (Düşürücü) Dönüştürücü 198  
*Gerilim ve Akım İlişkileri 198*  
*Çıkış Gerilimi Dalgalanması 204*  
*Kondansatör Direnci—Gerilim Dalgalanması Üzerine Etkisi 206*  
*Buck (Düşürücü) Dönüştürücü için Senkron Doğrultma 207*
- 6.4 Tasarım Kriterleri 207
- 6.5 Boost (Yükseltici) Dönüştürücü 211  
*Gerilim ve Akım İlişkileri 211*  
*Çıkış Gerilimi Dalgalanması 215*  
*İndüktör Direnci 218*
- 6.6 Buck-Boost (Düşürücü-Yükseltici) Dönüştürücü 221  
*Gerilim ve Akım İlişkileri 221*  
*Çıkış Gerilimi Dalgalanması 225*
- 6.7 Çuk Dönüştürücü 226
- 6.8 SEPIC Dönüştürücü 231
- 6.9 Interleaved (Sarmaşık) Dönüştürücüler 237
- 6.10 İdeal Olmayan Anahtarlar ve Dönüştürücü Performansı 239  
*Anahtar Gerilimi Düşümleri 239*  
*Anahtarlamaya Kayıpları 240*

- 6.11 Süreksiz-Akım Çalışma 241  
*Süreksiz Akımlı Buck (Düşürücü) Dönüştürücü 241*  
*Süreksiz Akımlı Boost (Yükseltici) Dönüştürücü 244*
- 6.12 Anahtarlamalı Kondansatörlü Dönüştürücüler 247  
*Yükseltici Anahtarlamalı Kondansatörlü Dönüştürücü 247*  
*Eviren Anahtarlamalı Kondansatörlü Dönüştürücü 249*  
*Düşürücü Anahtarlamalı Kondansatörlü Dönüştürücü 250*
- 6.13 DC-DC Dönüştürücülerin PSpice Simülasyonu 251  
*Anahtarlamalı PSpice Modeli 252*  
*Ortalama Devre Modeli 254*
- 6.14 Özet 259
- 6.15 Kaynakça 259  
 Problemler 260

## **Bölüm 7**

### **DC Güç Kaynakları 265**

- 7.1 Giriş 265
- 7.2 Transformator Modelleri 265
- 7.3 Flyback (Geri Dönüşlü) Dönüştürücü 267  
*Sürekli-Akım Modu 267*  
*Flyback (geri dönüşlü) Dönüştürücüde Süreksiz-Akım Modu 275*  
*Flyback (geri dönüşlü) Dönüştürücünün Çalışmasının Özeti 277*
- 7.4 Forward (İleri) Dönüştürücü 277  
*Forward (İleri) Dönüştürücünün Çalışmasının Özeti 283*
- 7.5 Çift-Uçlu (İki-Anahtarlı) Forward (İleri) Dönüştürücü 285
- 7.6 Push-Pull (İt-Çek) Dönüştürücü 287  
*Push-Pull (İt-Çek) Çalışmanın Özeti 290*

- 7.7 Tam-Köprü ve Yarım-Köprü DC-DC Dönüştürücüler 291
- 7.8 Akım-Beslemeli Dönüştürücüler 294
- 7.9 Çoklu Çıkış 297
- 7.10 Dönüştürücü Seçimi 298
- 7.11 Güç Faktörü Düzeltme 299
- 7.12 DC Güç Kaynaklarının PSpice Simülasyonu 301
- 7.13 Güç Kaynağı Kontrolü 302  
*Kontrol Çevrimi Kararlılığı 303*  
*Küçük-Sinyal Analizi 304*  
*Anahtar Transfer Fonksiyonu 305*  
*Filtre Transfer Fonksiyonu 306*  
*Darbe Genişlik Modülasyonu Transfer Fonksiyonu 307*  
*Kompanzasyonlu Tip 2 Hata Amplifikatörü 308*  
*Kompanzasyonlu Tip 2 Hata Amplifikatörünün Tasarımı 311*  
*Geri Besleme Kontrolünün PSpice Simülasyonu 315*  
*Kompanzasyonlu Tip 3 Hata Amplifikatörü 317*  
*Kompanzasyonlu Tip 3 Hata Amplifikatörünün Tasarımı 318*  
*Tip 3 Amplifikatörde Kutupların ve Sıfırların Manuel Yerleştirilmesi 323*
- 7.14 PWM Kontrol Devreleri 323
- 7.15 AC Hat Filtresi 323
- 7.16 Eksizsiz DC Güç Kaynağı 325
- 7.17 Kaynakça 326  
 Problemler 327
- Bölüm 8**
- İnverterler (Eviriciler) 331**
- 8.1 Giriş 331
- 8.2 Tam-Köprü Dönüştürücü 331
- 8.3 Kare-Dalga İnverter 333
- 8.4 Fourier Serisi Analizi 337
- 8.5 Toplam Harmonik Distorsiyonu 339
- 8.6 Kare-Dalga İnvterlerin PSpice Simülasyonu 340
- 8.7 Genlik ve Harmonik Kontrol 342
- 8.8 Yarım-Köprü İnverter 346
- 8.9 Çok Seviyeli İnverterler 348  
*Bağımsız DC Kaynaklı Çok Seviyeli Dönüştürücüler 349*  
*Patern Değiştirme ile Ortalama Kaynak Gücünün Eşitlenmesi 353*  
*Diyot-Kenetlemeli Çok Seviyeli İnverterler 354*
- 8.10 Darbe Genişlik Modülasyonlu Çıkış 357  
*Bipolar Anahtarlama 357*  
*Unipolar Anahtarlama 358*
- 8.11 PWM Tanımları ve Dikkate Alınacak Hususlar 359
- 8.12 PWM Harmonikleri 361  
*Bipolar Anahtarlama 361*  
*Unipolar Anahtarlama 365*
- 8.13 D Sınıfı Ses Amplifikatörleri 366
- 8.14 Darbe Genişlik Modülasyonlu İnvterlerin Simülasyonu 367  
*Bipolar PWM 367*  
*Unipolar PWM 370*
- 8.15 Üç-Fazlı İnverterler 373  
*Altı-Seviyeli İnverter 373*  
*PWM Üç-Fazlı İnverterler 376*  
*Çok Seviyeli Üç-Fazlı İnverterler 378*
- 8.16 Üç Fazlı İnverterlerin PSpice Simülasyonu 378  
*Altı-Seviyeli İnverterler 378*  
*PWM Üç-Fazlı İnverterler 378*
- 8.17 Asenkron Motor Hız Kontrolü 379
- 8.18 Özet 382
- 8.19 Kaynakça 383  
 Problemler 383

**Bölüm 9****Rezonans Dönüştürücüler 387**

- 9.1** Giriş 387
- 9.2** Rezonans Anahtarlı Dönüştürücü:  
Sıfır-Akım Anahtarlama 387  
*Temel Çalışma 387*  
*Çıkış Gerilimi 392*
- 9.3** Rezonans Anahtarlı Dönüştürücü:  
Sıfır-Gerilim Anahtarlama 394  
*Temel Çalışma 394*  
*Çıkış Gerilimi 399*
- 9.4** Seri Rezonans İverter 401  
*Anahtarlama Kayıpları 403*  
*Genlik Kontrolü 404*
- 9.5** Seri Rezonans DC-DC  
Dönüştürücü 407  
*Temel Çalışma 407*  
 *$\omega_s > \omega_0$  için çalışma 407*  
 *$\omega_0/2 < \omega_s < \omega_0$  için çalışma 413*  
 *$\omega_s < \omega_0/2$  için çalışma 413*  
*Seri Rezonans DC-DC Dönüştürücü*  
*Çeşitleri 414*
- 9.6** Paralel Rezonans DC-DC  
Dönüştürücü 415
- 9.7** Seri-Paralel DC-DC Dönüştürücü  
418
- 9.8** Rezonans Dönüştürücü  
Karşılaştırması 421
- 9.9** Rezonans DC Link  
Dönüştürücü 422
- 9.10** Özet 426
- 9.11** Kaynakça 426  
Problemler 427

**Bölüm 10****Sürme Devreleri, Bastırma (Snubber)  
Devreleri ve Soğutucular 431**

- 10.1** Giriş 431
- 10.2** MOSFET ve IGBT Sürme  
Devreleri 431  
*Düşük-Taraf Sürücüleri 431*  
*Yüksek-Taraf Sürücüleri 433*
- 10.3** Bipolar Transistör Sürme  
Devreleri 437
- 10.4** Tristör Sürme Devreleri 440
- 10.5** Transistör Bastırma Devreleri 441
- 10.6** Enerji Geri Kazanımlı Bastırma  
Devreleri 450
- 10.7** Tristör Bastırma Devreleri 450
- 10.8** Soğutucu ve Termal Yönetim 451  
*Kararlı-Durum Sıcaklıkları 451*  
*Zamanla Değişen Sıcaklıklar 454*
- 10.9** Özet 457
- 10.10** Kaynakça 457  
Problemler 458

**Ek A Bazı Yaygın Dalga Şekillerinin  
Fourier Serileri 461****Ek B Durum-Uzayı Ortalaması 467****İndeks 473**

## ÇEVİRENİN ÖNSÖZÜ

---

**G**üç Elektroniği konularına ait temelleri açık, kolay anlaşılır ve bol örnek kullanarak sunan bu kitabı Türkçemize kazandırmış olmaktan büyük bir mutluluk duyuyorum. Her zaman olduğu gibi çeviri sürecinde de bana destek olan aileme, eşime ve kızıma teşekkür ederim.

Kitabın Türkçemize kazandırılmasında katkılarından dolayı Akademisyen Yayınevine teşekkür ederim.

Kitabın öğrenciler, eğitmenler ve bu alanda çalışan kişiler için faydalı bir kaynak olmasını dilerim.

Prof. Dr. Uğur S. SELAMOĞULLARI  
İSTANBUL, Mart 2023

**B**u kitap, öncelikle elektrik mühendisliği lisans öğrencileri için güç elektroniğine giriş niteliğinde bir metin olarak tasarlanmıştır. Metin, öğrencinin genellikle ikinci sınıfta öğretilen genel devre analizi tekniklerini bildiğini kabul eder. Öğrenci, diyot ve transistör gibi elektronik cihazlar hakkında bilgi sahibi olmalıdır, ancak bu metnin vurgusu cihazlardan ziyade devre topolojisi ve fonksiyonu üzerinedir. Lineer cihazlar için gerilim-akım ilişkilerini anlamak gerekli olan ana bilgidir ve Fourier serisi kavramı da önemlidir. Bu metinde sunulan konuların çoğu elektrik mühendisliği üçüncü veya dördüncü sınıf lisans öğrencileri için uygundur.

Metin, bir dönemlik güç elektroniği dersinde (uygun konuların öğretim elemanı tarafından seçildiği veya çıkarıldığı) kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Metin, konuların sıralanmasında biraz esneklik sağlamak için yazılmıştır. Güç hesaplamaları üzerine olan Bölüm 2'nin dersin başında eğitmenin öğrencilerin düzeyine göre gerekli gördüğü kadar ayrıntılı olarak işlenmesi tavsiye edilir. Dc-dc dönüştürücüler ve dc güç kaynakları ile ilgili Bölüm 6 ve Bölüm 7, doğrultucular ve gerilim kontrolörleri üzerine olan 3., 4. ve 5. bölümlerden önce işlenebilir. Kitabın yazarı sırasıyla 1, 2 (giriş; güç hesaplamaları), 6, 7 (dc-dc dönüştürücüler; dc güç kaynakları), 8 (inverterler), 3, 4, 5 (doğrultucular ve gerilim kontrolörleri) bölümlerini işlemektedir. Daha sonra Bölüm 9'dan (rezonans dönüştürücüler) ve Bölüm 10'dan (sürücü ve bastırma devreleri ve ısı alıcılar) seçilen konuları ele almaktadır. Bölüm 7'de verilen kontrol bölümü gibi bazı ileri düzey konular giriş seviyesindeki bir ders için çıkarılabilir.

Öğrenci, güç elektroniği devrelerini tanımlayan denklemlerin çözümü için mevcut tüm yazılım araçlarını kullanmalıdır. Bunlar, integral ve kök bulma gibi işlemlere sahip hesap makinelerinden MATLAB®, Mathcad®, Maple™, Mathematica® ve diğerleri gibi daha güçlü bilgisayar yazılım paketlerini kapsar. Bu metinde genellikle nümerik teknikler önerilmektedir. Mevcut tüm bilgisayar araçlarını güç elektroniği durumuna göre seçmek ve uyarlamak öğrencinin sorumluluğundadır.

Bu metnin çoğunda analitik devre çözüm tekniklerine ek olarak PSpice® programına dayalı bilgisayar simülasyonu verilmiştir. PSpice programı ile ilgili önceki deneyimler faydalıdır ancak gerekli değildir. Alternatif olarak, eğitmenler PSpice yerine PSIM® veya NI Multisim™ yazılımı gibi farklı bir simülasyon programı kullanmayı seçebilir. Bilgisayar simülasyonunun asla temel ilkelerin anlaşılmasının yerini alması amaçlanmamıştır. Yazar, güç elektroniği devrelerinin temel davranışını araştırmada bilgisayar simülasyonunun kullanılmasının öğrencinin öğrenmesine sadece denklemlerle uğraşarak mümkün olmayan bir boyut kattığına inanmaktadır. Bilgisayar simülasyonundan gerilim ve akım dalga biçimlerini gözlemek, laboratuvar deneyimiyle aynı hedeflerin ba-

zılarını gerçekleştirir. Bilgisayar simülasyonunda, devrenin tüm gerilimleri ve akımları genellikle bir donanım laboratuvarından çok daha verimli bir şekilde araştırılabilir. Bileşenlerdeki veya işletim parametrelerindeki bir değişiklik için devre performansındaki değişiklikler bilgisayar simülasyonu ile laboratuvarında olduğundan daha kolay gerçekleştirilebilir. Bu metinde verilen PSpice devreleri, devreleri simüle etmenin en uygun yolunu temsil etmeyebilir. Öğrenciler, mümkün olan her yerde simülasyon devrelerini geliştirmek için mühendislik becerilerini kullanmaya teşvik edilmiştir.

Bu metne eşlik eden web sitesi [www.mhhe.com/hart](http://www.mhhe.com/hart) adresinde bulunabilir ve öğrenciler ve öğretmenler için PSpice simülasyonu Capture devre dosyalarını içerir ve öğretmenler için parola korumalı çözümler kılavuzu ve PowerPoint® ders notlarını içerir.

Bu projeye çok değerli katkılarda bulunan hakemlere ve öğrencilere en içten teşekkürlerimi sunarım. Kitabı inceleyenler aşağıda verilmiştir:

Ali Emadi  
 Illinois Teknoloji Enstitüsü  
 Şahin Filizade  
 Manitoba Üniversitesi  
 James Vali  
 Kettering Üniversitesi  
 Peter Idowu  
 Penn Eyaleti, Harrisburg  
 Mehrdad Kazerani  
 Waterloo Üniversitesi  
 Xiaomin Kou  
 Wisconsin-Platteville Üniversitesi  
 Alexis Kwasinski  
 Austin'deki Teksas Üniversitesi  
 Medhat M. Morcos  
 Kansas Eyalet Üniversitesi  
 Steve Pekarek  
 Purdue Üniversitesi  
 Wajiha Shireen  
 Houston Üniversitesi  
 Hamid Toliyat  
 Teksas A&M Üniversitesi  
 Ziya Yamayee  
 Portland Üniversitesi  
 Lin Zhao  
 Gannon Üniversitesi

Valparaiso Üniversitesi'ndeki meslektaşlarım Kraig Olejniczak, Mark Budnik ve Michael Doria'ya katkılarından dolayı özellikle teşekkür ederim. Ayrıca, kitabın büyük bölümünün hazırlanması için Nikke Ault'a teşekkür ederim.

*Eksiksiz Çevrimiçi Çözümler Manuel Organizasyon Sistemi (COSMOS)*. Profesörler, McGraw-Hill'in COSMOS elektronik çözümler kılavuzundan yararlanabilir. COSMOS, eğitimcilerin ödev için sınırsız problem üretmesini ve kendi problemlerini yazılıma entegre etmelerini sağlar. Ek bilgi için McGraw-Hill satış temsilcinizle iletişime geçiniz.

*Elektronik Ders Kitabı Seçeneği*. Bu metin CourseSmart aracılığıyla hem eğitimciler hem de öğrenciler için sunulmaktadır. CourseSmart, öğrencilerin tam metni çevrimiçi olarak geleneksel bir metnin neredeyse yarı fiyatına satın alabilecekleri çevrimiçi bir kaynaktır. E-Ders kitabının satın alınması, öğrencilerin CourseSmart'ın tam arama, notlar ve önemli noktaları ve sınıf arkadaşları arasında notları paylaşmak için e-posta araçlarını içeren öğrenme için Web araçlarından faydalanmalarını sağlar. CourseSmart seçenekleri hakkında daha fazla bilgi edinmek için McGraw-Hill satış temsilcinizle iletişime geçiniz veya [ww.CourseSmart.com](http://ww.CourseSmart.com) adresini ziyaret ediniz.

**Daniel W. Hart**  
**Valparaiso Üniversitesi**  
**Valparaiso, Indiana**

# B Ö L Ü M 1

## Giriş

### 1.1 GÜÇ ELEKTRONİĞİ

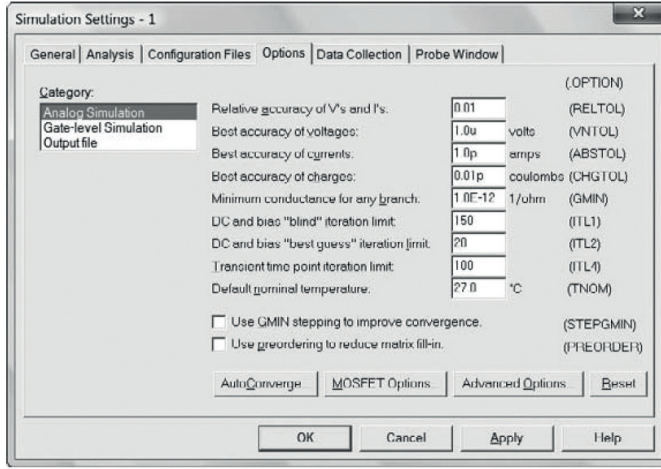
Güç elektroniği devreleri elektronik cihazları kullanarak elektrik gücünü bir formdan diğer forma dönüştürür. Güç elektroniği devreleri yarı iletken cihazları anahtar olarak kullanarak çalışır, böylece gerilim veya akımı düzenler veya kontrol eder. Güç elektroniği uygulamaları dc güç iletimi gibi yüksek güçlü dönüştürme cihazından günlük kullanılan cihazlara (kablosuz tornavidalar, bilgisayarlar için güç kaynakları, cep telefonu şarj cihazları ve hibrit otomobiller gibi) kadar olan uygulamaları içerir. Güç elektroniği devrelerin miliwatt veya megawatt seviyesinde güçleri işlediği uygulamaları içerir. Güç elektroniğinin tipik uygulamaları ac'nin dc'ye dönüştürülmesini, dc'nin ac'ye dönüştürülmesini, kontrolsüz bir dc gerilimin kontrollü bir dc gerilime dönüştürülmesini ve belirli bir frekans ve genliğe sahip ac sinyalin başka bir frekans ve genliğe sahip ac sinyale dönüştürülmesini içerir.

Güç elektroniği dönüştürme cihazının tasarımı elektrik mühendisliğinden pek çok disiplini içerir. Güç elektroniği devre teorisi, kontrol teorisi, elektronik, elektromanyetik, mikro işlemciler (kontrol için) ve ısı transferi uygulamalarını içerir. Yarı iletken anahtarlama kapasitesindeki ilerlemelerle birlikte elektrikli cihazların performansını ve verimini artırma isteği, güç elektroniğini elektrik mühendisliğinde hızla gelişen ve önemli bir alan yapmıştır.

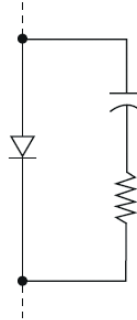
### 1.2 DÖNÜŞTÜRÜCÜ SINIFLANDIRMASI

Güç elektroniği devresinin amacı yüke ait gerilim ve akım gereksinimlerini kaynak gerilim ve akım gereksinimlerini ile eşleştirmektir. Güç elektroniği devreleri bir tip veya seviyedeki gerilim veya akım dalga şeklini başka bir şekle dönüştürür. Bu nedenle bu devreler *dönüştürücüler* olarak isimlendirilir. Dönüştürücüler yük ile kaynak arasında bir ara birim olarak görev yapar (Şekil 1-1).





Şekil 1-18 Yakınsama problemlerini çözebilecek ayarlar için Seçenekler (Options) menüsü. RELTOL ve ITL4 değiştirilmiştir.



Şekil 1-19 PSpice programında yakınsamaya yardım için RC devresi.

- Bir RC “bastırma” devresi ekleyiniz. Küçük zaman sabitine sahip seri direnç-kondansatör gerilimin çok hızlı değişmesini engellemek amacı ile anahtarların uçlarına bağlanabilir. Örneğin, 1-k $\Omega$  direnç ile seri bağlı 1-nF konadansatörü bir diyot ile paralel bağlamak (Şekil 1-19), simülasyon sonuçlarını etkilemeden yakınsama problemini azaltabilir.

## 1.8 Kaynakça

M. E. Balcı and M. H. Hocaoglu, “Comparison of Power Definitions for Reactive Power Compensation in Nonsinusoidal Circuits,” *International Conference on Harmonics and Quality of Power*, Lake Placid, N.Y. 2004.

- L. S. Czarnecki, "Considerations on the Reactive Power in Nonsinusoidal Situations," *International Conference on Harmonics in Power Systems*, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Mass., 1984, pp 231–237.
- A. E. Emanuel, "Powers in Nonsinusoidal Situations, A Review of Definitions and Physical Meaning," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, no. 3, July 1990.
- G. T. Heydt, *Electric Power Quality*, Stars in a Circle Publications, West Lafayette, Ind., 1991.
- W. Sheperd and P. Zand, *Energy Flow and Power Factor in Nonsinusoidal Circuits*, Cambridge University Press, 1979.

## Problemler

- 1-1.** Şekil 1-1'deki akım kaynağının yönü değiştirilmiştir. Böylece pozitif akım yukarı doğru akmaktadır. Akım kaynağı  $S_1$  ve  $S_2$  anahtarlarının dönüşümlü kullanımı ile gerilim kaynağına bağlanacaktır. Bunu başarmak için MOSFET ve diyot bulunan bir devre çiziniz.
- 1-2.** Örnek 1-1'de verilen devreyi PSpice ile simüle ediniz.  $S_1$  anahtarı için gerilim kontrollü anahtar Sbreak ve  $S_2$  anahtarı için diyot Dbreak kullanınız. (a) Devreyi idealize etmek için PSpice modellerini anahtar için  $RON=0.001 \Omega$  ve diyot için  $n=0.001$  kullanarak düzenleyiniz. Probe ile akım kaynağı uçlarındaki gerilimi gösteriniz. (b) Sbreak içinde  $RON=0.1 \Omega$  ve diyot için  $n=1$  (varsayılan değer) kullanınız. a ve b şıklarındaki sonuçlar ne kadar farklıdır?
- 1-3.** PSpice demo sürümüyle gelen IRF150 güç MOSFET modeli EVAL kütüphanesindedir. MOSFET için IRF150'yi ve  $S_2$  için varsayılan diyot modeli Dbreak kullanarak Örnek 1-1'de verilen devreyi simüle ediniz. Şekil 1-16'dakine benzer idealize edilmiş kapı sürme devresi kullanınız. Probe ile akım kaynağı uçlarındaki gerilimi gösteriniz. Sonuçlar ideal anahtar kullanılarak elde edilen sonuçlardan ne kadar farklıdır?
- 1-4.** Örnek 1-1'de verilen devreyi simüle etmek için PSpice programını kullanınız.  $S_1$  anahtarı için PSpice varsayılan BJT QbreakN'i kullanınız. Şekil 1-9'daki MOSFET için verilen kapı sürme devresine benzer idealize edilmiş baz sürme devresi kullanınız.  $h_{EF}$  100 değerine sahip transistörün iletme girmesini sağlamak için uygun bir baz direnci kullanınız.  $S_2$  anahtarı için PSpice varsayılan Dbreak diyot modelini kullanınız. Akım kaynağı uçlarındaki gerilimi gösteriniz. Sonuçlar ideal anahtar kullanılarak elde edilen sonuçlardan ne kadar farklıdır?

# B Ö L Ü M 2

## Güç Hesaplamaları

### 2.1 GİRİŞ

Güç elektroniği devrelerini analiz ederken ve tasarlarken güç hesaplamaları gereklidir. Bu bölümde temel güç kavramları gözden geçirilmiştir. Özellikle, sinüzoidal olmayan (non-sinüzoidal) akım ve gerilimleri içeren devrelerdeki güç hesaplamalarına vurgu yapılmıştır. Güç elektroniğinde sıklıkla karşılaşılan bazı özel durumlar incelenmiştir. PSpice devre simülasyon programı kullanarak güç hesaplamaları gösterilmiştir.

### 2.2 GÜÇ VE ENERJİ

#### Anlık Güç

Herhangi bir cihaz için anlık güç cihazın uçlarındaki gerilim ve cihazın içinden geçen akım ile hesaplanır. *Anlık güç*

$$p(t) = v(t)i(t) \quad (2-1)$$

ile hesaplanır.

Bu ilişki herhangi bir devre veya cihaz için geçerlidir. Anlık güç genellikle zamanla değişen bir büyüklüktür. Eğer Şekil 2-1a'da gösterilen pasif işaret kabulüne uyulursa, belirli bir  $t$  anında  $p(t)$  pozitif ise cihaz güç harcıyordur. Eğer  $p(t)$  negatif ise cihaz güç sağlıyor. Kaynaklar sıklıkla güç sağlayacak şekilde kabul edilen akım yönüne sahiptir. Şekil 2-1b'deki kabul ile pozitif  $p(t)$  kaynağın güç sağladığını gösterir.

Probe ile yapılan nümerik hesaplamaların doğru olması için simülasyonda kararlı-durum gerilimleri ve akımları elde edilmelidir.

- PSpice programında Fourier serisi terimleri Simülasyon Ayarlarından Fourier Analizi kullanarak veya Probe altında FFT opsiyonu kullanarak elde edilebilir.

## 2.11 Kaynakça

- M. E. Balci and M. H. Hocaoglu, "Comparison of Power Definitions for Reactive Power Compensation in Nonsinusoidal Circuits," *International Conference on Harmonics and Quality of Power*, Lake Placid, New York, 2004.
- L. S. Czarnecki, "Considerations on the Reactive Power in Nonsinusoidal Situations," *International Conference on Harmonics in Power Systems*, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Mass., 1984, pp. 231–237.
- A. E. Emanuel, "Powers in Nonsinusoidal Situations, A Review of Definitions and Physical Meaning," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, no. 3, July 1990.
- G. T. Heydt, *Electric Power Quality*, Stars in a Circle Publications, West Lafayette, Ind., 1991.
- W. Sheperd and P. Zand, *Energy Flow and Power Factor in Nonsinusoidal Circuits*, Cambridge University Press, 1979.

## Problemler

### Anlık ve Ortalama Güç

- 2-1.** Ortalama güç genellikle ortalama gerilim ve ortalama akımın çarpımı *değildir*. Ortalama değeri sıfır olan  $v(t)$  ve  $i(t)$  dalga şekilleri için bir örnek veriniz ve cihaz tarafından harcanan ortalama gücün sıfır olmadığını gösteriniz.  $v(t)$ ,  $i(t)$  ve  $p(t)$ 'yi çizin.
- 2-2.**  $10\text{-}\Omega$ 'luk direnç uçlarındaki gerilim  $v(t)=170 \sin(377t)\text{V}$ 'tur. (a) Direnç tarafından harcanan anlık güç ifadesini, (b) tepe gücü ve (c) ortalama gücü belirleyiniz.
- 2-3.** Bir elemanın uçlarındaki gerilim  $v(t)=5 \sin(2\pi t)\text{V}$ 'tur. Grafik yazılımını kullanarak eleman tarafından harcanan anlık gücün grafiğini çizdiriniz ve pasif işaret kabulünü kullanarak eğer (a)  $i(t)=4 \sin(2\pi t)\text{A}$  ve (b)  $i(t)=3 \sin(4\pi t)\text{A}$  ise ortalama gücü belirleyiniz.
- 2-4.** Bir cihaz için gerilim ve akım (pasif işaret kabulünü kullanarak)  $T=100\text{ ms}$  ile tanımlı periyodik fonksiyonlardır:

$$v(t) = \begin{cases} 10\text{ V} & 0 < t < 70\text{ ms} \\ 0 & 70\text{ ms} < t < 100\text{ ms} \end{cases}$$

$$i(t) = \begin{cases} 0 & 0 < t < 50\text{ ms} \\ 4\text{ A} & 50\text{ ms} < t < 100\text{ ms} \end{cases}$$

(a) Anlık gücü, (b) ortalama gücü ve (c) her periyotta cihaz tarafından harcanan enerjiyi belirleyiniz.

# B Ö L Ü M 3

## Yarım-Dalga Doğrultucular *Analizin Temelleri*

### 3.1 GİRİŞ

Bir doğrultucu ac'yi dc'ye dönüştürür. Doğrultucunun amacı, tamamen dc olan bir çıkış üretmek olabilir veya belirli bir dc bileşene sahip gerilim veya akım dalga şekli üretmek olabilir.

Pratikte, yarım-dalga doğrultucu çoğunlukla düşük güç uygulamalarında kullanılır, çünkü kaynaktaki ortalama akım sıfır olmayacaktır. Sıfır olmayan ortalama akım transformator performansında sorunlara neden olabilir. Bu devrenin pratik uygulamaları sınırlı olsa da, yarım-dalga doğrultucuyu detaylı olarak analiz etmek oldukça faydalıdır. Yarım-dalga doğrultucu devresinin tam olarak anlaşılması öğrencinin minimum çabayla daha karmaşık devrelerin analizine geçmesini sağlayacaktır.

Bu bölümün amaçları güç elektroniği devreleri için genel analiz tekniklerini tanıtmak, bir önceki bölümün güç hesaplama kavramlarını uygulamak ve PSpice çözümlerini göstermektir.

### 3.2 DİRENÇ YÜKÜ

#### **Elektronik Anahtar Kullanarak DC Bileşen Oluşturmak**

Direnç ile yüklü temel bir yarım-dalga doğrultucu Şekil 3-1a'da gösterilmiştir. Kaynak ac'dir ve amaç sıfır olmayan dc bileşene sahip yük gerilimi oluşturmaktır. Diyot yalnızca bir yönde akıma izin veren temel elektronik anahtardır. Bu devrede kaynağın pozitif yarım-periyodunda diyot iletimdedir (ileri yönde kutuplanmıştır).

$$A = \left[ -\frac{V_m}{Z} \sin(\alpha - \theta) + \frac{V_{dc}}{R} \right] e^{\alpha/\omega\tau}$$

- Serbest geçiş diyodu yük uçlarındaki gerilimi yarım-dalga doğrultulmuş sinüs dalgası olmaya zorlar. Yük akımı Fourier analizi kullanılarak analiz edilebilir. Büyük bir yük indüktansı neredeyse sabit yük akımı ile sonuçlanır.
- Direnç yükü uçlarında bulunan büyük bir filtre kondansatörü yük gerilimini neredeyse sabit hale getirir. Ortalama diyot akımı ortalama yük akımı ile aynı olmalıdır. Bu durum, tepe diyot akımını yüksek yapar.
- Yarım dalga doğrultucuda diyot yerine SCR kullanılması çıkış akımını ve gerilimini kontrol etmek için bir yol sağlar.
- PSpice simülasyonu devre performansını analiz etmenin etkili bir yoludur. PSpice programındaki parametrik tarama bir devre parametresinin birkaç değerinin denenmesine olanak sağlar ve devre tasarımında bir yardımcıdır.

### 3.13 Kaynakça

- S. B. Dewan and A. Straughen, *Power Semiconductor Circuits*, Wiley, New York, 1975.
- Y.-S. Lee and M. H. L. Chow, *Power Electronics Handbook*, edited by M. H. Rashid, Academic Press, New York, 2001, Chapter 10.
- N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3d ed., Wiley, New York, 2003.
- M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices, and Systems*, 3d ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ., 2004.
- R. Shaffer, *Fundamentals of Power Electronics with MATLAB*, Charles River Media, Boston, Mass., 2007.
- B. Wu, *High-Power Converters and AC Drives*, Wiley, New York, 2006.

## Problemler

### Direnç Yüklü Yarım-Dalga Doğrultucu

- 3-1.** Şekil 3-1a'da verilen yarım-dalga doğrultucu devresinde  $v_s(t) = 170 \sin(377t)$  V ve  $R=15 \Omega$  olarak verilmiştir. (a) Ortalama yük akımını, (b) rms yük akımını, (c) yük tarafından harcanan gücü, (d) kaynak tarafından sağlanan görünür gücü ve (e) devrenin güç faktörünü belirleyiniz.
- 3-2.** Şekil 3-1a'da verilen yarım-dalga doğrultucu devresi kaynak ile devrenin geri kalanı arasına yerleştirilmiş bir transformatöre sahiptir. Kaynak 60 Hz 240 V rms'dir ve yük direnci  $20 \Omega$ 'dur. (a) Ortalama yük akımının 12 A olması için gereken transformatör sarım oranını belirleyiniz. (b) Transformatörün primer sargısındaki ortalama akımı belirleyiniz.
- 3-3.** Direnç yüklü yarım-dalga doğrultucu için (a) güç faktörünün  $1/\sqrt{2}$  olduğunu gösteriniz ve (b) Bölüm 2'de tanımlandığı gibi deplasman güç faktörünü ve distorsiyon faktörünü belirleyiniz. Yarım-dalga doğrultulmuş gerilim için Fourier serisi Denklem (3-34)'te verilmiştir.

# B Ö L Ü M 4

## Tam-Dalga Doğrultucular *AC'yi DC'ye dönüştürme*

### 4.1 GİRİŞ

Tam-dalga doğrultucunun amacı tamamen dc olan veya belirli bir dc bileşene sahip gerilim veya akım üretmektir. Tam-dalga doğrultucunun amacı yarım-dalga doğrultucunun amacı ile aynı olsa da, tam-dalga doğrultucuların bazı temel avantajları vardır. Tam-dalga doğrultucuda ac kaynaktaki ortalama akım sıfırdır. Böylece, özellikle transformatörlerde sıfır olmayan ortalama kaynak akımlarıyla ilgili problemler ortaya çıkmaz. Tam-dalga doğrultucunun çıkışı yapısı gereği yarım-dalga doğrultucunun çıkışından daha az dalgalanmaya sahiptir.

Bu bölümde doğrultucu olarak kullanılan kontrolsüz ve kontrollü tek-fazlı ve üç-fazlı tam-dalga dönüştürücüler farklı yükler için analiz edilmiştir. Ayrıca, güç akışının dc taraftan ac tarafa doğru olduğu inverter (evirici) olarak çalışan kontrollü dönüştürücü örnekleri de verilmiştir.

### 4.2 TEK-FAZLI TAM-DALGA DOĞRULTUCULAR

Şekil 4-1 ve Şekil 4-2'de verilen köprü doğrultucu ve orta-uçlu transformatörlü doğrultucu iki temel tek-fazlı tam-dalga doğrultucudur.

#### Köprü Doğrultucu

Şekil 4-1'de verilen köprü doğrultucu için bazı temel gözlemler şunlardır:

1.  $D_1$  ve  $D_2$  diyotları birlikte,  $D_3$  ve  $D_4$  diyotları birlikte iletimdedir. Kaynak,  $D_1$  ve  $D_3$  diyotlarını içeren çevrede Kirchhoff gerilim yasası  $D_1$  ve  $D_3$  diyotlarının aynı anda iletimde olamayacağını gösterir. Benzer şekilde,  $D_2$  ve  $D_4$  aynı anda iletimde olamaz. Yük akımı pozitif veya sıfır olabilir ama asla negatif olamaz.

- Yük direnci ile seri bağlı büyük bir indüktör neredeyse dc yük akımı üretir.
- Doğrultucunun çıkışındaki filtre kondansatörü neredeyse dc olan çıkış gerilimi üretebilir. Çıkış filtresi dc çıkışın kalitesini daha da iyileştirebilir ve diyotlardaki tepe akımını azaltabilir.
- Tek-fazlı veya üç-fazlı doğrultucunun çıkışını kontrol etmek için SCR gibi anahtarlar kullanılabilir.
- Belirli koşullar altında kontrollü dönüştürücüler inverter (evirici) olarak çalıştırılabilir.
- 6-darbeli üç-fazlı doğrultucularda 6 diyot veya SCR ve 12-darbeli doğrultucularda 12 diyot veya SCR bulunur.
- Üç-fazlı köprü doğrultucular yapısı gereği dc'ye benzer çıkış üretir.
- Dc güç iletimi dc hattın her iki ucunda üç-fazlı dönüştürücüye sahiptir. Bir dönüştürücü doğrultucu olarak çalıştırılır ve diğeri inverter (evirici) olarak çalıştırılır.
- Kaynak indüktansı tek-fazlı veya üç-fazlı doğrultucunun dc çıkışını azaltır.

## 4.9 Kaynakça

- S. B. Dewan and A. Straughen, *Power Semiconductor Circuits*, Wiley, New York, 1975.
- J. Dixon, *Power Electronics Handbook*, edited by M. H. Rashid, Academic Press, San Diego, 2001, Chapter 12.
- E. W. Kimbark, *Direct Current Transmission*, Wiley-Interscience, New York, 1971.
- P. T. Krein, *Elements of Power Electronics*, Oxford University Press, 1998.
- Y.-S. Lee and M. H. L. Chow, *Power Electronics Handbook*, edited by M. H. Rashid, Academic Press, San Diego, 2001, Chapter 10.
- N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3d ed., Wiley, New York, 2003.
- M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices, and Systems*, 3d ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 2004.
- B. Wu, *High-Power Converters and AC Drives*, Wiley, New York, 2006.

## Problemler

### Kontrolsüz Tek-Fazlı Doğrultucular

- 4-1. Tek-fazlı tam-dalga köprü doğrultucu  $18 \Omega$  direnç yüküne ve 120 V rms ac kaynağa sahiptir. Yükteki ve her bir diyottaki ortalama, tepe ve rms akımları belirleyiniz.
- 4-2. Tek-fazlı bir doğrultucu  $25 \Omega$  direnç yüküne sahiptir. (a) 60 Hz 120 V rms ac kaynak bulunan köprü doğrultucu ve (b) sekonder sargının her bir yarısında 120 V rms olan orta-uçlu transformatörlü doğrultucu durumları için ortalama akımları ve her bir diyot uçlarındaki ters gerilimin tepe değerini belirleyiniz.
- 4-3. Tek-fazlı köprü doğrultucu  $R=15 \Omega$  ve  $L=60$  mH olan  $RL$  yüküne sahiptir. Ac kaynak  $v_s=100\sin(377t)$  V olarak verilmiştir. Yükteki ve her bir diyottaki ortalama ve rms akımları belirleyiniz.
- 4-4. Tek-fazlı köprü doğrultucu  $R=10 \Omega$  ve  $L=25$  mH olan  $RL$  yüküne sahiptir. Ac kaynak  $v_s=100 \sin(377t)$  V olarak verilmiştir. Yükteki ve her bir diyottaki ortalama ve rms akımları belirleyiniz.



# B Ö L Ü M 5

## AC Gerilim Kontrolörleri *AC-AC Dönüştürücüler*

### 5.1 GİRİŞ

Ac gerilim kontrolörü gerilimi, akımı ve ac kaynaktan ac yüke aktarılan ortalama gücü kontrol eden bir dönüştürücüdür. Elektronik anahtarlar kaynak ve yükü düzenli aralıklarla bağlar ve bağlantıyı keser. Faz kontrolü adı verilen bir anahtarlama düzeninde, anahtarlama kaynağın her periyodu sırasında gerçekleşir. Bu şekilde kaynak dalga şeklinin bir kısmı yüke verilmez. Başka bir kontrol türü kaynağın bir seferde birkaç periyot süresince bağlı olduğu ve bağlı olmadığı tam-periyot kontrolüdür.

Faz-kontrollü ac gerilim kontrolörü ışık kontrol devreleri ve asenkron motorların hız kontrolü dahil olmak üzere pek çok pratik kullanıma sahiptir. Giriş gerilim kaynağı ac'dir ve çıkış ac'dir (sinüzoidal olmasa da). Bu nedenle, devre ac-ac dönüştürücü olarak sınıflandırılır.

### 5.2 TEK-FAZLI AC GERİLİM KONTROLÖRÜ

#### Temel Çalışma

Şekil 5-1a'da temel bir tek-fazlı gerilim kontrolörü gösterilmiştir. Elektronik anahtarlar paralel tristörler (SCR'ler) olarak gösterilmiştir. Bu SCR düzenlemesi yükte her iki yönde de akım olmasını mümkün kılar. SCR'ler zıt yönlerde akım taşıdıklarından bu SCR bağlantısı antiparalel veya ters paralel olarak isimlendirilir. Bir triyak ters paralel SCR'lere eşdeğerdir. SCR'ler yerine başka kontrollü anahtarlama cihazları kullanılabilir.

- Üç-fazlı gerilim kontrolörleri  $Y$ -bağlı veya  $\Delta$ -bağlı yüklerle sahip olabilir.
- Tek-fazlı veya üç-fazlı gerilim kontrolörlerinin simülasyonu etkili bir analiz yöntemi sunar.

## 5.7 Kaynakça

- B. K. Bose, *Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends*, Academic Press, New York, 2006.
- A. K. Chattopadhyay, *Power Electronics Handbook*, edited by M. H. Rashid, Academic Press, New York, 2001, Chapter 16.
- M. A. El-Sharkawi, *Fundamentals of Electric Drives*, Brooks/Cole, Pacific Grove, Calif., 2000.
- B. M. Han and S. I. Moon, "Static Reactive-Power Compensator Using Soft-Switching Current-Source Inverter," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 48, no. 6, December 2001.
- N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3d ed., Wiley, New York, 2003.
- M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices, and Systems*, 3d ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, N. J., 2004.
- R. Valentine, *Motor Control Electronics Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1996.
- B. Wu, *High-Power Converters and AC Drives*, Wiley, New York, 2006.

## Problemler

### Tek-fazlı Gerilim Kontrolörleri

- 5-1.** Şekil 5-1a'da verilen tek-fazlı ac gerilim kontrolörü 60 Hz 480 V rms kaynağa ve 50  $\Omega$  yük direncine sahiptir. Gecikme açısı  $\alpha = 60^\circ$  dir. (a) Rms yük gerilimini, (b) yük tarafından harcanan gücü, (c) güç faktörünü, (d) SCR'lerdeki ortalama ve rms akımları ve (e) kaynak akımının THD değerini belirleyiniz.
- 5-2.** Şekil 5-1a'da verilen tek-fazlı ac gerilim kontrolörü 60 Hz 120 V rms kaynağa ve 20  $\Omega$  yük direncine sahiptir. Gecikme açısı  $\alpha = 45^\circ$  dir. (a) Rms yük gerilimini, (b) yük tarafından harcanan gücü, (c) güç faktörünü, (d) SCR'lerdeki ortalama ve rms akımları ve (e) kaynak akımının THD değerini belirleyiniz.
- 5-3.** Şekil 5-1a'da verilen tek-fazlı ac gerilim kontrolörü 240 V rms kaynağa ve 35  $\Omega$  yük direncine sahiptir. (a) Yüke 800 W aktarmak için gerekli gecikme açısını belirleyiniz. (b) Her bir SCR'deki rms akımını belirleyiniz. (c) Güç faktörünü belirleyiniz.
- 5-4.** Bir direnç yükü 60 Hz 120 V rms ac gerilim kaynağına bağlandığında 200 W harcamaktadır. Kaynak 60 Hz 240 V rms olduğunda aynı direnç tarafından 200 W harcanması için bir devre tasarlayınız. Her bir durumda tepe yük gerilimi nedir?
- 5-5.** Şekil 5-1a'da verilen tek-fazlı ac gerilim kontrolörü 60 Hz 120 V rms kaynağa ve 40  $\Omega$  yük direncine sahiptir. Çıkış gücünün 200 ile 400 W arasında kontrol edilebilmesi için  $\alpha$  aralığını belirleyiniz. Ortaya çıkacak güç faktörü aralığını belirleyiniz.
- 5-6.** 60 Hz 240 V rms kaynaktan 32  $\Omega$  dirence 750 ile 1500 W aralığında güç sağlayacak bir devre tasarlayınız. Anahtarlama cihazlarındaki maksimum rms ve ortalama akımları belirleyiniz. Cihazların uçlarındaki maksimum gerilimi belirleyiniz.

## DC-DC Dönüştürücüler

Dc-dc dönüştürücüler bir dc gerilimi farklı bir dc gerilim seviyesine dönüştüren ve genellikle regüle edilmiş çıkış sağlayan güç elektroniği devreleridir. Bu bölümde açıklanan devreler anahtarlama güç kaynakları veya anahtarlayıcılar olarak da isimlendirilen anahtarlama dc-dc dönüştürücüler olarak sınıflandırılır. Bu bölümde bazı temel dc-dc dönüştürücü devreleri anlatılmaktadır. Bölüm 7, çoğu dc güç kaynağı tasarımında kullanılan bu devrelerin bazı yaygın varyasyonlarını açıklamaktadır.

### 6.1 LİNEER GERİLİM REGÜLATÖRLERİ

Anahtarlama dönüştürücüleri tartışmadan önce, Bölüm 1’de tanıtılan lineer dc-dc dönüştürücülere bir alternatif için motivasyonu gözden geçirmek faydalıdır. Bir dc gerilimi daha düşük bir dc gerilime dönüştürmenin bir yöntemi Şekil 6-1’de gösterildiği gibi basit bir devredir. Çıkış gerilimi

$$V_o = I_L R_L$$

ile verilir. Burada, yük akımı transistör tarafından kontrol edilir. Transistör baz akımını ayarlayarak çıkış gerilimi 0 ile kabaca  $V_s$  aralığında kontrol edilebilir. Baz akımı kaynak gerilimindeki veya yükteki değişimleri telafi etmek için ayarlanabilir, böylece çıkış regüle edilir. Transistör doyum veya kesim bölgelerinden ziyade lineer bölgede çalıştığı için bu tip devreye lineer dc-dc dönüştürücü veya lineer regülatör denir. Transistör değişken bir direnç gibi çalışır.

Ortalama anahtar modeli bu bölümde tartışılan diğer dc-dc dönüştürücüleri simüle etmek için kullanılabilir. Şekil 6-33 sürekli akım çalışması için boost (yükseltici), buck-boost (düşürücü-yükseltici) ve Çuk dönüştürücülerde ortalama anahtar modelinin nasıl kullanıldığını gösterir. Anahtar terminalleri  $a$ ,  $p$  ve  $c$  isimlendirmeleri aktif, pasif ve ortak terminalleri temsil eder.

## 6.14 Özet

- Anahtarlama-mod dc-dc dönüştürücü elektronik anahtardaki azalan kayıplar nedeniyle lineer bir dönüştürücüden çok daha verimlidir.
- Buck (düşürücü) dönüştürücü girişten daha düşük çıkış gerilimine sahiptir.
- Boost (yükseltici) dönüştürücü girişten daha yüksek çıkış gerilimine sahiptir.
- Buck-boost (düşürücü-yükseltici) ve Çuk dönüştürücüler girişten daha yüksek veya daha düşük çıkış gerilimlerine sahip olabilir, ancak ters polarite vardır.
- SEPIC devresi ters polarite olmadan girişten daha büyük veya daha düşük çıkış gerilimine sahip olabilir.
- Anahtar gerilim düşümleri ve indüktör dirençleri analize dahil edildiğinde çıkış gerilimi genellikle teorik değerden düşük olur.
- Kondansatör eşdeğer seri direnci (ESR), sadece kondansatörün olduğu durumdan çok daha büyük çıkış gerilimi dalgalanması üretebilir.
- Interleaved (sarmaşık) dönüştürücüler çıkış kondansatöründeki akım değişimini azaltmak için paralel anahtar/indüktör yollarına sahiptir.
- Dc-dc dönüştürücüler için süresiz akım modları mümkündür ve bazen istenilir, ancak giriş-çıkış ilişkileri sürekli akım modlarından farklıdır.
- Anahtarlama-kondansatörlü dönüştürücüler kondansatörleri bir konfigürasyonda şarj eder ve ardından girişten farklı bir çıkış gerilimi üretmek için kondansatörleri yeniden bağlamak için anahtarları kullanır.
- PSpice programı gerilim-kontrollü anahtar kullanarak veya ortalama devre modeli kullanarak dc-dc dönüştürücüleri simüle etmek için kullanılabilir.

## 6.15 Kaynakça

- S. Ang and A. Oliva, *Power-Switching Converters*, 2d ed., Taylor & Francis, Boca Raton, Fla., 2005.
- C. Basso, *Switch-Mode Power Supplies*, McGraw-Hill, New York, 2008.
- B. K. Bose, *Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends*, Elsevier/Academic Press, Boston, 2006.
- R. W. Erickson and D. Maksimović, *Fundamentals of Power Electronics*, 2d ed., Kluwer Academic, Boston, 2001.
- W. Gu, "Designing a SEPIC Converter," National Semiconductor Application Note 1484, 2007, <http://www.national.com/an/AN/AN-1484.pdf>.
- P. T. Krein, *Elements of Power Electronics*, Oxford University Press, New York, 1998.
- D. Maksimović, and S. Dhar, "Switched-Capacitor DC-DC Converters for Low-Power On-Chip Applications," *IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference*, vol. 1, pp. 54–59, 1999.
- R. D. Middlebrook and, S. Cuk, *Advances in Switched-Mode Power Conversion*, vols. I and II, TES-LAco, Pasadena, Calif., 1981.
- N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3d ed., Wiley, New York, 2003.
- A. I. Pressman, K. Billings, and T. Morey, *Switching Power Supply Design*, McGraw-Hill, New York, 2009.

M. H. Rashid, Power Electronics: Circuits, Devices, and Systems, 3d ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 2004.

“SEPIC Equations and Component Ratings,” MAXIM Application Note 1051, 2002, <http://www.maxim-ic.com/an1051>.

V. Vorperian, “Simplified Analysis of PWM Converters Using Model of PWM Switch”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, May 1990.

## Problemler

### Lineer Dönüştürücüler

- 6-1. Kısım 6.1’de açıklanan lineer dönüştürücü için  $V_o/V_s$  ve verim arasındaki ilişki nedir?
- 6-2. Bir dc güç kaynağı 100-V kaynağı 30 V değerine düşürmelidir. Çıkış gücü 100 W olarak verilmiştir. (a) Bu uygulama için kullanıldığında Şekil 6-1’de verilen lineer dönüştürücünün verimini belirleyiniz. (b) Transistörde 1 yılda ne kadar enerji kaybı olur? (c) Bölgenizdeki elektrik fiyatını kullanarak, 1 yıllık enerji kaybının maliyeti nedir?

### Temel Anahtarlama Dönüştürücü

- 6-3. Şekil 6-2a’da verilen temel dc-dc dönüştürücü 100 V kaynağa ve 10  $\Omega$  yük direncine sahiptir. Anahtarın doluluk oranı  $D=0.6$  ve anahtarlama frekansı 1 kHz’dir. (a) Yük uçlarındaki ortalama gerilimi, (b) yük uçlarındaki rms gerilimi ve (c) yük tarafından harcanan ortalama gücü belirleyiniz. (d) Eğer anahtarlama frekansı 2 kHz değerine yükseltilirse ne olur?

### Buck (düşürücü) Dönüştürücü

- 6-4. Şekil 6-3a’da verilen buck (düşürücü) dönüştürücü şu parametrelere sahiptir:  $V_s=24$  V,  $D=0.65$ ,  $L=25$   $\mu$ H,  $C=15$   $\mu$ F ve  $R=10$   $\Omega$ . Anahtarlama frekansı 100 kHz’dir. (a) Çıkış gerilimini, (b) maksimum ve minimum indüktör akımlarını ve (c) çıkış gerilimi dalgalanmasını belirleyiniz.
- 6-5. Şekil 6-3a’da verilen buck (düşürücü) dönüştürücü şu parametrelere sahiptir:  $V_s=15$  V,  $D=0.6$ ,  $L=10$   $\mu$ H,  $C=50$   $\mu$ F ve  $R=5$   $\Omega$ . Anahtarlama frekansı 150 kHz’dir. (a) Çıkış gerilimini, (b) maksimum ve minimum indüktör akımlarını ve (c) çıkış gerilimi dalgalanmasını belirleyiniz.
- 6-6. Şekil 6-3a’da verilen buck (düşürücü) dönüştürücü 50 V giriş ve 25 V çıkışa sahiptir. Anahtarlama frekansı 100 kHz’dir ve yük direncine aktarılan çıkış gücü 125 W’tır. (a) Doluluk oranını belirleyiniz. (b) Tepe indüktör akımını 6.25 A ile sınırlamak için indüktans değerini belirleyiniz. (c) Çıkış gerilimi dalgalanmasını %0.5 ile sınırlandıracak kondansatör değerini belirleyiniz.
- 6-7. Bir buck (düşürücü) dönüştürücü 6 V giriş ve 1.5 V çıkışa sahiptir. Yük direnci 3  $\Omega$ , anahtarlama frekansı 400 kHz,  $L=5$   $\mu$ H ve  $C=10$   $\mu$ F’dir. (a) Doluluk oranını belirleyiniz. (b) Ortalama, tepe ve rms indüktör akımlarını belirleyiniz. (c) Ortalama kaynak akımını belirleyiniz. (d) Tepe ve ortalama diyot akımını belirleyiniz.
- 6-8. Şekil 6-3a’da verilen buck (düşürücü) dönüştürücü  $V_s=30$  V,  $V_o=20$  V ve 40 kHz’lik anahtarlama frekansına sahiptir. Çıkış gücü 25 W’tır. Minimum indüktör akımı ortalama indüktör akımının %25’i olacak şekilde indüktörün boyutunu belirleyiniz.

# B Ö L Ü M 7

## DC Güç Kaynakları

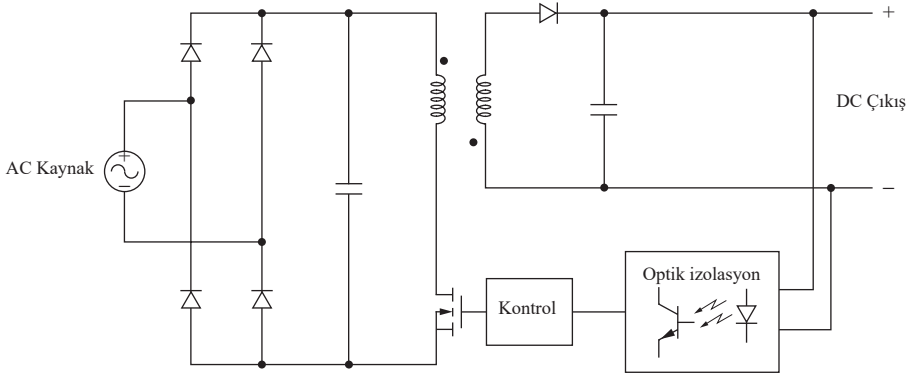
### 7.1 GİRİŞ

Bölüm 6’da ele alınan dc-dc dönüştürücülerin temel bir dezavantajı giriş ve çıkış arasındaki elektriksel bağlantıdır. Eğer giriş kaynağı topraklanmışsa, çıkışta aynı toprak mevcut olacaktır. Çıkışı elektriksel olarak girişten ayırmanın bir yolu transformatör kullanmaktır. Eğer dc-dc dönüştürücünün ac güç kaynağını dc’ye doğrudan birinci aşaması varsa, ac tarafta bir transformatör kullanılabilir. Ancak, tüm uygulamalar ilk aşama olarak ac’den dc’ye dönüşüm gerektirmez. Ayrıca, düşük frekansta (50 Hz veya 60 Hz) çalışan bir transformatör büyük bir manyetik nüve gerektirir ve bu nedenle oldukça büyük, ağır ve pahalıdır.

Bir dc-dc dönüştürücünün girişi ile çıkışı arasında elektriksel izolasyon sağlamanın daha verimli bir yöntemi anahtarlama işleminde bir transformatör kullanmaktır. Anahtarlama frekansı ac güç kaynağı frekansından çok daha yüksektir ve transformatörün küçük olmasını sağlar. Ek olarak, transformatörün sarım oranı dönüştürücünün girişi ve çıkışı arasındaki genel ilişkide artan tasarım esnekliği sağlar. Çoklu transformatör sargılarının kullanılmasıyla anahtarlama dönüştürücüler birden çok çıkış gerilimi sağlayacak şekilde tasarlanabilir.

### 7.2 TRANSFORMATÖR MODELLERİ

Transformatörler iki temel fonksiyona sahiptir: elektriksel izolasyon sağlamak ve zamanla değişen gerilim ve akımları yükseltmek veya düşürmek. Şekil 7-1a’da iki sargılı



Şekil 7-33 Düşük güç uygulamaları için off-line güç kaynağı.

kontrol fonksiyonunu ve anahtarlama transistörünü içerir. Bu tür bazı entegre devreler doğrudan doğrultucunun yüksek gerilim çıkışından güç alabilir ve diğerleri IC besleme gerilimini üretmek için flyback (geri dönüşlü) dönüştürücüde ek bir sargı gerektirir. Bu tür güç kaynağına genellikle off-line dönüştürücü denir.

## 7-17 Kaynakça

- S. Ang and A. Oliva, *Power-Switching Converters*, 2d ed., Taylor & Francis, Boca Raton, Fla., 2005.
- C. Basso, *Switch-Mode Power Supplies*, McGraw-Hill, New York, 2008.
- B. K. Bose, *Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends*, Elsevier/Academic Press, Boston, 2006.
- M. Day, "Optimizing Low-Power DC/DC Designs—External versus Internal Compensation," Texas Instruments, Incorporated, 2004.
- R. W. Erickson and D. Maksimović, *Fundamentals of Power Electronics*, 2d ed., Kluwer Academic, 2001.
- A. J. Forsyth and S. V. Mollov, "Modeling and Control of DC-DC converters," *Power Engineering Journal*, vol. 12, no. 5, 1998, pp. 229–236.
- Y. M. Lai, *Power Electronics Handbook*, edited by M. H. Rashid, Academic Press, Calif., San Diego, 2001, Chapter 20.
- LM2743 Low Voltage N-Channel MOSFET Synchronous Buck Regulator Controller, National Semiconductor, 2005.
- D. Mattingly, "Designing Stable Compensation Networks for Single Phase Voltage Mode Buck Regulators," Intersil Technical Brief TB417.1, Milpitas, Calif., 2003.
- N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3d ed., Wiley, New York, 2003.
- G. Moschopoulos and P. Jain, "Single-Phase Single-Stage Power-Factor-Corrected Converter Topologies," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, no. 1, February 2005, pp. 23–35.
- M. Nave, *Power Line Filter Design for Switched-Mode Power Supplies*, Van Nostrand Reinhold, Princeton, N.J., 1991.
- A. I. Pressman, K. Billings, and T. Morey, *Switching Power Supply Design*, McGraw-Hill, New York, 2009.
- M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices, and Systems*, 3d ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 2004.

- M. Qiao, P. Parto, and R. Amirani, "Stabilize the Buck Converter with Transconductance Amplifier," International Rectifier Application Note AN-1043, 2002.
- D. Venable, "The  $K$  Factor: A New Mathematical Tool for Stability Analysis and Synthesis," *Proceedings Powercon 10*, 1983.
- V. Vorperian, "Simplified Analysis of PWM Converters Using Model of PWM Switch," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, May 1990. "8-Pin Synchronous PWM Controller," International Rectifier Data Sheet No. PD94173 revD, 2005.

## Problemler

### Flyback (Geri Dönüşlü) Dönüştürücü

- 7.1 Şekil 7-2'de verilen flyback (geri dönüşlü) dönüştürücü  $V_s = 36$  V,  $D = 0.4$ ,  $N_1/N_2 = 2$ ,  $R = 6$   $\Omega$ ,  $L_m = 100$   $\mu$ H ve  $C = 50$   $\mu$ F parametrelerine sahiptir ve anahtarlama frekansı 100 kHz'dir. (a) Çıkış gerilimini; (b) ortalama, maksimum ve minimum indüktör akımlarını; ve (c) çıkış gerilimi dalgalanmasını belirleyiniz.
- 7.2 Şekil 7-2'de verilen flyback (geri dönüşlü) dönüştürücü  $V_s = 4.5$  V,  $D = 0.6$ ,  $N_1/N_2 = 0.4$ ,  $R = 15$   $\Omega$ ,  $L_m = 10$   $\mu$ H ve  $C = 10$   $\mu$ F parametrelerine sahiptir ve anahtarlama frekansı 250 kHz'dir. (a) Çıkış gerilimini; (b) ortalama, maksimum ve minimum indüktör akımlarını; ve (c) çıkış gerilimi dalgalanmasını belirleyiniz.
- 7.3 Şekil 7-2'de verilen flyback (geri dönüşlü) dönüştürücünün girişi 44 V, çıkışı 3 V, doluluk oranı 0.32 ve anahtarlama frekansı 300 kHz'dir. Yük direnci 1  $\Omega$ 'dur. (a) Transformatorün sarım oranını belirleyiniz. (b) Minimum indüktör akımı ortalama akımın %40'ı olacak şekilde transformator mknatislanma indüktansını ( $L_m$ ) belirleyiniz.
- 7.4 24 V giriş ve 40 W 40 V çıkış için bir flyback (geri dönüşlü) dönüştürücü tasarlayınız. Transformator sarım oranını ve mknatislanma indüktansını, anahtarlama frekansını ve dalgalanmayı %0.5'in altında sınırlamak için kondansatör değerini belirleyiniz.
- 7.5 (a) Örnek 7-1'de verilen flyback (geri dönüşlü) dönüştürücüde sürekli ve süreksiz mknatislanma indüktans akımını ayıran yük direncinin değeri nedir? (b) Yük direncinin 5  $\Omega$ 'dan 20  $\Omega$ 'a değişimi için  $V_o/V_s$  grafiğini çiziniz.
- 7.6 Süreksiz-akım modunda çalışan flyback (geri dönüşlü) dönüştürücü için mknatislanma akımının ( $i_{L_m}$ ) sifra döndüğü süre için bir ifade türetiniz.

### Forward (İleri) Dönüştürücü

- 7.7 Şekil 7-5a'da verilen forward (ileri) dönüştürücü  $V_s = 100$  V,  $N_1/N_2 = N_1/N_3 = 1$ ,  $L_m = 1$  mH,  $L_x = 70$   $\mu$ H,  $R = 20$   $\Omega$ ,  $C = 33$   $\mu$ F ve  $D = 0.35$  parametrelerine sahiptir. Anahtarlama frekansı 150 kHz'dir. (a) Çıkış gerilimini ve çıkış gerilimi dalgalanmasını; (b)  $L_x$  indüktansındaki akımın ortalama, maksimum ve minimum değerlerini; (c) transformator modelinde  $L_m$  indüktansındaki tepe akımını; ve (d) anahtardaki ve fiziksel transformator primer taraftaki tepe akımı belirleyiniz.
- 7.8 Şekil 7-5a'da verilen forward (ileri) dönüştürücü  $V_s = 170$  V,  $N_1/N_2 = 10$ ,  $N_1/N_3 = 1$ ,  $L_m = 340$   $\mu$ H,  $L_x = 20$   $\mu$ H,  $R = 10$   $\Omega$ ,  $C = 10$   $\mu$ F ve  $D = 0.3$  parametrelerine sahiptir. Anahtarlama frekansı 500 kHz'dir. (a) Çıkış gerilimini ve çıkış gerilimi dalgalanmasını belirleyiniz. (b)  $L_x$ ,  $L_m$ , her bir transformator sargısındaki ve  $V_s$  kaynağındaki akımları çiziniz. (c)  $L_m$  indüktansında depolanmış geri kazanılan enerjiden transformatorün üçüncü sargısı üzerinden kaynağa aktarılan gücü belirleyiniz.



# B Ö L Ü M 8

## İnverterler (Eviriciler) *DC'yi AC'ye dönüştürme*

### 8.1 GİRİŞ

İnverterler dc'yi ac'ye çeviren devrelerdir. Daha kesin olarak, inverterler dc kaynaktan ac yüke güç aktarır. Bölüm 4'te verilen kontrollü tam-dalgalı köprü dönüştürücüler bazı durumlarda inverter (evirici) olarak çalışabilir, ancak bu durumlarda önceden bir ac kaynak bulunmalıdır. Diğer uygulamalarda amaç sadece dc gerilim kaynağı varken ac gerilim oluşturmaktır. Bu bölümün odak noktası dc girişten ac çıkış üreten inverter devreleridir. İnverterler hız kontrollü AC motor sürücülerini, kesintisiz güç kaynakları (UPS) ve bir otomobil aküsünden ac cihazları çalıştırmak gibi uygulamalarda kullanılır.

### 8.2 TAM-KÖPRÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Şekil 8-1a'da verilen tam-köprü dönüştürücü dc'yi ac'ye dönüştürmek için kullanılan temel devredir. Tam-köprü dönüştürücü Bölüm 7'de bir dc güç kaynağı devresinin parçası olarak tanıtılmıştır. Bu uygulamada, anahtarlar uygun bir sırayla ilettime ve kesime sokularak dc girişten ac çıkış sentezlenir. Hangi anahtarların iletimde olduğuna bağlı olarak  $v_o$  çıkış gerilimi  $+V_{dc}$ ,  $-V_{dc}$  veya sıfır olabilir. Şekil 8-1b ile  $e$  arasında anahtar kombinasyonları için eşdeğer devreler gösterilmiştir.

İletimdeki Anahtarlar	Çıkış Gerilimi $v_o$
$S_1$ ve $S_2$	$+V_{dc}$
$S_3$ ve $S_4$	$-V_{dc}$
$S_1$ ve $S_3$	0
$S_2$ ve $S_4$	0

## 8-19 Kaynakça

- J. Almazan, N. Vazquez, C. Hernandez, J. Alvarez, and J. Arau, "Comparison between the Buck, Boost and Buck-Boost Inverters," International Power Electronics Congress, Acapulco, Mexico, October 2000, pp. 341–346.
- B. K. Bose, Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends, Elsevier/ Academic Press, 2006.
- J. N. Chiasson, L. M. Tolbert, K. J. McKenzie, and D. Zhong, "A Unified Approach to Solving the Harmonic Elimination Equations in Multilevel Converters," IEEE Transactions on Power Electronics, March 2004, pp. 478–490.
- K. A. Corzine, "Topology and Control of Cascaded Multi-Level Converters," Ph.D. dissertation, University of Missouri, Rolla, 1997.
- T. Kato, "Precise PWM Waveform Analysis of Inverter for Selected Harmonic Elimination," 1986 IEEE/IAS Annual Meeting, pp. 611–616.
- N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: Converters, Applications, and Design, 3d ed., Wiley, New York, 2003.
- L. G. Franquelo, "Multilevel Converters: Current Developments and Future Trends," IEEE International Conference on Industrial Technology, Chengdu, China, 2008.
- J. R. Hauser, Numerical Methods for Nonlinear Engineering Models, Springer Netherlands, Dordrecht, 2009.
- J. Holtz, "Pulsewidth Modulation—A Survey," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 39, no. 5, Dec. 1992, pp. 410–420.
- S. Miao, F. Z. Peng, and L. M. Tolbert, "Multi-level DC/DC Power Conversion System with Multiple DC Sources," IEEE 38th Annual Power Electronics Specialists Conference, Orlando, Fla., 2007.
- L. M. Tolbert, and F. Z. Peng, "Multilevel Converters for Large Electric Drives," Applied Power Electronics Conference and Exposition, Anaheim, Calif., 1998.
- M. H. Rashid, Power Electronics: Circuits, Devices, and Systems, 3d ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 2004.
- L. Salazar and G. Joos, "PSPICE Simulation of Three-Phase Inverters by Means of Switching Functions," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 9, no. 1, Jan. 1994, pp. 35–42.
- B. Wu, High-Power Converters and AC Drives, Wiley, New York, 2006.
- X. Yuan, and I. Barbi, "Fundamentals of a New Diode Clamping Multilevel Inverter," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 15, no. 4, July 2000, pp. 711–718.

## Problemler

### Kare-Dalga İverter

- 8-1.** Şekil 8-1a'da verilen kare-dalga inverter  $V_{dc}=125$  V, 60 Hz çıkış frekansına ve  $12.5 \Omega$  direnç yüküne sahiptir. Yükteki, her bir anahtardaki ve kaynaktaki akımları çizin ve her birinin ortalama ve rms değerlerini belirleyiniz.
- 8-2.** Bir kare-dalga inverter  $V_{dc}=96$  V ve 60 Hz çıkış frekansına sahiptir. Yük  $R=5 \Omega$  ve  $L=100$  mH olan seri RL yüküdür. Yüke ilk enerji verildiğinde Denklem (8-5) ile tanımlanan kararlı-durum dalga şekline önce bir transiyent durum vardır. (a) Kararlı-durum akımının tepe değerini belirleyiniz. (b) Denklem (8-1)'i kullanarak ve sıfır başlangıç indüktör akımı kabulü ile transiyent durumunda oluşan maksimum akımı belirleyiniz. (c) Şekil 8.4a'da verilen PSpice giriş dosyası ile devreyi simüle ediniz ve sonuçları (a) ve (b) şıklarında elde edilen sonuçlarla karşılaştırınız. Akımın karar-

# B Ö L Ü M 9

## Rezonans Dönüştürücüler

### 9.1 GİRİŞ

Bölüm 6'da tartışıldığı gibi ideal olmayan anahtarlama, dönüştürücülerdeki güç kaybının ana nedenidir. Anahtarlama cihazları hem gerilim hem de akım sıfır değilken bir geçiş yaparsa, iletme veya kesime girdiklerinde güç harcar. Anahtarlama frekansı arttıkça bu geçişler daha sık meydana gelir ve cihazdaki ortalama güç kaybı artar. Diğer taraftan, yüksek anahtarlama frekansları filtre bileşenlerinin ve transformatörlerin küçülen boyutları nedeniyle istenilen bir durumdur. Böylece, dönüştürücünün boyutu ve ağırlığı azalır.

Rezonans anahtarlama devrelerinde anahtarlama gerilim ve/veya akım sıfır olduğunda gerçekleşir, böylece aynı anda gerilim ve akım geçişlerinden kaçınılır. Sonuç olarak, anahtarlama kayıpları ortadan kaldırılır. Bu tür anahtarlama buck (düşürücü) dönüştürücü gibi devrelerde kullanılan *sert* anahtarlamanın aksine *yumuşak* anahtarlama denir. Rezonans dönüştürücüler rezonans anahtar dönüştürücüleri, yük rezonans dönüştürücüleri ve rezonans dc link dönüştürücüleri içerir. Bu bölümde, rezonans dönüştürücünün temel kavramı tanıtılmış ve birkaç örnek verilmiştir.

### 9.2 REZONANS ANAHTARLI DÖNÜŞTÜRÜCÜ: SIFIR-AKIM ANAHTARLAMA

#### Temel Çalışma

Bir dc-dc dönüştürücüde anahtarlama kayıplarını azaltmak için  $LC$  devresinin neden olduğu osilasyonlardan yararlanmanın bir yöntemi Şekil 9-1a'da verilen devrede gösterilmektedir. Bu devre, Bölüm 6'da tanımlanan buck (düşürücü) dönüştürücüye benzer.  $L_o$  çıkış indüktöründeki akımda dalgalanma olmadığı ve  $I_o$  yük akımına eşit olduğu kabul edilmiştir.

Anahtar,  $i_L$  akımı 12 A olana kadar iletimde kalmalıdır. Gerekli zaman

$$\Delta t = \frac{(\Delta i_L)(L)}{V_s} = \frac{(12 - 8.39)(100)(10^{-6})}{75} = 4.81 \mu s$$

olarak bulunur.

## 9.10 Özet

Rezonans dönüştürücüler farklı dönüştürücü topolojilerinde anahtarlama kayıplarını azaltmak için kullanılır. Rezonans dönüştürücüler, gerilim veya akım osilasyonlarından faydalanarak anahtarlama kayıplarını azaltır. Anahtarlar gerilim veya akım sıfır iken veya sıfıra yakın iken iletime ve kesime sokulur. Bu bölümde ele alınan topolojiler rezonans anahtarlı inverterler; seri rezonans inverter; seri, paralel ve seri-paralel dc-dc dönüştürücüler; ve rezonans dc link dönüştürücüdür. Rezonans dönüştürücüler artan verim nedeniyle ve daha yüksek anahtarlama frekansları ve bunula ilişkili daha düşük filtre bileşenleri olasılığı nedeniyle günümüzde güç elektronğinde büyük ilgi gören bir konudur. Örneklerde gösterildiği gibi, rezonans dönüştürücüler için bileşenler üzerindeki gerilim stresleri oldukça yüksek olabilir. Kaynakçadaki referanslar rezonans dönüştürücüler hakkında daha fazla ayrıntı vermektedir.

## 9.11 Kaynakça

- S. Ang and A. Oliva, *Power-Switching Converters*, 2d ed., Taylor & Francis, Boca Raton, Fla., 2005.
- S. Basson, and G. Moschopoulos, "Zero-Current-Switching Techniques for Buck-Type AC-DC Converters," *International Telecommunications Energy Conference*, Rome, Italy, pp. 506–513, 2007.
- W. Chen, Z. Lu, and S. Ye, "A Comparative Study of the Control Type ZVT PWM Dual Switch Forward Converters: Analysis, Summary and Topology Extensions," *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Washington, D.C., pp. 1404–9, 2009.
- T. W. Ching. and K. U. Chan, "Review of Soft-Switching Techniques for High-Frequency Switched-Mode Power Converters," *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Austina, Tex.*, 2008.
- D. M. Divan, "The Resonant DC Link Converter—A New Concept in Static Power Conversion," *IEEE Transactions. on Industry Applications*, vol. 25, no. 2, March/ April 1989, pp. 317–325.
- S. Freeland and R. D. Middlebrook, "A Unified Analysis of Converters with Resonant Switches," *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, New Orleans, La., 1986, pp. 20–30.
- J. Goo, J. A. Sabate, G. Hua, F. and C. Lee, "Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full-Bridge PWM Converter for High-Power Applications," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 1, no. 4, July 1996, pp. 622–627.
- G. Hua and F. C. Lee, "Soft-Switching Techniques in PWM Converters," *Industrial Electronics Conference Proceedings*, vol. 2, pp. 637–643, 1993.
- R. L. Steigerwald, R. W. DeDoncker, and M. H. Kheraluwala, "A Comparison of High- Power Dc-Dc Soft-Switched Converter Topologies," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 32, no. 5, September/October 1996, pp. 1139–1145.

T. S. Wu, M. D. Bellar, A. Tchamdjou, J. Mahdavi, and M. Ehsani, "Review of Soft-Switched DC-AC Converters," *IAS IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, vol. 2, pp. 1133–1144, 1996.

## Problemler

### Sıfır-akım Rezonans Anahtarlı Dönüştürücü

- 9-1** Şekil 9-1a'da verilen dönüştürücüde  $V_s=10$  V,  $I_o=5$  A,  $L_r=1$   $\mu$ H,  $C_r=0.3$   $\mu$ F ve  $f_s=150$  kHz olarak verilmiştir. Dönüştürücünün çıkış gerilimini belirleyiniz.
- 9-2** Şekil 9-1a'da verilen dönüştürücüde  $V_s=10$  V,  $I_o=3$  A,  $L_r=0.5$   $\mu$ H,  $C_r=0.7$  nF olarak verilmiştir. Maksimum anahtarlama frekansını ve karşılık gelen çıkış gerilimini belirleyiniz. Çıkış gerilimi 5 V olacak şekilde anahtarlama frekansını belirleyiniz.
- 9-3** Şekil 9-1a'da verilen dönüştürücüde  $V_s=36$  V,  $I_o=5$  A,  $L_r=10$  nH,  $C_r=10$   $\mu$ F ve  $f_s=750$  kHz olarak verilmiştir. (a) Dönüştürücünün çıkış gerilimini belirleyiniz. (b) Maksimum indüktör akımını ve kondansatör gerilimini belirleyiniz. (c) 12 V'luk çıkış için anahtarlama frekansını belirleyiniz.
- 9-4** Şekil 9-1a'da verilen dönüştürücüde  $V_s=50$  V,  $I_o=3$  A,  $\omega_0=7(10^7)$  rad/s ve  $V_o=36$  V olarak verilmiştir.  $L_r$  indüktöründeki maksimum akım 9 A olacak şekilde  $L_r$  ve  $C_r$  değerlerini belirleyiniz. Gerekli anahtarlama frekansını belirleyiniz.
- 9-5** Şekil 9-1a'da verilen dönüştürücüde  $V_s=100$  V,  $L_r=10$   $\mu$ H ve  $C_r=0.01$   $\mu$ F olarak verilmiştir. Yük akımı 0.5 ile 3 A arasındadır. Çıkış gerilimini 50 V olarak regüle etmek için gereken anahtarlama frekansı aralığını belirleyiniz.
- 9-6** Şekil 9-1a'da verilen dönüştürücüde  $V_s=30$  V,  $R_L=5$   $\Omega$  ve  $f_s=200$  kHz olarak verilmiştir.  $Z_0=2.5$   $\Omega$  ve  $V_o=15$  V olacak şekilde  $L_r$  ve  $C_r$  değerlerini belirleyiniz.
- 9-7** Problem 9-1'de verilen parametreleri kullanarak Şekil 9-1a'da verilen devreyi simüle etmek için bir PSpice giriş dosyası belirleyiniz. Yük akımını akım kaynağı olarak modelleyiniz. Anahtarlama cihazı için gerilim-kontrollü Sbreak anahtarını kullanınız. Anahtar modelinde  $R_{on}=0.001$   $\Omega$  kullanarak ve Dbreak diyodu modelinde  $n=0.001$  kullanarak devreyi idealleştiriniz (a) (Ortalama) çıkış gerilimini belirleyiniz. (b)  $C_r$  uçlarındaki tepe gerilimi belirleyiniz. (c)  $L_r$  indüktöründeki akımın tepe, ortalama ve rms değerlerini belirleyiniz.

### Sıfır-Gerilim Rezonans Anahtarlı Dönüştürücü

- 9-8** Örnek 9-2'de 15 V'luk çıkış gerilimi üretmek için gerekli anahtarlama frekansını belirleyiniz. Diğer tüm parametreler aynıdır.
- 9-9** Şekil 9-2a'da,  $V_s=20$  V,  $L_r=0.1$   $\mu$ H,  $C_r=1$  nF,  $I_o=10$  A ve  $f_s=2$  MHz olarak verilmiştir. Çıkış gerilimini, maksimum kondansatör gerilimini ve maksimum indüktör akımını belirleyiniz.
- 9-10** Şekil 9-2a'da  $V_s=5$  V,  $I_o=3$  A,  $L_r=1$   $\mu$ H ve  $C_r=0.01$   $\mu$ F olarak verilmiştir. (a)  $f_s=500$  kHz olduğunda çıkış gerilimini belirleyiniz (b) Çıkış gerilimi 2.5 V olacak şekilde anahtarlama frekansını belirleyiniz.
- 9-11** Şekil 9-2a'da,  $V_s=12$  V,  $L_r=0.5$   $\mu$ H,  $C_r=0.01$   $\mu$ F ve  $I_o=10$  A olarak verilmiştir. (a)  $f_s=500$  kHz olduğunda çıkış gerilimini belirleyiniz. (b) Yük akımının 8 ile 15 A arasında değişmesi beklenmektedir. Çıkış gerilimini 5 V olarak regüle etmek için gerekli anahtarlama frekansı aralığını belirleyiniz.
- 9-12** Şekil 9-2a'da,  $V_s=15$  V ve  $I_o=4$  A olarak verilmiştir. Maksimum kondansatör gerilimi 40 V ve rezonans frekansı  $1.6(10^6)$  rad/s olacak şekilde  $L_r$  ve  $C_r$  değerlerini belirleyiniz. 5 V'luk çıkış gerilimi üretmek için anahtarlama frekansını belirleyiniz.

# B Ö L Ü M 10

## Sürme Devreleri, Bastırma (Snubber) Devreleri ve Soğutucular

### 10.1 GİRİŞ

Güç elektroniği devrelerini tasarlarken elektronik anahtarlardaki güç kayıplarının minimize edilmesi önemli bir amaçtır. İletim durumunda güç kayıpları meydana gelir, çünkü iletimdeki bir anahtar uçlarındaki gerilim sıfır değildir. Anahtarlama kayıpları oluşur, çünkü bir cihaz bir durumdan diğerine anında geçiş yapamaz ve çoğu dönüştürücüde anahtarlama kayıpları iletim-durumu kayıplarından daha büyüktür.

Rezonans dönüştürücüler (Bölüm 9) gerilim veya akım sıfır olduğunda geçiş yapmak için doğal osilasyonlardan faydalanarak anahtar kayıplarını azaltır. Bölüm 6'da ve Bölüm 7'de ele alınan dc-dc dönüştürücüler gibi devrelerde anahtarlar gerilim ve akım sıfır olmadığı durumda geçiş yapar. Bu tür dönüştürücülerdeki anahtar kayıpları hızlı anahtarlama geçişleri sağlamak için tasarlanmış sürme devreleri ile minimize edilebilir. Bastırma devreleri güç kaybını azaltmak ve anahtarı korumak için anahtarlama dalga şekillerini değiştirmek üzere tasarlanır. Bir elektronik anahtardaki güç kaybı ısı üretir ve cihaz sıcaklığının sınırlandırılması tüm dönüştürücü devrelerin tasarımında kritik öneme sahiptir.

### 10.2 MOSFET VE IGBT SÜRME DEVRELERİ

#### Düşük-Taraf (Low-Side) Sürücüleri

MOSFET gerilim-kontrollü bir cihazdır ve iletme ve kesime sokulması nispeten basittir. Bu da MOSFET anahtarına bipolar jonksiyonlu transistöre (BJT) göre bir avantaj sağlar. İletim durumu, kapı-kaynak gerilimi eşik gerilimini yeterince aştığında elde edilir ve MOSFET'i triyot (omik veya doyum olmayan olarak da adlandırılır) çalışma bölgesine girmeye zorlar. Tipik olarak, anahtarlama devrelerinde iletim durumu için MOSFET ka-

verilmiştir. Kısım (a)'da elde edilen sonuç ile ortalama MOSFET ve  $R_{\theta,JC}$  kullanarak elde edilen hesaplamayı karşılaştırınız.

### ■ Çözüm

(a) Güç dalga biçiminin doluluk oranı

$$D = \frac{t_1}{t_2} = \frac{200 \mu s}{2000 \mu s} = 0.1$$

olarak bulunur.

Şekil 10-24'te verilen grafiği kullanarak ve  $t_1 = 200 \mu s$  ve  $D=0.1$  için  $Z_{\theta,JC}$  transiyent termal empedans yaklaşık  $0.3 \text{ }^\circ\text{C/W}$  olarak bulunur. Jonksiyon ile gövde arasındaki maksimum sıcaklık farkı Denklem (10-20)'den belirlenir:

$$\Delta T_J = P_{dm} Z_{\theta,JC} = 100(0.3) = 30^\circ$$

Maksimum jonksiyon sıcaklığı

$$T_{J,max} = P_{dm} Z_{\theta,JC} + T_C = 30 + 80 = 110^\circ\text{C}$$

olarak bulunur.

(b) Yalnızca ortalama güç değerini kullanarak jonksiyon-gövde sıcaklık farkı  $\Delta T_J = PR_{\theta,JC} = (P_{dm} D) R_{\theta,JC} = (10 \text{ W})(1.05 \text{ }^\circ\text{C/W}) = 10.5 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak bulunur. Bu nedenle, ortalama güce dayalı bir sıcaklık hesaplaması jonksiyon-gövde arasındaki maksimum sıcaklık farkının büyük ölçüde daha düşük hesaplanmasına neden olur.  $2000 \mu s$ 'lik periyodun yalnızca  $500 \text{ Hz}$ 'lik frekansa karşılık geldiğine dikkat ediniz. Çok daha yüksek frekanslar için (örneğin,  $50 \text{ kHz}$ ),  $R_{\theta,JC}$  ve ortalama güce dayalı sıcaklık farkı yeterince doğrudur.

## 10.9 Özet

Bir transistörün anahtarlama hızı sadece cihaz tarafından değil aynı zamanda kapı veya baz sürme devresi tarafından da belirlenir. MOSFET (veya IGBT) için çift emitör-takipçisi sürme devresi, MOSFET'te depolanan yükü hızlı bir şekilde sağlamak ve geri almak için gerekli kapı akımlarını sağlayarak veya geri çekerek anahtarlama süresini önemli ölçüde azaltır. Bipolar transistör için iletimde ve kesimde büyük akım yükselmeleri içeren baz sürme devresi anahtarlama sürelerini önemli ölçüde azaltır.

Bastırma devreleri anahtarlama sırasında cihazdaki kayıpları azaltır ve cihazı anahtarlama sırasındaki yüksek gerilim ve akım streslerinden korur. Transistör anahtarlama kayıpları bastırma devreleri ile azaltılır. Ancak, bastırma devresinde harcanan güç nedeni ile toplam anahtarlama kayıpları azaltılabılır veya azaltılamayabılır. Enerji geri kazanımlı bastırma devreleri bastırma direnci ihtiyacını ortadan kaldırarak anahtarlama kayıplarını daha da azaltabilir.

Soğutucular, cihaz jonksiyonu ile dış ortam arasındaki toplam termal direnci azaltarak elektronik cihazın iç sıcaklığını düşürür. Eşdeğer olarak, bir soğutucu bir cihazın maksimum iç sıcaklığı aşmadan daha fazla güç harcamasını sağlar.

## 10.10 Kaynakça

M. S. J. Asghar, *Power Electronics Handbook*, edited by M. H. Rashid, Academic Press, San Diego, Calif., 2001, Chapter 18.

- L. Edmunds, "Heatsink Characteristics," International Rectifier Application Note AN-1057, 2004, <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1057.pdf>.
- Fundamentals of Power Semiconductors for Automotive Applications*, 2d ed., Infineon Technologies, Munich, Germany, 2008.
- "HV Floating MOS-Gate Driver ICs," Application Note AN-978, International Rectifier, Inc., El Segundo, Calif., July 2001. <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-978.pdf>.
- A. Isurin and A. Cook, "Passive Soft-Switching Snubber Circuit with Energy Recovery," *IEEE Applied Power Electronics Conference*, Austin, Tex., 2008.
- S. Lee, "How to Select a Heat Sink," Aavid Thermalloy, <http://www.aavidthermalloy.com/technical/papers/pdfs/select.pdf>
- W. McMurray, "Selection of Snubber and Clamps to Optimize the Design of Transistor Switching Converters," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. IAI6, no. 4, 1980, pp. 513–523.
- N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3d ed., Wiley, New York, 2003.
- M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices, and Systems*, 3d ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 2004.
- R. E. Tarter, *Solid-State Power Conversion Handbook*, Wiley, New York, 1993.

## Problemler

### MOSFET SÜRME DEVRELERİ

- 10-1** (a) Örnek 10-1'de verilen devrelerin PSpice simülasyonunu çalıştırınız ve Probe kullanılarak kesim ve iletim güç kayıplarını ayrı ayrı belirleyiniz. Veri kısıtla seçeneği faydalı olacaktır. (b) PSpice simülasyonlarından her bir simülasyon için MOSFET kapı akımının tepe, ortalama ve rms değerlerini belirleyiniz.
- 10-2**  $R_1=75 \Omega$ ,  $50 \Omega$  ve  $25 \Omega$  değerlerini kullanarak Şekil 10-1a'da verilen MOSFET sürme devresi için Örnek 10-1'deki PSpice simülasyonunu tekrarlayınız. Sürme devresi çıkış direncini azaltmanın etkisi nedir?

### BİPOLAR TRANSİSTÖR SÜRME DEVRELERİ

- 10-3** İletime girerken 5 A'lık başlangıç baz akımı ile iletim durumunda kollektör akımını devam ettirebilmek için 0.5 A değerine düşen baz akımı sağlayan Şekil 10-7'de verilene benzer bir bipolar transistör sürme devresi tasarlayınız. Anahtarlama frekansı 100 kHz ve doluluk oranı %50'dir.
- 10-4** İletime girerken 3 A'lık başlangıç baz akımı ile iletim durumunda kollektör akımını devam ettirebilmek için 0.6 A değerine düşen baz akımı sağlayan Şekil 10-7'de verilene benzer bir bipolar transistör sürme devresi tasarlayınız. Anahtarlama frekansı 120 kHz ve doluluk oranı %30'dur.

### BASTIRMA DEVRELERİ

- 10-5** Şekil 10-12a'da verilen bastırma devresi için  $V_s=50 \text{ V}$ ,  $I_L=4 \text{ A}$ ,  $C=0.05 \mu\text{F}$ ,  $R=5 \Omega$  ve  $t_f=0.5 \mu\text{s}$  olarak verilmiştir. Anahtarlama frekansı 120 kHz ve doluluk oranı 0.4'tür. (a) Transistörün kesime gitmesi sırasında  $i_Q$ ,  $i_c$  ve  $v_c$  için ifadeleri belirleyiniz. (b) Ke-