

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



# KISIM I

## Güç Diyotları ve Doğrultucular

# BÖLÜM 2

## Güç Diyotları ve Anahtarlamaalı RLC Devreleri

# KISIM I Güç Diyotları ve Doğrultucular 35

## Bölüm 2 Güç Diyotları ve Anahtarlama $RLC$ Devreleri 35

- 2.1 Giriş 36
- 2.2 Yarıiletkenlere İlişkin Temel Bilgiler 36
- 2.3 Diyot Karakteristikleri 38
- 2.4 Ters Toparlanma Karakteristikleri 41
- 2.5 Güç Diyotlarının Çeşitleri 44
  - 2.5.1 Genel Amaçlı Diyotlar 44
  - 2.5.2 Hızlı Toparlanan Diyotlar 45
  - 2.5.3 Schottky Diyotları 46
- 2.6 Silisyum Karbür Diyotlar 46
- 2.7 Silisyum Karbür Schottky Diyotlar 47
- 2.8 SPICE Modeli 48
- 2.9 Seri Bağlı Diyotlar 49
- 2.10 Paralel Bağlı Diyotlar 53
- 2.11 Diyot Anahtarlama  $RC$  Yüğü 54
- 2.12 Diyot Anahtarlama  $RL$  Yüğü 56
- 2.13 Diyot Anahtarlama  $LC$  Yüğü 58
- 2.14 Diyot Anahtarlama  $RLC$  Yüğü 61
- 2.15 Anahtarlama  $RL$  Yüğü ve Boşluk Diyotları 65
- 2.16 Tutulan Enerjinin Bir Diyotla Geri Alınması 68
- Özet 72
- Kaynaklar 72
- Gözden Geçirme Soruları 73
- Problemler 73

### *Semboller ve Anlamları*

<b>Sembol</b>	<b>Anlamı</b>
$i_D, v_D$	Sırasıyla diyot akımının ve geriliminin anlık değerleri
$i(t), i_S(t)$	Sırasıyla anlık akım ve kaynak akımı
$I_D, V_D$	Sırasıyla diyot akımı ve diyot geriliminin DA değerleri
$I_S$	Sızıntı (veya ters doyma) akımı
$I_O$	Çıkış akımının kalıcı durum değeri
$I_{S1}, I_{S2}$	Sırasıyla $D_1$ ve $D_2$ diyotlarının sızıntı (veya ters doyma) akımları
$I_{RR}$	Ters toparlanma akımı
$t_{rr}$	Ters toparlanma süresi
$V_T$	Isıl gerilim

(devamı var)

Sembol	Anlamı
$V_{D1}, V_{D2}$	Sırasıyla D1 ve D2 diyotlarının üzerindeki gerilim düşümü
$V_{BR}, V_{RM}$	Sırasıyla ters kırılma gerilimi ve maksimum yinelenebilir gerilim
$v_R, v_C, v_L$	Sırasıyla bir direncin, kondansatörün ve endüktörün uçları arasındaki anlık gerilim
$V_{CO}, v_s, V_S$	Sırasıyla kondansatörün başlangıç gerilimi, kaynak geriliminin anlık değeri ve kaynak geriliminin DA değeri
$Q_{RR}$	Ters toparlanma yükü
$T$	Devrenin zaman sabiti
$n$	Yayınım sabiti (ampirik)

## 2.1 GİRİŞ

- Elektrik ve elektronik mühendisliği alanında diyotlar için pek çok uygulama alanı bulunmuştur. Güç diyotları, elektrik gücünün dönüşümü için güç elektroniği alanında önemli bir rol oynar. Bu bölümde, güç elektroniğinde güç işleme için yaygın olarak kullanılan bazı diyot devreleri gözden geçirilecektir.
- Diyotlar anahtar olarak çalışarak çeşitli işlevleri yerine getirebilir. Diyotlar örneğin doğrultucularda anahtar olarak, anahtarlama regülatörlerde akımı dolaştırmak (serbest döngü) için, kondansatörlerde yükün yönünü değiştirmek için, elemanlar arasında enerji aktarımı yapmak için, gerilim yalıtımı sağlamak için ve yükte tutulu kalan enerjiyi kaynağa geri döndürmek için kullanılabilir.

## 2.1 GİRİŞ

- Güç diyotları bir çok uygulamada ideal olarak ele alınabilirler ancak gerçek diyotların bazı sınırlamaları vardır. Güç diyotları p-n eklemli işaret diyotlarına benzer, ancak güç diyotlarının taşıyabileceği güç, gerilim ve akım değerleri sıradan işaret diyotlarından çok daha yüksektir. Diğer yandan frekans tepkileri (veya anahtarlama hızları) işaret diyotları ile karşılaştırıldığında düşüktür.
- Enerji depolama elemanı olarak endüktörler (L) ve kondansatörler (C) güç elektroniğinde yaygın olarak kullanılır. Bir güç yarıiletkeninin kullanım amacı, bir devrede transfer edilecek enerji miktarını kontrol etmektir. Güç elektroniği devrelerinin ve sistemlerinin nasıl çalıştığını anlamak için RC, RL, LC ve RLC devrelerinin anahtarlama davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir.

## 2.2 YARIİLETKENLERE İLİŞKİN TEMEL BİLGİLER

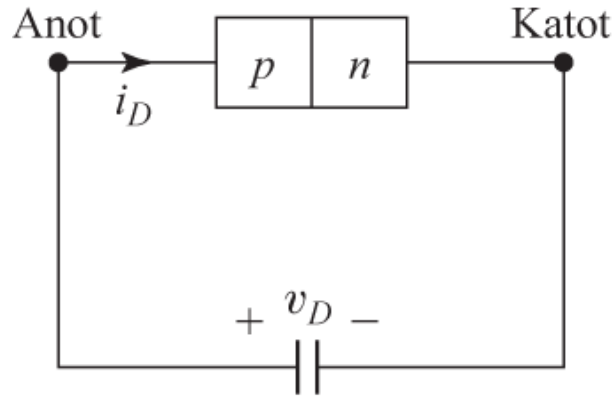
TABLO 2.1 Periyodik Cetvelin Yarıiletken Malzemelerde Kullanılan Elementleri Gösteren Bölümü

Periyot	Group				
	II	III	IV	V	VI
2		B Bor	C Karbon	N Azot	O Oksijen
3		Al Alüminyum	Si Silisyum	P Fosfor	S Kükürt
4	Zn Çinko	Ga Galyum	Ge Germanyum	As Arsenik	Se Selenyum
5	Cd Kadmiyum	In İndiyum	Sn Tin	Sn Antimon	Te Tellür
6	HG Cıva				
Temel Yarıiletkenler			Si Sisliyum Ge Germanyum		
Bileşik Yarıiletkenler			SiC Silisyum karbür SiGe Silisyum Germanyum	GaAs Galyum Arsenit	

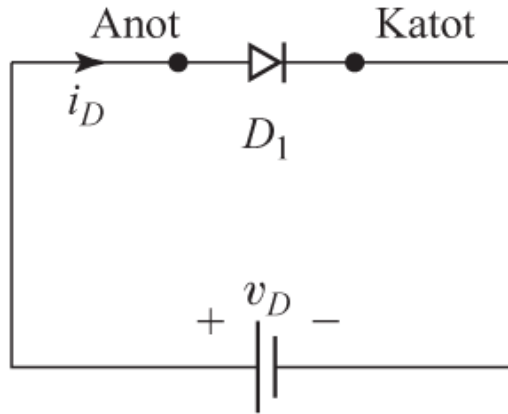
## 2.2 YARIİLETKENLERE İLİŞKİN TEMEL BİLGİLER

- Güç yarıiletken elemanları yüksek saflıkta, tek kristalli silisyumdan üretilir.
- En yaygın kullanılan yarıiletkenler silisyum ve germanyum ile (Grup IV) galyum arsenittir (Grup V).
- Silisyum malzemeler germanyuma göre daha ucuz olup, silisyumdan üretilen diyotla daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilirler.
- Silisyum, periyodik cetvelin dördüncü grubunun bir elemanıdır. Yani, atomlarının dış yörüngesinde dört elektron bulunur.
- Saf silisyum veya germanyuma katkı yaparak serbest elektronlar veya delikler üretilebilir. N-tipi malzemelerde elektronlar, *p-tipi malzemelerde ise delikler çoğunluk* taşıyıcısıdır. Bir elektrik alanı uygulandığında bu malzemeler içinde akım oluşur.

## 2.3 DİYOT KARAKTERİSTLİKLERİ



(a) *pn*-eklemi



(b) Diyot simgesi

ŞEKİL 2.1

p-n eklemi ve diyot simgesi

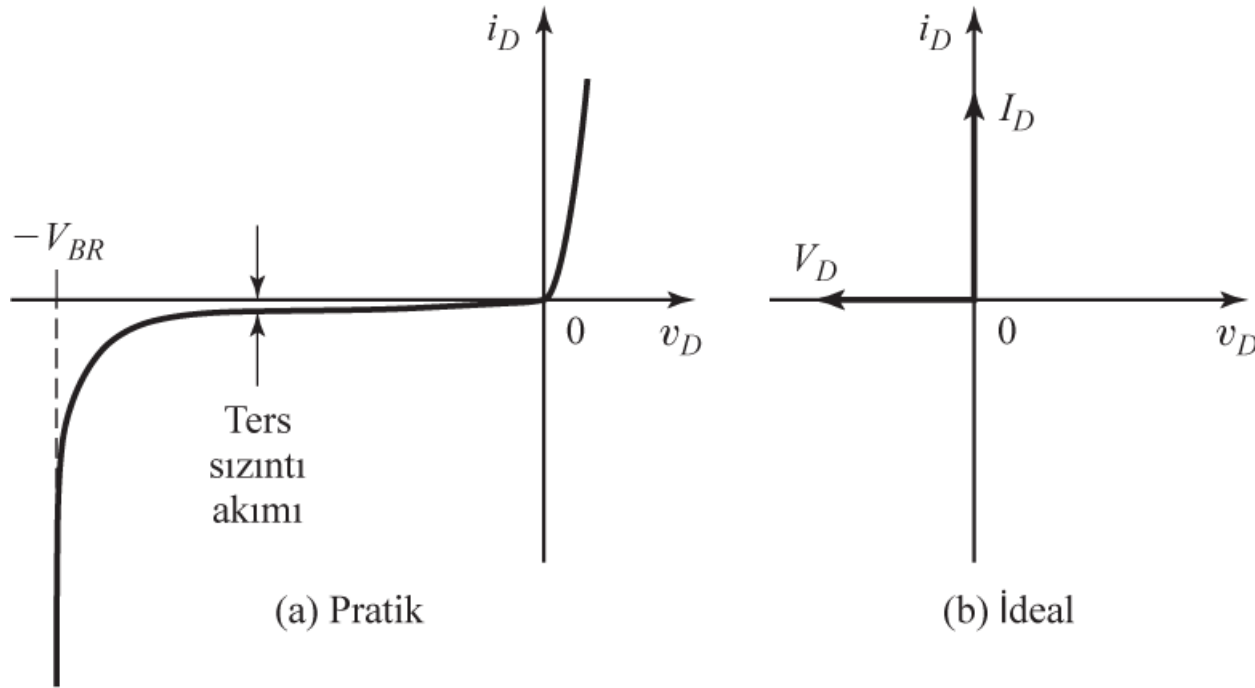
Anot potansiyeli katodunkine göre daha pozitif ise diyotun ileri yönde kutuplandığı söylenir ve diyot iletme girer.

Katodun potansiyeli anot potansiyeline göre daha pozitif ise diyotun ters kutuplandığı söylenir ve diyottan ters yönde akım akmaz (veya çok küçük bir sızıntı akımı akar).

Şekilde gösterilen  $v$ - $i$  karakteristiği Shockley diyot denklemi ile ifade edilebilir;

$$I_D = I_S(e^{V_D/nV_T} - 1)$$

$I_S$ :  $10^{-6}$ - $10^{-15}$  A arasında olan sızıntı (ters doyma) akımı  
 $n$ : 1-2 arasında olan, yayılım ve ideallik çarpanı (Ge:1, Si:2).  
Pratikte ise 1.1 ile 1.8 arasındadır.



ŞEKİL 2.2

Bir diyotun  $v$ - $i$  karakteristiği

---

## Örnek 2.1 Doyma Akımının Bulunması

Bir güç diyotunun  $I_D = 300\text{ A}$  akımındaki ileri yön gerilim düşümü  $V_D = 1.2\text{ V}$  olarak verilmektedir.  $n = 2$  ve  $V_T = 25.7\text{ mV}$  olduğunu varsayarak ters doyma akımını hesaplayınız.

### Çözüm

Denk. (2.1) kullanılarak sızıntı (veya doyma) akımı

$$300 = I_S [e^{1.2/(2 \times 25.7 \times 10^{-3})} - 1]$$

bağıntısından  $I_S = 2.17746 \times 10^{-8}\text{ A}$  olarak hesaplanabilir.

---

Şekil 2.2a'da gösterilen diyot karakteristiği 3 bölgeye ayrılabilir;

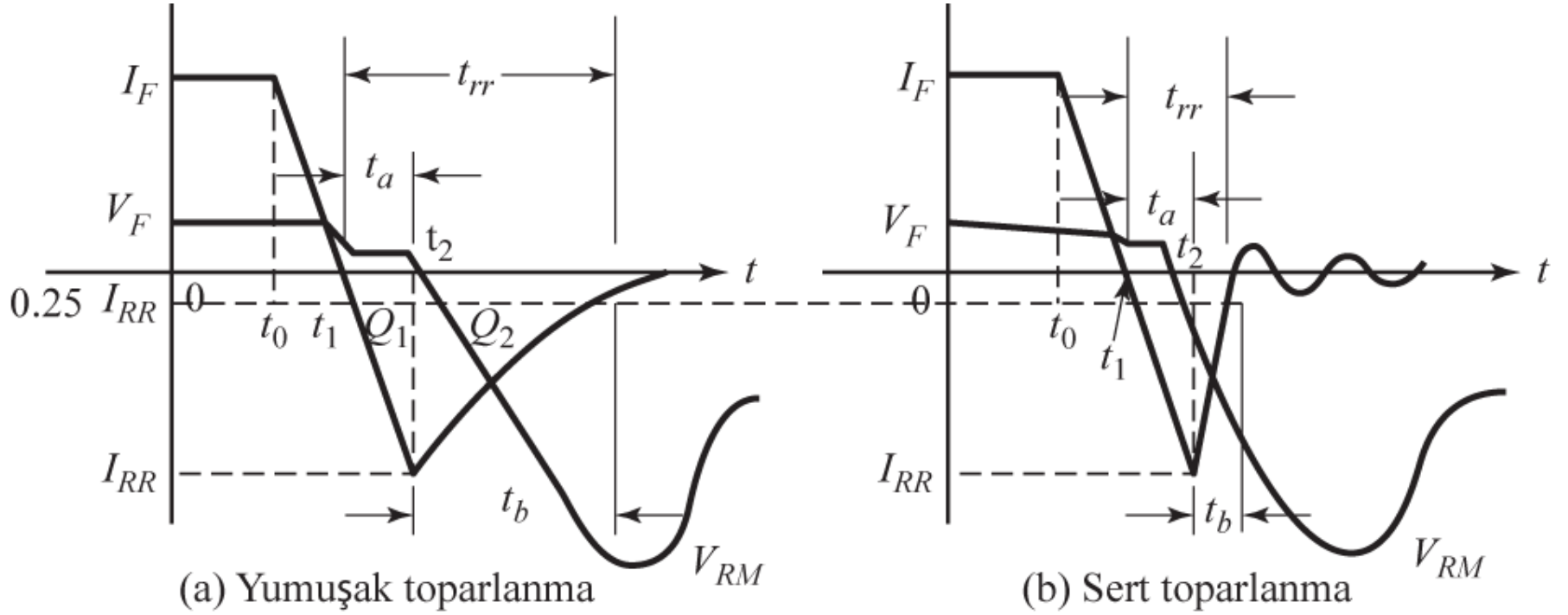
İleri kutuplanma bölgesi  $V_D > 0$

Ters kutuplanma bölgesi  $V_D < 0$

Kırılma bölgesi  $V_D < -V_{BR}$

- **Bölüm 2.3'ün Önemli Noktaları**
- Diyotların  $v - i$  karakteristikleri doğrusal değildir. Bu karakteristiklerin üç bölgesi bulunur: ileri kutuplanma, ters kutuplanma ve kırılma. İleri kutuplanmada diyotun gerilim düşümü küçük olup, tipik değer 0.7 V'tur. Ters gerilim kırılma gerilimini aşarsa diyot tahrip olabilir.

## 2.4 TERS TOPARLANMA KARAKTERİSTİKLERİ



ŞEKİL 2.3

Ters toparlanma karakteristikleri.

Ters toparlanma süresi  $t_{rr}$ , iletimden kesime geçiş sürecinde, akımın sıfıra ilk düştüğü an ile, ters akımın tepe değerinin (IRR) %25'ine düştüğü an arasındaki süredir.

Depolanan yük miktarı QRR ileri yönde akan akıma (IF) bağımlıdır. Bir devre tasarımcısı için hem ters toparlanam akımının tepe değeri (IRR), hem ters toparlanan yük (QRR) hem de yumuşaklık katsayısı (SF) önemli parametreler olduğundan bu parametreler ürün yapraklarında (datasheet) verilmektedir.

Ters toparlanma süresi boyunca ( $t_{rr}$ ) *diyot kısa devre gibi davranır; ters yöndeki gerilimi tutamaz ancak ters akımın akmasına izin verir ve aniden akımı keser. Bu süre ( $t_{rr}$ ) anahtarlama uygulamaları için önemlidir.*

## 2.5 GÜÇ DİYOTLARININ ÇEŞİTLERİ

İdeal olarak bir diyodun ters toparlanma süresi sıfır olmalıdır. Ancak böyle bir diyodun üretimi çok pahalıdır. Ters toparlanma süresinin önemli olmadığı uygulamalarda ucuz diyotlar kullanılabilir. Toprarlanma karakteristiklerine ve üretim tekniklerine bağlı olarak güç diyotları;

1. Standart (genel kullanıma uygun) diyotlar
2. Hızlı toparlanan diyotlar
3. Schottky diyotları

Hızlı toparlanan diyotlar, yüksek anahtarlama frekanslı güç dönüştürücü devreleri için önemlidir. Schottky diyotların iletim sırasındaki gerilim düşümleri az, toparlanma süreleri kısadır (ns mertebelerinde).

## • 2.5.1 Genel Amaçlı Diyotlar



ŞEKİL 2.4

Genel amaçlı diyot örnekleri (Powerex Inc. Firmasının izniyle)



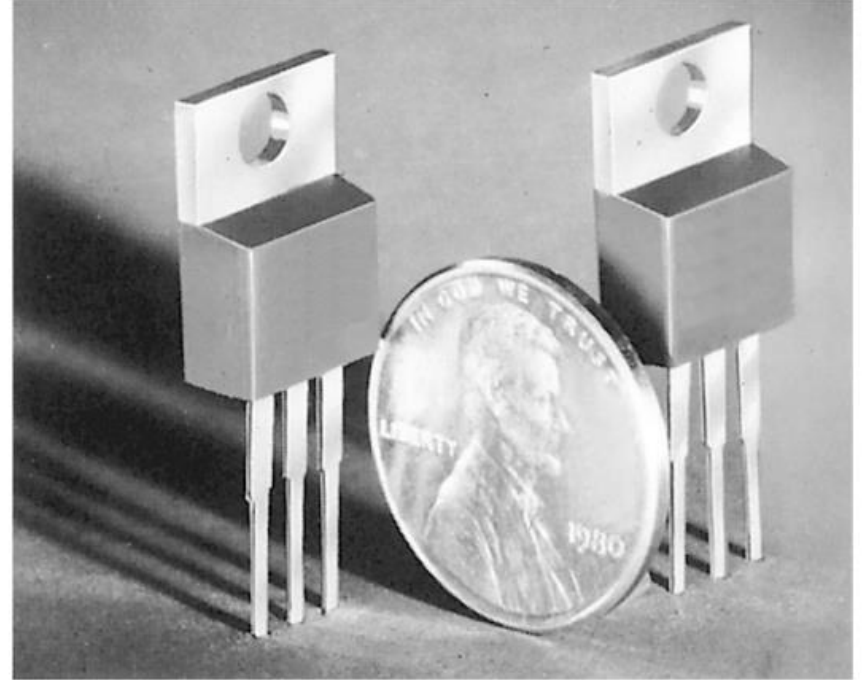
Hızlı toparlanan diyotların ters toparlanma süreleri  $5\text{ }\mu\text{s}$ 'nin altındadır. Toparlanma sürelerinin önemli olduğu DA-DA ve DA-AA dönüştürücülerinde kullanılır.

ŞEKİL 2.5

Hızlı toparlanan diyotlar (Powerex Inc. İzni ile)

## Bölüm 2.5'in Önemli Noktaları

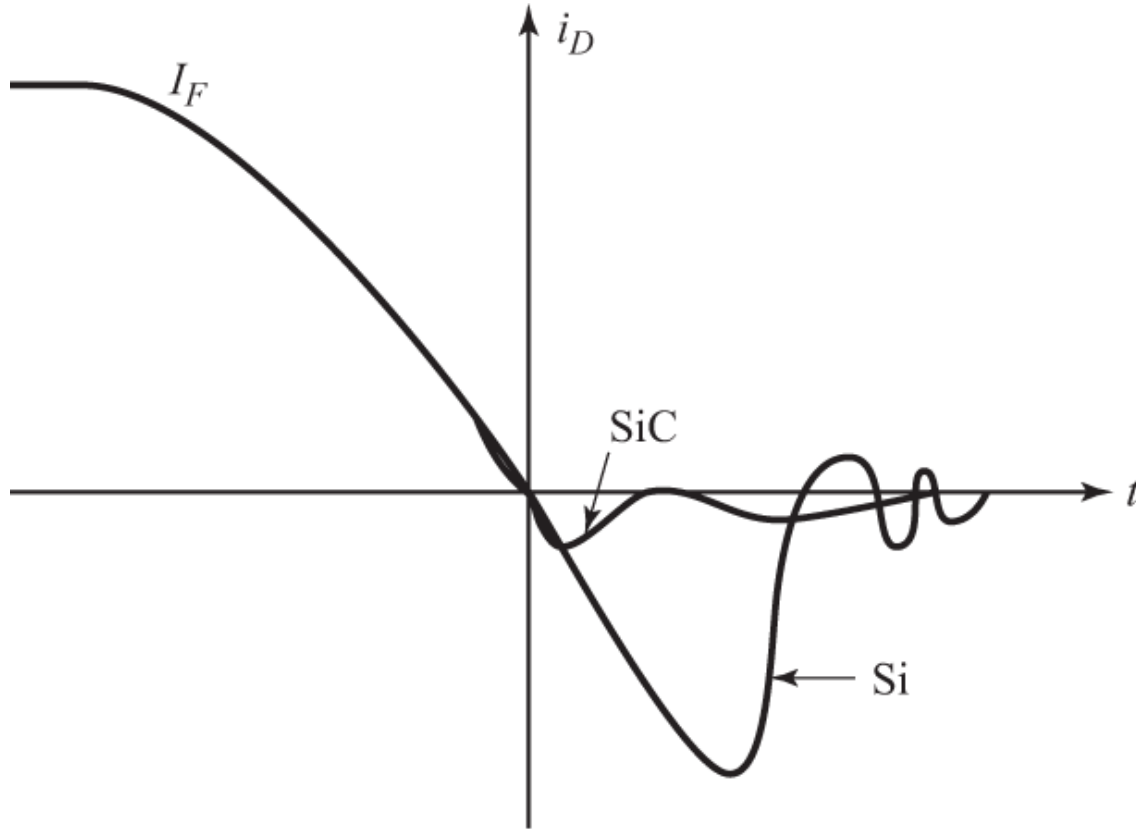
- Güç diyotları, iletim gerilim düşümleri ve anahtarlama toparlanma süreleri açısından üç sınıfa ayrılırlar: genel amaçlı diyotlar, hızlı toparlanmalı diyotlar ve Schottky diyotları.



ŞEKİL 2.6

Çiftli ortak uç bağlantılı 20 A ve 30 A Schottky doğrultucular

## 2.6 SİLİSYUM KARBÜR DİYOTLAR



ŞEKİL 2.7

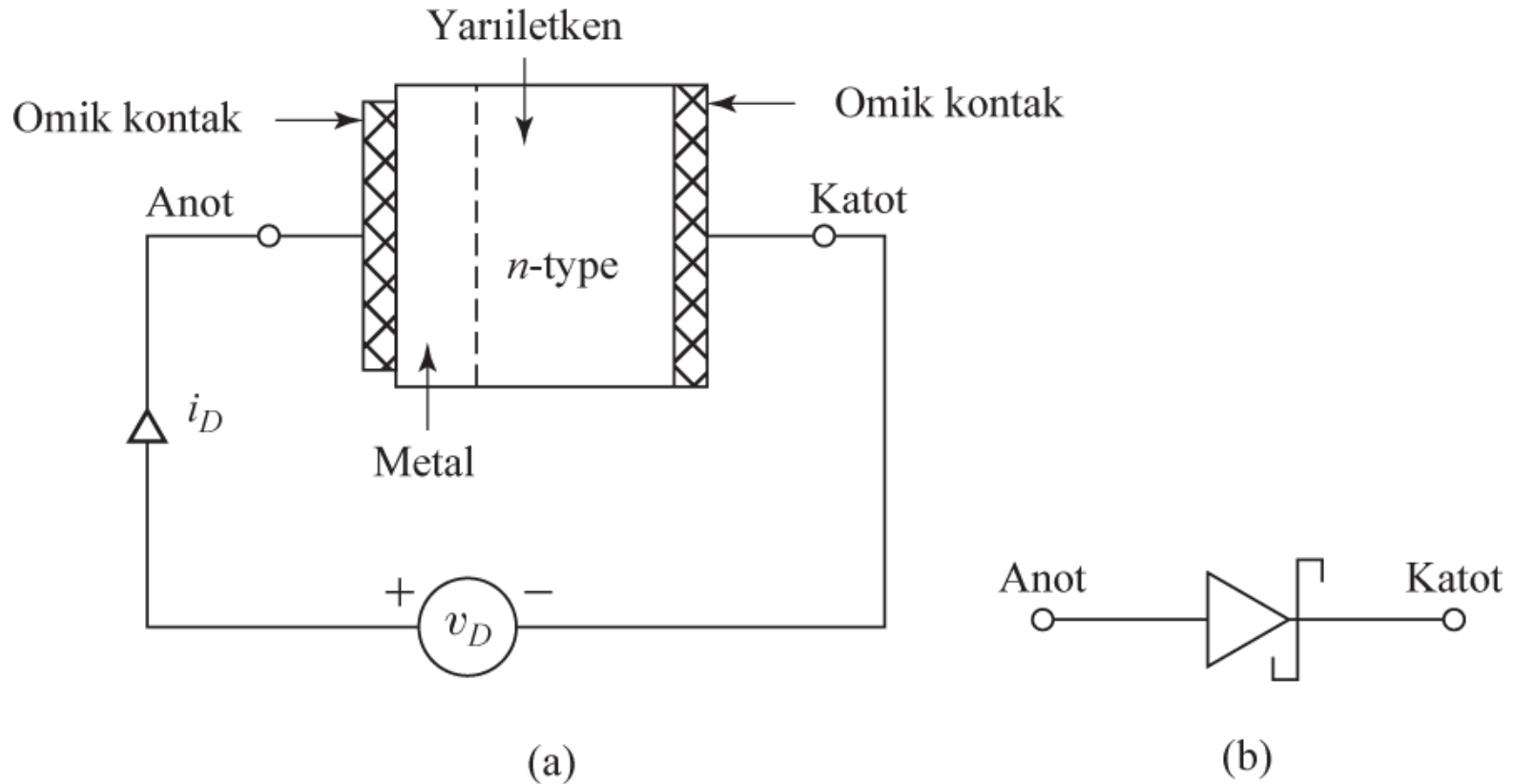
Ters toparlanma sürelerinin karşılaştırılması

Silisyum karbür (SiC) diyotlar güç elektroniğı için yeni bir malzemedir. Fiziksel özellikleri Si ve GaAs elemanlarıinkinden üstündür.

- Güç kayıpları çok düşük olup güvenilirlikleri yüksektir.
- Ters toparlanma süresi sıfırdır
- Anahtatlanma davranışı çok hızlıdır
- Anahtatlanma davranışı sıcaklıktan bağımsızdır.

SiC elemanlar sayesinde, verimin yüksek olması, cihazların daha küçük olması ve anahtarlama frekansının yükselebilmesi mümkün olmakta, elektromanyetik girişim seviyesi de ciddi ölçüde azalabilmektedir.

## 2.7 SİLİSYUM KARBÜR SCHOTTKY DİYOTLAR



ŞEKİL 2.8

Bir Schottky diyotunun iç yapısı

Schottky diyotları daha çok yüksek frekans ve hızlı anahtarlama uygulamalarında kullanılır. Schottky diyodu üretmek için n-tipi katkılı bir yarıiletken, altın, gümüş veya platin gibi bir metalle birleştirilir. Bir p-n eklemli diyottan farklı olarak bu diyotlarda metal-yarıiletken eklemi bulunmaktadır.

SiC Schottky diyotların özellikleri;

Ters toparlanma yüklerinin azlığından dolayı en düşük anahtarlama kayıpları

Anlık aşırı akımlarda kararlı çalışma, yüksek güvenilirlik, dayanıklılık

Soğutma gereksiniminin azalmasından dolayı daha düşük sistem maliyeti

Yüksek frekanslı ve yüksek güç yoğunluğu çözümler

Özellikle yüksek anahtarlama frekanslarında toplam verimi yüksektir.

# 2.8 SPICE MODEL İ

Güç devreleri için önemli diyet parametreleri

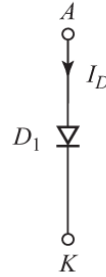
IS: Doyma akımı

BV: kırılma gerilim

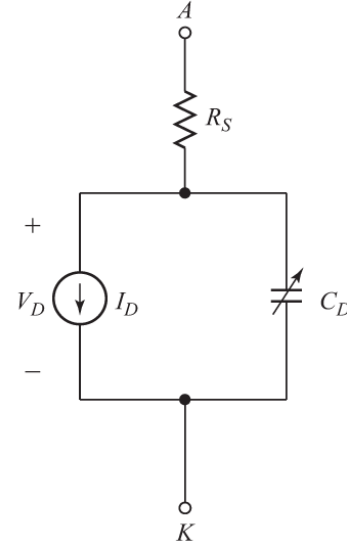
IBV: Ters kırılma gerilimi

TT: Transit (geçiş) zamanı

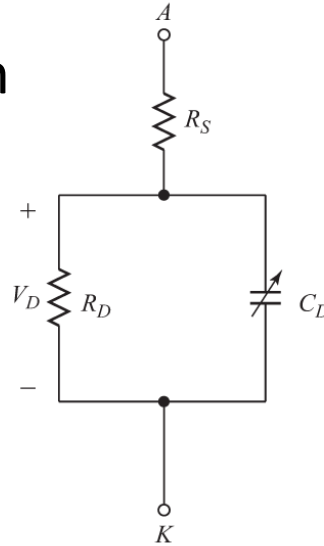
CJO: Sıfır kutuplanmada p-n eklemi kapasitesi



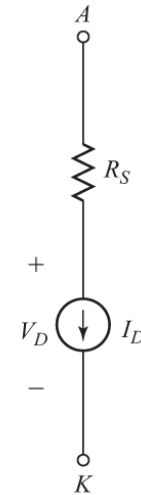
(a) Diyet simgesi



(b) SPICE modeli



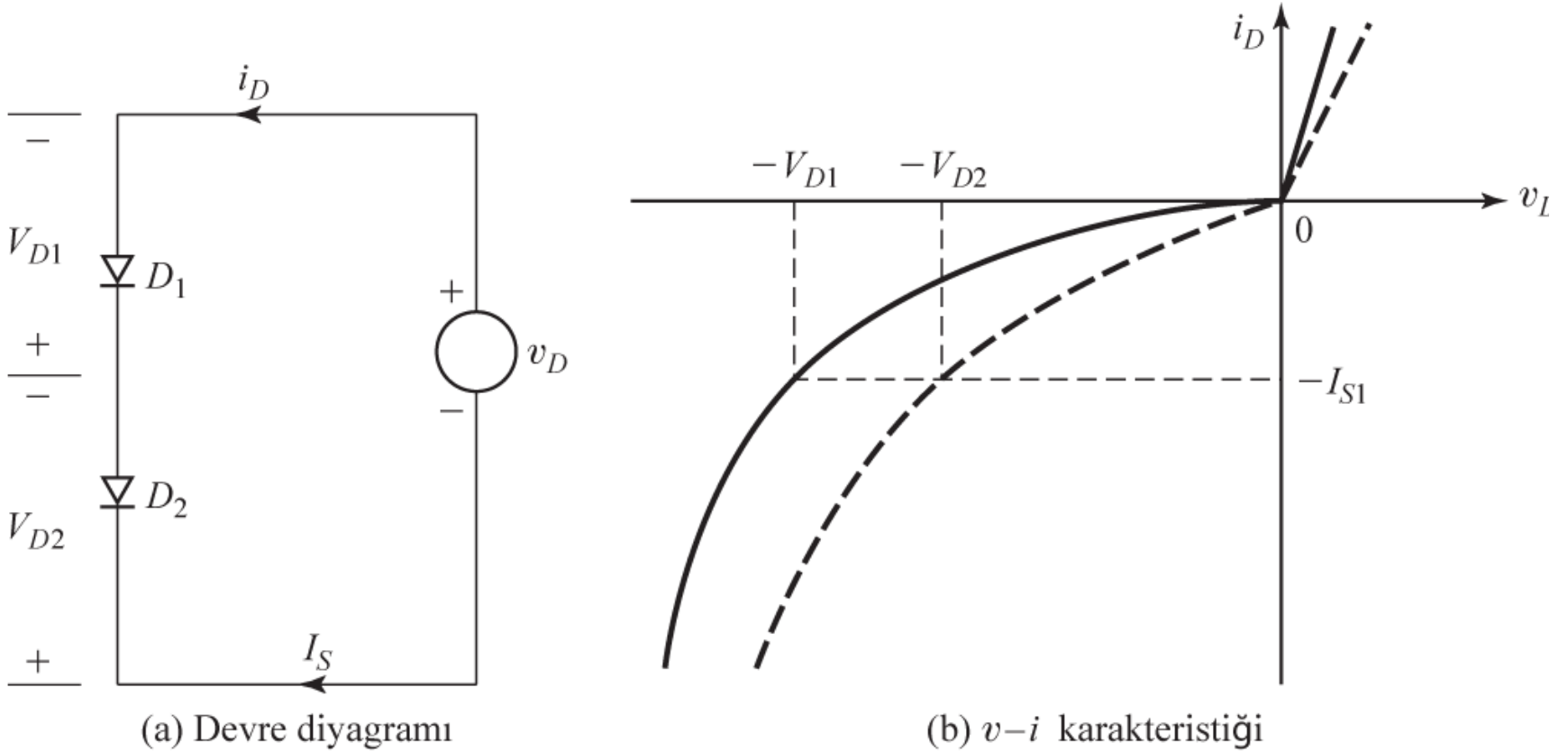
(c) Küçük işaret modeli



(d) Statik model

- **Bölüm 2.8'in Önemli Noktaları**
- Veri yapraklarından elde edilebilecek SPICE parametreleri anahtarlama devresinin geçici durum davranışını ciddi biçimde etkileyebilir.

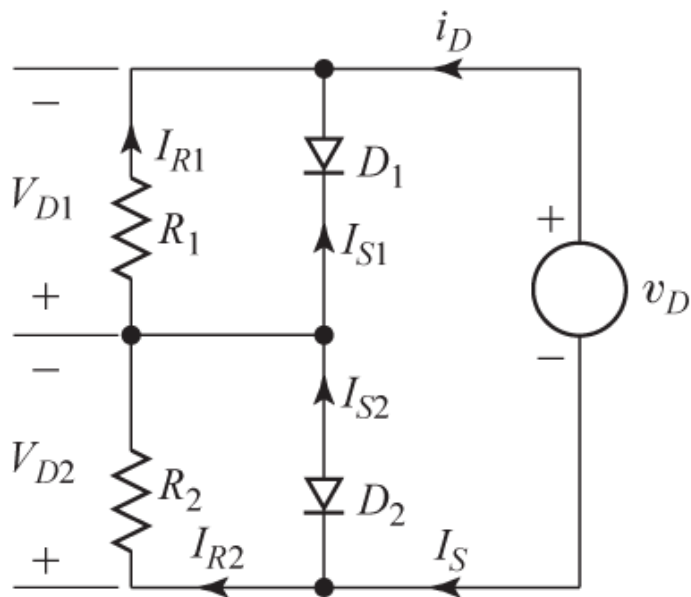
## 2.9 SERİ BAĞLI DİYOTALAR



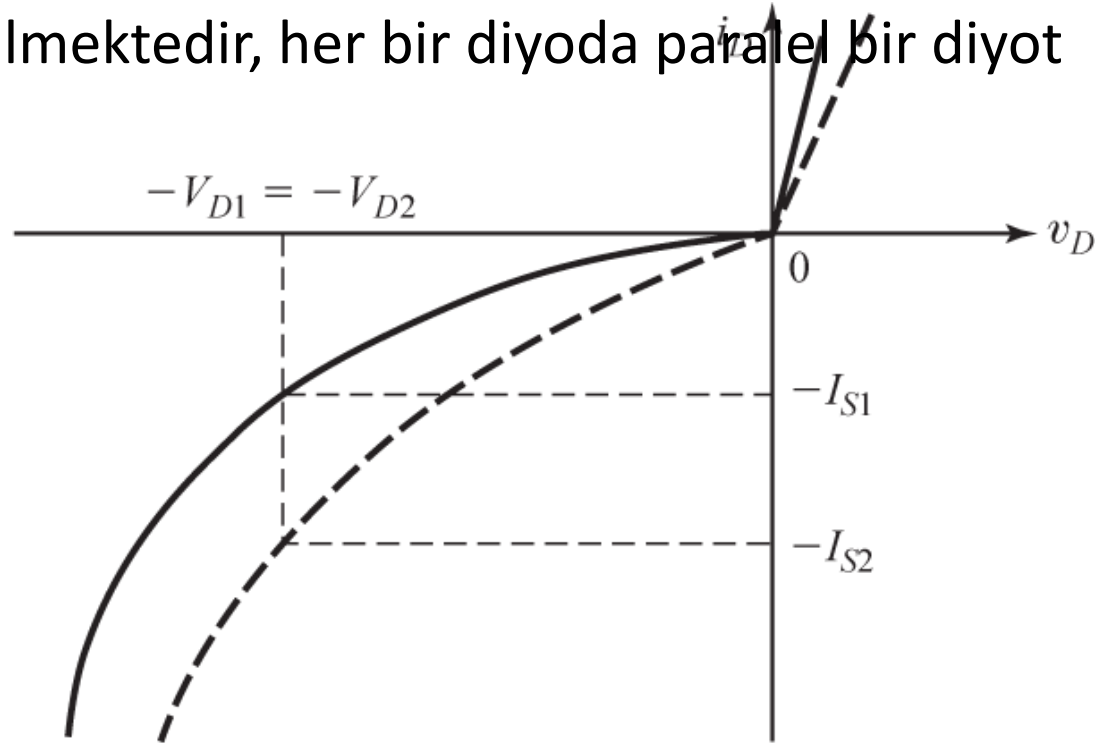
ŞEKİL 2.10

Seri bağlanmış iki diyot

Yüksek gerilim uygulamalarında ticari olarak erişilebilen bir diyot, gerilim sınırlamalarını karşılayamabilir. Bu durumda diyotlar seri bağlanarak ters gerilim kapasitesi yükseltmeye çalışılır. Pratikte, aynı türden diyotların  $v$ - $i$  karakteristikleri arasında üretimden kaynaklanan farklılıklar muhakkak olacaktır. Bu farklılıkları giderebilecek basit bir çözüm aşağıdaki şekilde görülmektedir, her bir diyoda paralel bir diyot bağlamaktır.



(a) Devre diyagramı

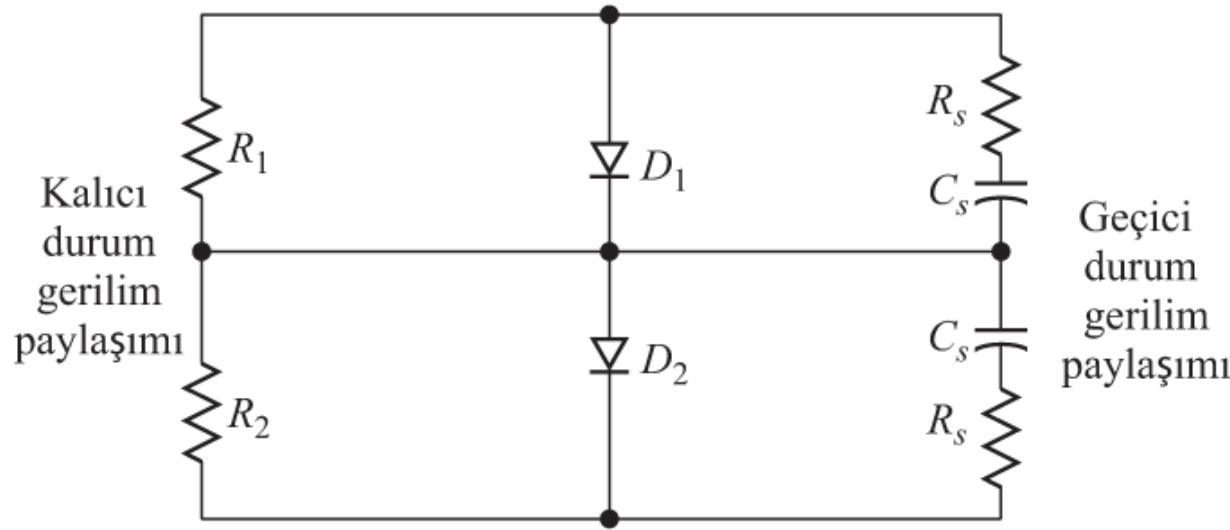


(b)  $v$ - $i$  karakteristiği

## ŞEKİL 2.11

Seri bağlı diyotlar ve kalıcı durum gerilim paylaşım karakteristikleri

Ayrıca, her bir diyoda paralel birer kondansatör bağlanarak geçici durumda da gerilimin eşit paylaşımı sağlanabilir.  $R_s$  direnci ters gerilimin yüksele hızını sınırlandırır.

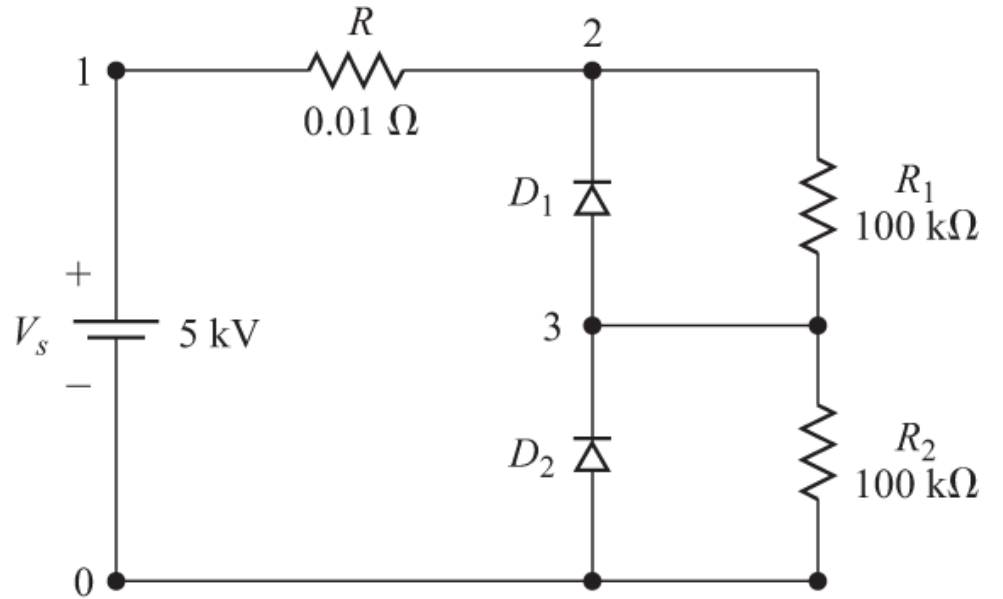


ŞEKİL 2.12

Seri diyotlar ve kalıcı ve geçici durum koşullarında gerilim paylaşım devreleri

### ŞEKİL 2.13

Örnek 2.3'ün PSpice benzetimi için kullanılan devre



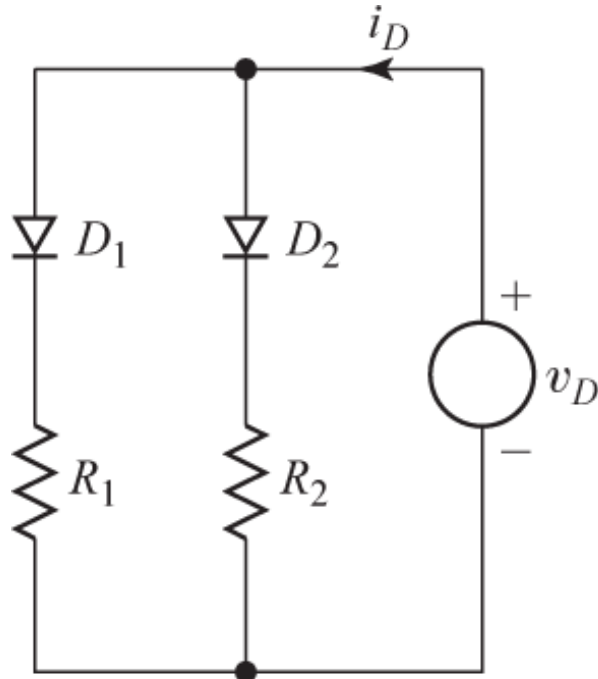
- **Bölüm 2.9'un Önemli Noktaları**
- Aynı türden diyotlar seri olarak bağlandıklarında, diyotların ters  $v - i$  karaktersitiklerindeki uyumsuzluklardan dolayı üzerlerindeki ters gerilimler eşit olmayabilir. Gerilimleri eşitlemek için gerilim paylaşım devrelerinin kullanılması gereklidir.

## 2.10 PARALEL BAĞLI DİYOTLAR

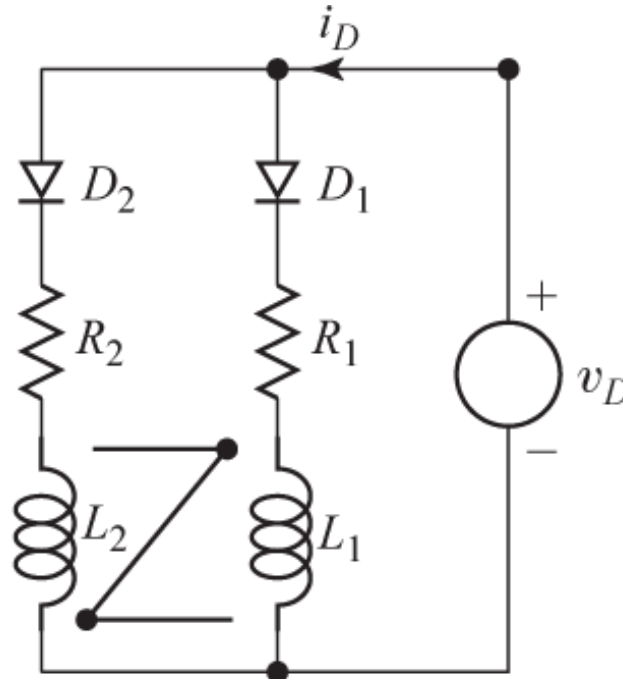
Yüksek güç uygulamalarında, talep edilen akım gereksinimini karşılayabilmek için, diyotlar paralel bağlanarak akım kapasitesi arttırılır. Diyotlar akımı, üzerlerindeki iletim gerilimlerine göre paylaşır. Akımı eşit paylaşabilmeleri için bacak endüktanslarının eşit olması gerekir. Akım paylaşım dirençleri bunu sağlar ancak kayıpları arttırır. Problemi minimize etmek için iletim gerilim düşümleri eşit olan veya aynı türden diyotlar seçilmelidir. Diyotlar paralel bağlandığından her bir diyodun ters tıkama gerilimleri aynı olur.

Bu problemleri çözümü için şekil (b)'deki endüktanslı devreye ihtiyaç duyulur. Bu durumda kuplajlı (bağlaşım) endüktanslar kullanılarak eşit akım paylaşımı sağlanabilir.

## 2.10 PARALEL BAĞLI DİYOTLAR



(a) Kalıcı durum

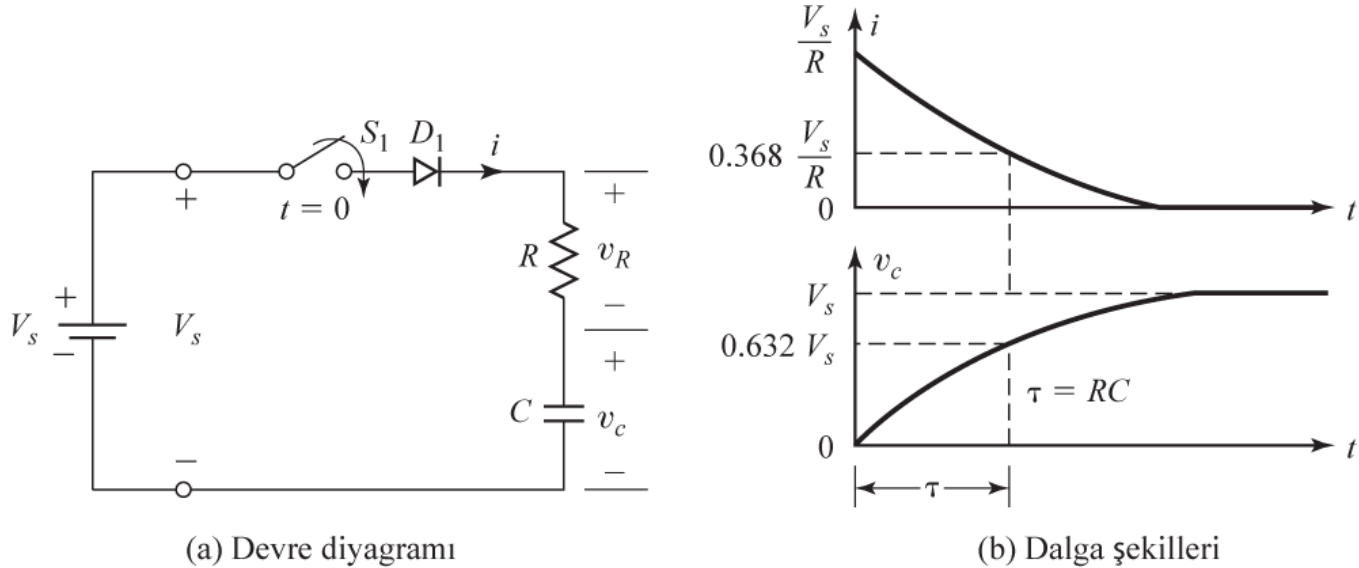


(b) Dinamik paylaşım

ŞEKİL 2.14  
Paralel bağlı diyotlar

- **Bölüm 2.10'un Önemli Noktaları**
- Aynı türden iki diyot paralel bağlandığında, ileri yön  $v - i$  karakteristiklerindeki uyumsuzluklar nedeniyle, bu diyotlar akımı eşit paylaşamazlar. Akım paylaşımını sağlayabilmek için akım paylaşım devrelerinin kullanılması gereklidir.

# 2.11 DİYOT ANAHTARLAMALI RC YÜKÜ



ŞEKİL 2.15

RC yüklü diyot devresi.

## Bölüm 2.11'in Önemli Noktaları

- Bir  $RC$  devresinin akımı belli bir zaman sabiti ile üstel olarak artar veya azalır, ancak yönünü değiştirmez. Bir  $RC$  devresinde dolmakta olan bir kondansatörün başlangıç anındaki  $dv/dt$  değeri  $V_s/RC$ 'dir.

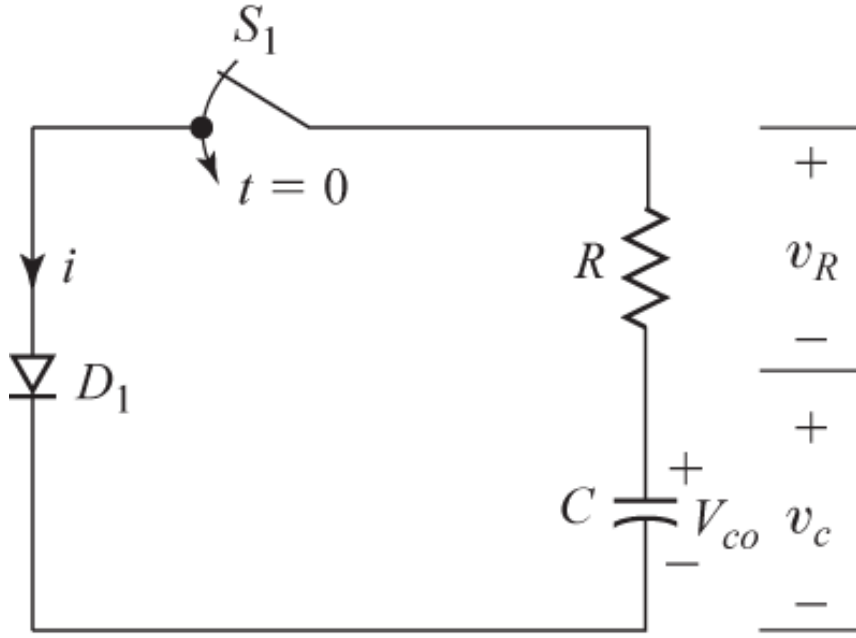
$$V_s = v_R + v_c = v_R + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i \, dt + v_c(t=0)$$

$$v_R = Ri$$

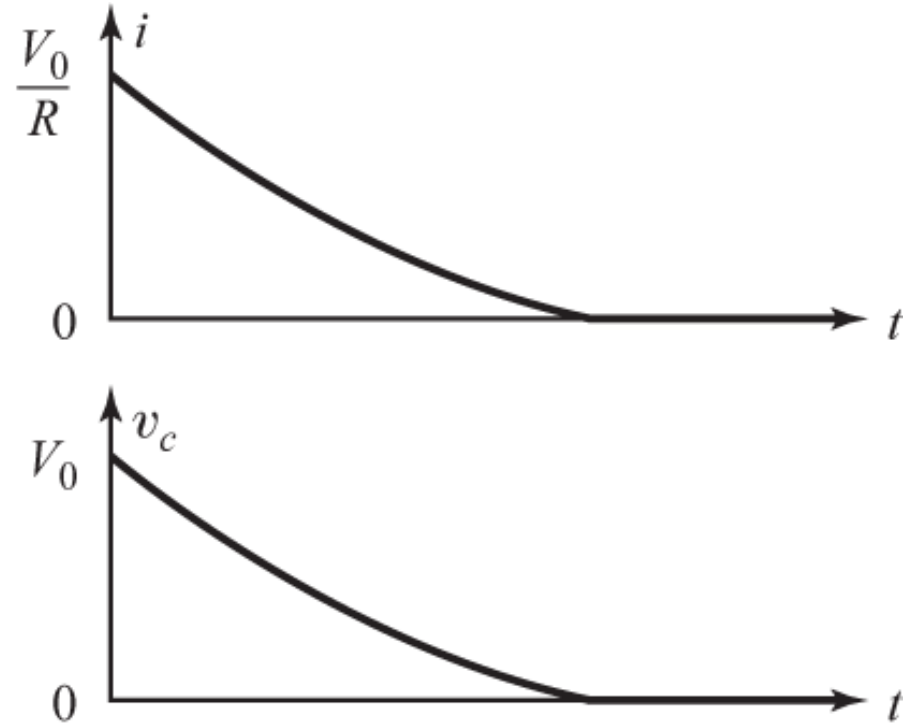
$$i(t) = \frac{V_s}{R} e^{-t/RC}$$

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i \, dt = V_s(1 - e^{-t/RC}) = V_s(1 - e^{-t/\tau})$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{V_s}{RC} e^{-t/RC}$$



(a) Devre diyagramı

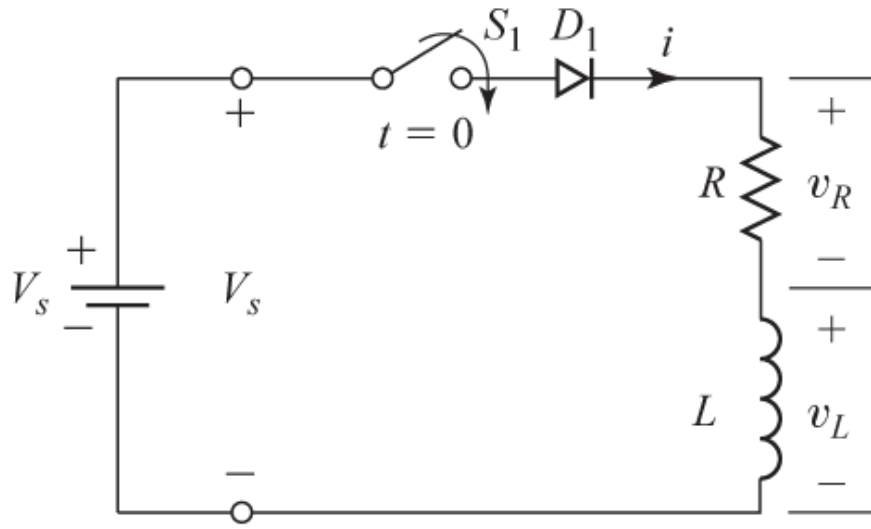


(b) Dalga şekilleri

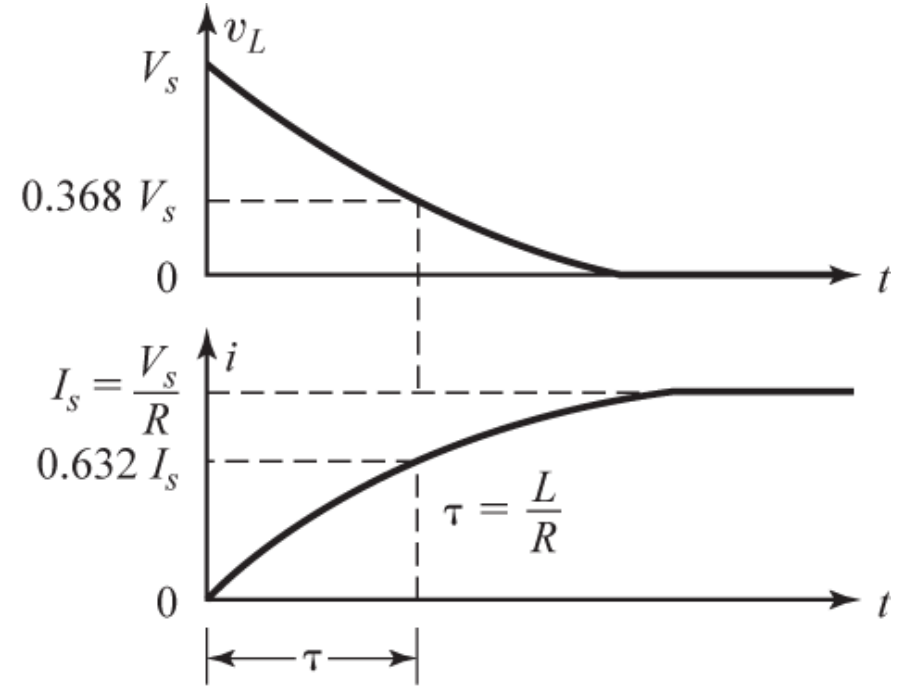
## ŞEKİL 2.16

$RC$  yüklü diyot devresi.

## 2.12 DİYOT ANAHTARLAMALI $RL$ YÜKÜ



(a) Devre diyagramı



(b) Dalga şekilleri

ŞEKİL 2.17

$RL$  yüklü diyot devresi.

Bir *RL* devresinin akımı belli bir zaman sabiti ile yani gecikmeli, üstel olarak artar veya azalır ancak yönünü değiştirmez. Ancak S1 anahtarı tekrar açılmak istenirse, anahtar ve diyot üzerinde büyük bir ters gerilim oluşur. Bu enerji, anahtarın açık uçları arasında arklar şeklinde tüketilip ve bu süreç içerisinde D1 diyonu muhtemelen tahrip olur. Bir *RL* devresinde başlangıç anındaki  $di/dt$  değeri  $V_s/L$ 'dir.

$$V_s = v_L + v_R = L \frac{di}{dt} + Ri$$

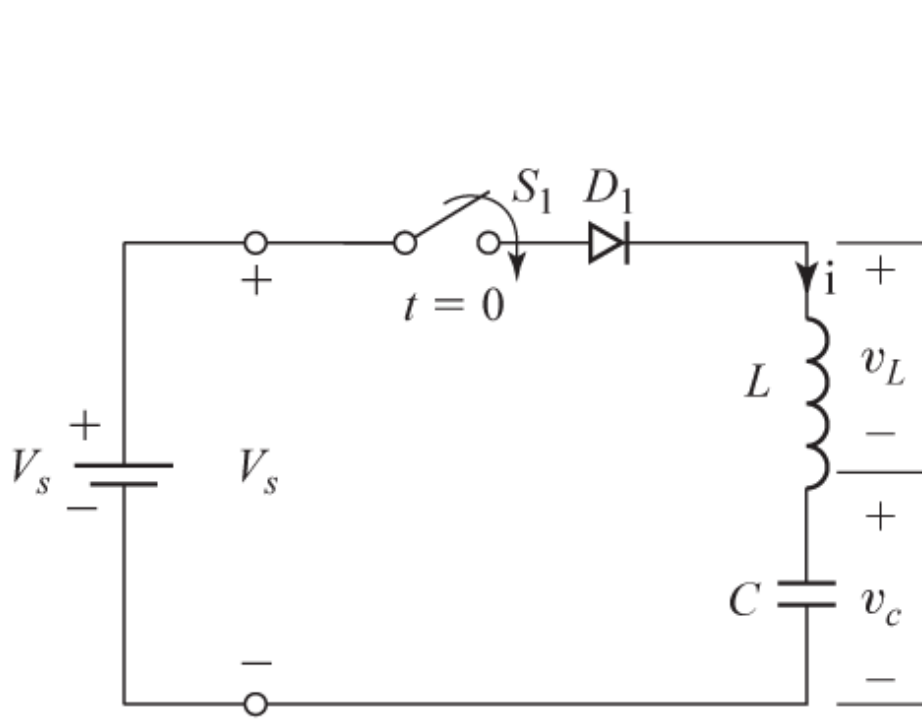
$$i(t) = \frac{V_s}{R} (1 - e^{-tR/L})$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s}{L} e^{-tR/L}$$

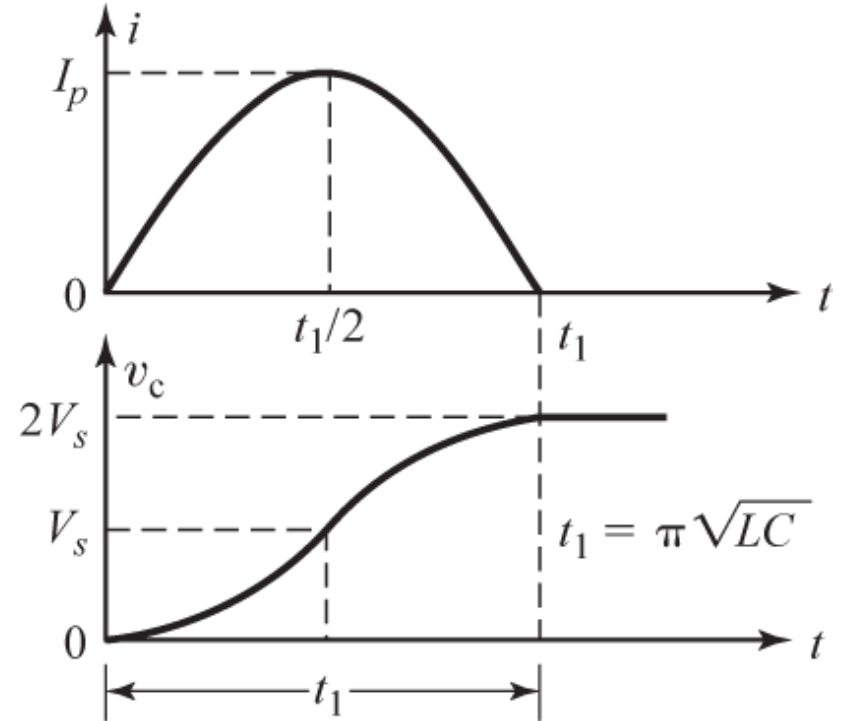
$$v_L(t) = L \frac{di}{dt} = V_s e^{-tR/L}$$

$$V_s = L \frac{di}{dt}$$

## 2.13 DİYOT ANAHTARLAMALI LC YÜKÜ



(a) Devre diyagramı



(b) Dalga şekilleri

ŞEKİL 2.18

LC yüklü diyot devresi.

$$V_s = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i dt + v_c(t=0)$$

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$$

$$\begin{aligned} i(t) &= V_s \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega_0 t \\ &= I_p \sin \omega_0 t \end{aligned}$$

$$I_p = V_s \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s}{L} \cos \omega_0 t$$

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} = \frac{V_s}{L}$$

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = V_s (1 - \cos \omega_0 t)$$

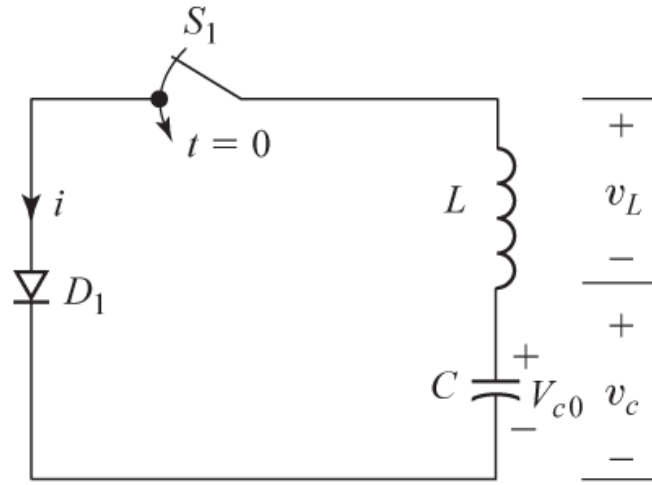
$$t = t_1 = \pi \sqrt{LC},$$

Devrede direnç bulunmadığından bir enerji kaybı söz konusu olamaz. Dolayısıyla, direncin yokluğunda LC devresinin akımı salınım yapar ve enerji sürekli olarak C ve L arasında gidip gelir.

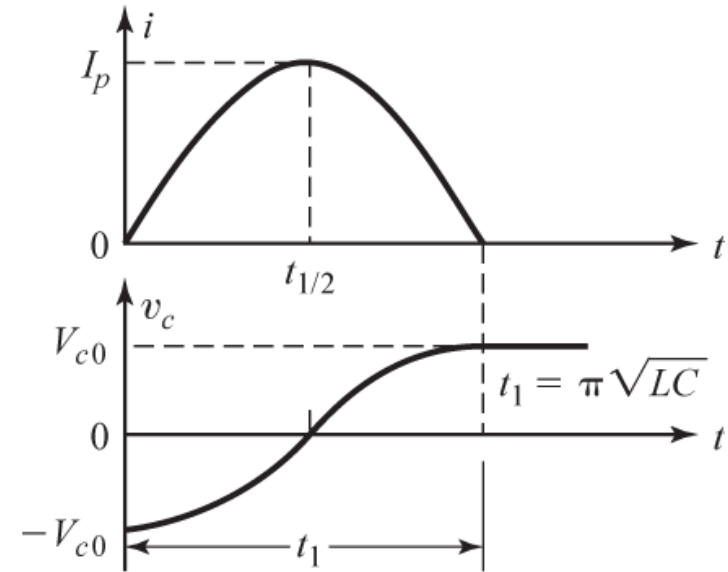
D1 diyodu anahtara seri bağlandığından, akımın ters yöne geçmesine engel olacaktır. Diyodun olmaması durumunda LC devresi sürekli olarak salınım yapar. Normal olarak elektronik anahtarlar (BJT, MOSFET veya IGBT) ters akıma izin vermezler. Anahtar ve diyot ikilisi, elektronik bir anahtarın anahtarlama davranışını taklit ederler.

Kondansatör uçlarına bir anahtar ve bir LC devresine seri bağlı bir diyot içeren başka benzer devreler bağlanarak, girişteki DA gerilimi  $V_s$ 'nin değeri katlanabilir. Bu teknik kullanılarak süperiletkenlik ve darbeli güç uygulamaları için gerekli yüksek gerilimler elde edilir.

**Problem:** Bir LC devresinde Gerilim ve Akımın Bulunması  
 Şekilde gösterilen diyotlu devrede kondansatörün başlangıç değeri  $V_c(t=0) = 220 \text{ V}$  ve  $L = 80 \text{ uH}$  olarak verilmektedir. S1 anahtarı  $t=0$ 'da kapatılmaktadır. Diyot akımının tepe değerini, diyodun iletimde kalma süresini ve kondansatörün en son kalıcı durum gerilimini bulunuz.



(a) Devre diyagramı



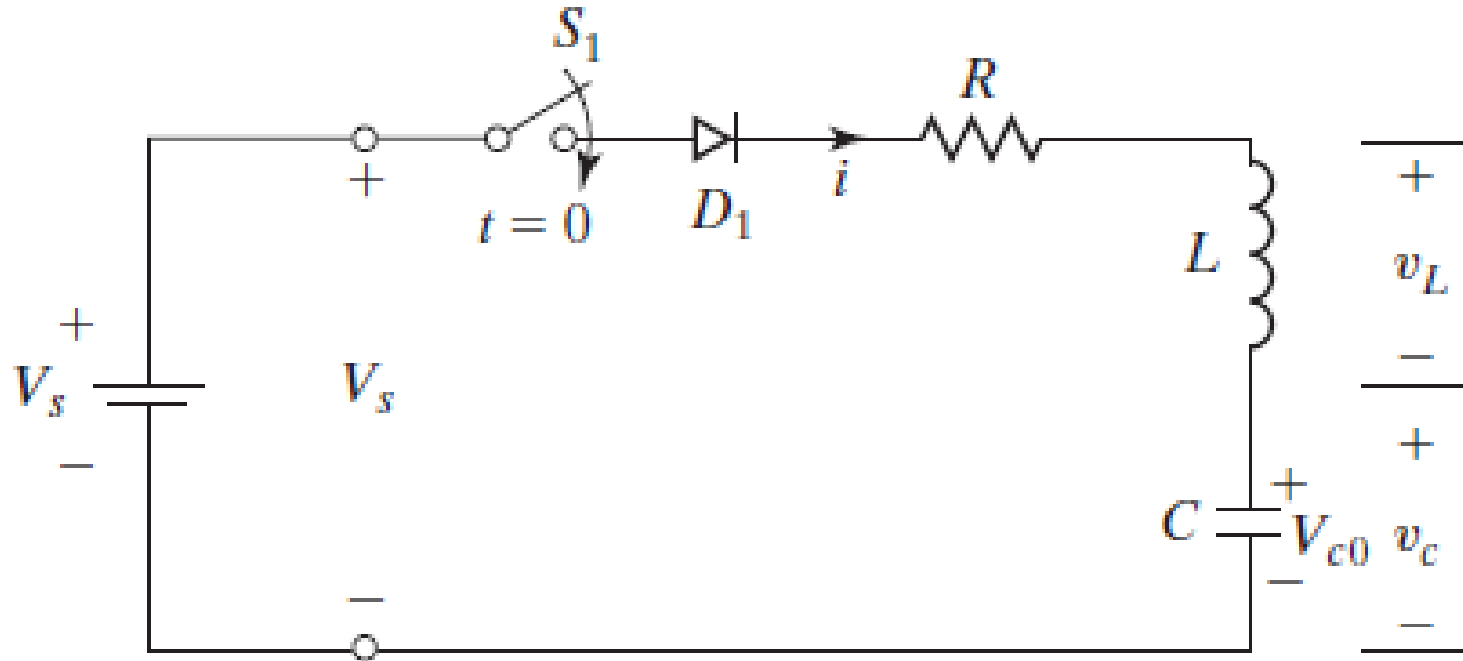
(b) Dalga şekilleri

ŞEKİL 2.19

LC yüklü diyot devresi.

- **Bölüm 2.13'ün Önemli Noktaları**
- Bir *LC devresinin akımı, tepe değeri  $V_s (C/L)$  olan bir rezonans salınımı yaşar.  $D_1$  diyotu ters akım geçişini engeller ve kondansatör  $2V_s$  geriliminde dolu kalır.*

## 2.14 DİYOT ANAHTARLAMALI *RLC* YÜKÜ



RLC yüklü diyot devresi

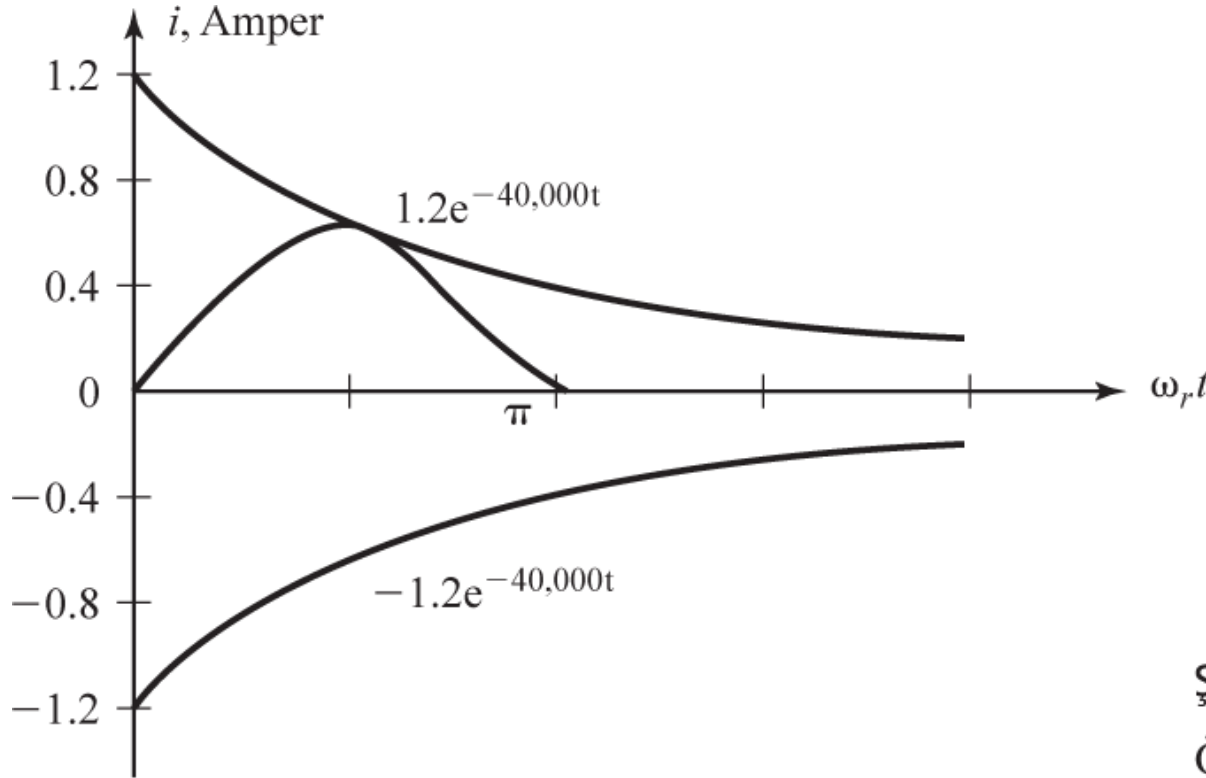
$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt + v_c(t=0) = V_s$$

$$s_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0 \quad \alpha = \frac{R}{2L}$$

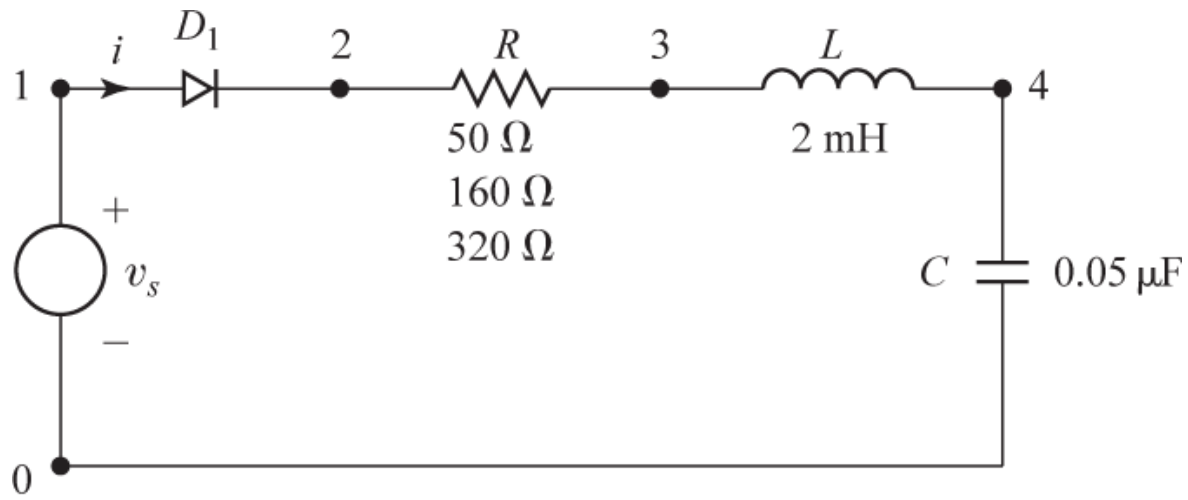
$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0 \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

**Problem:** Şekildeki RLC devresinde  $V_s=220$  V,  $L=2$  mH,  $C=0,05$  uF,  $R=160$  ohm olarak verilmektedir. Kondansatör geriliminin ve endüktans akımının başlangıç değeri sıfırdır. Anahtar  $t=0$ 'da kapatıldığında göre; akım değişiminin ifadesini, diyotun iletim süresini elde ediniz. Ayrıca, akımın değişimini kabataslak çiziniz.

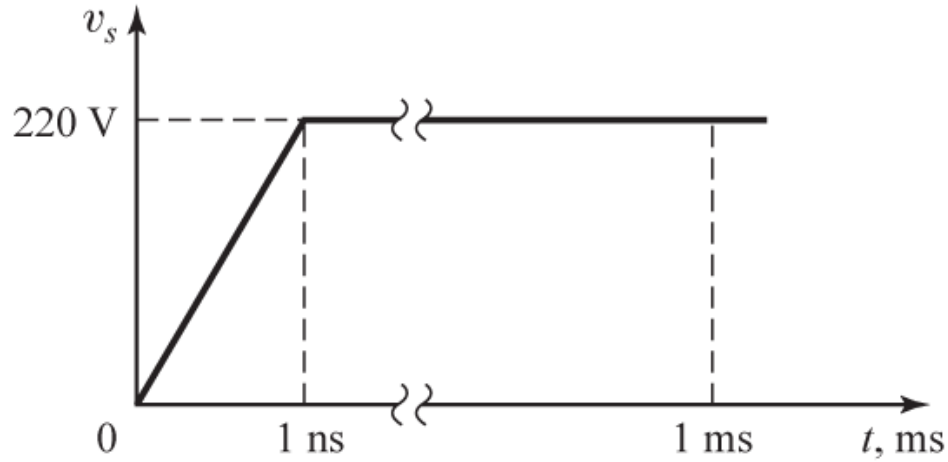


ŞEKİL 2.21

Örnek 2.7'deki akımın dalga şekli



(a) Devre



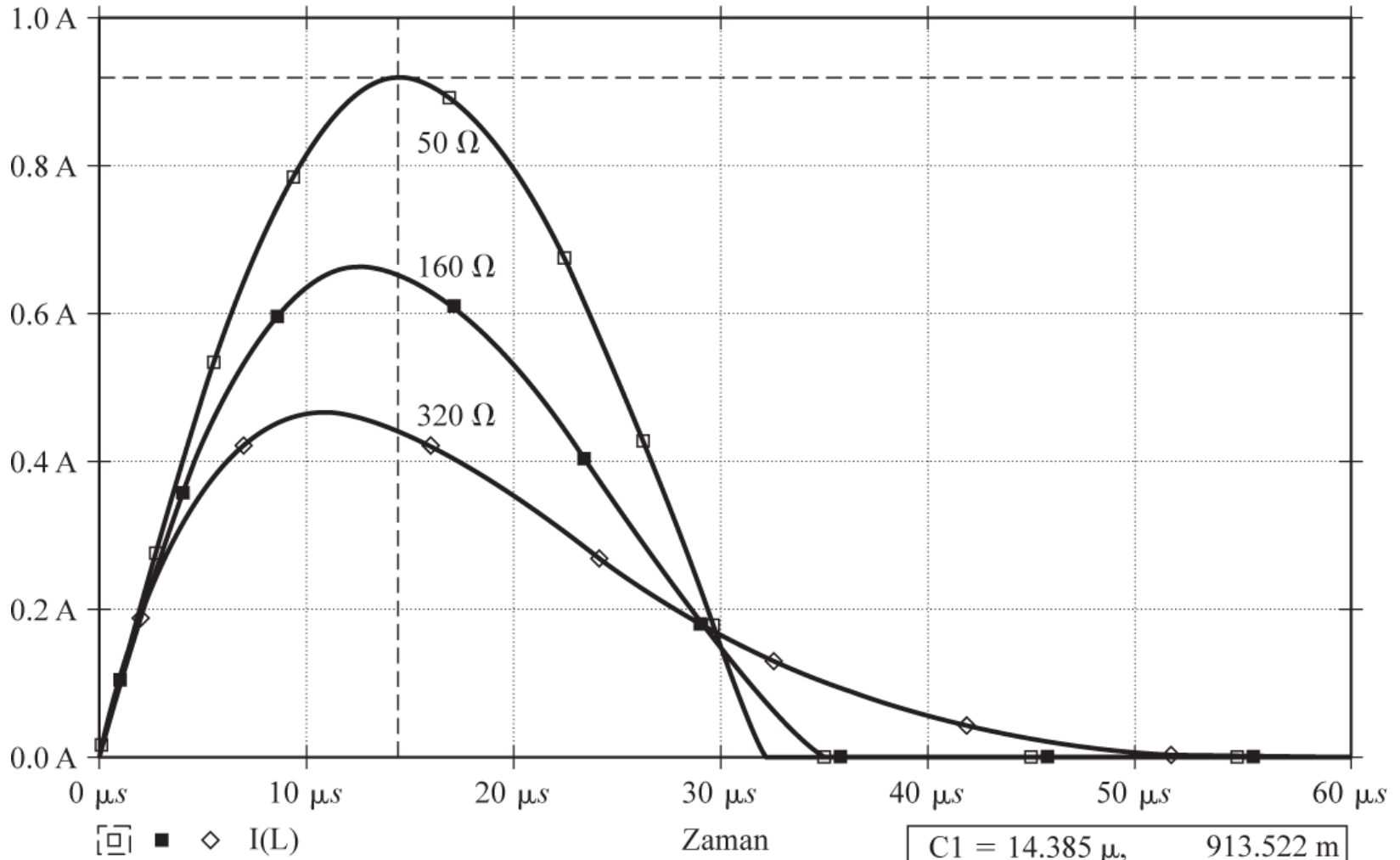
(b) Giriş gerilimi

ŞEKİL 2.22

PSpice benzetimi için  $RLC$  devresi.

# Diyotlu RLC devresi

Sıcaklık: 27 °C

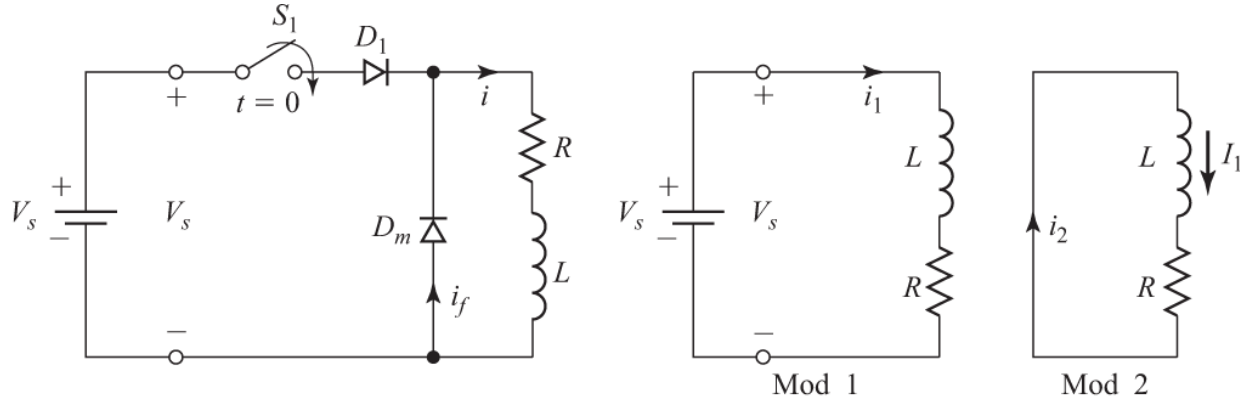


$C1 = 14.385 \mu s$ ,	913.522 m
$C2 = 0.000$ ,	0.000
dif = 14.385 $\mu s$ ,	913.522 m

## Bölüm 2.14'ün Önemli Noktaları

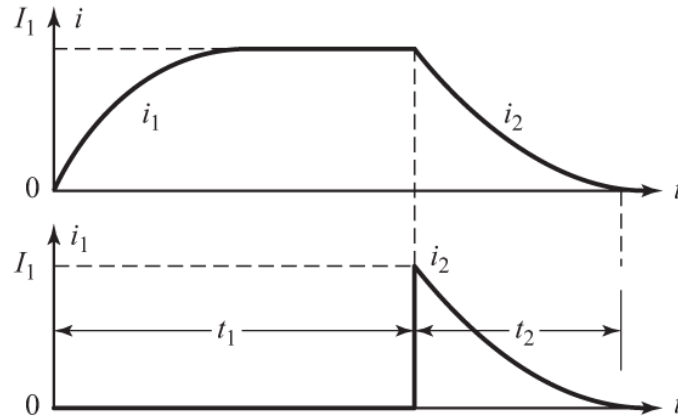
- $RLC$  devresinin akımı sönüm katsayısına ( $\delta = (R/2) (C/L)$ ) bağlıdır. Güç elektroniği devreleri genellikle eksik sönümlü olduğundan akımlar yaklaşık olarak sinüzoidaldir.

# 2.15 ANAHTARLAMALI RL YÜKÜ VE BOŞLUK DİYOTLARI



(a) Devre diyagramı

(b) Eşdeğer devreler



(c) Dalga şekilleri

ŞEKİL 2.24

Boşluk diyotlu bir devre

Şekildeki S1 anahtarı  $t_1$  süresi kadar kapalı tutulursa yükte bir akım oluşturulur. Anahtar açılmak istenirse, endüktif yükün akımı için alternatif bir yol sağlanmalıdır. Aksi takdirde endüktif enerji çok yüksek bir gerilimin oluşumuna yol açar. Enerji, anahtar uçları arasında oluşan arklarla ısıya dönüşerek tüketilir. Alternatif yolu sağlamak için Dm boşluk (veya serbest döngü) diyodu kullanılır. Anahtara seri olarak bağlanan D1 diyodu, girişteki kaynak AC gerilim kaynağı ise anahtar üzerinden akan akımın ters yönde akmasını engeller. Kaynağın DA olması durumunda bu diyoda gerek yoktur.

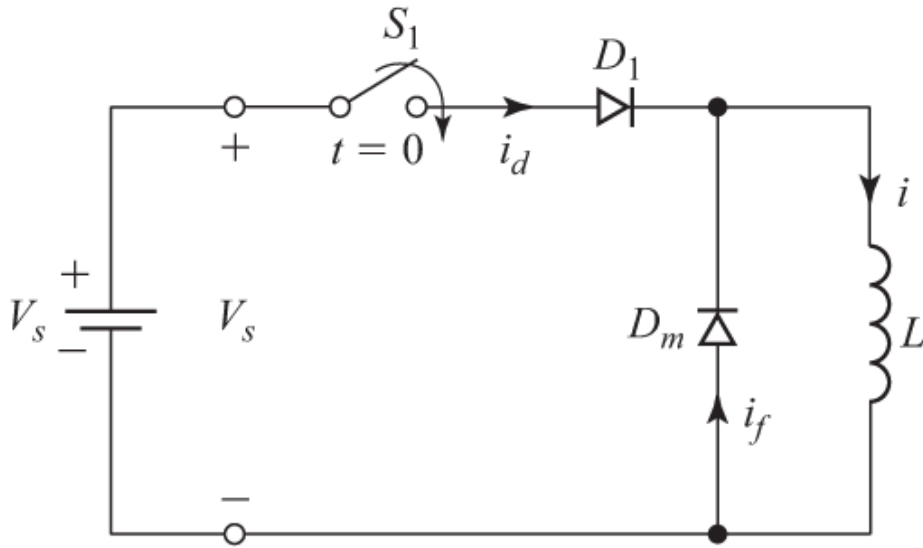
### Mode 1:

$$i_1(t) = \frac{V_s}{R} (1 - e^{-tR/L}) \quad I_1 = i_1(t = t_1) = \frac{V_s}{R} (1 - e^{-tR/L})$$

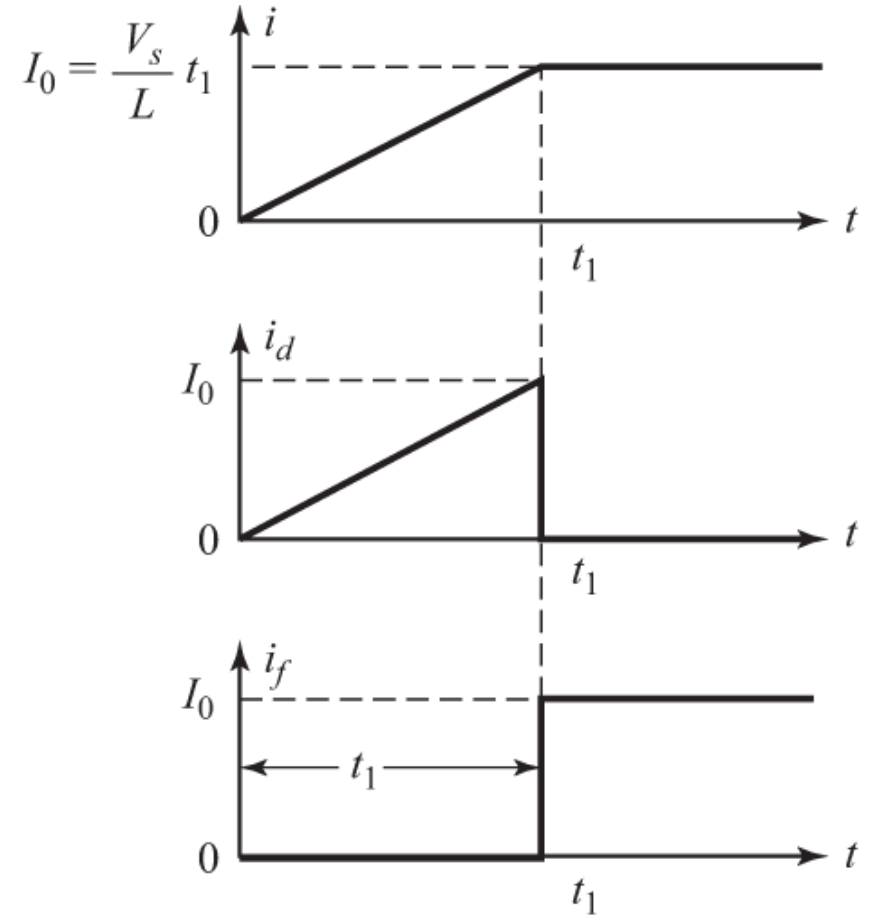
### Mode 2:

$$0 = L \frac{di_2}{dt} + Ri_2 \quad i_2(t) = I_1 e^{-tR/L}$$

## Problem 2.8: Boşluk Diyotlu Devrede Endüktansta Biriken Enerjinin Bulunması



(a) Devre diyagramı



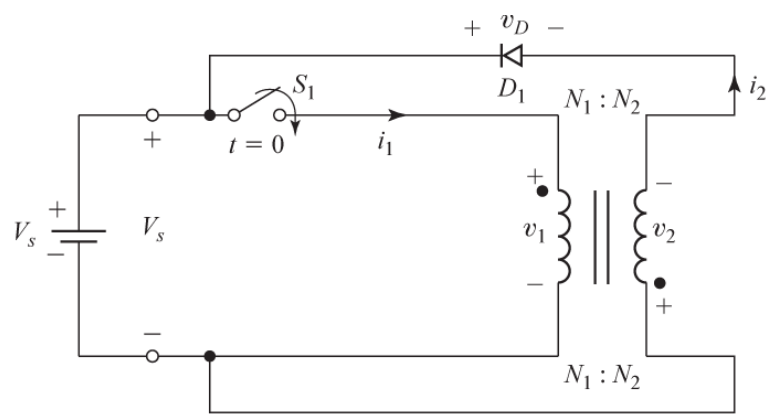
(b) Dalga şekilleri

ŞEKİL 2.25

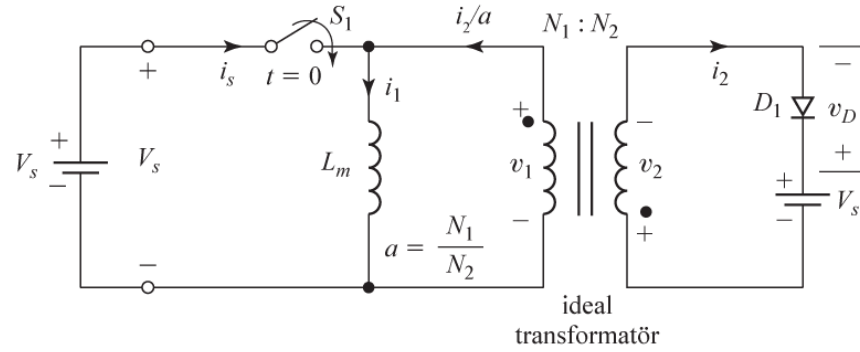
$L$  yüklü diyot devresi.

- **Bölüm 2.15'in Önemli Noktaları**
- Yükün endüktif olması durumunda, endüktif yük akımının akabileceği alternatif bir yol oluşturabilmek amacıyla boşluk diyotu olarak adlandırılan bir diyot, yükün uçlarına ters yönde paralel olarak bağlanmalıdır.

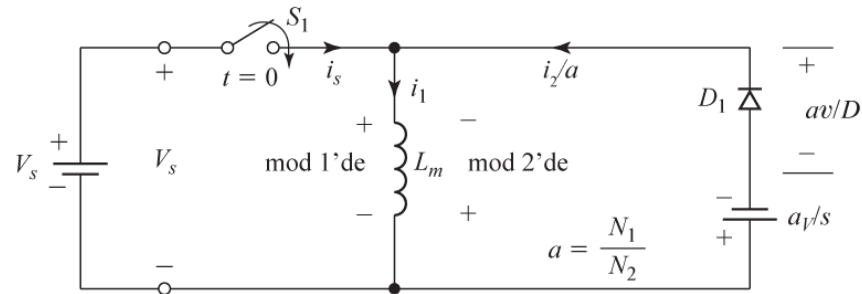
# 2.16 TUTULAN ENERJİNİN BİR DİYOTLA GERİ ALINMASI



(a) Devre diyagramı

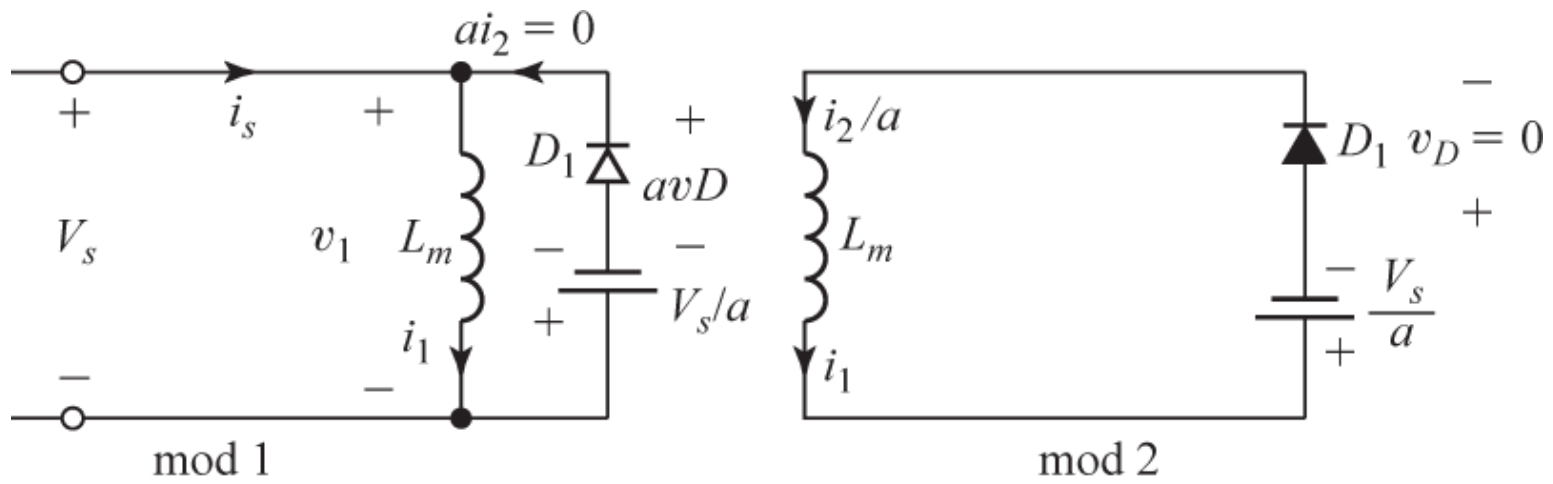


(b) Eşdeğer devre

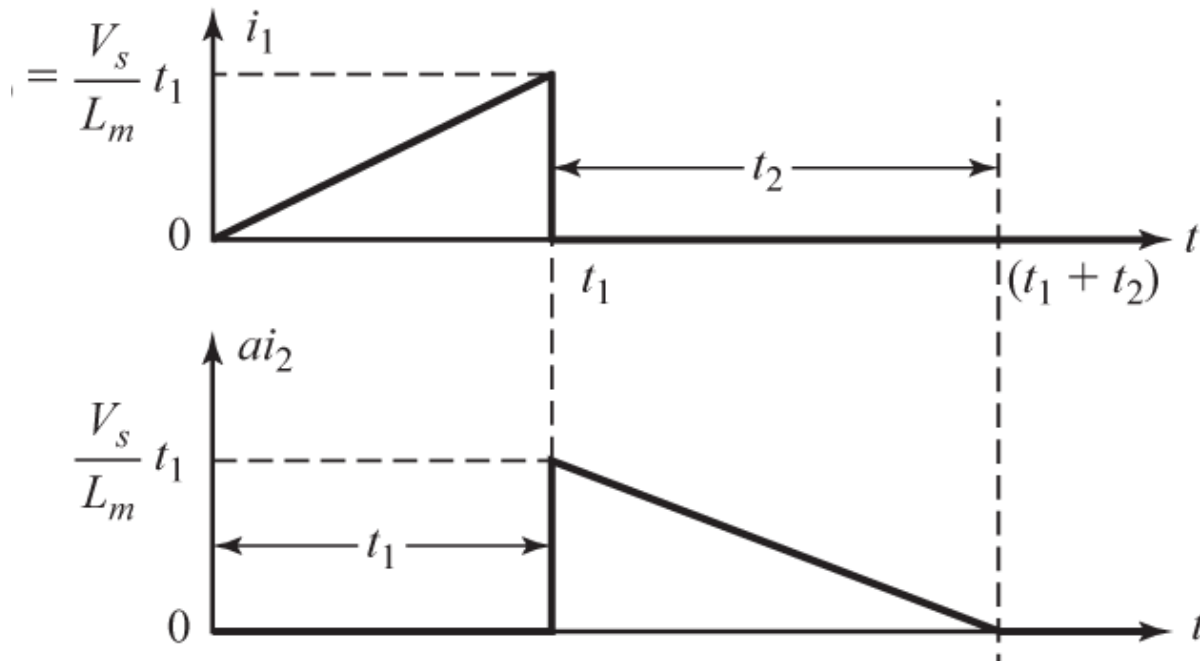


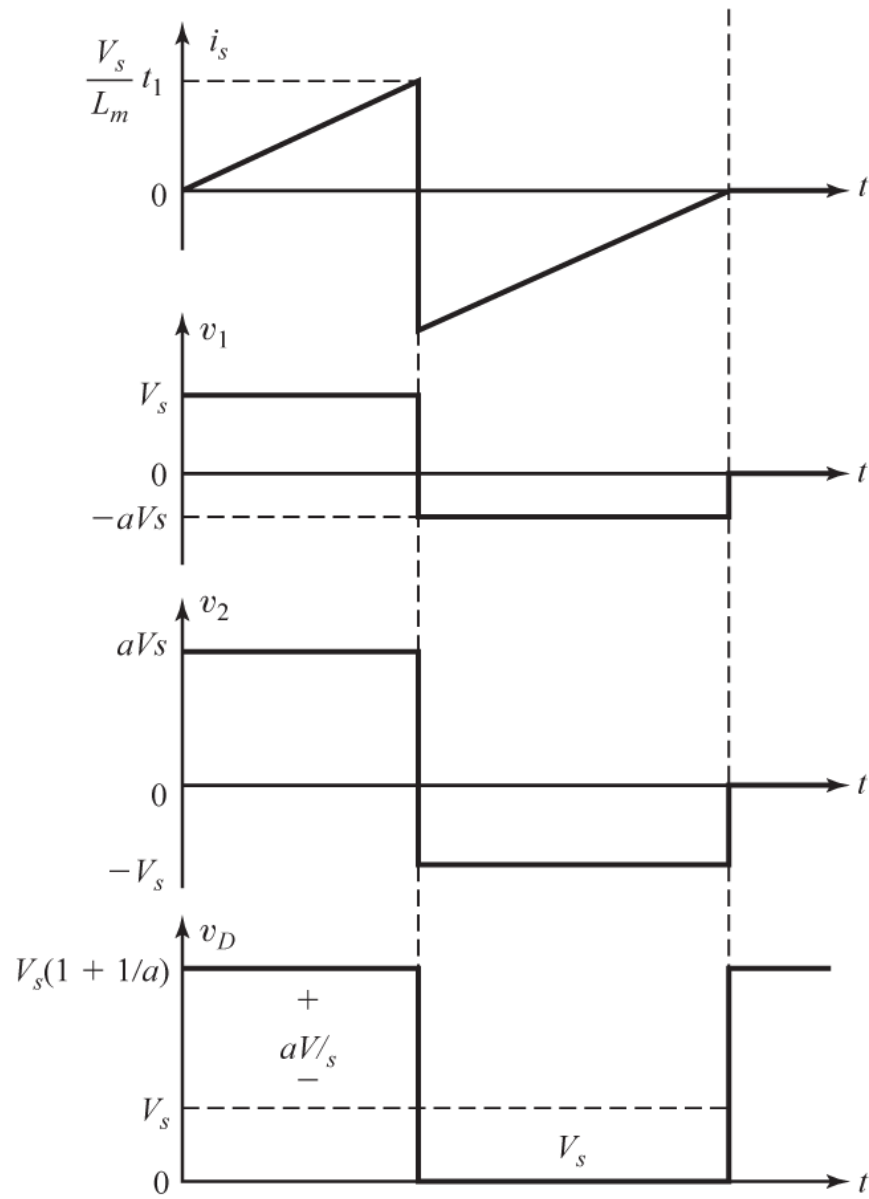
(c) Primere indirgenmiş eşdeğer devre

ŞEKİL 2.26



(a) Eşdeğer devre





(b) Dalga şekilleri

## ŞEKİL 2.27

- **Bölüm 2.16'nın Önemli Noktaları**
- Endüktif bir yükte tutulan enerji, geribesleme diyotu olarak adlandırılan bir diyot üzerinden kaynağa geri aktarılabilir.

# ÖZET

- Bu bölümde, güç diyotlarının kondansatör geriliminin ters yöne döndürülmesi, kondansatörün DA gerilim kaynağınıninkinden daha yüksek bir değere doldurulması, serbest dolaşım olayı ve endüktif bir yükten enerjinin geri kazanımı gibi uygulamalarını gördük.

## GÖZDEN GEÇİRME SORULARI

- 2.1 Güç diyotlarının türleri nelerdir?
- 2.2 Diyotlarda sızıntı akımı nedir?
- 2.3 Ters toparlanma süresi nedir?
- 2.4 Ters toparlanma akımı nedir?
- 2.5 Yumuşaklık katsayısı nedir?
- 2.6 Diyotlarda toparlanma türleri nelerdir?
- 2.7 Ters toparlanma sürecinin başlaması için gerekli koşullar nelerdir?
- 2.8 Ters toparlanma sürecinde diyot uçlarındaki ters geriliminin tepe değerine ulaştığı an nedir?
- 2.9 Bir  $p-n$  eklemesinde ters toparlanma süresinin nedeni nedir?
- 2.10 Ters toparlanma süresinin etkisi nedir?
- 2.11 Yüksek hızlı anahtarlama uygulamalarında neden hızlı toparlanan diyot kullanımı gereklidir.
- 2.12 İleri toparlanma süresi nedir?
- 2.13 Schottky diyotlarıyla  $p-n$  eklemeli diyotlar arasındaki temel farklar nelerdir?
- 2.14 Schottky diyotlarının sınırlamaları nelerdir?
- 2.15 Genel kullanım diyotlarının tipik ters toparlanma süresi ne kadardır?
- 2.16 Hızlı toparlanan diyotların tipik ters toparlanma süresi ne kadardır?
- 2.17 Seri bağlı diyotlarda karşılaşılabilecek problemler ve olası çözüm yolları nelerdir?
- 2.18 Paralel bağlı diyotlarda karşılaşılabilecek problemler ve olası çözüm yolları nelerdir?
- 2.19 İki diyot gerilimi eşit paylaşacak biçimde seri bağlandığında diyotların sızıntı akımları neden farklı olur?
- 2.20 Bir  $RL$  devresinin zaman sabiti nedir?
- 2.21 Bir  $RC$  devresinin zaman sabiti nedir?
- 2.22 Bir  $LC$  devresinin rezonans frekansı nedir?
- 2.23 Bir  $RLC$  devresinin sönüm katsayısı nedir?
- 2.24 Bir  $RLC$  devresinin rezonans frekansı ile çınlama frekansı arasındaki fark nedir?
- 2.25 Boşluk diyotu nedir ve ne amaçla kullanılır?
- 2.26 Bir endüktörde tutulan enerji nedir?
- 2.27 Endüktörde tutulu kalan enerji bir diyotla nasıl geri kazanılabilir?
- 2.28 Bir  $RL$  devresinde endüktörün büyük olmasının etkisi nedir?
- 2.29 Bir  $RLC$  devresinde direncin çok küçük olmasının etkisi nedir?
- 2.30 Enerji depolayan elemanlar olarak bir kondansatörle bir endüktör arasındaki farklar nelerdir?