

Elektronik Aygıtlar

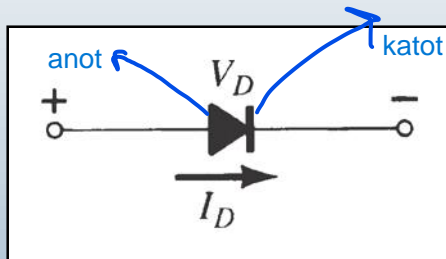
BÖLÜM 1 YARI İLETKEN DİYOTLAR

**BMB2012 – Elektronik Devreler ve Aygıtlar
Ders Notları
Bursa Uludağ Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
2023-2024 Bahar Yarıyılı**

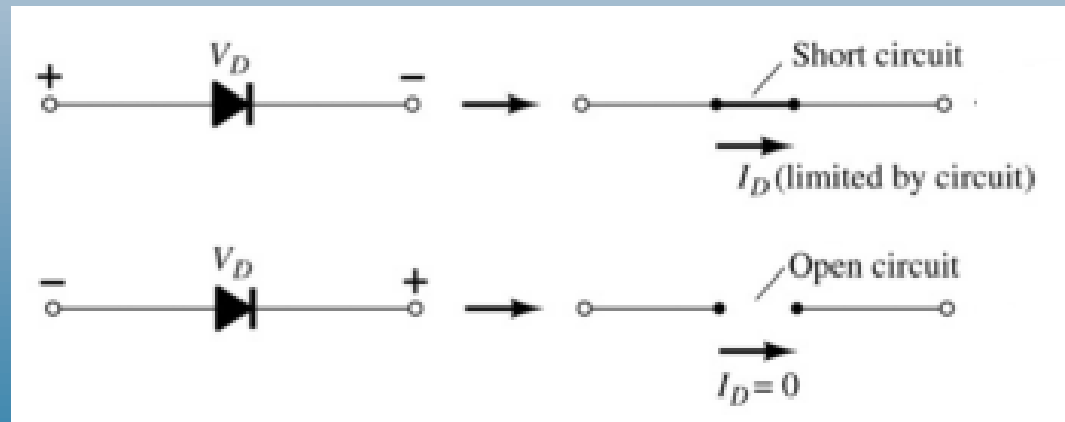
Çeviren ve Düzenleyen: Prof. Dr. Kemal FİDANBOYLU

Diyotlar

- Diyot, 2 terminalli bir cihazdır.

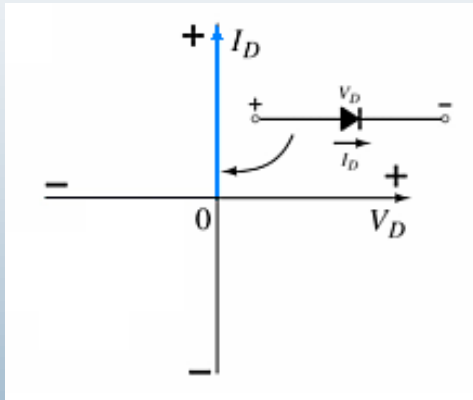


- Bir diyot ideal olarak sadece bir yönde iletir.



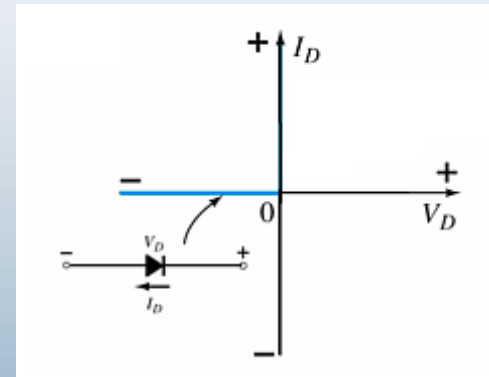
Diyot Özellikleri

- İletim Bölgesi



- Diyot üzerindeki voltaj 0 V'dur.
- Akım sonsuzdur.
- İleri yönde direnç $R_F = V_F / I_F$ olarak tanımlanır.
- Diyot kısa devre gibi davranır.

- İletim Olmayan Bölge



- Tüm voltaj diyot terminalleri üzerindedir.
- Akım 0 A'dır.
- Ters yönde direnç $R_R = V_R / I_R$ olarak tanımlanır.
- Diyot açık devre gibi davranır.

Yarı İletken Malzemeler

- Yarı iletken cihazların geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılan malzemeler:

- Silisyum (Si)
- Germanyum (Ge)
- Galyum Arsenit (GaAs)

Katkılama (Doping)

- Silisyum ve germanyumun elektriksel özellikleri, katkılama (doping) adı verilen bir işlemde malzeme eklenerek iyileştirilir.
- Sadece iki tür katkılı yarı iletken malzeme vardır.

n-tipi

- ***n***-tipi malzemeler, fazla miktarda iletim bandı elektronu içerir.

p- tipi

- ***p***-tipi malzemeler, fazla miktarda valans bandı boşluğu içerir.

E er n tipi istiyorsak 5A grubundan P,As,Sb den biri kullanılır ve 4A grubunun son katma- nından 1 e kalacak o yüzden n tipi olacak.

Periyodik Tablo

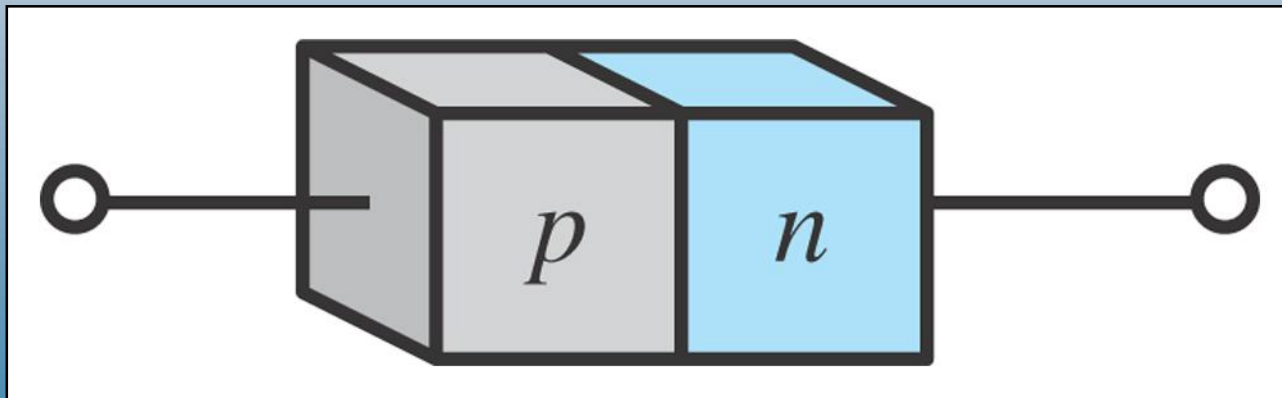
GaAs 'de As fazla olursa n tipi Ga fazla olursa p tipi olur.

P tipi ise 3A'dan alırız.

2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A
4 Be Beryllium 9.01218											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.00674	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998403
12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 Al Aluminum 26.981539	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527
20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.732	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904
38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447
56 Ba Barium 137.327	57-71	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium [208.9824]	85 At Astatine 209.9871
88 Ra Radium 226.0254	89-103	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Uut Ununtrium unknown	114 Fl Flerovium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Lv Livermorium [298]	117 Uus Ununseptium unknown

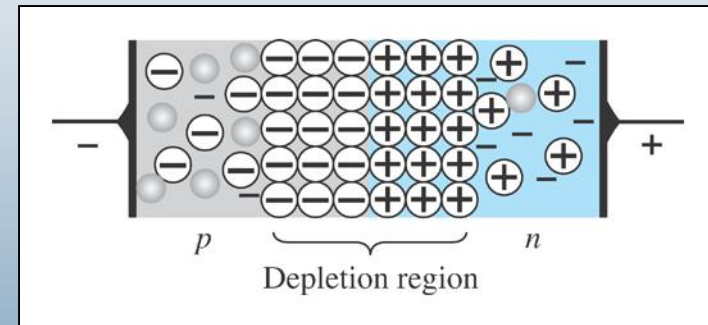
p - n Jonksiyonları (1)

- Bir silisyum veya germanyum kristalinin bir ucu p -tipi malzeme olarak ve diğer ucu n -tipi malzeme olarak katkılanabilir.
- Bunun sonucu bir p - n jonksiyonudur.



p - n Jonksiyonları (2)

- p - n jonksiyonunda, n -tipi taraftaki fazla iletim bandı elektronları, p -tipi taraftaki valans bandı boşlukları tarafından çekilir.
- n -tipi malzemedeki elektronlar, jonksiyon boyunca p -tipi malzemeye doğru (elektron akışı) göç eder.
- Elektron göçü, jonksiyonun p -tipi tarafında bir **negatif** yük ve jonksiyonun n -tipi tarafında bir **pozitif** yük ile sonuçlanır.



Tükenme bölgesinde akım akamaz.

Bu hali polarlamasız halidir.

- **Sonuç, jonksiyon çevresinde bir tükenme bölgesinin oluşmasıdır.**

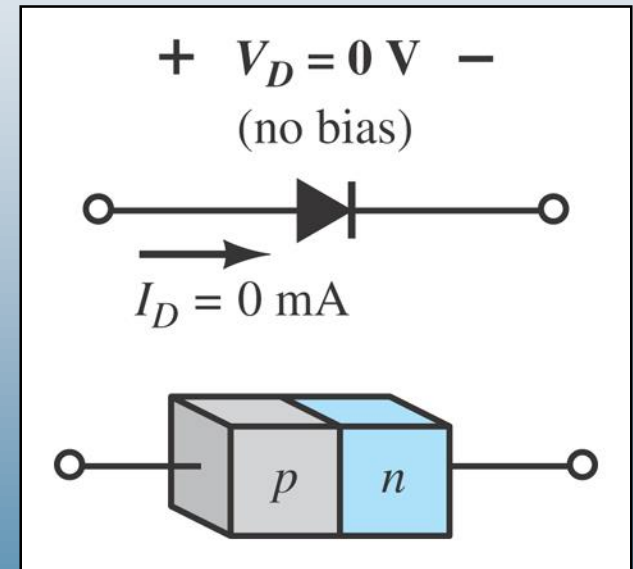
Diyot Çalışma Koşulları (1)

Voltaj Uygulama i lemine polarlama denir.

- Bir diyotun üç çalışma koşulu vardır:
- Polarlamasız
- Ters polarlama
- İleri yönde polarlama

Diyot Çalışma Koşulları (2)

- **Polarlamasız**
- Harici voltaj uygulanmaz: $V_D = 0 \text{ V}$.
- Diyot akımı sıfırdır: $I_D = 0 \text{ A}$.
- Sadece yalın bir tükenme bölgesi vardır.



- Polarlamasız

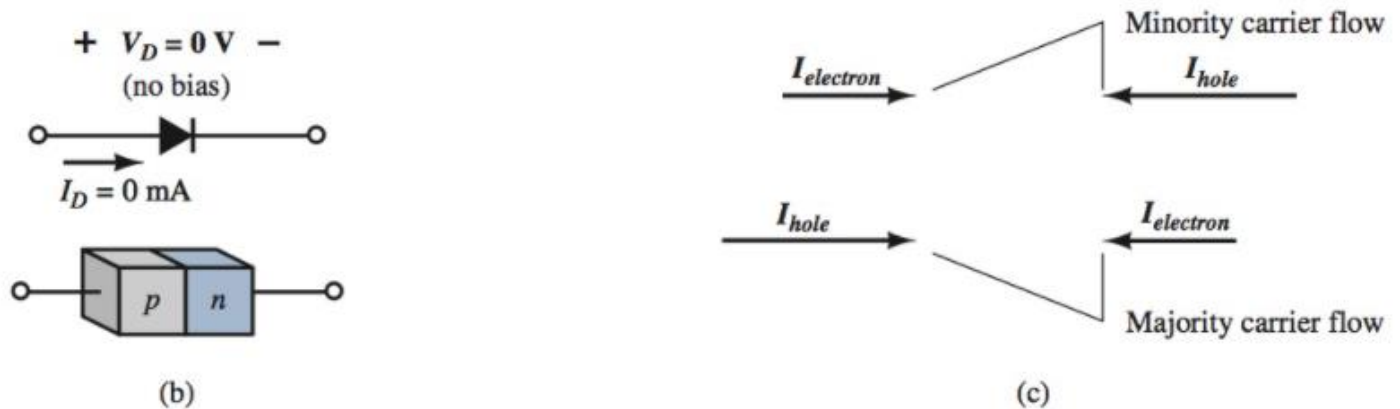
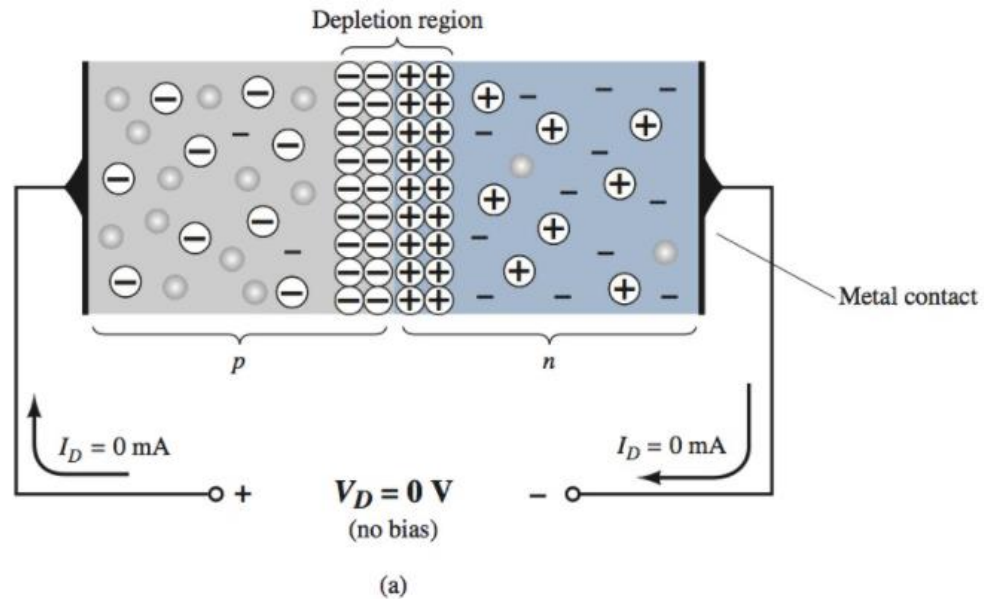


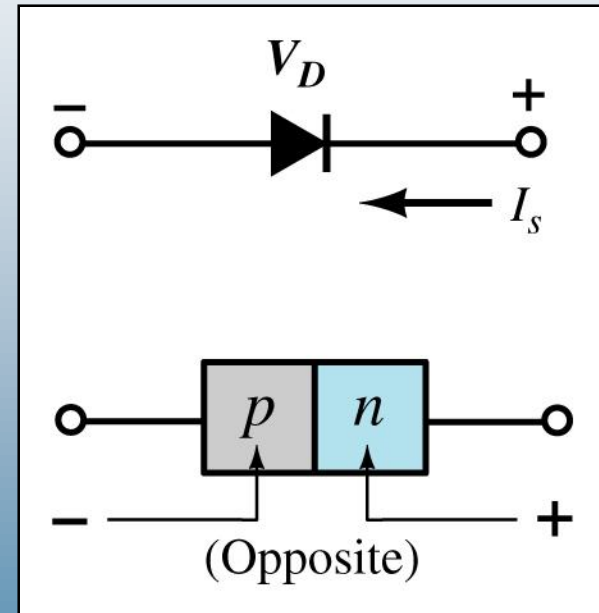
FIG. 12

A p-n junction with no external bias: (a) an internal distribution of charge; (b) a diode symbol, with the defined polarity and the current direction; (c) demonstration that the net carrier flow is zero at the external terminal of the device when $V_D = 0 \text{ V}$.

Diyot Çalışma Koşulları (3)

- **Ters Polarlama**

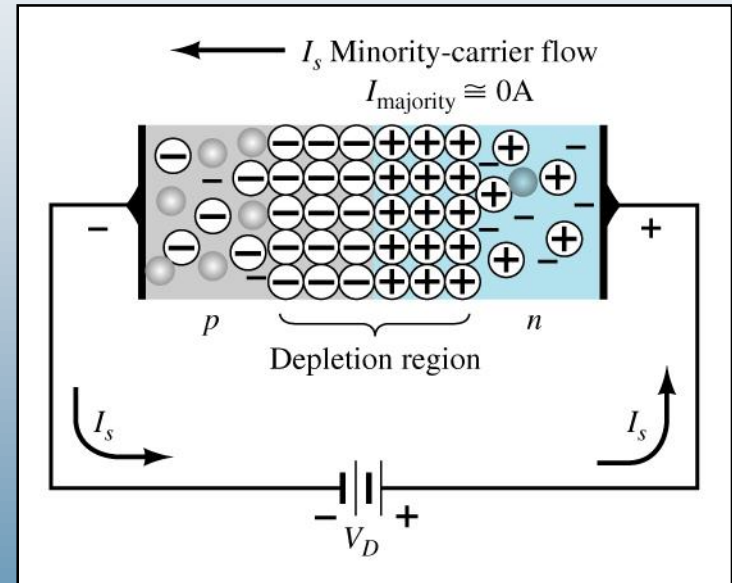
- p - ve n -tipi malzemelerin zıt polaritesinde p - n jonksiyonu boyunca harici voltaj uygulanır.



Diyot Çalışma Koşulları (4)

- **Ters Polarlama**

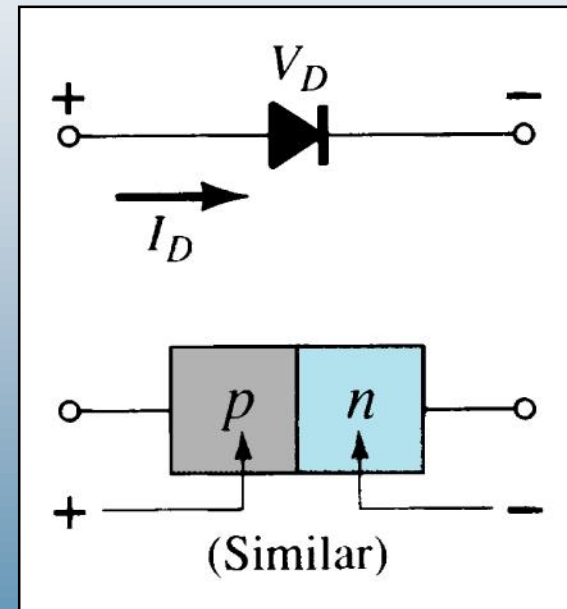
- Ters voltaj, tükenme bölgesinin genişlemesine neden olur.
- n -tipi malzemedeki elektronlar, voltaj kaynağının pozitif terminaline doğru çekilir.



- p tipi malzemedeki boşluklar, voltaj kaynağının negatif terminaline doğru çekilir.

Diyot Çalışma Koşulları (5)

- İleri Yönde Polarlama
- p - ve n -tipi malzemelerle aynı polaritede p - n jonksiyonu boyunca harici voltaj uygulanır.

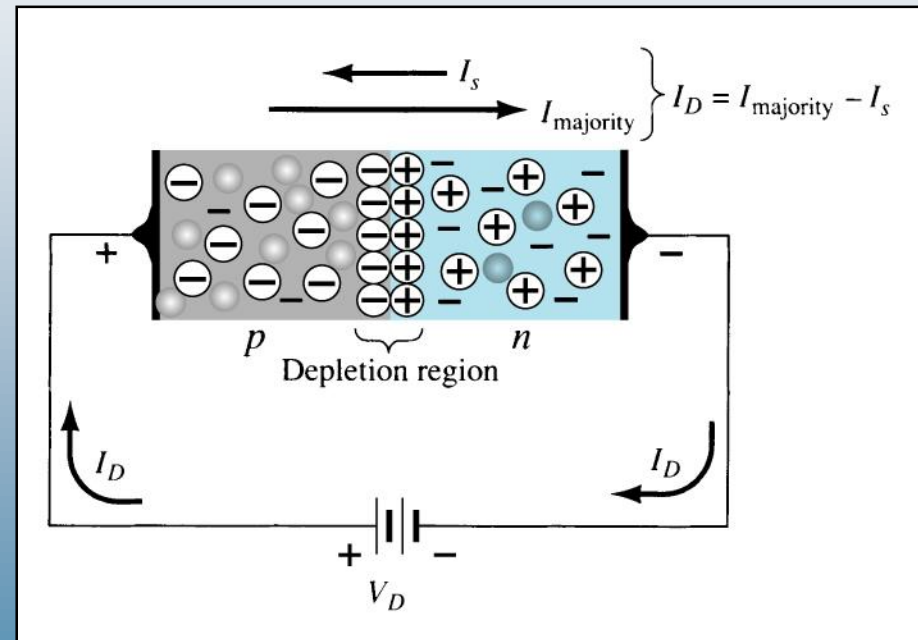


Diyot Çalışma Koşulları (6)

- İleri Yönde Polarlama

Tükenme bölgesi tamamen yok olmadı fakat ince bir duvar haline geldi onun üzerinden atlayabilirler.

- İleri yönde voltaj, tükenme bölgesinin daralmasına neden olur.
- Elektronlar ve boşluklar p - n jonksiyonuna doğru itilir.



- Elektronlar ve boşluklar p - n jonksiyonunu geçmek için yeterli enerjiye sahiptir.

Diyot Çalışma Koşulları (7)

Diyot Denklemleri

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

$$V_T = \frac{kT_K}{q}$$

4. Model -> Kesin model.

I_s : Ters doyum akımı

V_D : Diyot üzerindeki ileri yönde gerilim

n : Çalışma koşullarının ve fiziksel yapının bir fonksiyonu olan idealite faktörü; çok çeşitli faktörlere bağlı olarak 1 ile 2 arasında bir aralığa sahiptir (aksi belirtilmedikçe $n = 1$ olarak kabul edilecektir).

V_T : Termal voltaj

k : Boltzmann sabiti = 1.38×10^{-23} J/K

T_K : Kelvin cinsinden mutlak sıcaklık = $273 + ^\circ\text{C}$ cinsinden sıcaklık

q : Elektron yükünün büyüklüğü = 1.6×10^{-19} C

Gerçek Diyot Özellikleri

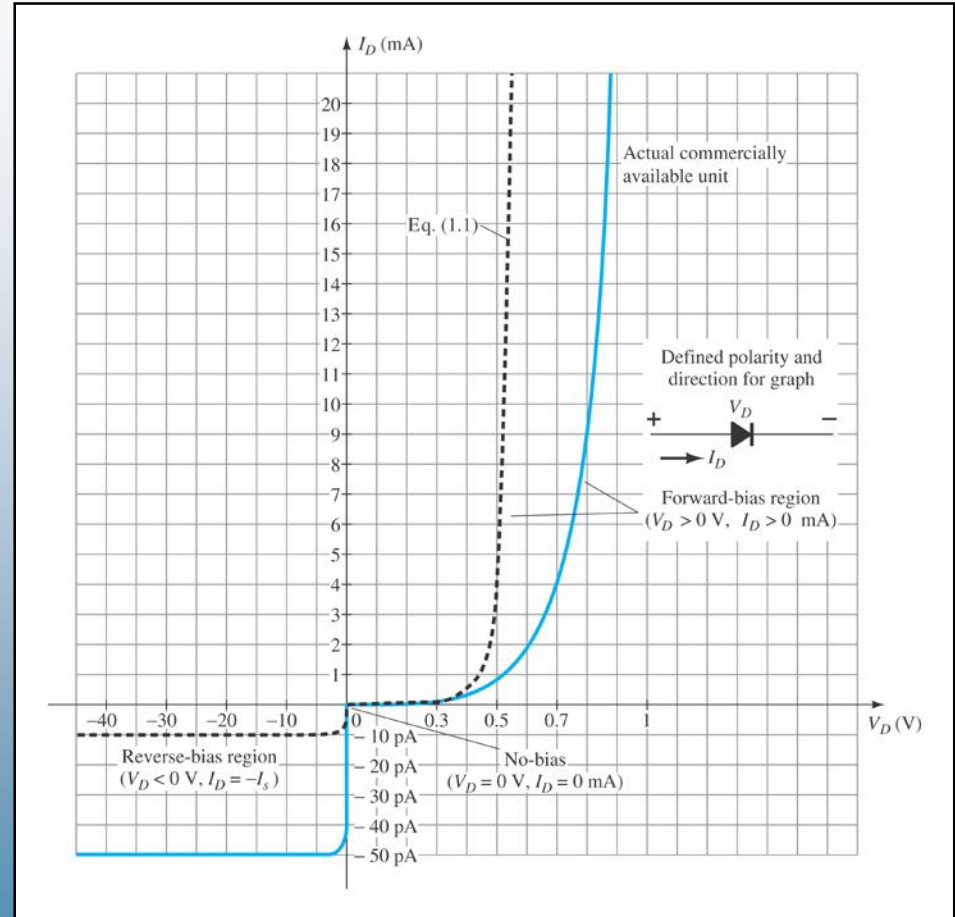
Y ekseninin + ve - kısmı aynı bir birim de il ona dikkat et.

- Polarlamasız, ters polarlama ve ileri yönde polarlama koşulları için ilgili bölgeleri inceleyin.
- Bu koşulların her biri için ölçeği dikkatlice inceleyin.

$$I_D \cong I_s e^{V_D/nV_T} \quad (V_D \text{ positive})$$

$$I_D \cong -I_s \quad (V_D \text{ negative})$$

V_T yi 26mV oda sıcaklığı ında alaca ız. $n = 1$ alaca ız.



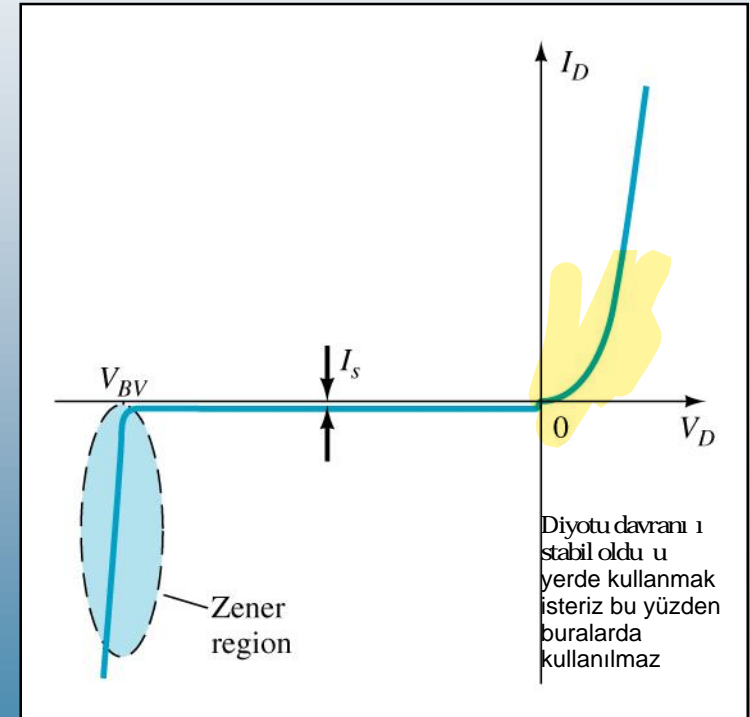
Çoğunluk ve Azınlık Taşıyıcıları

- Bir diyottan iki çeşit akım geçer:
- **Çoğunluk Taşıyıcıları (Majority Carriers)**
 - n -tipi malzemelerde çoğunluk taşıyıcıları elektronlardır.
 - p -tipi malzemelerde çoğunluk taşıyıcıları boşluklardır.
- **Azınlık Taşıyıcıları (Minority Carriers)**
 - n -tipi malzemelerde azınlık taşıyıcıları boşluklardır.
 - p -tipi malzemelerde azınlık taşıyıcıları elektronlardır.

Boşluk sanki orada e varmış da alınmış gibidir.

Zener Bölgesi

- Zener bölgesi, diyotun ters polarlanma bölgesindedir.
- Bir noktada ters polarlanma voltajı o kadar büyüktür ki diyot bozulur ve ters yönde akan akım önemli miktarda artar.
- Bir diyotu zener bölgesinde çalışmaya zorlamayan maksimum ters voltaj, **tepe ters voltaj (peak inverse voltage veya peak reverse voltage)** olarak adlandırılır.
- Bir diyotun zener çalışma bölgesine girmesine neden olan gerilime **zener gerilimi (V_Z)** denir.



İleri Yönde Polarlama Gerilimi (1)

- Diyotun polarlamasız koşuldan ileri yönde polarlamalı duruma değiştiği nokta, elektronlara ve boşluklara $p-n$ jonksiyonunu geçmek için yeterli enerji verildiğinde meydana gelir. Bu enerji, diyota uygulanan harici gerilim kaynağından gelir.
- Belirli bir diyot tipi için gerekli olan ileri yönde polarlama gerilimi aşağıdaki gibidir:
- **Galyum Arsenit diyot $\cong 1.2 \text{ V}$**
- **Silisyum diyot $\cong 0.7 \text{ V}$**
- **Germanyum diyot $\cong 0.3 \text{ V}$**

} E_{barrier}

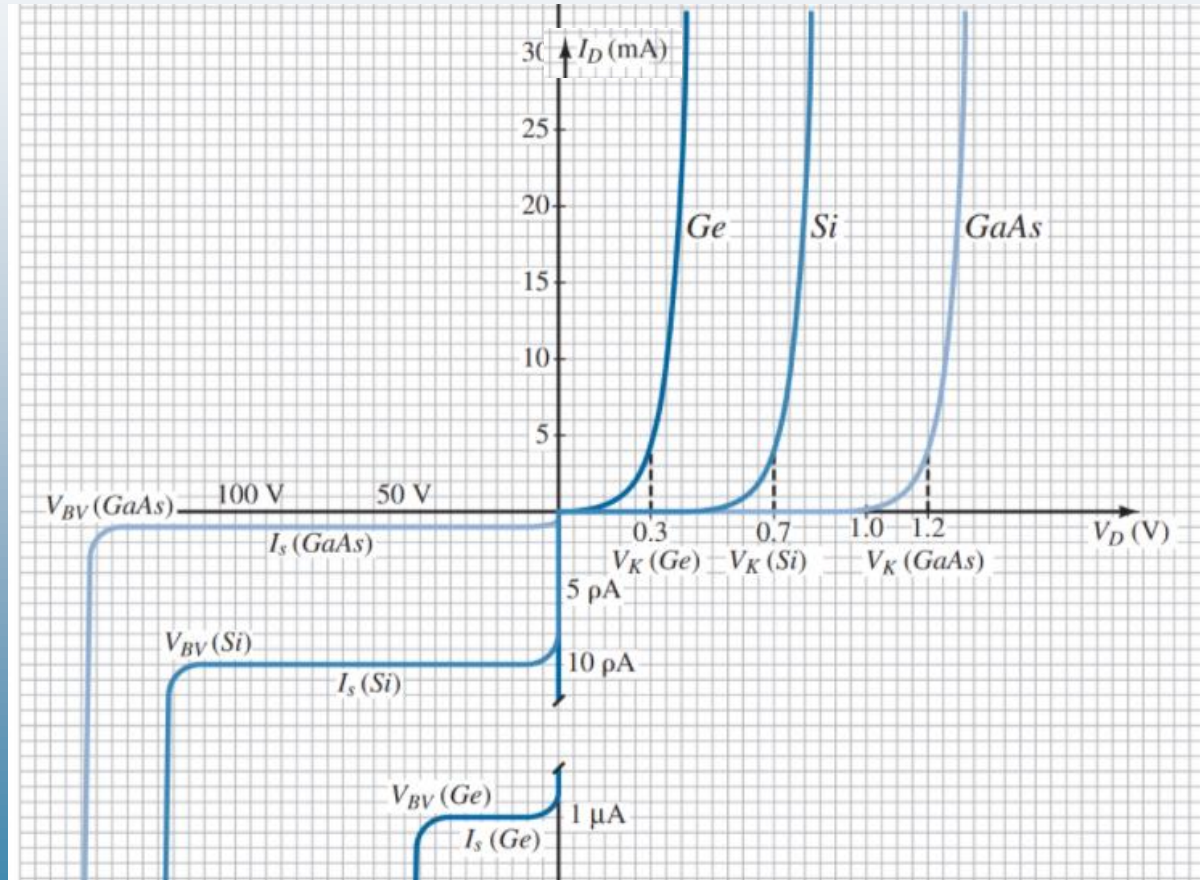
Her birinin e ik voltajı V_k olarak ifade edilmi tir.

İleri Yönde Polarlama Gerilimi (2)

- Ge, Si ve GaAs diyotlarının karşılaştırılması.

Germanyum en düşük
eşik voltaj değerine
sahip elementtir

Sızıntı akımın
sıralaması
 $Ge > Si > GaAs$



Sıcaklık Etkileri (1)

- Sıcaklıktaki artış diyota enerji katar.



İleri polarlama iletimi için gerekli ileri polarlama voltajını azaltır.

- Ters polarlama durumunda ters akım miktarını artırır.

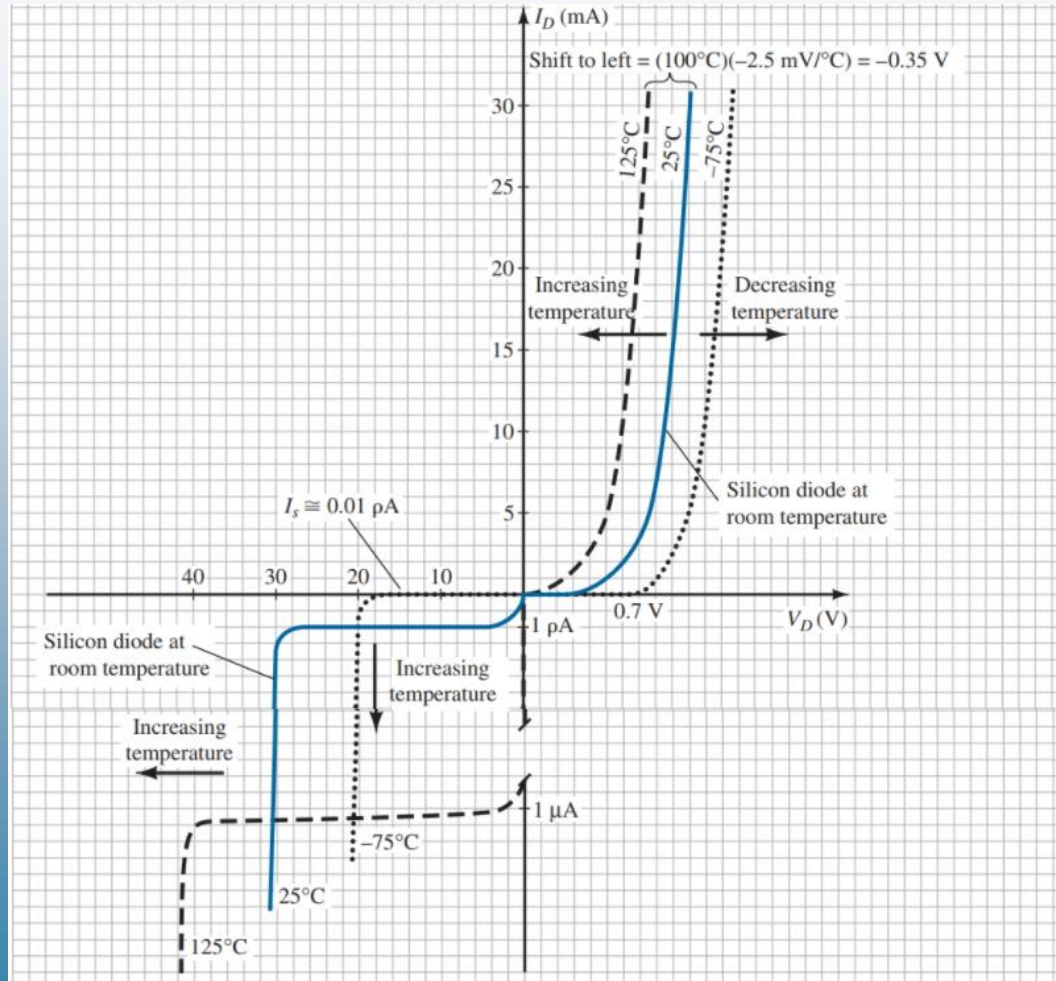


Maksimum ters polarlama **çığ voltajını** artırır.

- **Germanyum diyotları, sıcaklık değişimlerine silisyum veya galyum arsenit diyotlardan daha duyarlıdır.**

Bu yüzden günlük hayatta daha az kullanılırlar.

Sıcaklık Etkileri (2)



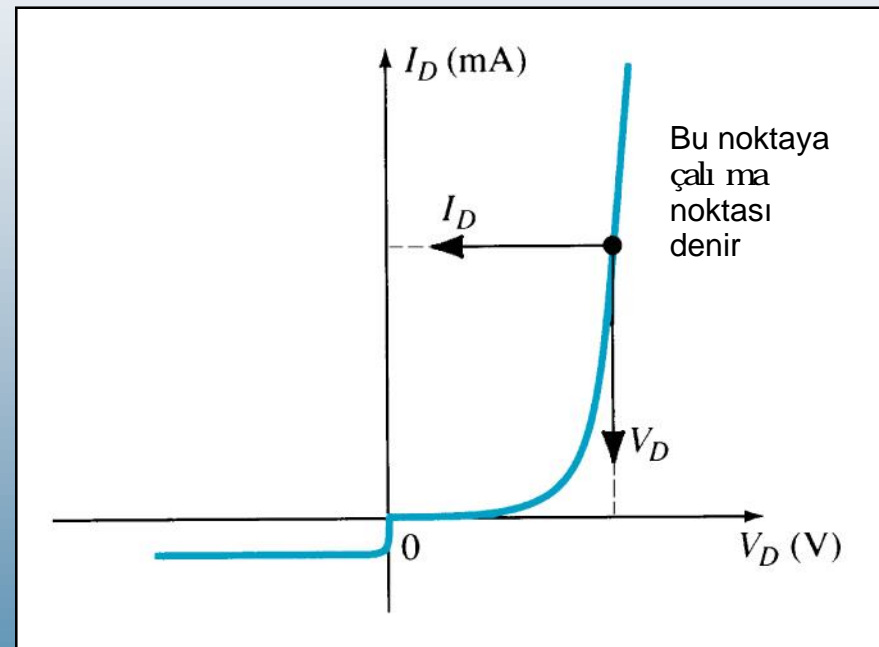
Direnç Düzeyleri

- Yarı iletkenler DC ve AC akımlarına farklı tepki verir.
- Üç çeşit direnç vardır:
 - DC (statik) direnç
 - AC (dinamik) direnç
 - Ortalama AC direnci

DC (Statik) Direnç

- Uygulanan belirli bir DC voltajı (V_D) için diyotun belirli bir akımı (I_D) ve belirli bir direnci (R_D) vardır.

$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$



AC (Dinamik) Direnç

- İleri yönde polarlama bölgesinde:

$$r'_d = \frac{26 \text{ mV}}{I_D} + r_B$$

- Direnç, diyottaki akım miktarına (I_D) bağlıdır.
- Diyot üzerindeki voltaj oldukça sabittir (25 °C için 26 mV).
- r_B , yüksek güçlü diyotlar için tipik olarak 0.1 Ω 'dan düşük; güçlü, genel amaçlı diyotlar için ise 2 Ω 'a kadar değişir. Bazı durumlarda r_B göz ardı edilebilir.

- Ters polarlama bölgesinde:

$$r'_d = \infty$$

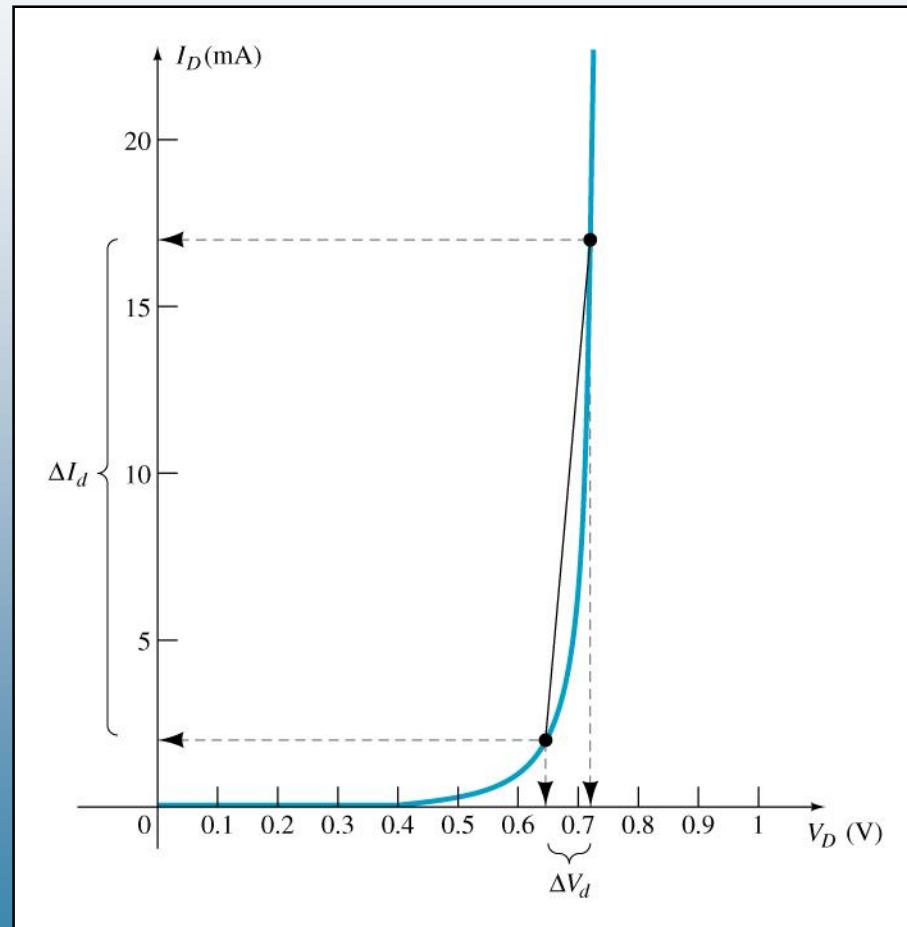
- Direnç fiilen sonsuzdur. Diyot açık devre gibi davranır.***

Ortalama AC Direnci

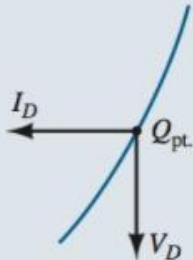
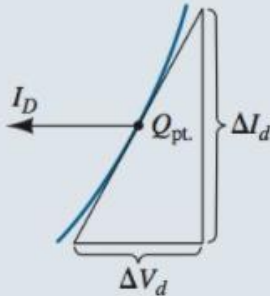
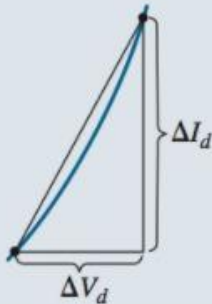
iki tane çalışma noktası arasındaki değişim ile hesaplanır.

$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \quad | \quad pt. to pt.$$

- AC direnci, diyot karakteristik eğrisi üzerindeki iki nokta için akım ve gerilim değerleri kullanılarak hesaplanabilir.

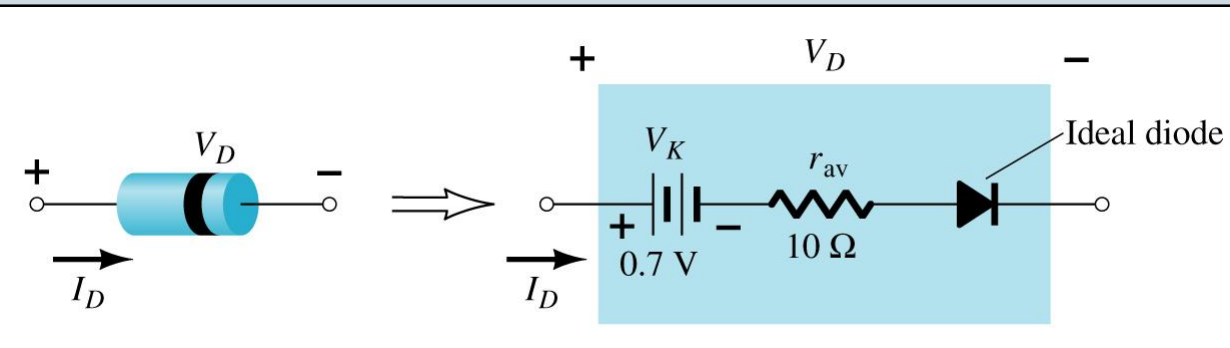


Direnç Düzeylerinin Özeti

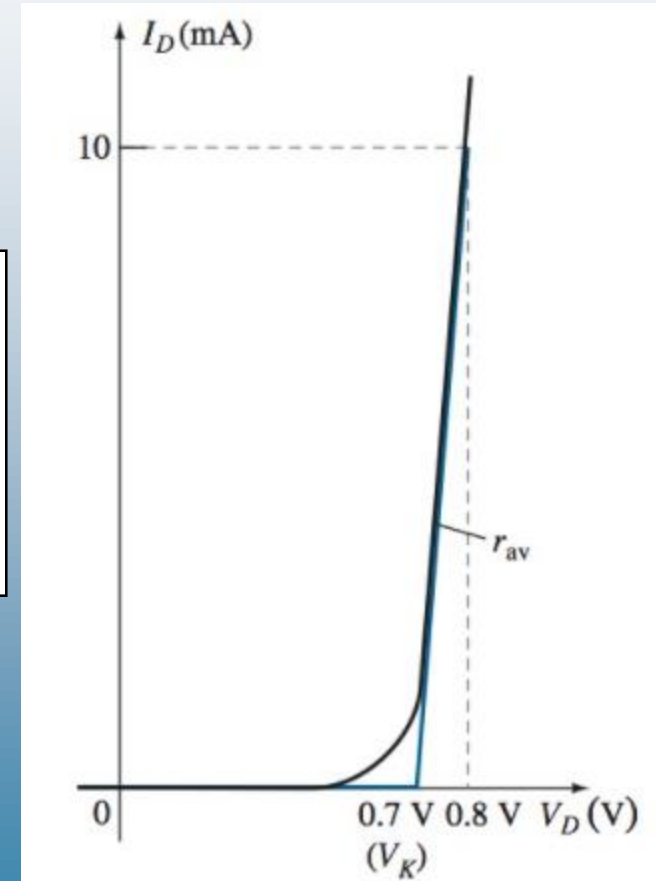
Type	Equation	Special Characteristics	Graphical Determination
DC or static	$R_D = \frac{V_D}{I_D}$	Defined as a point on the characteristics	
AC or dynamic	$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{26 \text{ mV}}{I_D}$	Defined by a tangent line at the Q -point	
Average ac	$r_{av} = \left. \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \right _{\text{pt. to pt.}}$	Defined by a straight line between limits of operation	

Diyot Eşdeğer Devresi (1)

- Parçalı Doğrusal Eşdeğer Devre

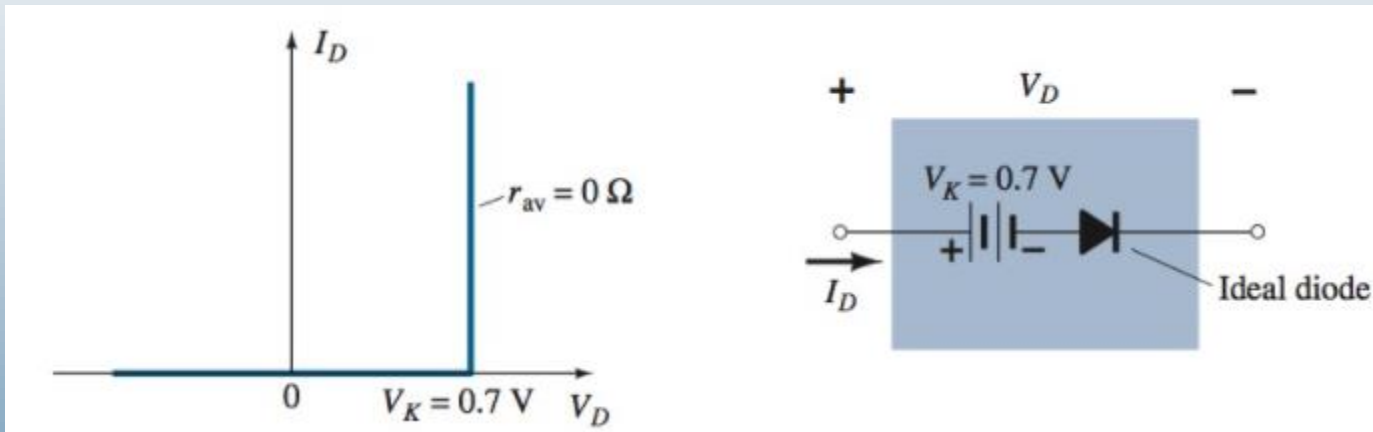


Diyotun analiz devre
eması bu ekildedir.



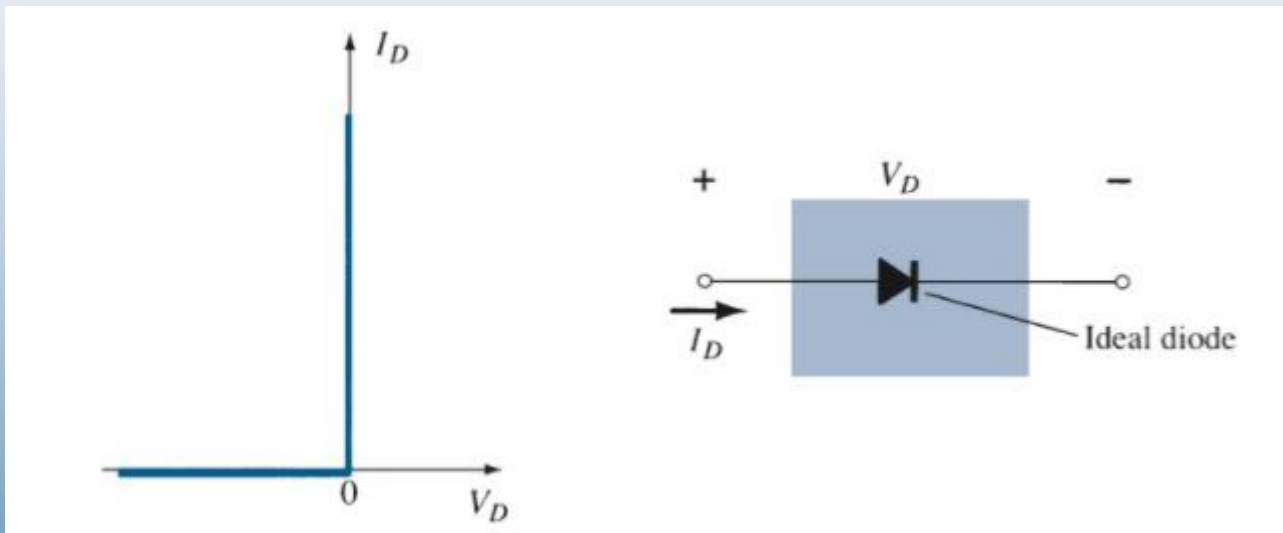
Diyot Eşdeğer Devresi (2)

- Basitleştirilmiş Eşdeğer Devre

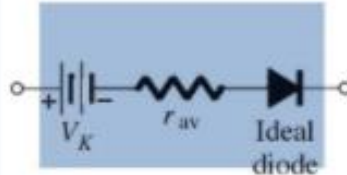
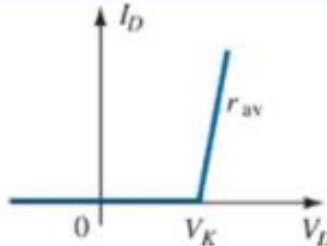
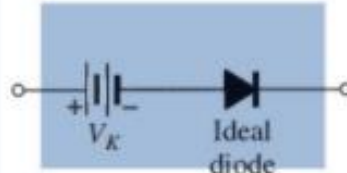
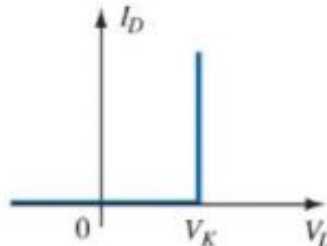

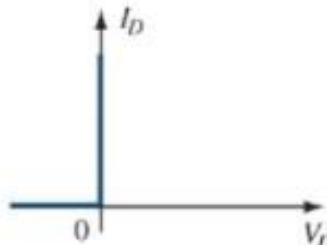


Diyot Eşdeğer Devresi (3)

- İdeal Eşdeğer Devre



Diyot Eşdeğer Devrelerin Özeti

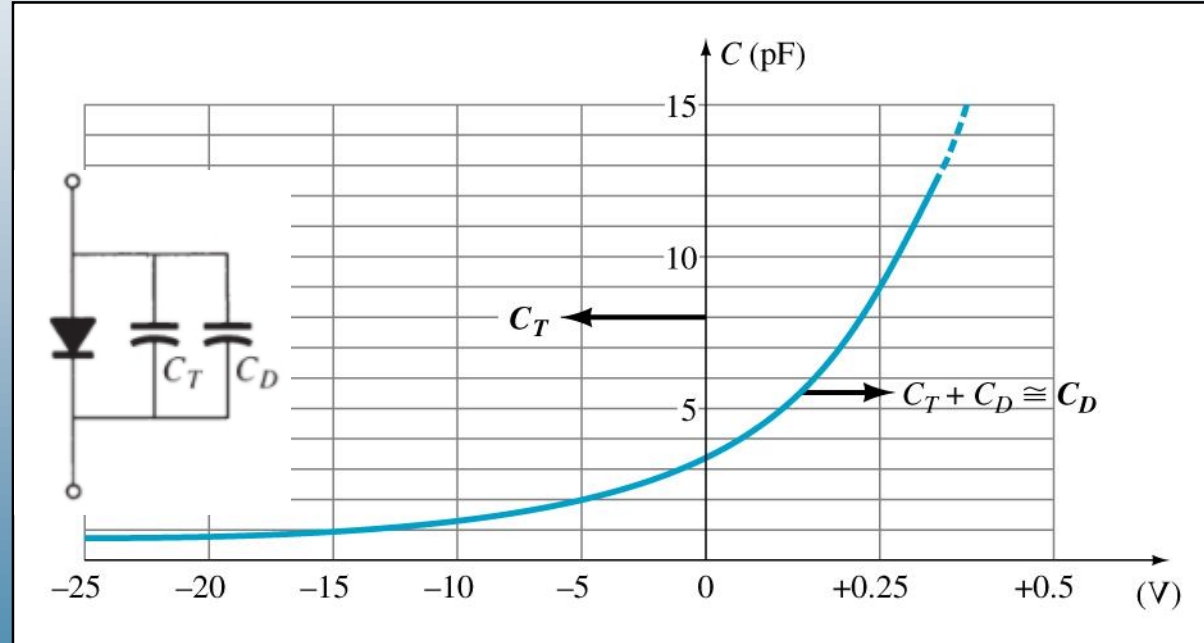
Type	Conditions	Model	Characteristics
Piecewise-linear model			
Simplified model	$R_{\text{network}} \gg r_{\text{av}}$		
Ideal device	$R_{\text{network}} \gg r_{\text{av}}$ $E_{\text{network}} \gg V_K$		

Diyot Kapasitansı

- Diyot ters polarlamalı olduğunda, tükenme katmanı çok büyük olur. Diyotun güçlü pozitif ve negatif kutupları geçiş kapasitansını (C_T) oluşturur. Kapasitans miktarı uygulanan ters gerilime bağlıdır.
- Diyot ileri yönde polarlandığında, diyot voltajı arttıkça difüzyon kapasitansı (C_D) oluşur.

$$C_T = \frac{C(0)}{(1 + |V_R/V_K|)^n}$$

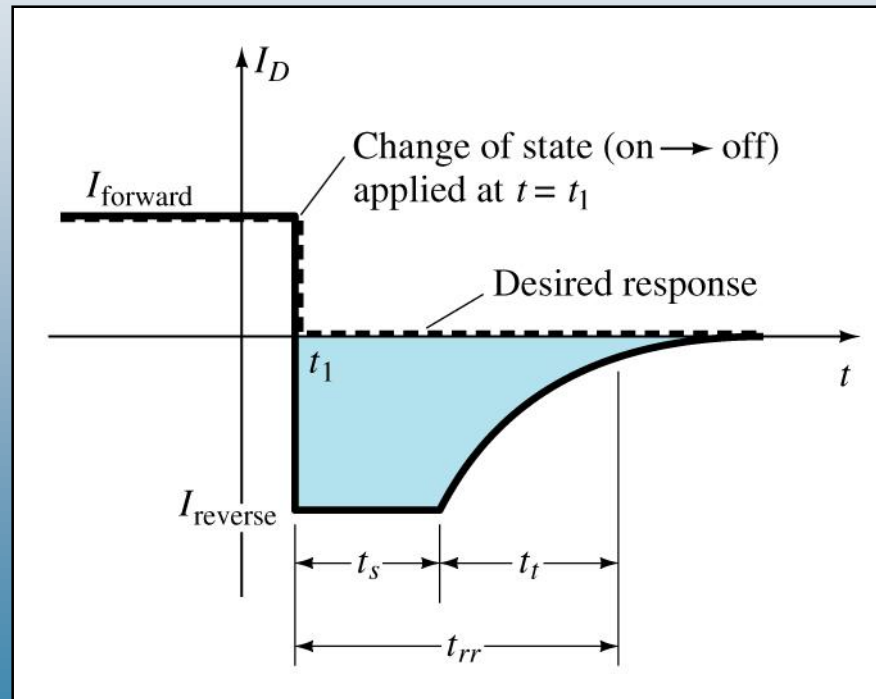
$$C_D = \left(\frac{\tau_r}{V_K} \right) I_D$$



Ters polarlamada C_T baskın, ileri polarlamada C_D baskın

Geri Kazanma Süresi (t_{rr})

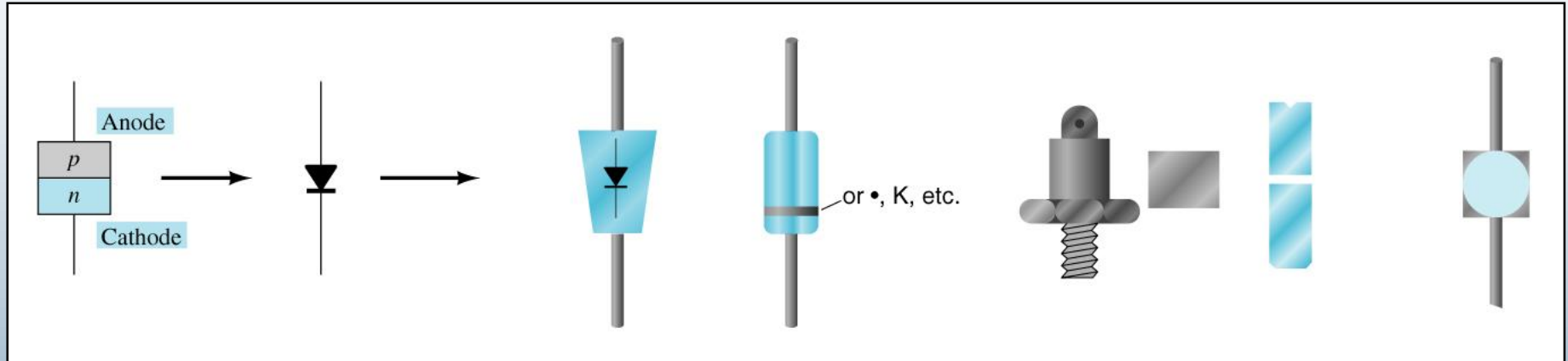
- Geri kazanma süresi, bir diyotun ileri yönde polarlamadan ters yönde polarlamaya geçtiğinde iletimi durdurması için gereken süredir.



Diyot Spesifikasyon Sayfaları


- **Diyot veri sayfaları, değiştirme veya tasarım için diyotların çapraz eşleşmesini kolaylaştıran standart bilgiler içerir.**
 1. Belirli bir akım ve sıcaklıkta ileri gerilim (V_F)
 2. Belirli bir sıcaklıkta maksimum ileri akım (I_F)
 3. Belirli bir voltaj ve sıcaklıkta ters polarlama akımı (I_R)
 4. Belirli bir sıcaklıkta ters voltaj derecesi, PIV veya PRV veya $V_{(BR)}$
 5. Belirli bir sıcaklıkta maksimum güç kaybı $P_{Dmax} = V_D I_D$
 6. Kapasitans seviyeleri
 7. Geri kazanma süresi, t_{rr}
 8. Çalışma sıcaklığı aralığı

Diyot Sembolü ve Ambalajı



- **Anot, A olarak kısaltılır**
- **Katot, K olarak kısaltılır**

Diyot Testi

- Diyotlar, genellikle aşağıdaki ekipman türlerinden biri kullanılarak test edilir:
- **Diyot denetleyicisi**
- **Ohmmetre** 

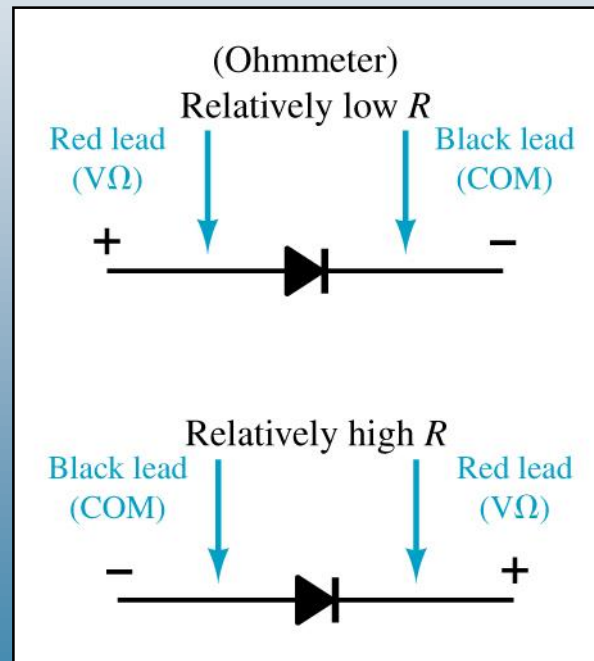
E er düzgün ba larsan
küçük bir direnç ters
ba larsan yüksek bir direç
okursun.
- **Eğri izleyici**

Diyot Denetleyicisi

- Birçok dijital multimetrenin bir diyot kontrol işlevi vardır. Diyot devre dışında test edilmelidir.
- Normal bir diyot ileri yönde polarlama voltajını gösterir:
 - **Galyum Arsenit diyot $\cong 1.2\text{ V}$**
 - **Silisyum diyot $\cong 0.7\text{ V}$**
 - **Germanyum diyot $\cong 0.3\text{ V}$**

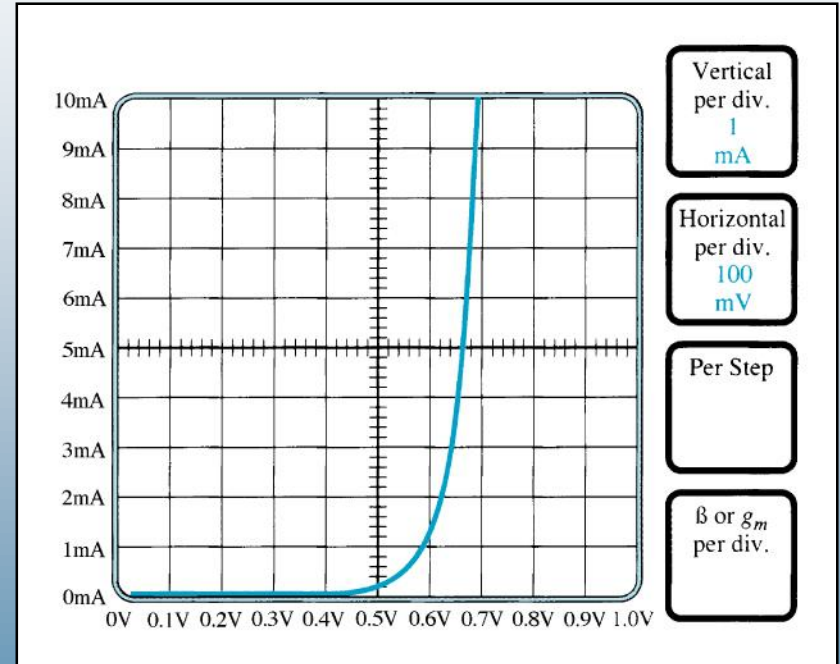
Ohmmetre

- Bir diyotu test etmek için düşük Ohm ölçeğine ayarlanmış bir ohmmetre kullanılabilir. Diyot devre dışında test edilmelidir.



Eğri İzleyici

- Bir eğri izleyici, test devresindeki bir diyotun karakteristik eğrisini gösterir. Bu eğri, bir veri sayfasından diyotun özellikleriyle karşılaştırılabilir.

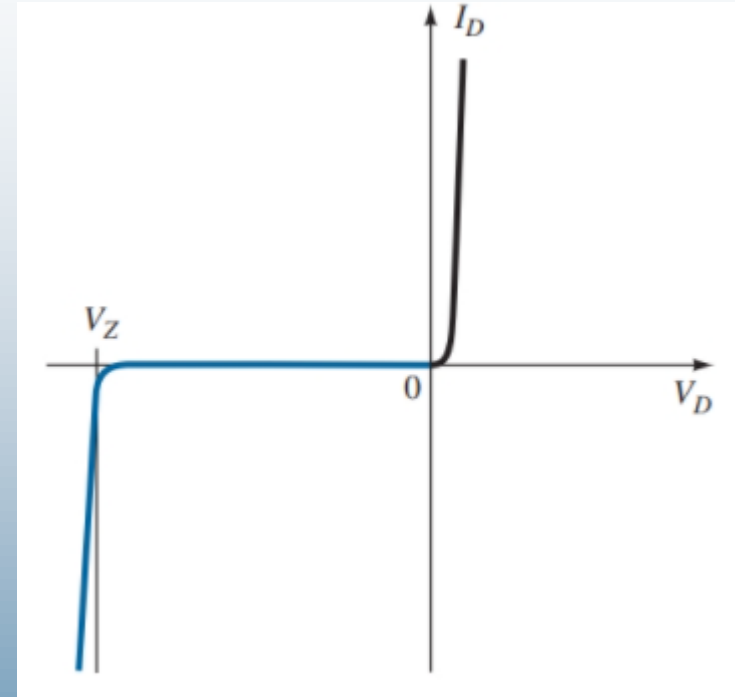
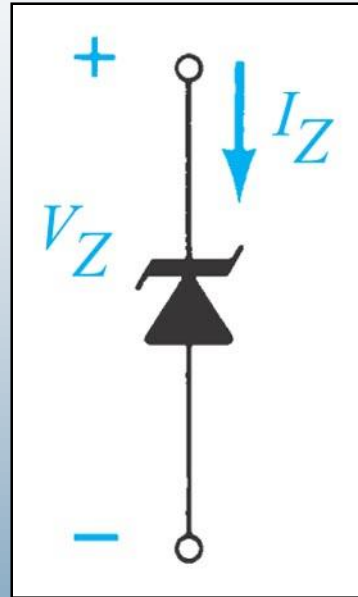


Diğer Diyot Türleri

- Standart p - n jonksiyon diyotunun yanı sıra birkaç tip diyot vardır. Daha yaygın olanlardan üçü aşağıda belirtilmiştir:
 - **Zener diyotları**
 - **Işık yayan diyotlar (LED)**
 - **Diyot dizileri**

Zener Diyotu

- Zener diyotu, kendi zener bölgesinde güvenli bir şekilde çalışmak üzere tasarlanmış olan bir diyottur; yani, zener voltajında (V_Z) polarlanmış.



- Zener diyot voltaj değerleri 1.8 V ile 200 V arasındadır.

Işık Yayan Diyot (LED)

- Bir LED, ileri yönde polarlanmış olduğu zaman, kızılötesi veya görünür spektrumda ışık yayar.

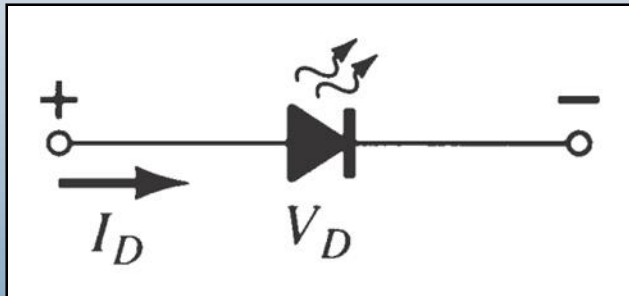


TABLE 9

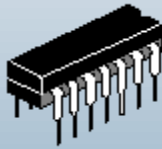
Light-Emitting Diodes

Color	Construction	Typical Forward Voltage (V)
Amber	AlInGaP	2.1
Blue	GaN	5.0
Green	GaP	2.2
Orange	GaAsP	2.0
Red	GaAsP	1.8
White	GaN	4.1
Yellow	AlInGaP	2.1

- İleri yönde polarlama voltajı genellikle 2 V ila 3 V aralığındadır.

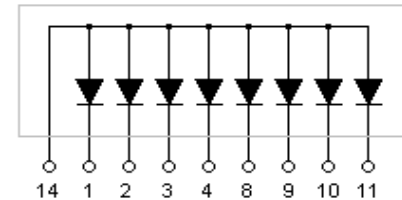
Diyot Dizileri

- Bir entegre devrede (IC) birden fazla diyot birlikte paketlenebilir.



- Çeşitli diyot konfigürasyonları mevcuttur.**

Common Anode



Common Cathode

