

## 1. YARI İLETKEN MALZEMELER

### 1.1 Giriş

Bir yarı iletken, bir izolatör(çok düşük iletkenlik) ile bakır gibi yüksek bir iletkenliğe sahip bir iletkenin sınırları arasında kalan bir iletkenlik düzeyine sahiptir. Bir maddenin yük akışına ve akıma karşı direnci iletkenliği ile ters orantılıdır.

Belli bir sıcaklıkta bir maddenin direncine ilişkin denklem,  $R[\Omega] = \frac{\rho[\Omega \cdot cm] \cdot l[cm]}{A[cm^2]}$  bağıntısı

ile verilir. Burada  $R$  ölçülen omik direnç,  $l$  malzeme örneğinin uzunluğunu,  $A$  malzemenin kesitini ve  $\rho$  da malzemenin özgül direncini göstermektedir.

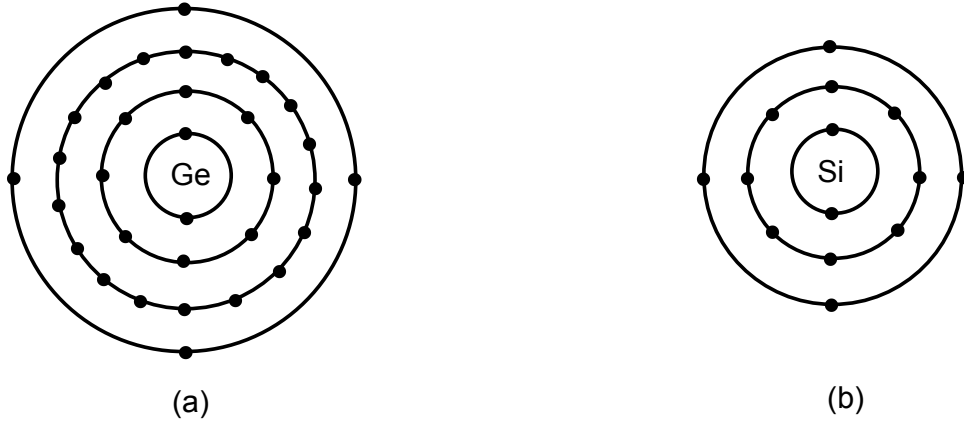
Üç genel madde kategorisi için tipik öz direnç değerleri tablo 1.1 de verilmiştir

Tablo 1.1 Tipik Öz direnç Değerleri

İletken	Yarı iletken	Yalıtkan
$\rho \cong 10^{-6} \Omega \cdot cm$ (bakır)	$\rho \cong 50 \Omega \cdot cm$ (germanyum) $\rho \cong 50 \cdot 10^3 \Omega \cdot cm$ (silisyum)	$\rho \cong 10^{12} \Omega \cdot cm$ (mika)

Germanyum ve Silisyum yarı iletkenlerinin dirençleri sıcaklıkla ters orantılıdır. Yani sıcaklık artarken dirençleri düşer. Bu nedenle bu malzemelere negatif sıcaklık katsayısına sahiptirler denir. Atom, elektron, proton ve nötron denen üç temel parçacıktan oluşur.

Şekil 1.1 de gösterildiği gibi germanyum atomunun 32 adet yörüngesel elektronu varken, silisyumun 14 adet elektronu vardır. Her bir durumda en dış kabuğunda 4 elektron bulunmaktadır. Bu 4 elektrondan herhangi birini uzaklaştırmak için gerekli olan potansiyel(iyonizasyon potansiyeli) yapıdaki herhangi başka bir elektronu uzaklaştırmak için gerekenden daha azdır.



Şekil 1.1 Germanyum ve silisyum atomunun yapısı

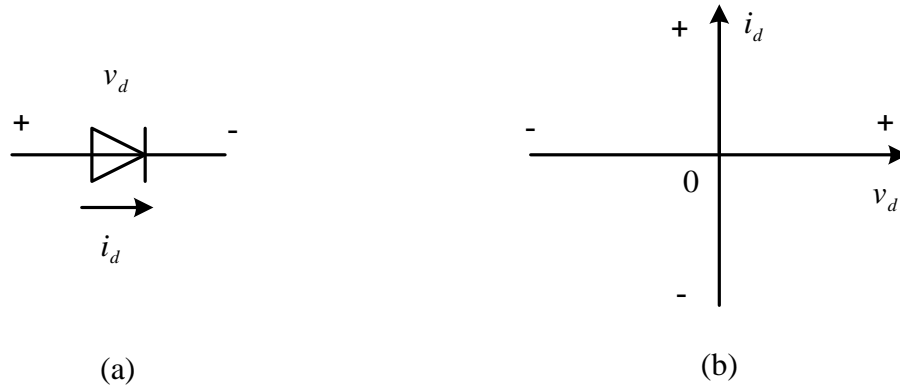
Yarı iletken malzemelerin karakteristikleri, nispeten saf yarı iletken malzemeye, bazı katkı atomları eklenerek önemli ölçüde değiştirilebilir. Bu katkılama işlemine tabi tutulan yarı iletken malzemeye katkılı malzeme denir. Yarı iletken eleman üretiminde n-tipi ve p-tipi olmak üzere iki tip katkılı malzeme vardır. n ve p-tipi malzemeler yarı iletken elemanların temel yapı taşlarını oluşturur. Aynı zamanda n-tipi malzemenin p-tipi malzeme ile birleştirilmesi, elektronik sistemlerde oldukça önemli bir yarıiletken eleman oluşturmaktadır.

## 1.2 İdeal diyot

Yarı iletken elemanların en basiti olan diyotlar, basit bir anahtarınkine benzeyen karakteristikleri ile elektronik sistemlerde çok önemli rol oynarlar.

İdeal diyot sırasıyla aşağıdaki iki şekilde gösterilen sembol ve karakteristiklere sahip iki uçlu bir elemandır.

Uygulanan gerilimin polaritesi şekil 1.2(a) daki gibi ise, şekil 1.2(b) de karakteristiğin göz önünde tutulacak parçası, dikey eksenin sağıdır. Ters bir gerilim uygulanırsa, solda verilen karakteristikler geçerli olacaktır. Diyottan geçen akım (a) daki gibi ise, karakteristiğin dikkate alınacak bölümü yatay eksenin üstüdür. Tersine bir durum, karakteristiğin yatay eksenin altında kalan kısmının kullanılmasını gerektirir.



Şekil 1.2 İdeal diyot gösterimi ve karakteristiği

Diyota ilişkin önemli parametrelerden bir tanesi, çalışma bölgesi veya noktasındaki dirençtir. Yukarıdaki şekilde  $i_d$  nin yönü ve  $v_d$  nin polaritesi ile tanımlanan bölgeyi dikkate alacak olursak, ohm kanunu ile belirlenen ileri yön direnci  $R_f$  nin değerinin;

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{0}{\text{pozitif deger}} = 0 \Omega$$

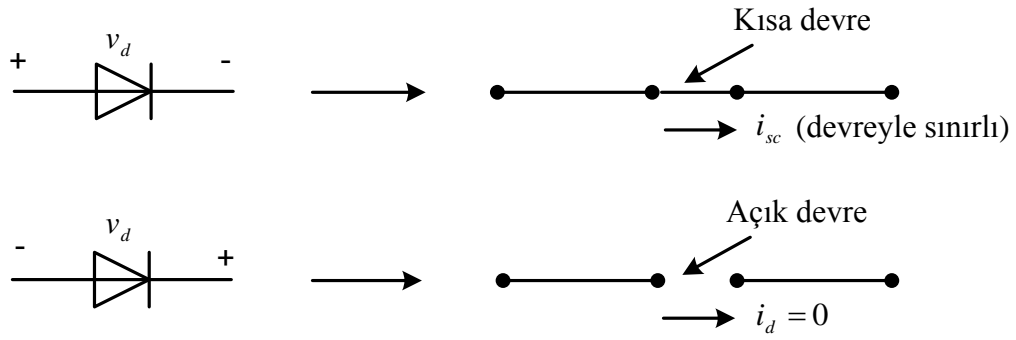
olduğunu buluruz. Burada  $V_f$ , diyot üzerindeki ileri yön gerilimi ve  $I_f$  ise diyottan geçen ileri yön akımıdır. Bu nedenle ideal diyot, ileri yönde iletim bölgesi için kısa devre elemanıdır ( $i_d \neq 0$ ). Yukarıdaki şekilde, ters yönde uygulanan potansiyele ilişkin bölüme bakacak olursak(üçüncü çeyrek),  $R_r$  nin değerinin;

$$R_r = \frac{V_r}{I_r} = \frac{-5, -20 \text{ veya ters yonde herhangi bir potansiyel degeri}}{0}$$

= çok büyük bir sayı yani( $\infty$ ) kabul edeceğiz.

olduğunu buluruz. Burada  $V_r$ , diyot üzerindeki ters yön gerilimi ve  $I_r$  ise diyottan ters yönde akan akımdır. Bu nedenle ideal diyot, iletim olmadığı bölgede bir açık devre elemanıdır ( $i_d = 0$ ).

Şekil 1.3 deki gibi durumu özetlersek;

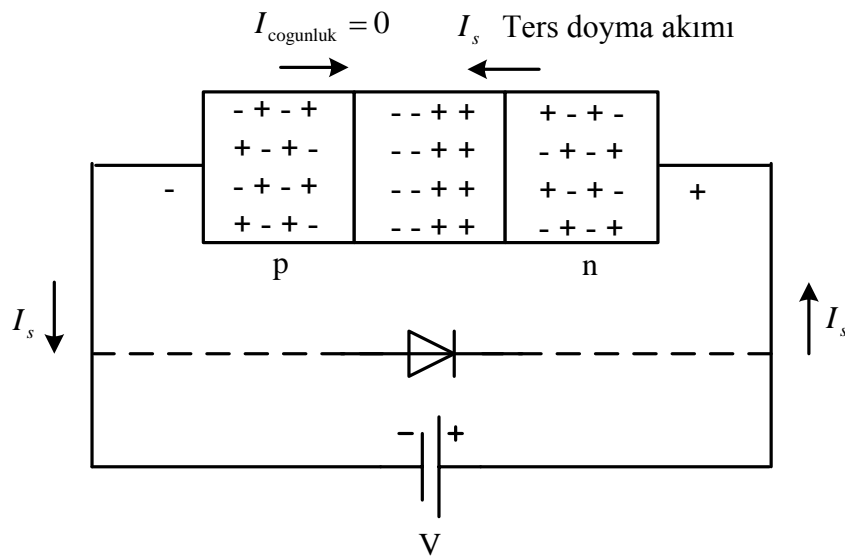


Şekil 1.3 İleri ve tersine öngerilimlenmiş diyot eşdeğeri

Yarı iletken diyot, daha önce bahsettiğimiz üzere n ve p-tipi malzemeler, ileri teknoloji kullanılarak bir araya getirilmek suretiyle oluşturulur.

### 1.3 Ters öngerilimleme durumu

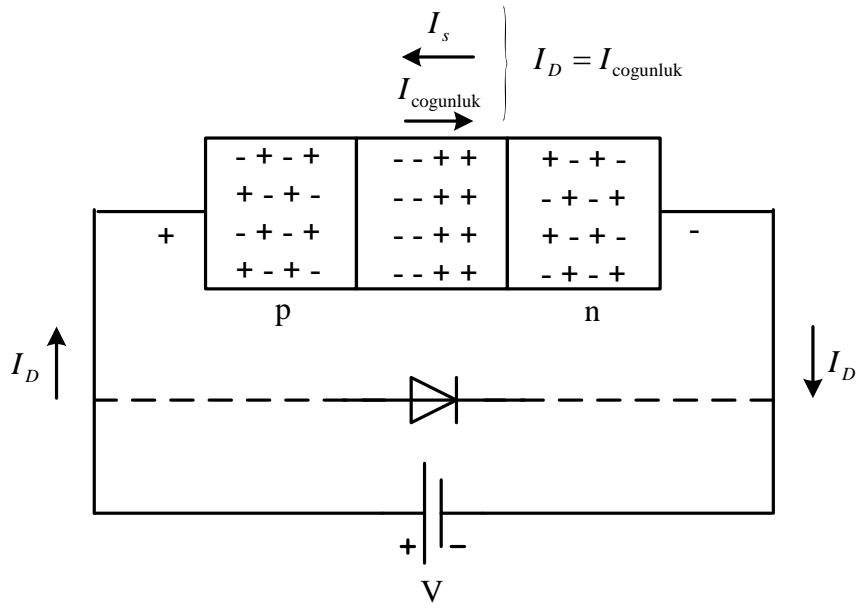
Bu akım, bazı yüksek güç elemanları dışında, ender olarak birkaç mikroamperi aşan büyüklüktedir. Terimdeki “doyma” kelimesi, bu akımın azami değerine çabucak ulaşması ve tersine öngerilimleme potansiyelindeki artışla beraber önemli ölçüde değişmemesi gerçeğine dayanmaktadır.



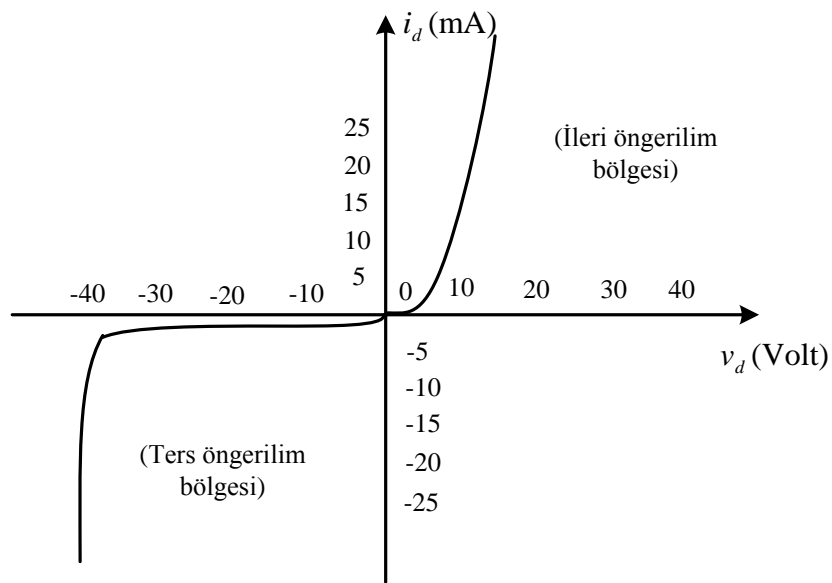
Şekil 1.4 Ters öngerilimlenmiş p-n jonksiyonu

### 1.4 İleri öngerilimleme durumu

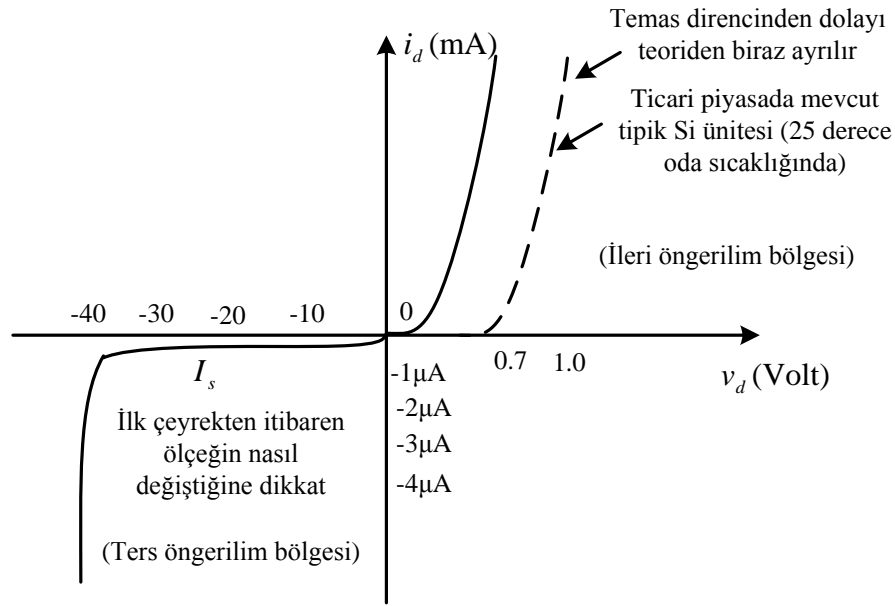
İleri öngerilimleme durumu, şekil 1.5 de gösterildiği gibi, p-tipi malzemeye pozitif potansiyel ve n-tipi malzemeye de negatif potansiyel uygulanarak sağlanır. Şekil 1.6 dan da görüldüğü üzere, çoğunluk taşıyıcısı akışı, ileri öngerilimlemenin artışıyla birlikte üstel olarak artacaktır. İlk bölge ileri öngerilimleme bölgesini temsil etmektedir.



Şekil 1.5 İleri öngerilimlenmiş p-n jonksiyonu



Şekil 1.6 En genel diyot karakteristiği



Şekil 1.7 Yarıiletken Si diyot karakteristiği

Katı hal fiziği kullanılarak, diyot akımı ile sıcaklık ( $T_k$ ) ve uygulanan öngerilim ( $V$ ) arasında aşağıdaki matematiksel ilişki kurulabilir.

$$I = I_s (e^{kV/T_k} - 1)$$

Burada  $I_s$  ters yönde doyma akımı,  $k = 11600/\eta$  ve  $i_d$  nin küçük değerleri için, germanyumda  $\eta = 1$ , silisyumda  $\eta = 2$  dir. Karakteristiğin düşey kısmında ise hem Ge ve hem de Si için  $\eta = 1$  dir.

$$T_k = T_c + 273 \text{ (} T_k = {}^0 K, T_c = {}^0 C \text{)}$$

Yukarıdaki denklem şekil 1.7 deki eğrileri temsil etmek suretiyle, 0,5 voltluk ileri öngerilimleme voltajının oda sıcaklığında ( $25^0 C$ ) yaratacağı  $I$  akımını bulalım.

$$I_s = 1 \mu A = 1 \times 10^{-6} A$$

$$T_k = T_c + 273^0 = 25^0 + 273^0 = 298^0$$

$$k(Si) = \frac{11600}{2} = 5800$$

$$\frac{kV}{T_k} = \frac{(5800) \times (0.5)}{298} = 9.732$$

$$I = I_s (e^{9.732} - 1) = (1 \times 10^{-6}) \times (16848 - 1) = 16.848 \times 10^{-3} \cong 16.8 \text{ mA}$$

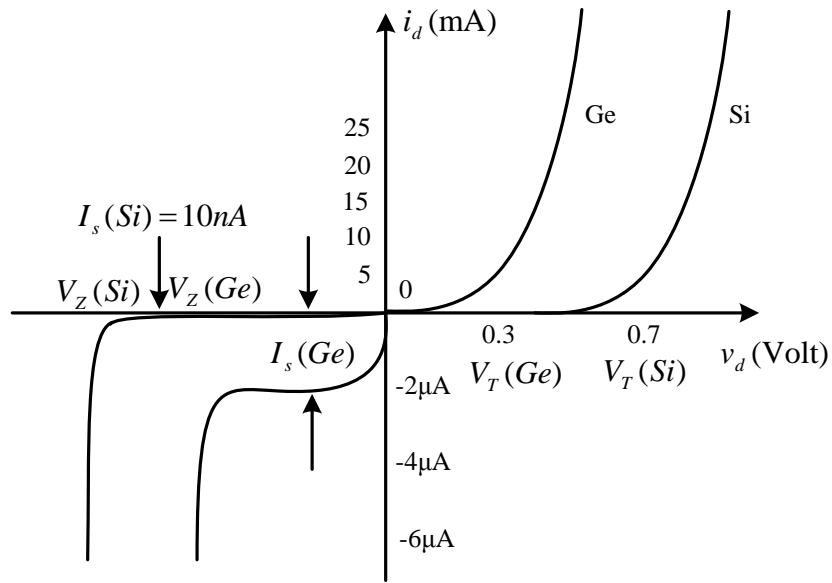
Tersine öngerilimleme bölgesinde, ters yönde doyma akımı  $I_s$  nin sıcaklıktaki her  $10^0 C$  lık değişim için şiddetinin hemen hemen ikiye katlandığı deneysel olarak görülmüştür. Tersine öngerilimleme bölgesinde bu şiddetteki akım düzeyleri, tersine öngerilimleme bölgesinde görmek istediğimiz açık devre durumunun gerçekleşmesine gölge düşürecektir. Silisyum tipik değerleri, benzer akım ve güç düzeylerinde germanyumunkinden çok daha düşüktür. Bunun sonucu olarak yüksek sıcaklıklarda bile silisyum  $I_s$  değerleri germanyum da görülen yüksek değerlere ulaşmaz ve bu da silisyum elemanlarının tasarımda daha çok kullanılmasının en önemli nedenlerindendir.

### 1.5 Zener bölgesi

Şekil 1.8 de,  $V_z$  ters yönde öngerilimleme potansiyeli altında karakteristiğin nasıl keskin biçimde değiştiğine dikkat edelim. Bu sabit gerilim etkisi, diyot üzerindeki ters yönde büyük bir öngerilimleme düzeyinden kaynaklanmaktadır. Uygulanan ters yönlü potansiyel negatif yönde daha da arttırıldıkça, yüksek bir ıg akımının oluşturulup, ıg kırılma bölgesinin belirlendiği noktaya kadar iyonizasyon sürecine katkıda bulunabilirler.

Çıg bölgesi ( $V_z$ ) p ve n- tipi malzemelerdeki katkı düzeyleri yükseltilerek düşey eksene daha da yaklaştırılabilir. Ancak,  $V_z$  örneğin -5V gibi çok düşük düzeylere indikçe, zener kırılması denen başka bir mekanizma, karakteristikteki keskin değişime katkıda bulunacaktır. Zener kırılması ancak düşük  $V_z$  düzeylerinde önemli bir katkı durumunda olsa da, karakteristik üzerinde, herhangi bir düzeyde keskin değişim olduğu bölgeye zener bölgesi ve p-n jonksiyonunun karakteristiğinin bu özgün kısmını kullanan diyotlara da zener diyotları denir.

Ters gerilim bölgesine ilişkin karakteristikte görülen keskin değişimin, herhangi bir sistemin cevabını tümüyle değiştirmesi istenmiyorsa, söz konusu yarı iletken diyotun, zener bölgesinde çalıştırılmaması gerekir. Bu bölgeye girmeksizin uygulanabilecek maximum tersine öngerilimleme potansiyeline(PIV), ters tepe gerilimi denmektedir.



Şekil 1.8 Yarıiletken Ge ve Si diyot karakteristiği

### 1.6 Germanyum ve silisyum diyotların karşılaştırılması

Silisyum diyotların, genelde germanyum diyotlara göre daha yüksek bir tersine öngerilimleme potansiyeli ve akım değeri ile daha geniş bir sıcaklık aralığı vardır. Silisyum için PIV değerleri 1000V' a yakın olabilirken, germanyum için maximum değer 400V' a yakındır. Silisyum  $200^{\circ}C$ ' ye kadar sıcaklıklarda kullanılabilirken, germanyumda maximum sıcaklık çok daha düşüktür ( $100^{\circ}C$ ). Ancak germanyuma kıyasla silisyumun dezavantajı, yukarı salınım bölgesine ulaşmak için daha yüksek bir ileri öngerilim düzeyinin gerekli olmasıdır. Piyasadan satın alınan silisyum diyotlarda bu değer 0,7V iken, germanyum diyotlar için 0,3V dur. Silisyumdaki daha yüksek sapma,  $\eta$  faktöründen kaynaklanmaktadır. Bu faktör eğrinin daha düşük akım düzeylerindeki şeklini belirlemede rol oynar. Eğri dikey olarak yükselmeye başladıktan sonra  $\eta$  katsayısı 1'e iner (germanyum için sürekli değer). Bu yükselmenin başladığı potansiyel, genelde sapma, eşik veya ateşleme potansiyeli olarak anılır.

Kısaca;  $V_T = 0.7 \text{ Volt (Si)}$  ve  $V_T = 0.3 \text{ Volt (Ge)}$

Açıkça görüleceği gibi, yukarı salınım dikey eksene ne kadar yakınsa, elemanda da o ölçüde “ideal” olacaktır. Ancak germanyuma kıyasla silisyumun diğer karakteristikleri, onun, ticari elemanlarının çoğunluğunda tercih edilmesini sağlamaktadır.



### 1.7 DC veya statik direnç

Diyotun belli bir çalışma noktasındaki direncine, DC veya statik direnci denir ve şekil 1.9 gözönüne alınmak suretiyle aşağıdaki gibi hesaplanır.

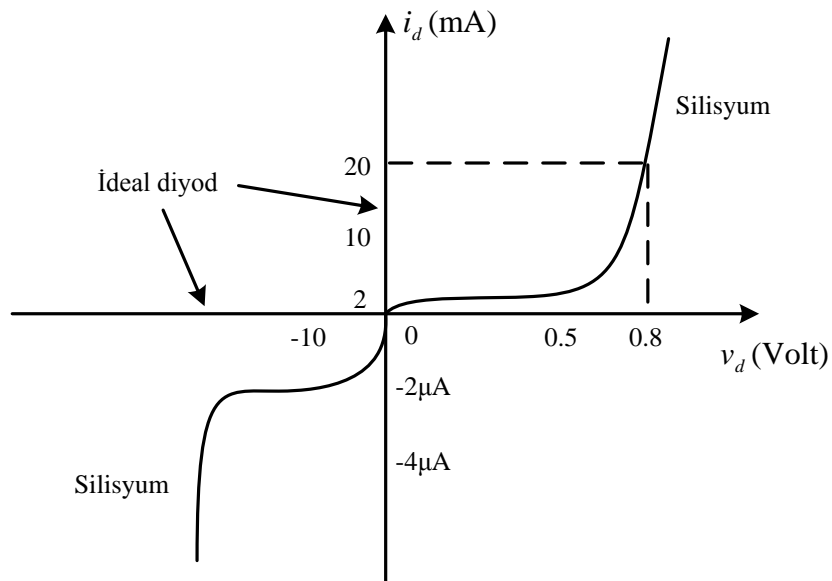
$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D}$$

Aşağıdaki şekli ideal diyot kabul edersek,  $I_D = 20mA$  deki dc direnci,

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0}{20mA} = 0\Omega \text{ olur.}$$

Buna karşılık silisyum diyotun dc direnci ise,

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.8V}{20mA} = 40\Omega \text{ olur.}$$



Şekil 1.9 Örnek silisyum diyot karakteristiği

$I_D = 2 \text{ mA}$  de ideal diyotun direnci  $0 \Omega$  olarak kalır iken silisyum diyotun direnci ise

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.5 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 250 \Omega$$

olur. Sonuçlar, ileri öngerilimleme bölgesindeki bir diyotun DC direncinin, daha yüksek gerilim ve akımlara yaklaştıkça azaldığını göstermektedir.

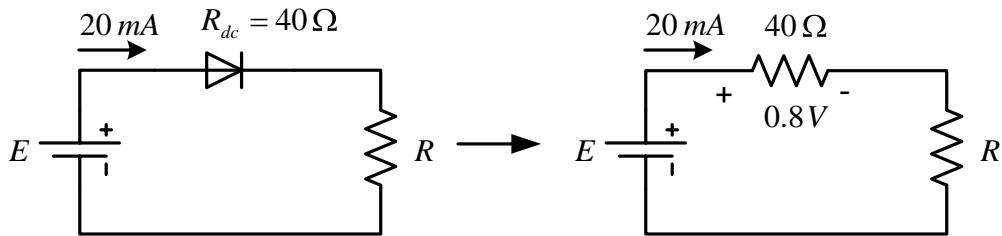
$V_d = -10 \text{ V}$  'daki ters yönde öngerilimleme bölgesinde ideal diyot direnci, teorik olarak(açık devreye karşılık gelecek biçimde) sonsuzdur ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{-10}{0} = \infty \Omega$$

Silisyumun direnci ise;

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{-10 \text{ V}}{-2 \mu\text{A}} = 5 \times 10^6 \Omega$$

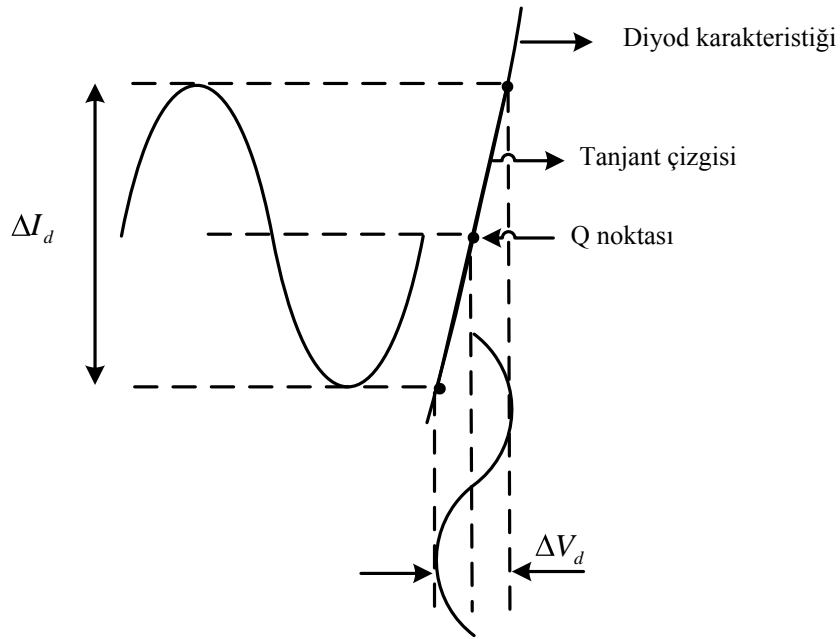
olur. Bu değer de birçok uygulama için açık devreye karşılık gelir. Belirli bir çalışma noktasında dc direnci bulunduktan sonra, diyotun yerine şekil 1.10 da gösterildiği gibi bir direnç elemanı konularak analize devam edilir.



Şekil 1.10 Örnek devre

### 1.8 AC veya dinamik direnç

Şekil 1.9 dan da açıkça görüleceği üzere, bir diyotun dc direnci, söz konusu noktayı çevreleyen bölgedeki karakteristiğin biçiminden bağımsızdır. Doğru gerilim yerine sinüzoidal bir giriş uygulandığında durum tamamıyla değişecektir. Değişken giriş, karakteristiğin bir bölgesinde anlık çalışma noktasını aşağı-yukarı hareket ettirecek ve şekil 1.11 de gösterildiği gibi akım ve gerilimde özel bir değişimi gösterecektir. Değişken bir sinyal uygulanmadığı takdirde çalışma noktası, uygulanan dc düzeyleri tarafından belirlenen ve aşağıdaki şekilde gösterilen Q noktası olacaktır.



Şekil 1.11 Diyotun ac direncinin hesaplanması

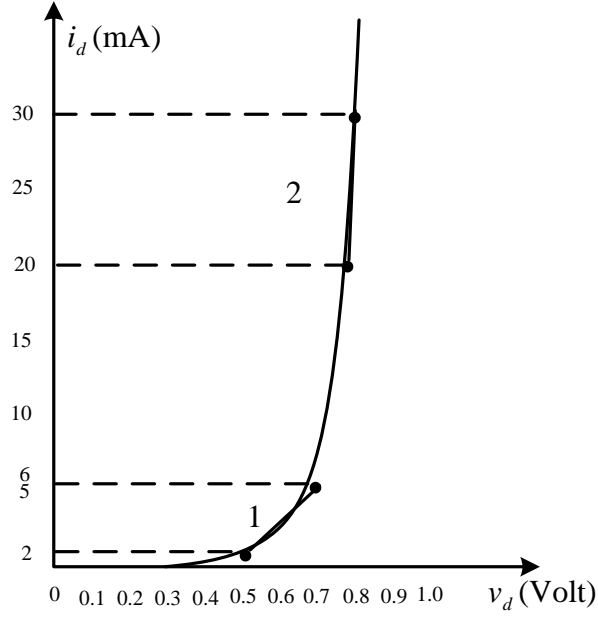
Q noktasından geçen eğriye çizilen teğet, diyot karakteristiğinin bu bölgesi için ac veya dinamik direnci hesaplarken kullanılabilecek akım ve gerilimdeki değişimi tamamlayacaktır. Denklem şeklinde yazmak gerekirse aşağıdaki gibi olur.

$$r_{ac} = r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$

Eğim ne kadar dik ise  $\Delta I_d$  'deki aynı değişmeye karşılık  $\Delta V_d$  'nin değeri o kadar düşük ve dolayısıyla direnç de o kadar küçük olacaktır. Dolayısıyla düşük akım düzeylerinde ac direnci çok daha büyükken, yüksek akım düzeyindeki ac direnci oldukça küçüktür.

**Örnek:** Şekil 1.12 deki karakteristik için;

1. bölge için ac direncini bulunuz.
2. bölge için ac direncini bulunuz.
- a ve b kısımlarının sonuçlarını karşılaştırınız.



Şekil 1.12 Diyotun ac direncinin hesaplanmasına örnek

a ) 1. bölge için,

$$\Delta V_d \cong 0.72 - 0.57 = 0.15 \text{ V}$$

$$\Delta I_d \cong 6 - 2 = 4 \text{ mA}$$

$$r_{d1} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.15 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 37.5 \Omega$$

b ) 2. bölge için;

$$\Delta V_d \cong 0.8 - 0.78 = 0.02 \text{ V}$$

$$\Delta I_d \cong 30 - 20 = 10 \text{ mA}$$

$$r_{d2} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.02 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 2 \Omega$$

$$\text{c) } \frac{r_{d1}}{r_{d2}} = \frac{37.5}{2} = \frac{18.75}{1} = 18.75$$

Bir fonksiyonun bir noktadaki türevi, o noktadan çizilen bir teğetin eğimine eşittir. Bu nedenle  $r_{ac} = r_d = \Delta V_d / \Delta I_d$  denklemi, esasta fonksiyonun Q çalışma noktasındaki türevini almaktır. Yarı iletken diyot için  $I = I_s (e^{kV/T_k} - 1)$  genel denkleminin uygulanan ileri ön gerilime göre türevini bulup, sonucu tersine çevirecek olursak, bu bölge için dinamik veya ac direncinin denklemini buluruz. Yani;

$$\frac{d(I)}{dV} = \frac{d}{dV} [ I_s ( e^{kV/T_k} - 1 ) ]$$

$$\frac{dI}{dV} = \frac{k}{T_k} \times (I + I_s)$$

Burada  $I$ ,  $I_s$  den çok büyük olduğundan,  $I_s$  ihmal edilebilir. Bu durumda;

$$\frac{dI}{dV} = \frac{k}{T_k} \times I$$

Ge ve Si için karakteristiğin düşey-yükseliş bölümünde  $\eta = 1$  koyarsak,

$$k = \frac{11600}{\eta} = \frac{11600}{1} = 11600 \text{ elde ederiz. Oda sıcaklığında}$$

$$T_k = T_c + 273^0 = 25^0 + 273^0 = 298^0 K$$

$$\frac{k}{T_k} = \frac{11600}{298} = 38.93$$

$$\text{Böylece } \frac{dI}{dV} = 38.93 \times I$$

Direnç ifadesini elde etmek için sonucu tersine çevirirsek;

$$\frac{dV}{dI} \cong \frac{0.026}{I}$$

$$r_d = \frac{dV}{dI} = \frac{26 \text{ mV}}{I_D (\text{mA})} \Big|_{\text{Ge, Si}}$$

Buradan görülmektedir ki; diyot akımının sükunet değerini eşitlikte yerine koyarak dinamik direnç bulunabilir.

Yarı iletken elemanın gövde ve temas direncinden dolayı ticari bir elemanın karakteristiklikleri, belirlenenlerden küçük farklılıklar göstermektedir. Bu ek direnç düzeyi, yukarıdaki denkleme,  $r_B$  olarak adlandırılan bir faktör eklenerek dahil edilebilir.

$$r_d' = \frac{26 \text{ mV}}{I_d (\text{mA})} + r_B$$

Burada  $r_B$  faktörü, yüksek güce sahip elemanlar için tipik olarak  $0,1 \Omega$  değerinden, bazı genel amaçlı düşük güçlü diyotlar için  $2 \Omega$  değerine kadar değişebilmektedir. Düşük akım düzeyleri için, yukarıdaki denklemin ilk terimi ağır basar. Örneğin,  $I_D = 1 \text{ mA}$  için  $r_B = 2 \Omega$  olduğunu varsayalım. O halde;

$$r_d' = \frac{26}{1} + 2 = 26 + 2 = 28 \Omega$$

olur. Daha yüksek akım düzeylerinde ikinci terim ağır basar. Örneğin  $I_D = 52 \text{ mA}$  için  $r_B = 2 \Omega$  olduğunu varsayalım. O halde;

$$r_d' = \frac{26}{52} + 2 = 0.5 + 2 = 2.5 \Omega$$

olur. Yukarıdaki örnekte  $25 \text{ mA}$  deki ac direnci  $2 \Omega$  olarak hesaplanmıştı.  $r_d = dV / dI$  denklemini kullanırsak;

$$r_d = \frac{dV}{dI} = \frac{26 \text{ mV}}{25 \text{ mA}} = 1.04 \Omega$$

değeri elde edilir. Bu  $1\Omega$  kadarlık fark  $r_b$  nin etkisi olarak düşünülebilir.  $I_D = 4\text{ mA}$  de ac direnci  $37.5\Omega$  olarak hesaplanmıştı. Yine yukarıdaki denklemi kullanırsak;

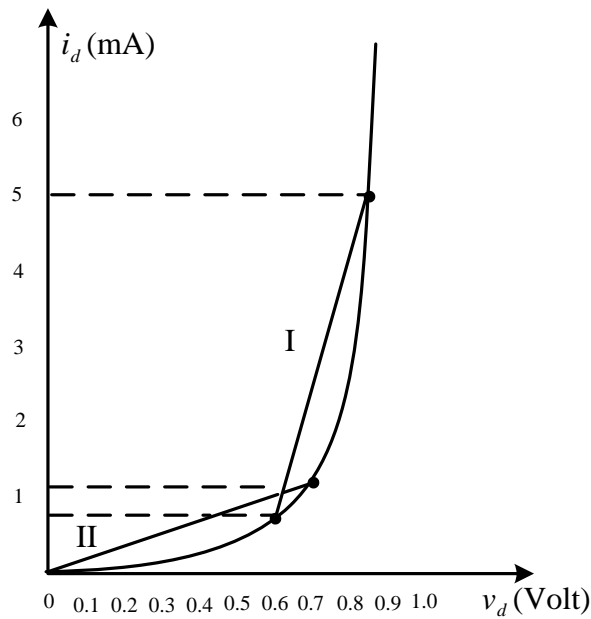
$$r_d = \frac{26\text{ mV}}{I_d(\text{mA})} = \frac{26\text{ mV}}{4\text{ mA}} = 6.5\Omega$$

elde edilir ki; bu da  $37.5\Omega$  dan oldukça farklıdır. Bu ise  $\eta=1$  seçilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda  $\eta=1$  değerinin, karakteristiklerinin düşey-yükseliş kısımları için tanımlı olduğu unutulmamalıdır.

### 1.9 Ortalama ac direnci

Ortalama ac direnci, giriş geriliminin en yüksek ve en düşük değerleri ile belirlenen kesişim noktaları arasında çizilen düz bir çizgi tarafından belirlenen dirençtir. Eşitlik aşağıdaki denklem ile verilir.

$$r_{ort} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \Big|_{nok-nok}$$



Şekil 1.13 Diyotun ortalama direncinin hesaplanmasına örnek

Şekil 1.13 de **I** bölgesiyle gösterilen durum için ortalama direnç aşağıdaki gibi elde edilir.

$$r_{ort} = \left. \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \right|_{nok-nok} = \frac{0.85 - 0.6}{(5 - 0.75) \times 10^{-3}} = \frac{0.25}{4.25 \times 10^{-3}} = 58.8 \Omega$$

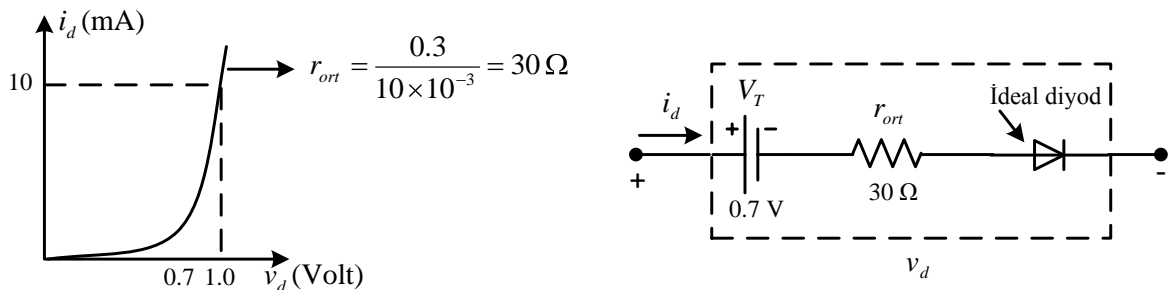
Yine şekil 1.13 de **II** bölgesiyle gösterilen durum için ortalama direnç aşağıdaki gibi elde edilir.

$$r_{ort} = \left. \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \right|_{nok-nok} = \frac{0.7 - 0}{(1.2 - 0) \times 10^{-3}} = 583.3 \Omega$$

### 1.10 Eşdeğer devreler

Eşdeğer devreler, eleman, sistem v.s gerçek uç karakteristiklerini en iyi temsil edecek uygun bir eleman kombinasyonudur. Yani eşdeğer devre belirlendiğinde, elemanın sembolü şemadan çıkarılıp, sistemin genel davranışı önemli ölçüde etkilenmeksizin, yerine eşdeğer devre konulabilir.

Bir diyot için eşdeğer devre elde etme tekniklerinden biri, düz-çizgi parçaları ile elemanın karakteristiklerine yaklaştırmaya çalışmaktır. Bu tür eşdeğer devreye, parçalı doğrusal eşdeğer devre denir ve şekil 1.13 de gösterilir. Seçilen direnç ortalama direnç olmak üzere tüm eşdeğer devre şekil 1.14 de verilmiştir.



Şekil 1.14 Diyotun eşdeğer devresine örnek

Burada ideal diyot, elemanda sadece bir yönde iletimin söz konusu olduğunu ve tersine öngerilimlenme durumunun açık devre durumu olduğunu göstermek için konulmuştur.



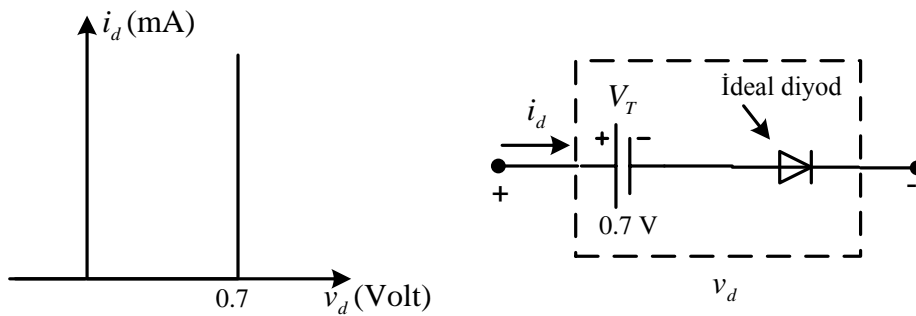
Bir silisyum yarı iletken diyotu, yaklaşık 0.7 volta varmadan iletim durumuna geçmediği için, eşdeğer devrede bu değere karşı koyan bir  $V_T$  geriliminin görünmesi gerekir. Bu ise, eşdeğer devredeki ideal diyot, ileri yönde öngerilimlenmeden önce, diyot üzerinde düşen toplam ileri yön gerilimi  $V_D$  ' nin  $V_T$  ' den daha büyük olması gerektiğini gösterir.

$V_T$  ' nin sistem içerisinde bağımsız bir enerji kaynağı olmadığına dikkat edilmelidir. Yani basit bir voltmetre, yalıtılmış bir silisyum diyot üzerinde  $V_T = 0.7 V$  ' luk bir gerilim düşümü göstermeyecektir. Bu sadece, yarı iletken diyota ilişkin yatay kaymayı temsil eden bir araçtır.

Yarı iletken bir diyot için, 1 volta karşı akan akım  $I_D = 10 mA$  , karakteristik yükselmeden önce silisyum için 0,7 voltluk bir kaymanın gerekli olduğunu biliyoruz. Buradan;

$$r_{ort} = \frac{1-0.7}{10 mA} - \frac{0.3}{10 \times 10^{-3}} = 30 \Omega \text{ bulunur.}$$

Birçok uygulamada  $r_{ort}$  direnci, devrenin diğer elemanlarına kıyasla ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Eşdeğer devreden  $r_{ort}$  un çıkarılması aşağıdaki şekle karşı gelir. Bu yaklaşım yarı iletken devre analizinde sıkça kullanılır. Bu durum şekil 1.15 de gösterilmiştir.

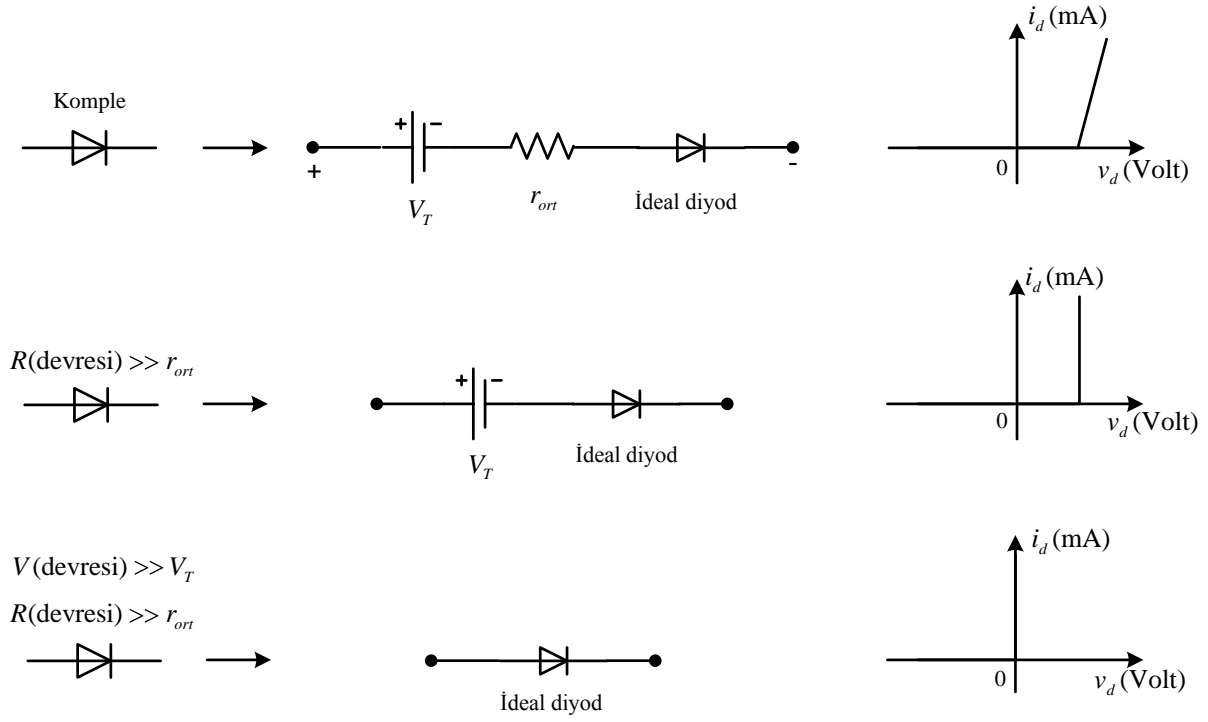


Şekil 1.15 Diyotun eşdeğer devresine örnek

Aslında uygulanan gerilime kıyasla, 0.7 voltun çoğu durumda ihmal edilebileceği söylenebilir. Bu nedenle ileriki bölümlerde ele alınacak uygulamaların birçoğunda komple eşdeğer devre yerine ideal diyotlar kullanılmıştır.

Dolayısıyla düşük gerilimler ve düşük dirençler seri dirençler hariç olmak üzere, ideal diyot kullanıldığında elde edilen devre yanıtı, hiçbir zaman gerçek yanıtın çok farklı değildir ve bu

sayede çok sayıda matematiksel işlemden kurtulunmuş olur. Şekil 1.16 da diyot modelleri (eşdeğer devreleri) ve doğrusal karakteristikleri verilmiştir.

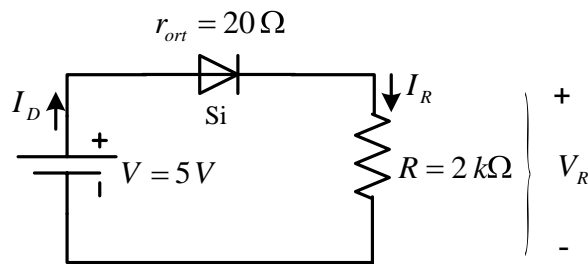


Şekil 1.16 Diyot modelleri ve doğrusal karakteristikleri

### Örnek

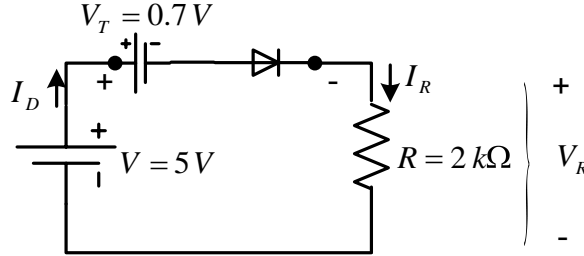
a) Şekil 1.17 de verilen devre parametreleri düzeylerinde silisyum diyot için hangi modelin daha uygun olduğunu belirleyin.

b) R direncine ilişkin akım ve gerilimi hesaplayın.



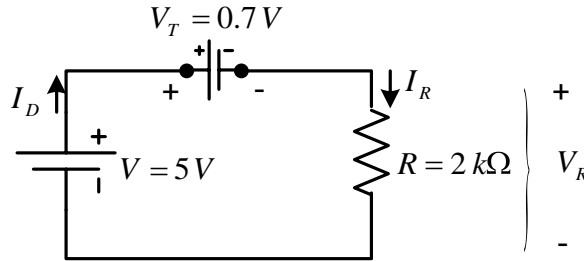
Şekil 1.17 Örnek devre

a ) R direnci, diyotun  $r_{av}$  değerinden çok daha büyük olduğundan,  $r_{av}$  yaklaşıklık açısından ihmal edilebilir. Ancak  $V_T$ ,  $V$  nin %14' ü kadardır ve bu nedenle hesaba katılmalıdır. Seçilen model şekil 1.18 de verilmiştir.



Şekil 1.18 Şekil 1.17 de verilen devrenin tüm eşdeğer devresi

b ) Uygulanan gerilim, diyot üzerinde kısa devre durumuna getiren bir gerilim yaratmıştır. Diyot yerine kısa devre eşdeğeri konulduğunda şekil 1.19 daki devre ortaya çıkar.



Şekil 1.19 Şekil 1.17 de verilen devrenin öz eşdeğer devresi

$$V_R = V - V_T = 5 - 0.7 = 4.3V$$

$$I_D = I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{4.3V}{2k\Omega} = 2.15mA$$

$$P_{Dmax} = V_D \times I_D = 0.7V \times 2.15mA = 1.505mW$$

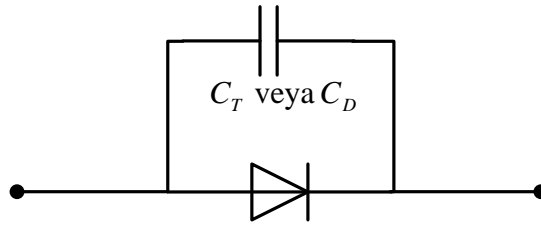
Burada  $V_D$  ve  $I_D$  belirli bir çalışma noktasındaki diyot gerilimi ve akımıdır.

### 1.11 Geçiş ve difüzyon kapasitansı

Elektronik devre elemanları yapısal olarak çok yüksek frekanslara karşı duyarlıdır.

$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$  reaktansının çok yüksek olması, dolayısıyla (açık devre eşdeğeri) alçak

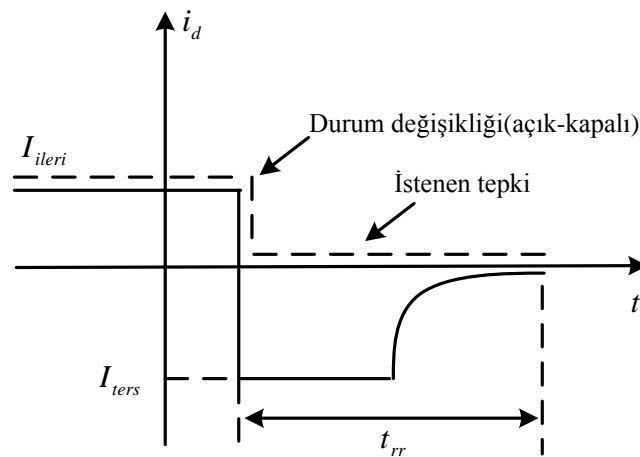
frekanslarda göz ardı edilebilen şönt (paralel) kapasitif etkilerinin birçoğu, çok yüksek frekanslarda göz ardı edilmeyecek düzeylere çıkar. p-n yarıiletken diyotunda göz önünde bulundurulması gereken iki kapasitif etki vardır. Şekil 1.20 den de görüleceği üzere bunlardan biri, geri öngerilimleme bölgesinde geçiş veya boşaltılmış bölge kapasitansı ( $C_T$ ), diğeri ileri öngerilimleme bölgesinde difüzyon ( $C_D$ ) veya saklama kapasitansıdır. Bu kapasitif etkiler ideal bir diyota paralel bağlı bir kondansatörle temsil edilmektedir. Ancak alçak veya orta düzeydeki frekans uygulamalarında kondansatör normalde diyot sembolüne dahil edilmez.



Şekil 1.20

### 1.12 Tıkanma süresi

İletimde olan bir diyot üzerine uygulanan gerilim, geriye öngerilimleme durumu yaratmak üzere tersine çevrildiğinde, ideal olarak, diyotun iletme durumundan, iletmemeye durumuna anında geçtiğini görmeyi bekleriz. Ancak pratikte diyot  $t_{rr}$  ile gösterilen ve tıkanma süresi adı verilen bir süre üzerinden ters yönde akım akmasına müsaade eder. Bu durum şekil 1.21 de gösterilmiştir.



Şekil 1.21