

HAFTA 4

YARI İLETKEN MALZEMELER

YARI İLETKEN MALZEMELER

Bir yarı iletken, çok düşük bir iletkenliğe sahip olan bir izolatör ile yüksek bir iletkenliğe sahip olan bakır gibi 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, bağıntısı

$$R[\Omega] = \frac{\rho[\Omega \cdot cm] \cdot l[cm]}{A[cm^2]}$$

ile verilir.

Burada R ölçülen omik direnci, l malzeme örneğinin uzunluğunu, A malzemenin kesitini ve ρ da malzemenin özgül direncini göstermektedir.

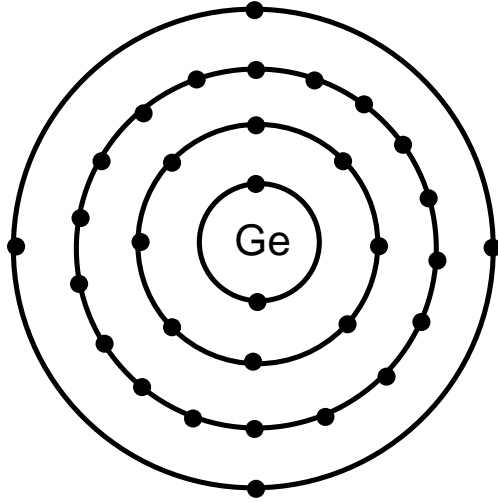
Üç genel madde kategorisi için tipik öz direnç değerleri
Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Tipik öz direnç değerleri

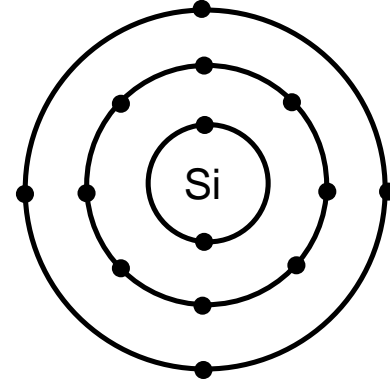
| İletken | Yarı iletken | Yalıtkan |
|--|--|--|
| $\rho \cong 10^{-6} \Omega.cm$ (bakır) | $\rho \cong 50 \Omega.cm$ (germanyum) $\rho \cong 50.10^3 \Omega.cm$ (silisyum) | $\rho \cong 10^{12} \Omega.cm$ (mika) |

Germanyum ve silisyum yarı iletkenlerinin dirençleri sıcaklıkla ters orantılıdır. Yani sıcaklık artarken dirençleri düşer. Bu nedenle bu malzemelere negatif sıcaklık katsayısına sahip olan malzemeler adı verilir. Atom, elektron, proton ve nötron denen üç temel parçacıktan oluşur.

Bir sonraki slaytta göreceğimiz Şekil 1’de gösterildiği gibi germanyum atomunun 32 adet yörüngesel elektronu varken, silisyumun 14 adet elektronu vardır. Her iki durumda da atomun 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.



(a)



(b)

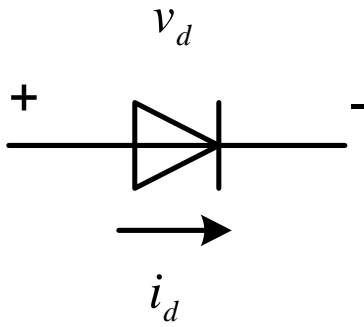
Şekil 1. Germanyum ve silisyum atomunun yapısı

Yarı iletken malzemelerin karakteristikleri, nispeten saf yarı iletken malzemeye, bazı katkı atomları eklenerek önemli ölçüde değiştirilebilir. Bu katkılama işlemine tabi tutulan yarı iletken malzemeye katkı malzeme denir. Yarı iletken eleman üretiminde n-tipi ve p-tipi olmak üzere iki tip katkı 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 yarı iletken eleman oluşturmaktadır.

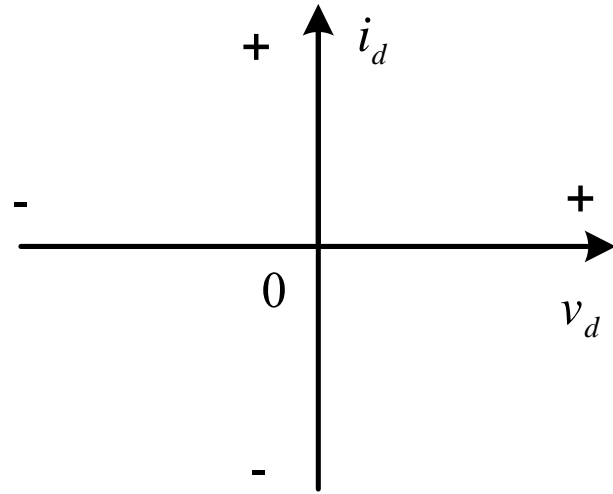
İdeal Diyot

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

İdeal diyot sırasıyla bir sonraki slayttaki Şekil 2’de gösterilen sembol ve karakteristiğe sahip iki uçlu bir elemandır.



(a)



(b)

Şekil 2. İdeal diyot gösterimi ve karakteristiği

Uygulanan gerilimin polaritesi Şekil 2(a)'daki gibi ise, Şekil 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.

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;

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

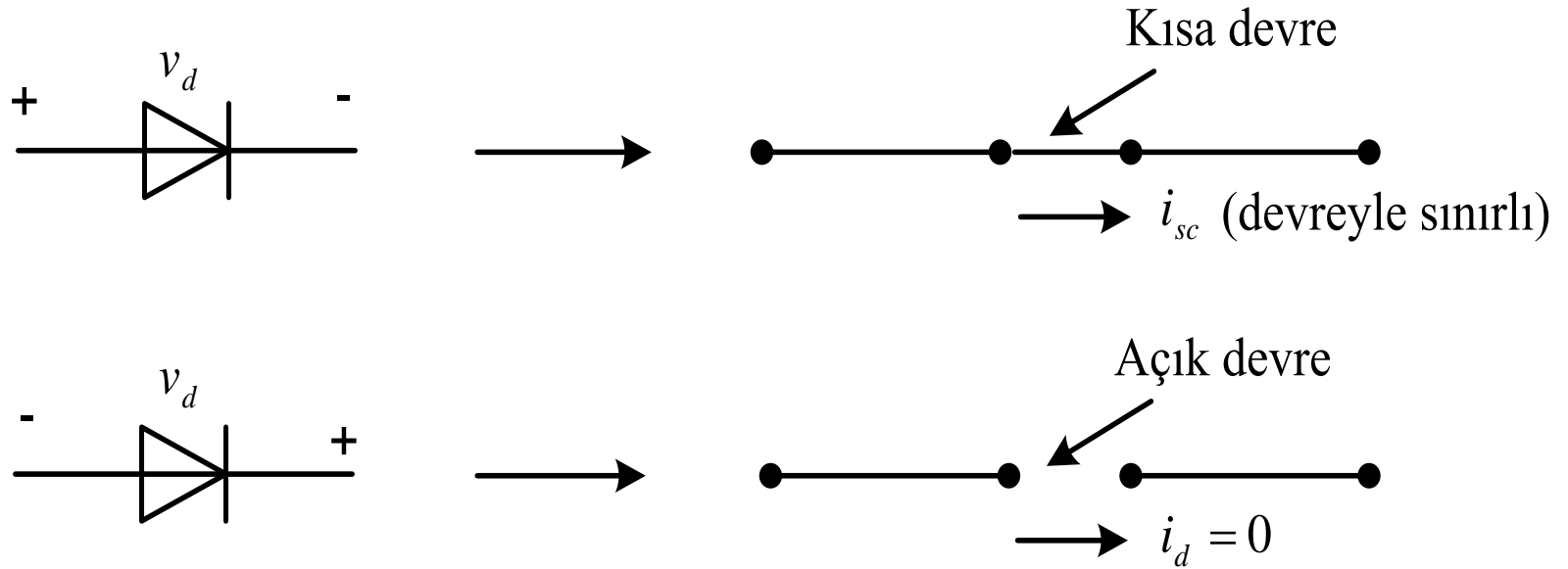
olduğunu buluruz.

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. 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(∞) kabul edeceğiz.

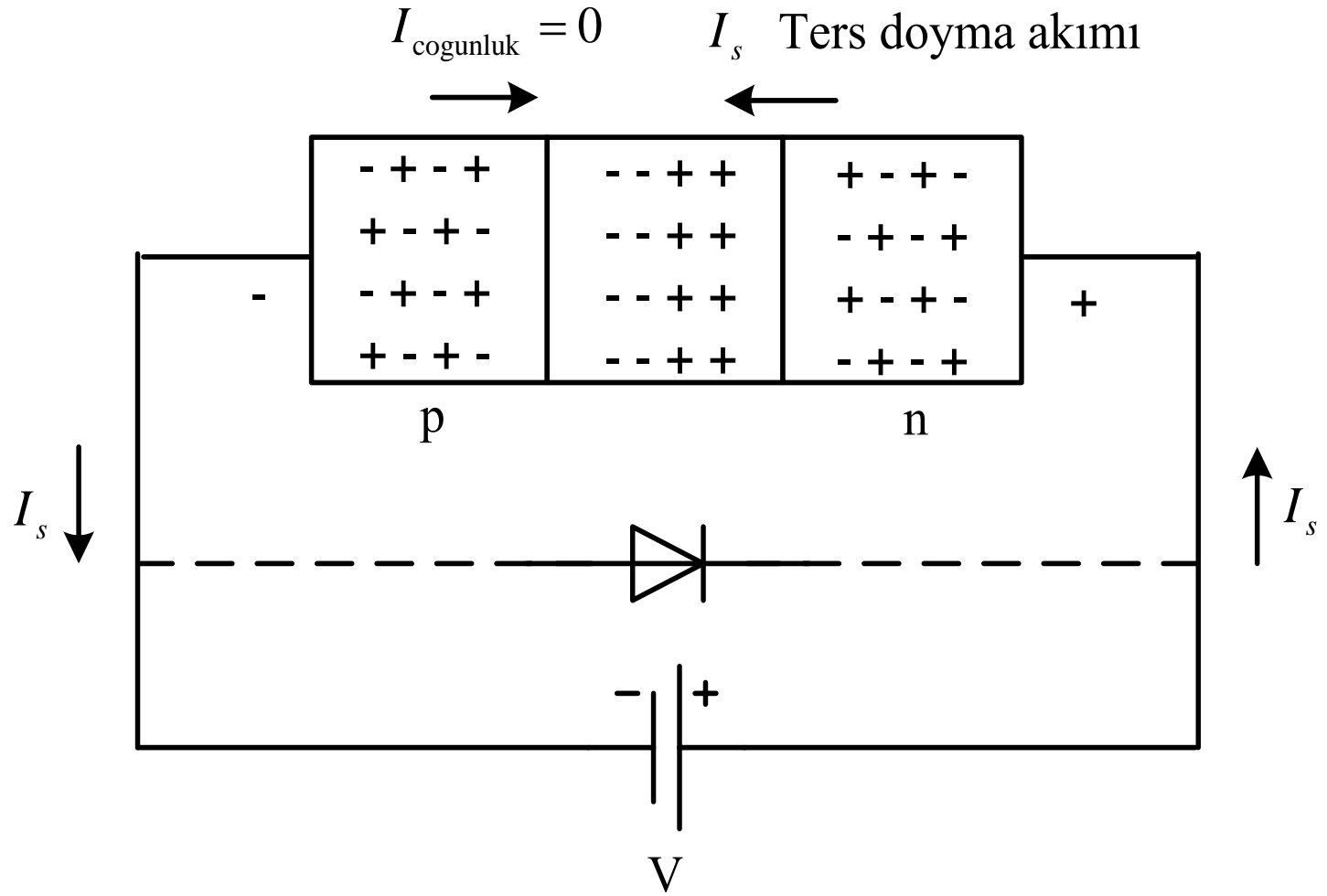
Burada V_r , diyot üzerindeki ters yön gerilimi ve I_r ise diyottan ters yönde akan akımdır. Bu nedenle ideal diyot, iletimi olmadığı bölgede bir açık devre elemanıdır. Durum Şekil 3'deki gibi özetlenebilir.



Şekil 3. İleri ve tersine öngerilimlenmiş diyot eşdeğeri

Ters öngerilimleme durumu

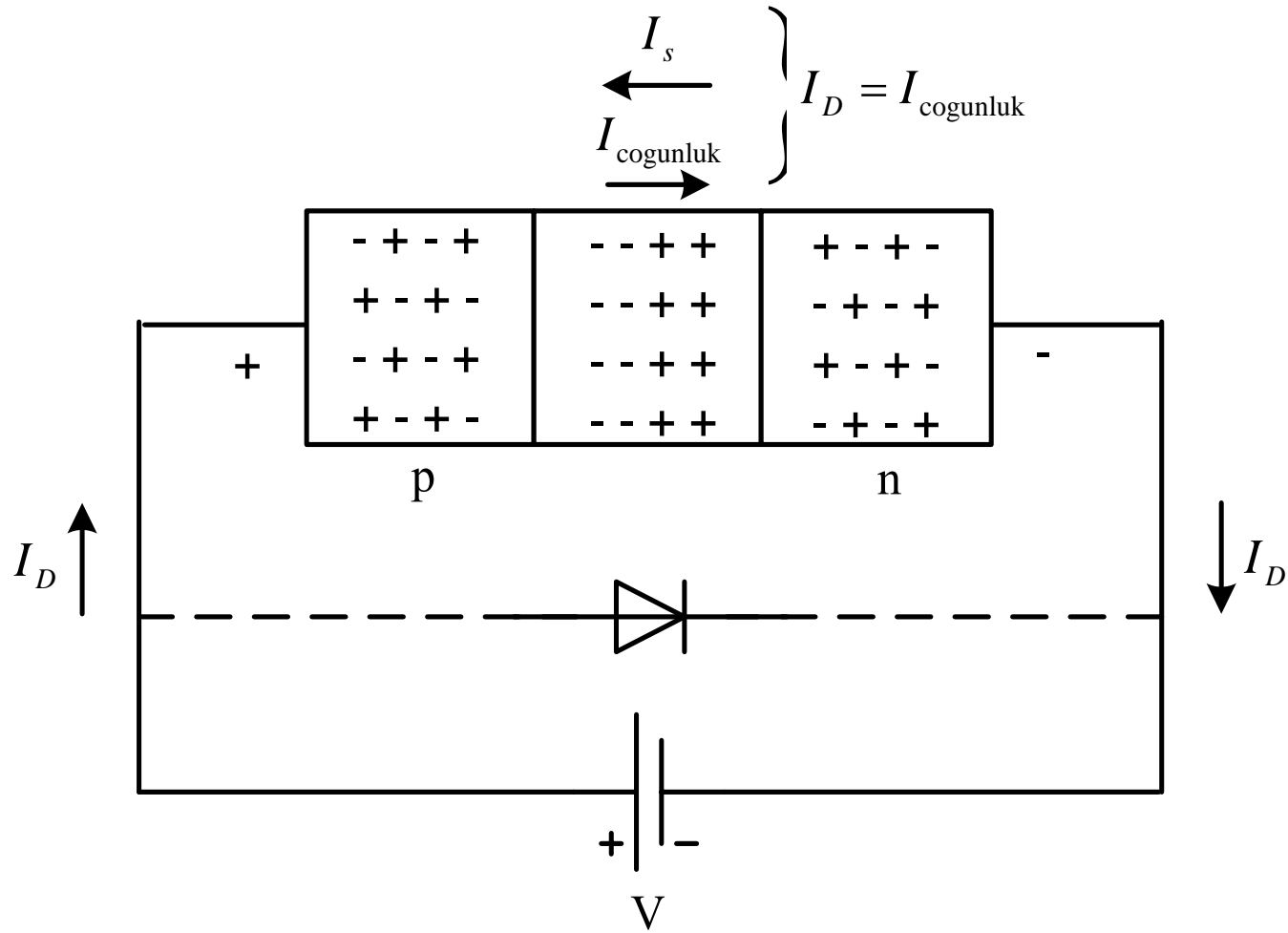
Bu akım, bazı yüksek güç elemanları dışında, ender olarak birkaç mikroamperi aşan büyüklüktedir. Terimdeki “doyma” kelimesi, bu akımın azami değerine çabucak ulaşması ve tersine öngerilimleme potansiyelindeki artışla beraber önemli ölçüde değişmemesi gerçeğine dayanmaktadır. Bu durum bir sonraki slaytta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



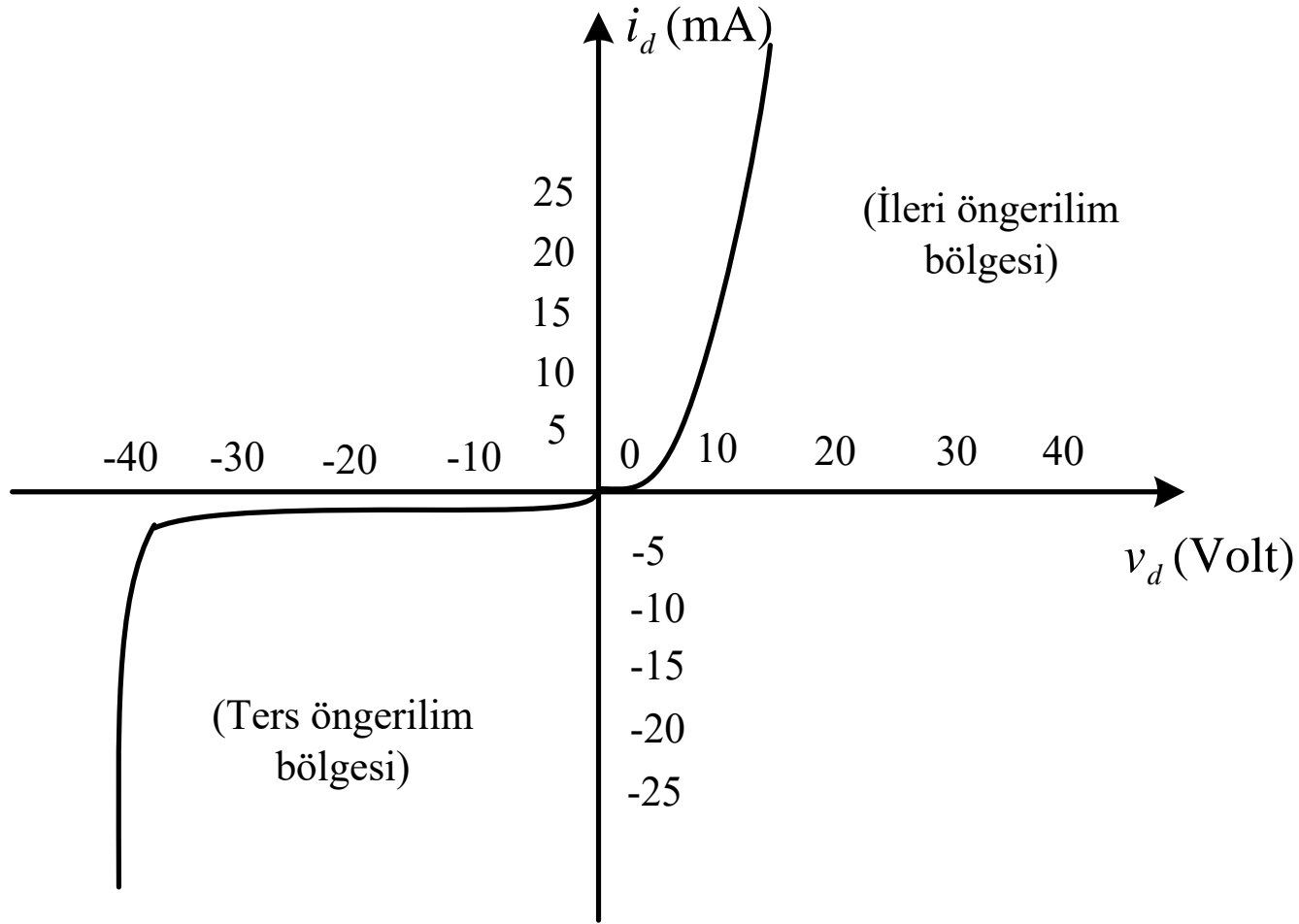
Şekil 4. Ters öngerilimlenmiş p-n jonksiyonu

İleri öngerilimleme durumu

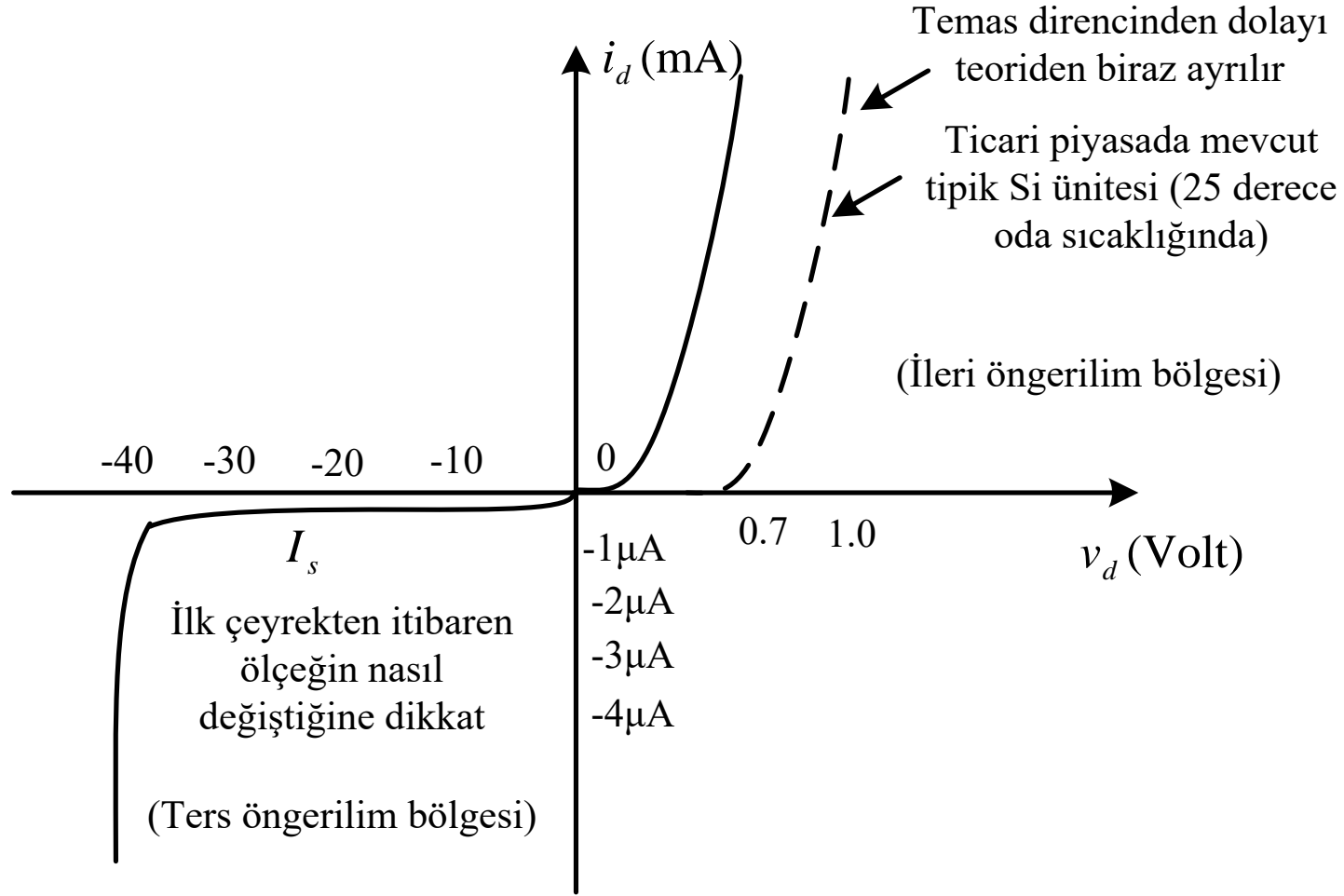
İleri öngerilimleme durumu, bir sonraki slayttaki Şekil 5 de gösterildiği gibi, p-tipi malzemeye pozitif potansiyel ve n-tipi malzemeye de negatif potansiyel uygulanarak sağlanır. Şekil 6'dan da görüldüğü üzere, çoğunluk taşıyıcısı akışı, ileri öngerilimlemenin artışıyla birlikte üstel olarak artacaktır. İlk bölge ileri öngerilimleme bölgesini temsil etmektedir.



Şekil 5. İleri öngerilimlenmiş p-n jonksiyonu



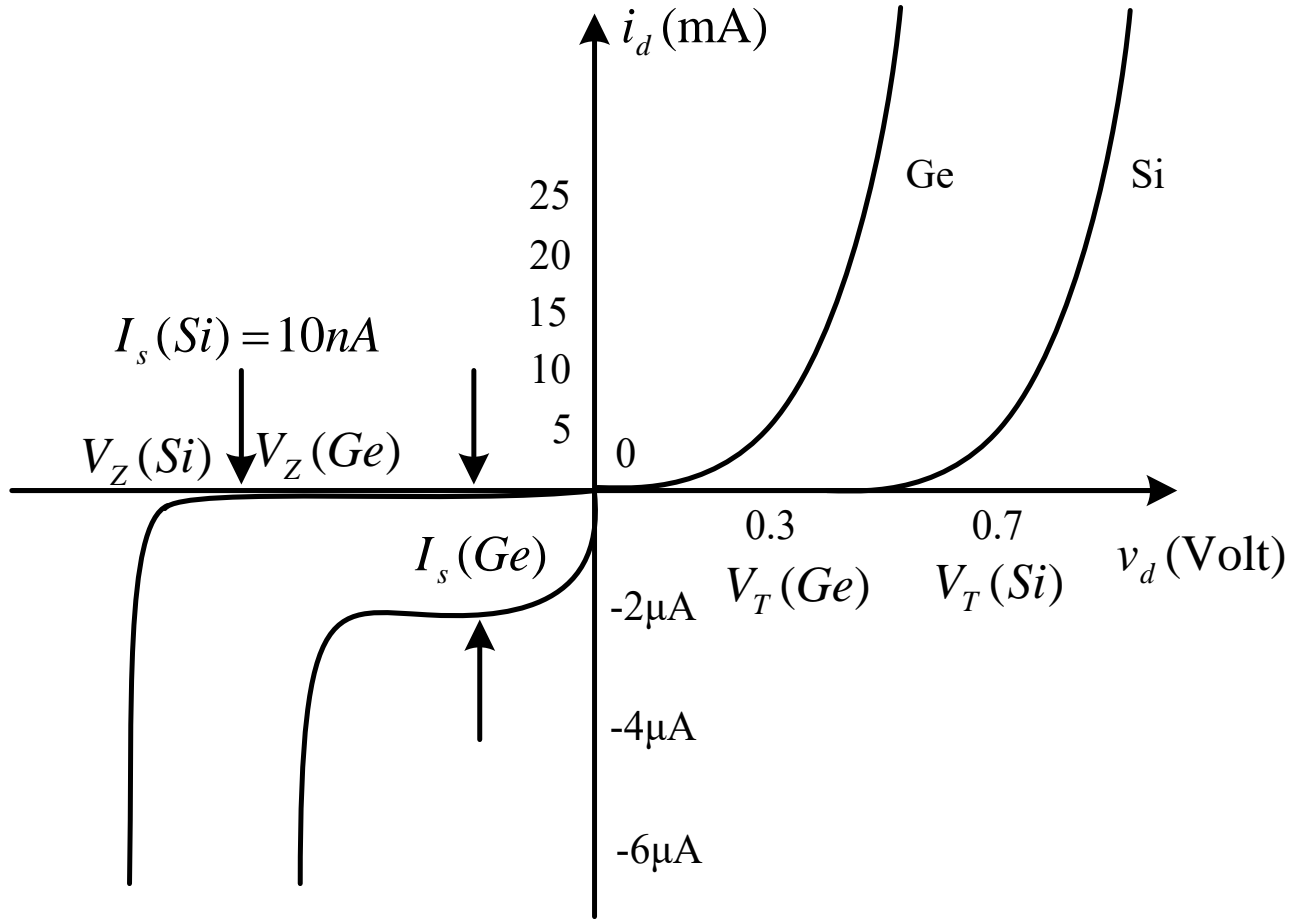
Şekil 6. En genel diyot karakteristiği



Şekil 7. Yarı iletken Si diyot karakteristiği

Zener bölgesi

Bir sonraki slayttaki Şekil 8’de, V_z ters yönde öngerilimleme potansiyeli altında karakteristiğın nasıl keskin biçimde değıştiğine 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 çığ akımının oluşturulup, çığ kırılma bölgesinin belirlendiğı noktaya kadar iyonizasyon sürecine katkıda bulunabilirler.



Şekil 8. Yarı iletken Ge ve Si diyot karakteristiği

Çığ 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. 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.

Yarı iletken diyotun, zener bölgesinde çalıştırılmaması gerekir. Bu bölgeye girmeksizin uygulanabilecek maximum tersine öngerilimleme potansiyeline (PIV), yani ters tepe gerilimi denmektedir.

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.

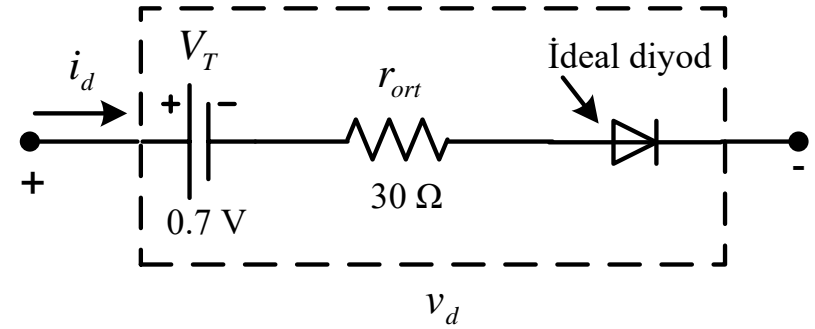
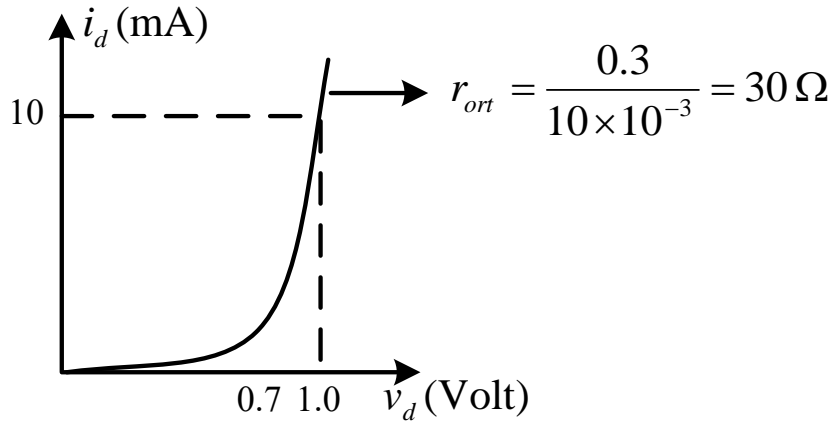
Piyasadan satın alınan silisyum diyotlarda bu değer 0,7V iken, germanyum diyotlar için 0,3V'dur. Silisyumdaki daha yüksek sapma, η faktöründen kaynaklanmaktadır. Bu faktör eğrinin daha düşük akım düzeylerindeki şeklini belirlemede rol oynar. Eğri dikey olarak yükselmeye başladıktan sonra η katsayısı 1'e iner (germanyum için sürekli değer). Bu yükselmenin başladığı potansiyel, genelde sapma, eşik veya ateşleme potansiyeli olarak anılır. Eşik potansiyelleri kısaca aşağıda verilmiştir.

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

Eşdeğer devreler

Eşdeğer devreler, eleman, sistem v.s gerçek uç karakteristiklerini en iyi temsil edecek uygun bir elemanlar 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. Seçilen direnç ortalama direnç olmak üzere tüm eşdeğer devre Şekil 9'da verilmiştir.



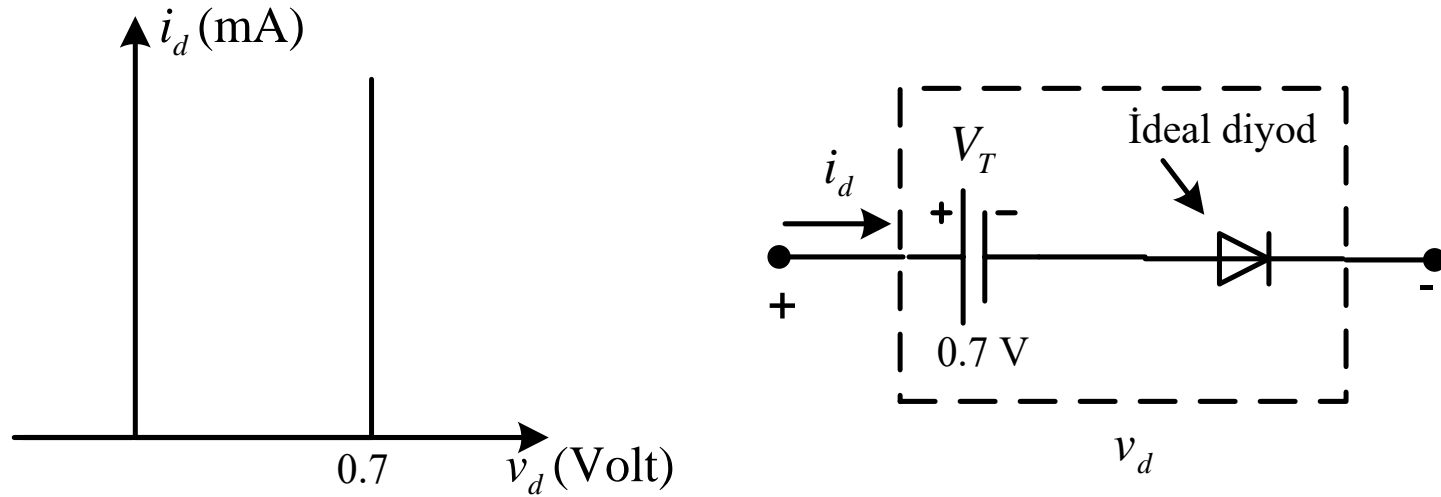
Şekil 9. Diyotun eşdeğer devresine örnek

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 geriliminin görünmesi gerekir.

Yarı iletken bir diyot için, 1 volta karşı akan akım $I_D = 10 \text{ mA}$, karakteristik yükselmeden önce silisyum için 0,7 voltluk bir kaymanın gerekli olduğunu biliyoruz. Buradan ortalama direnç aşağıdaki gibi bulunur.

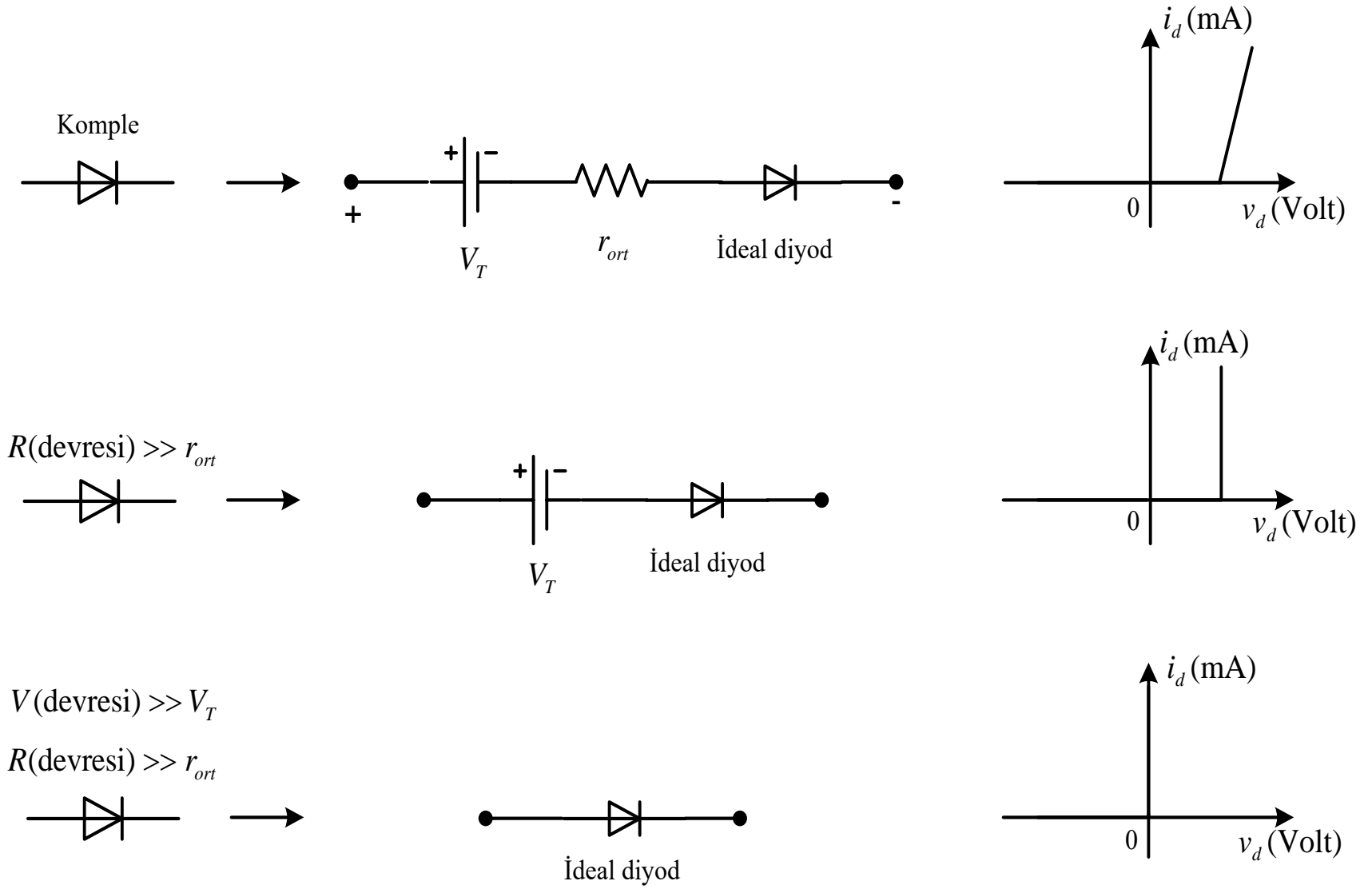
$$r_{ort} = \frac{1 - 0.7}{10 \text{ mA}} = \frac{0.3}{10 \times 10^{-3}} = 30 \Omega$$

Birçok uygulamada r_{ort} direnci, devrenin diğer elemanlarına kıyasla ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Eşdeğer devreden r_{ort} un çıkarılması yarı iletken devre analizinde sıkça kullanılır. Bu durum bir sonraki slaytta Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Diyotun eşdeğer devresine örnek

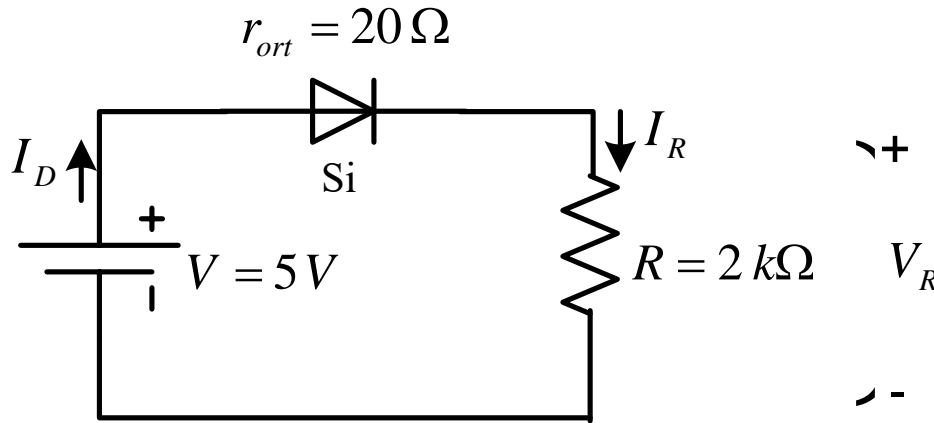
Aslında uygulanan gerilime kıyasla, 0.7 voltun çoğu durumda ihmal edilebileceği söylenebilir. Bu nedenle ileriki bölümlerde ele alınacak uygulamaların birçoğunda komple eşdeğer devre yerine ideal diyotlar kullanılmıştır.



Şekil 11. Diyot modelleri ve doğrusal karakteristikleri

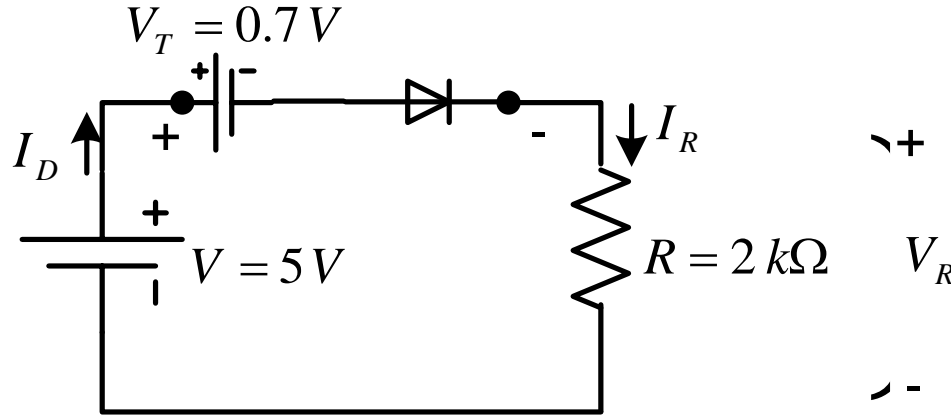
Örnek

- a) Şekil 12'de verilen devre parametreleri düzeylerinde silisyum diyot için hangi modelin daha uygun olduğunu belirleyin.
- b) R direncine ilişkin akım ve gerilimi hesaplayın.



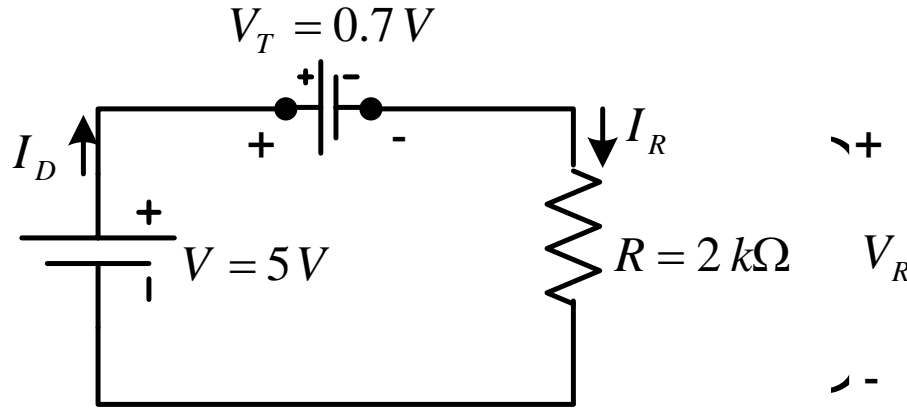
Şekil 12. Örnek devre

a) R direnci, diyotun r_{ort} değerinden çok daha büyük olduğundan, r_{ort} yaklaşıklık açısından ihmal edilebilir. Ancak V_T , V 'nin %14' ü kadardır ve bu nedenle hesaba katılmalıdır. Seçilen model Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. Şekil 12'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 14'deki devre ortaya çıkar.



Şekil 14. Şekil 12'de verilen devrenin öz eşdeğer devresi

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

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

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

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