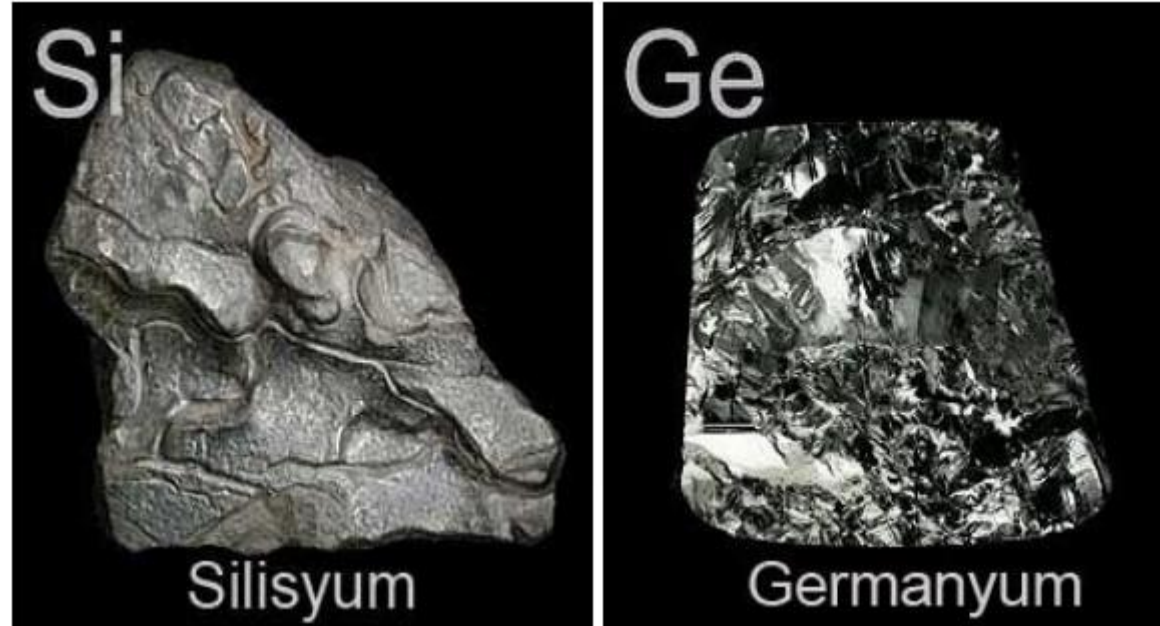


ELEKTRONİK DEVRELER DERS NOTLARI

3.HAFTA

Yarı iletkenler, P ve N tipi Yarı iletken, PN bileşimi, Yarı iletken diyotun Yapısı, Çalışma Prensibi, Eşdeğer Devreleri, İleri ve Ters yön Karakteristikleri

KATKILI (SAF OLMAYAN) YARI İLETKENLER



Saf silisyum ve germanyum

KATKILI (SAF OLMAYAN) YARI İLETKENLER

- Saf yarıiletken malzeme iletkenliğini değiştirmek ve çeşitli uygulamalarda kullanmak üzere yarı iletken malzemeye son yörüngelerinde 3,5 elektron bulunduran katkı malzemeleri(dopants) eklenir.
- Bu işleme katkılama(doping) adı verilir.
- Eğer saf yarıiletken malzemeye son yörüngesinde dörtten az elektron bulunduran malzeme katılır ise **p-tipi yarıiletken**, dörtten çok elektron bulunduran malzeme katılırsa **n-tipi yarıiletken** adı verilir.

n-tipi yarı iletken:

- Düzgün kristal yapıya sahip yarı iletkene dış kabuklarında beş valans elektronu bulunan yabancı atomlar Fosfor(P), Arsenik (As) katılırsa katkı atomları yapıya sanki birer yarı iletken atomuymuş gibi yerleşir.
- Açıkta kalan beşinci elektron kolaylıkla ait oldukları atomun çevresinden ayrılarak yapı içerisinde hareket eder.

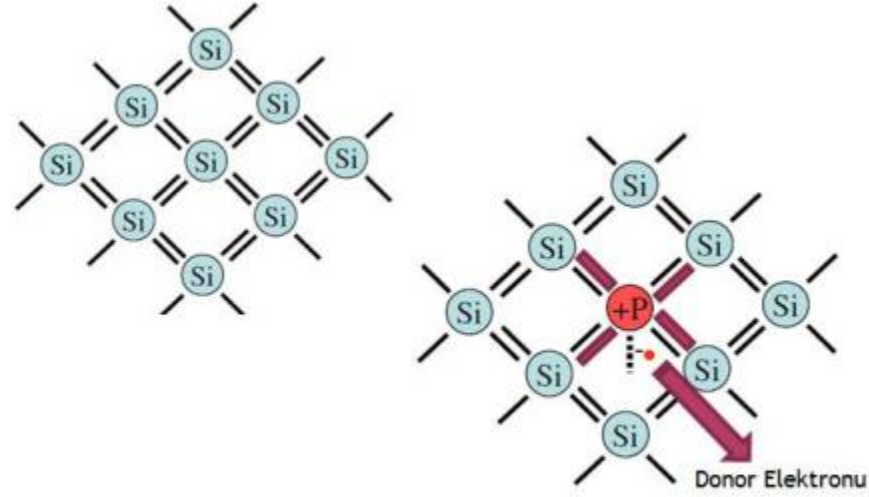
n-tipi yarı iletken:

- Örneğin silisyuma katkılanan bir fosfor atomunun bir elektronun serbest hale geçmesi için oda sıcaklığında gereken enerji yaklaşık olarak 0.044 eV'tur.
- Belirli bir sıcaklıktan sonra yapı içine yerleştirilen katkı (doping) atomlarının elektronları serbest hale geçer.
- Bu yolla ortaya çıkan serbest elektron sayısı katkı atomu sayısı kadardır.

n-tipi yarı iletken:

- Birer elektron bırakarak kristal yapıya yerleşmiş olan bu atomlar +1 yüklü iyonlar olarak yapı içine yerleşirler.
- Kristal yapı içinde bu serbest elektronlarla hareketsiz pozitif iyonlardan başka yarı iletkende ısı uyarılma sonucu ortaya çıkan delikler (hole) vardır.
- Bunun sonucu olarak çok sayıda elektron ve az sayıda delik vardır.
- Çoğunluk taşıyıcıları elektronlar olduğu içinde n-tipi yarı iletken adı verilir.

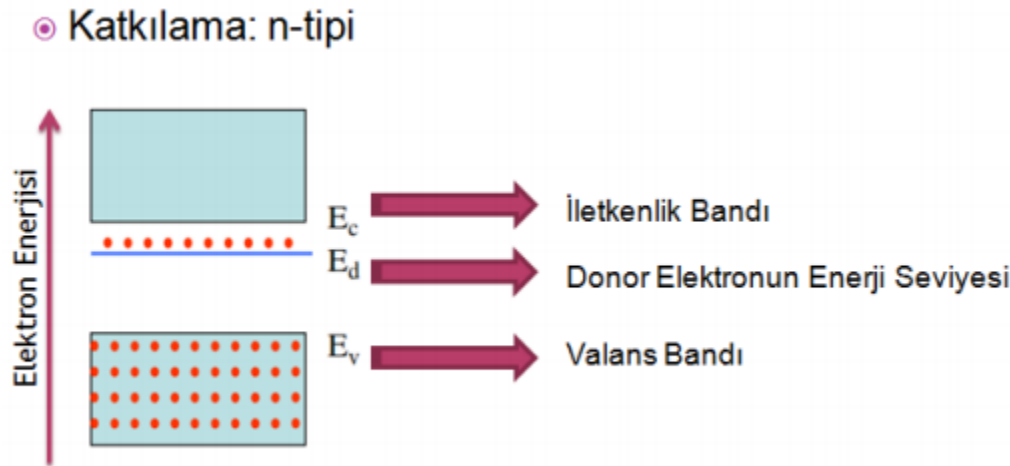
n-tipi yarı iletken:



Donor atomunu kaybeden fosfor atomu pozitif olarak yüklenmiştir (P^+).

KATKILI (SAF OLMAYAN) YARI İLETKENLER

- Çok düşük sıcaklıklarda donör elektronu fosfor atomuna bağlıdır fakat iletkenlik bandı içine donör elektronu çıkarmak için gerekli olan enerjinin, elektronların kovalent bağ yapması için gerekli olan enerjiden çok daha az olacağı açıktır.



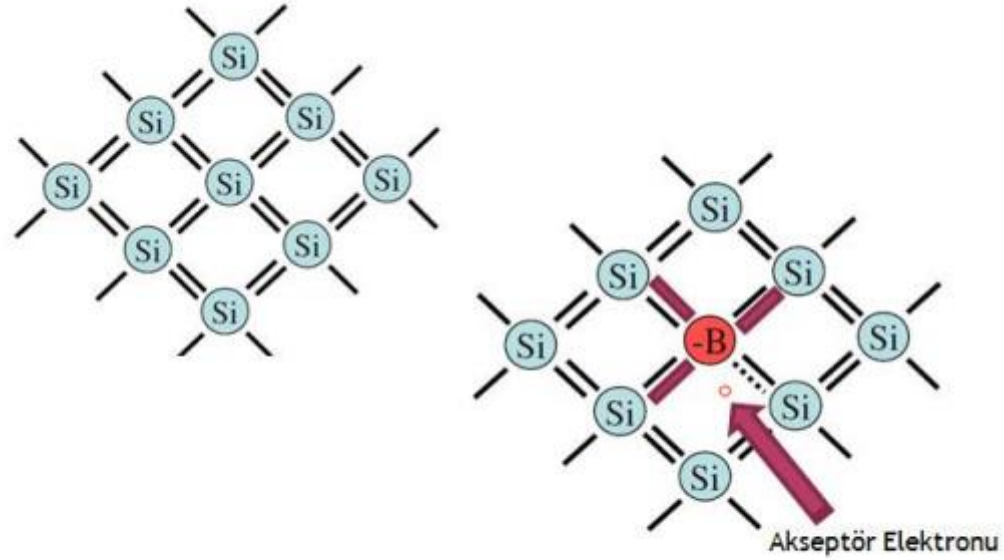
KATKILI (SAF OLMAYAN) YARI İLETKENLER

- Eğer donör elektronu küçük bir termal enerji kazanırsa geride pozitif yüklenmiş bir fosfor iyonu bırakarak iletkenlik bandına çıkabilir. İletkenlik bandındaki bu elektron hareket ederek bir akım oluşturabilir.

p-tipi yarı iletken

- Has yarı iletkene dış kabuklarında üç valans elektronu bulunduran yabancı atomlar Alüminyum (Al), Bor (B) katılırsa bu atomların kristal yapıya yerleşebilmesi için yakınlarındaki yarı iletken atomlarından bir elektron çalmaları gerekir.
- Böylece negatif iyon haline geçen atom çaldığı elektron boşluğu ile bir yük oluşturmuş olur.
- Bu yüke delik (hole) elektron boşluğu denir.
- Böylece ortaya çıkan pozitif akım taşıyıcıları has yarı iletkenin ısıtılması ile ortaya çıkan akım taşıyıcılarına eklendiğinde yarı iletken içinde pozitif yük fazlalığı oluşur.
- Bu tip yarı iletkenlere de P-tipi yarı iletken adı verilir.

p-tipi yarı iletken



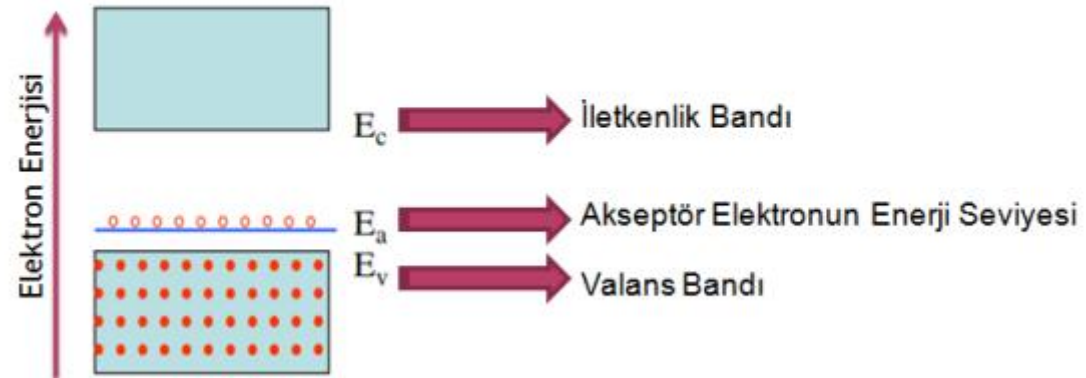
Eğer bir elektron bu boş pozisyonu işgal ederse, bor atomu negatif yüklenmiş olur (B^-).

p-tipi yarı iletken

- Bor atomunun net yük durumu negatif olacağından dolayı, bu elektronun enerjisi valans elektronların enerjisinden daha büyük olacaktır.
- Bu boş pozisyonu işgal eden elektron iletkenlik bandında bulunmak için yeterli enerjiye sahip olamaz ve bu elektronun enerjisi iletkenlik bant enerjisinden çok daha aşağıdadır.

p-tipi yarı iletken

⊙ Katkılama: p-tipi



p-tipi yarı iletken

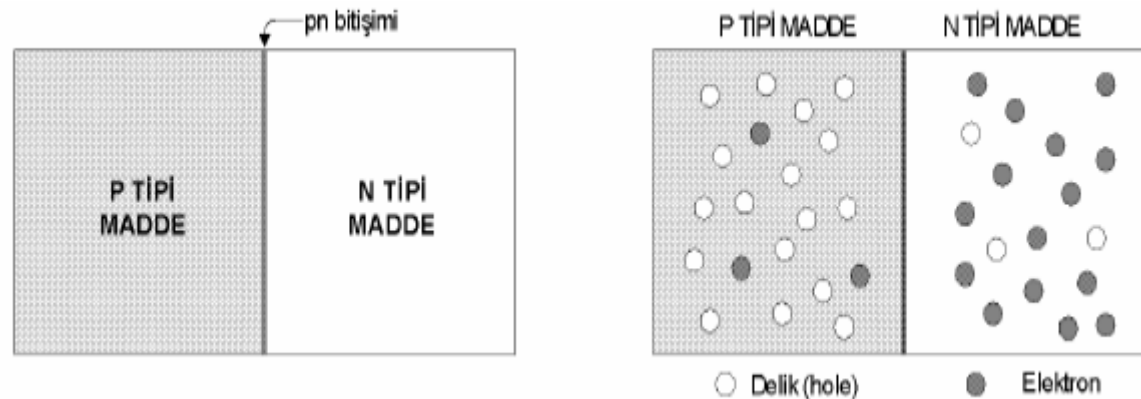
- Termal enerji kazanan valans elektronları bor atomlarıyla oluşturulan boş pozisyonları işgal eder.
- Bu durumda valans bandında yeni boşluklar oluşur ve bu boşaltılmış elektron pozisyonları yarıiletken içindeki holler olarak düşünülebilir.
- Akseptör kirlilik atomları iletkenlik bandında elektron oluşturmaksızın, valans bandında holler oluşturabilir.
- Bu tip yarıiletken maddeler p-tipi yarıiletkenlerdir.
- Bir katkılı iletken; ya elektronların çokluğuna (n-tipi) ya da hollerin çokluğuna (p-tipi) sahiptir.

P-N Eklemi

- Silisyum veya Germanyum kristaline yeterli oranda katkı maddeleri eklenerek, P-tipi ve N-tipi maddeler oluşturulmuştur.
- Bu maddeler yalın halde elektriksel işlevleri yerine getiremezler.
- P ve N tipi malzeme bir arada kullanılırsa, bu birleşime PN birleşimi (junction) veya PN eklemi denir.
- PN birleşimi; elektronik endüstrisinde kullanılan diyot, transistör v.b devre elemanlarının yapımında kullanılır.
- Yani kısaca bir p tipi yarı iletken malzeme ve bir n-tipi yarı iletken malzemenin bir araya getirilmesinden P-N eklemi (Jonksiyonu) oluşur.

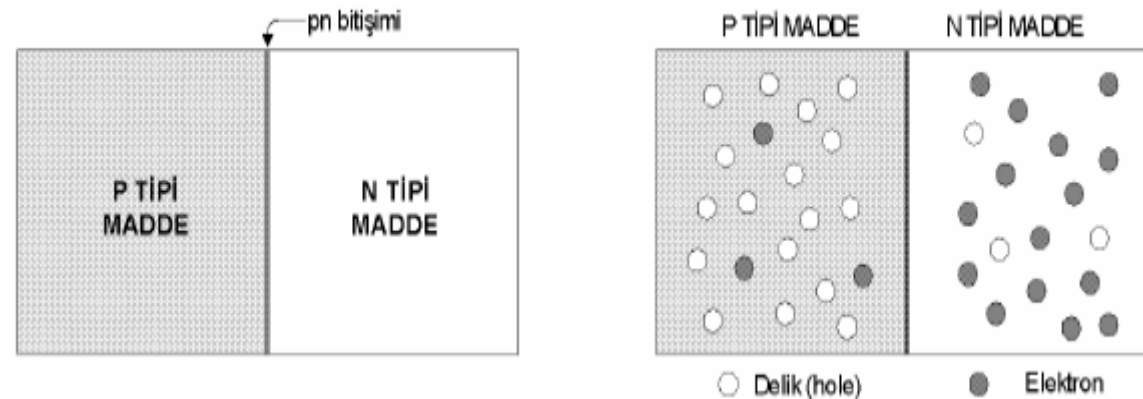
P-N Ekleme

- Şekilde yarısı P-tipi, diğer yarısı N tipi malzemeden oluşan iki bölümlü bir silisyum parçasını göstermektedir.
- Bu temel yapı biçimine “yarı iletken diyot” denir.
- N bölgesinde daha çok serbest elektron bulunur. Bunlar akım taşıyıcısı olarak görev yaparlar ve “çoğunluk akım taşıyıcısı” olarak adlandırılırlar.
- Bu bölgede ayrıca ısı etkisi ile oluşturulan birkaç boşluk (delik=hole) bulunur. Bunlara ise “azınlık akım taşıyıcıları” adı verilir.



P-N Ekleme

- P bölgesi ise çok sayıda boşluklar (delik=hole) içerir. Bunlara “çoğunluk akım taşıyıcıları” denir.
- Bu bölgede ısı etkisi ile oluşan birkaç serbest elektronda bulunur. Bunlara ise “azınlık akım taşıyıcıları” denir.
- PN birleşimi elektronik endüstrisinde kullanılan diyotların, transistorların ve diğer devrelerin temelini oluşturur.

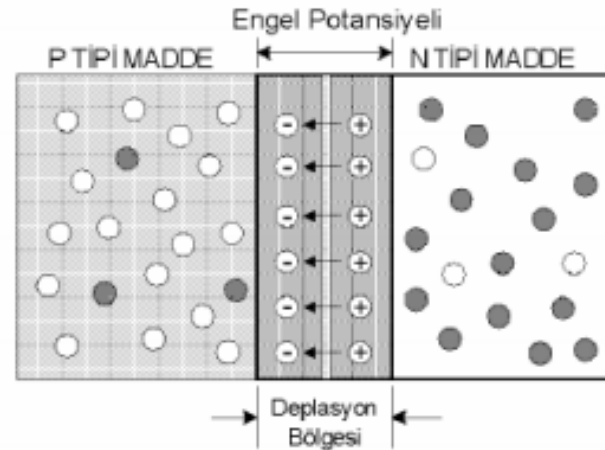
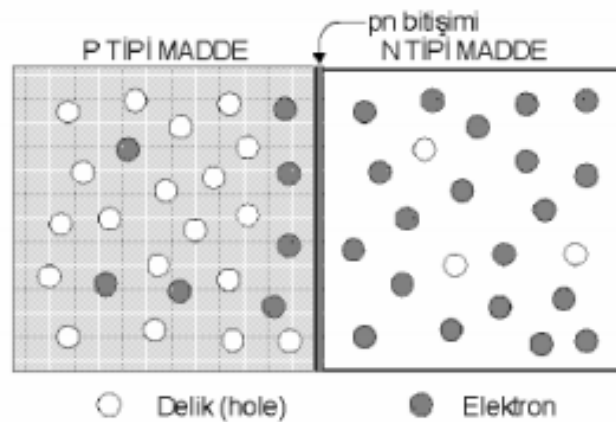


Depleasyon Katmanı ve İşlevi

- P maddesinde elektron noksanlığı (boşluk), N maddesinde ise elektron fazlalığı meydana gelmişti.
- Elektron ve oyukların hareket yönleri birbirine zıttır.
- Aslında bu iki madde başlangıçta elektriksel olarak nötr haldedir.
- P ve N maddesi şekilde görüldüğü gibi birleştirildiğini kabul edelim. Birleşim olduğu anda N maddesindeki serbest elektronlar, P maddesinde fazla olan oyuklarla (boşluk=delik) birleşirler.
- P maddesindeki fazla oyukların bir kısmı ise, N maddesine gelip elektronlarla birleşirler. Bu durumda P maddesi net bir (-) yük, N maddesi ise (+) yük kazanmış olur.

Deplezyon Katmanı ve İşlevi

- Bu olay olurken P maddesi (-) yüke sahip olduğundan N maddesindeki elektronları iter.
- Aynı şekilde, N maddesi de (+) yüke sahip olduğundan P maddesindeki oyukları iter.
- Böylece P ve N maddesi arasında daha fazla elektron ve oyuk akmasını engellerler. Yük dağılımının belirtildiği şekilde oluşması sonucunda PN birleşiminin arasında “Gerilim Seddi / Tükenim Bölgesi” denilen bir bölge (katman) oluşur.
- Bu durum şekilde resmedilmiştir.



PN birleşiminin polarmalanması

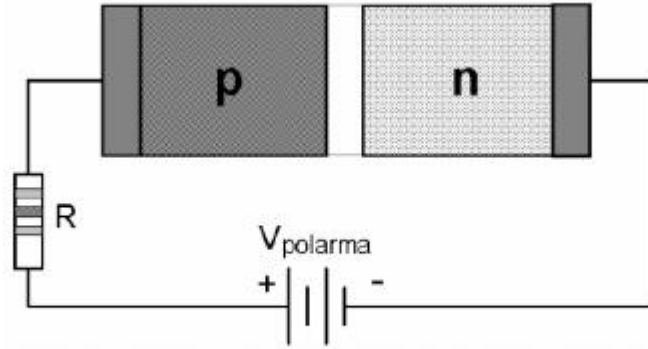
- PN bitişiminin nasıl oluşturulduğunu gördük.
- PN bitişimi elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanılan en temel yapıdır.
- PN birleşimine elektronik biliminde “diyot” adı verilmektedir.
- Diyot veya diğer bir elektronik devre elamanının DC gerilimler altında çalıştırılmasına veya çalışmaya hazır hale getirilmesine elektronikte “Polarma” veya “bias” adı verilmektedir.

PN birleşiminin polarmalanması

- PN birleşimi veya diyot; DC gerilim altında iki türde polarmalandırılır. Bunlardan birisi “ileri yönde polarma” diğeri ise “ters yönde polarma” dır.
- İleri veya ters yönde polarma, tamamen diyot uçlarına uygulanan gerilimin yönü ile ilgilidir.

İleri Yönde Polarma (Forward Bias)

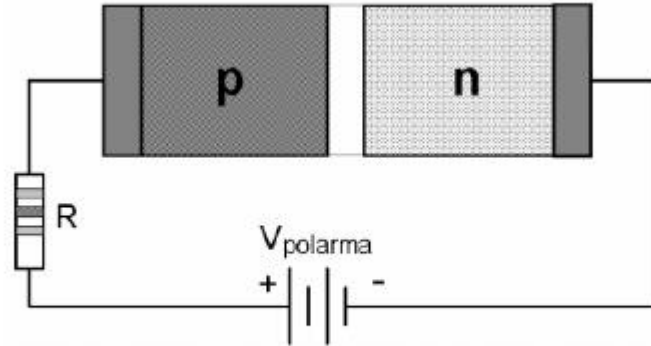
- İleri yönde polarma; yarıiletken bir devre elemanının uçlarına uygulanan DC gerilimin yönü ile ilgilidir.
- PN birleşiminden akım akmasını sağlayacak şekilde yapılan polarmadır.
- Aşağıdaki şekilde bir diyota ileri yönde polarma sağlayacak bağlantı görülmektedir.



İleri yönde polarma bağlantısı. R, direnci akım sınırlamak amacıyla kullanılmıştır.

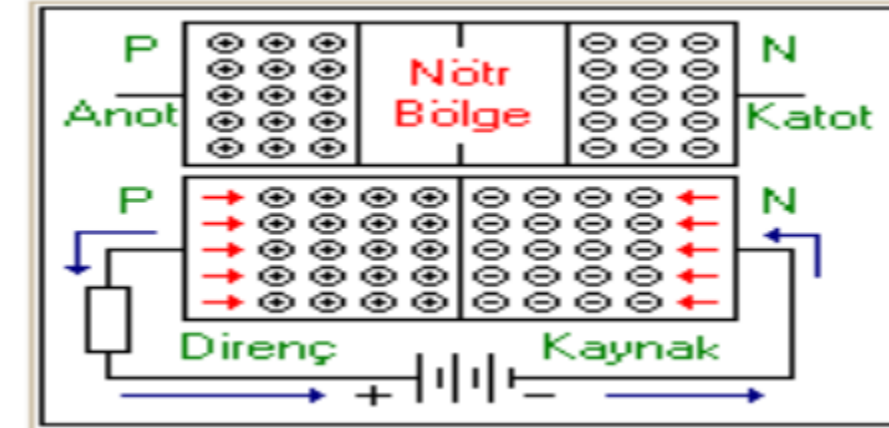
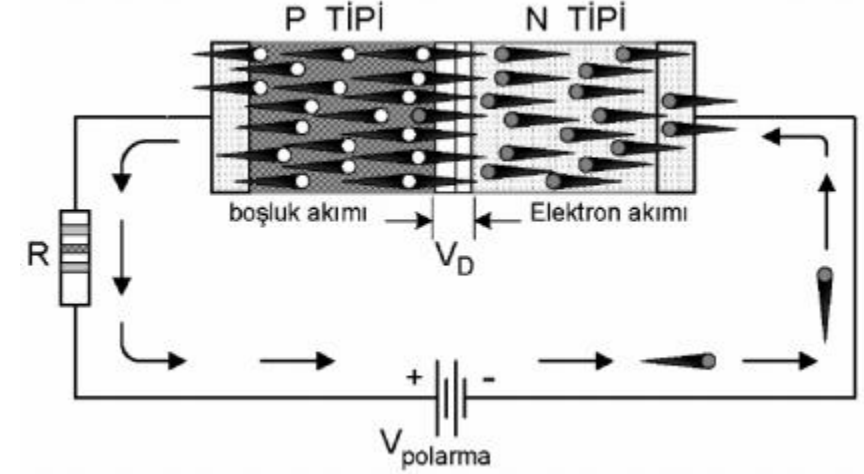
İleri Yönde Polarma (Forward Bias)

- İleri yönde polarma şöyle çalışır:
- Bataryanın negatif ucu N bölgesine (Katot olarak adlandırılır), pozitif ucu ise P bölgesine (Anot olarak adlandırılır) bağlanmıştır.
- Bataryanın negatif terminali, N bölgesindeki iletkenlik elektronlarını birleşim bölgesine doğru iter.
- Aynı anda pozitif terminal, P bölgesindeki oyukları birleşim bölgesine iter.
- Uygulanan polarma gerilimi yeterli seviyeye ulaşınca; N bölgesindeki elektronların ve P bölgesindeki oyukların engel bölgesini aşmasını sağlar.



İleri Yönde Polarma (Forward Bias)

- N bölgesinden ayrılan elektronlara karşılık, bataryanın negatif ucundan çok sayıda elektron girmesi sağlanır.
- Böylece N bölgesinde iletkenlik elektronlarının hareketi (çoğunluk akım taşıyıcıları) eklem bölgesine doğrudur.
- Karşıya geçen iletkenlik elektronları, P bölgesinde boşluklar ile birleşirler.
- Valans elektronlarının boşluklarla birleşme işlemi PN uçlarına voltaj uygulandığı sürece devam eder ve devamlı bir “akım” meydana gelir.
- Bu durum şekilde gösterilmiştir. Şekilde ileri yönde polarmalı diyottaki elektron akışı görülmektedir.

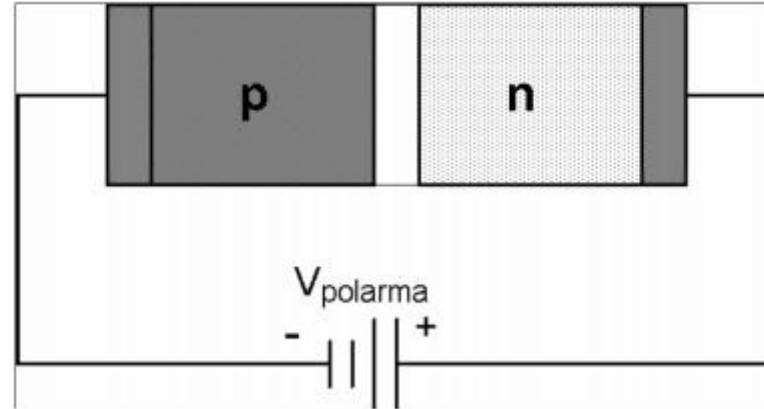


İleri polarmada Gerilim seddinin etkisi

- PN birleşiminde meydana gelen gerilim seddi, Silisyumda 0.7V, germanyumda ise 0.3V civarındadır.
- Polarma geriliminin potansiyeli bu değere ulaştığında, PN birleşiminde iletim başlar.
- PN uçlarına uygulanan gerilim, diyotu bir kez ilettime geçirdikten sonra gerilim seddi küçülür.
- Akım akışı devam eder.
- Bu akıma ileri yön akımı I_f denir. I_f akımı P ve N bölgesinin direncine bağlı olarak çok az değişir.
- Bu bölgenin direnci (ileri yöndeki direnç) genellikle küçüktür ve küçük bir gerilim kaybına sebep olur.

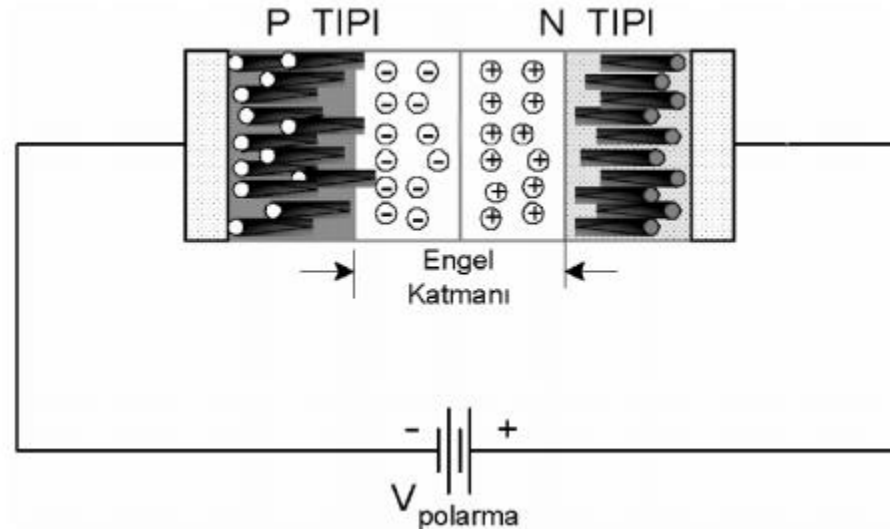
Ters Polarma (Reverse Bias)

- Ters kutuplamada bataryanın negatif ucu P bölgesine, pozitif ucu ise N bölgesine bağlanmıştır.
- Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.
- Ters polarmada PN birleşiminden akım akmaz.
- Bataryanın negatif ucu, PN bölgesindeki boşlukları kendine doğru çeker.
- Pozitif ucu ise PN bölgesindeki elektronları kendine doğru çeker ve bu arada (deplezyon bölgesi) yalıtkan katman genişler.
- N bölgesinde daha çok pozitif iyonlar, P bölgesinde ise daha çok negatif iyonlar oluşturulur.



Ters Polarma (Reverse Bias)

- Yalıtkan (deplezyon) katmandaki potansiyel farkı harici polarma gerilimine eşit oluncaya kadar genişler.
- Bu noktada boşlukların ve elektronların hareketi durur.
- Birleşimden çoğunluk akım taşıyıcılarının harekete başlaması sızıntı/azınlık akımı diye adlandırılır.
- Bu ise ters kutuplama yapıldığında çok kısa bir anda akan bir akımdır.

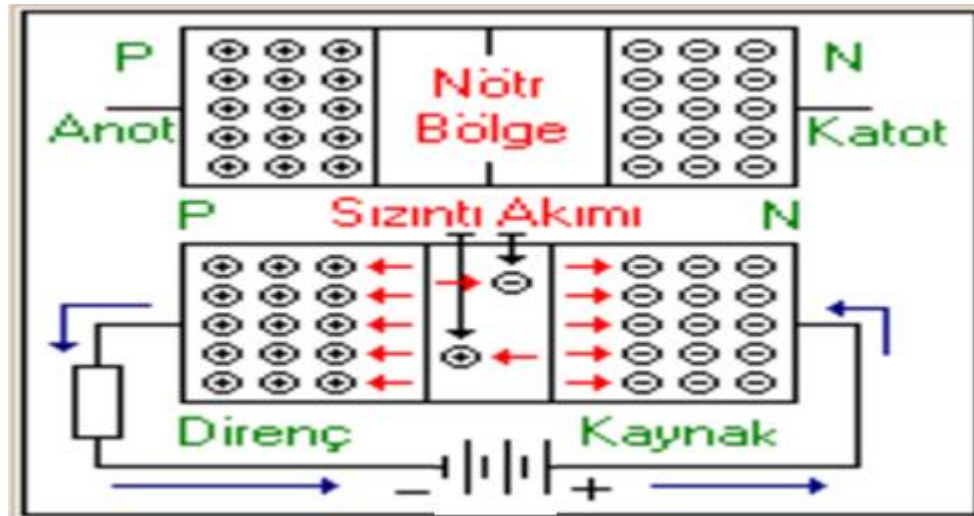


Ters Polarma (Reverse Bias)

- Diyot ters kutuplandığında engel katmanının yalıtkanlığı artacaktır.
- Bu durum kapasitif bir etki yaratır.
- Ters kutuplama gerilimi arttıkça engel katmanı genişler.
- Bu arada kapasitans'da artacaktır.
- Bu durum, deplesyon katmanının kapasitansı diye bilinir.

Sızıntı /Azınlık Akımı

- Şimdiye kadar öğrendiğimize göre; diyota ters gerilim uygulandığında çoğunluk akım çabucak sıfır olur.
- Ancak ters kutuplama da bile çok az bir azınlık akımı mevcut olacaktır. Bu ters akım germanyumda, silisyum'a göre daha fazladır.
- Bu akım silisyum için mikroamper veya nano amperler mertebesinde.
- Dolayısı ile ısı ile oluşan elektron boşluk çifti ise minimum seviyesindedir.
- Harici ters gerilim; uygulanırken bazı elektronlar PN birleşimini geçecektir.
- Ters akım aynı zamanda birleşimin ısısına ve ters geriliminin miktarına bağlıdır dolayısı ile ısının artması ters akımı da artıracaktır.



Ters Yönde Kırılma

- Eğer dışarıdan uygulanan ters polarma gerilimi aşırı derecede artırılırsa çığ kırılması meydana gelir.
- Şimdi bu ne demektir?
- Azınlık akım taşıyıcıları olan iletkenlik bandı elektronlar dışarıdan uygulanan ters gerilim kaynağının etkisi ile P bölgesine itilirler.
- Bu esnada valans elektronları iletkenlik bandına doğru hareket ederler.
- Her biri bir atomda bulunan bu elektronlar; valans bandından, iletkenlik bandına hareket eder.
- İletkenlik bandı elektronlarının hızla çoğalması olayı, çığ etkisi olarak bilinir.

Ters Yönde Kırılma

- Sonuç olarak büyük bir ters akım akar.
- Çoğu diyotlar genelde ters kırılma bölgesinde çalışmazlar.
- Çünkü hasar görebilirler.
- Bununla birlikte bazı diyotlar sırf ters yönde çalışacak yönde yapılmışlardır.
- Bunlara “Zener Diyot” adı verilir.

DİYOT

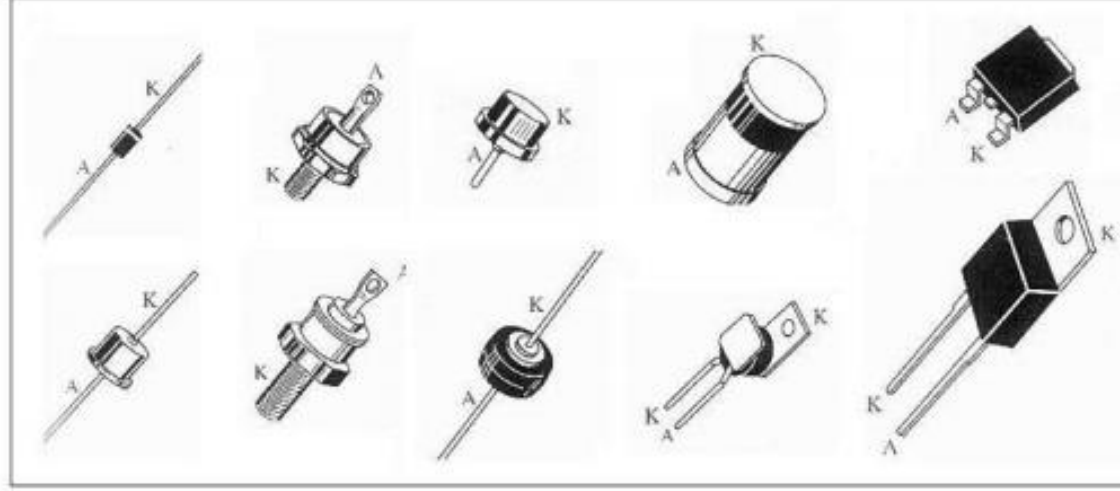
- Önceki bölümlerde oluşturulan PN birleşimine elektronik endüstrisinde “diyot” adı verilmektedir.
- Diyot, elektronik endüstrisinin temelini oluşturan en basit aktif devre elemanıdır.
- Üretici firmalar kullanıcının gereksinimine bağlı olarak farklı akım ve gerilim değerlerinde çalışabilecek şekilde binlerce tip diyot üretimi yapmışlardır.

PN Birleşimi ve Diyot

- Bir önceki bölümde oluşturulan P ve N maddesinin birleştirilmesi, Diyot adı verilen yarıiletken devre elemanını meydana getirir.
- P ve N maddesinin birleştirilmesi işlemi, diyot üreticileri tarafından bir yüzey boyunca veya belirli bir noktada yapılabilir.
- Bu nedenle diyotlara “nokta temaslı diyot” veya “yüzey bitişimli diyot” adı da verilebilir.
- Her iki tip diyotun özellikleri ve çalışma karakteristikleri aynıdır.

PN Birleşimi ve Diyot

Aşağıdaki şekillerde elektronik endüstrisinde kullanılan diyotların kılıf tipleri ve terminal isimleri verilmiştir.

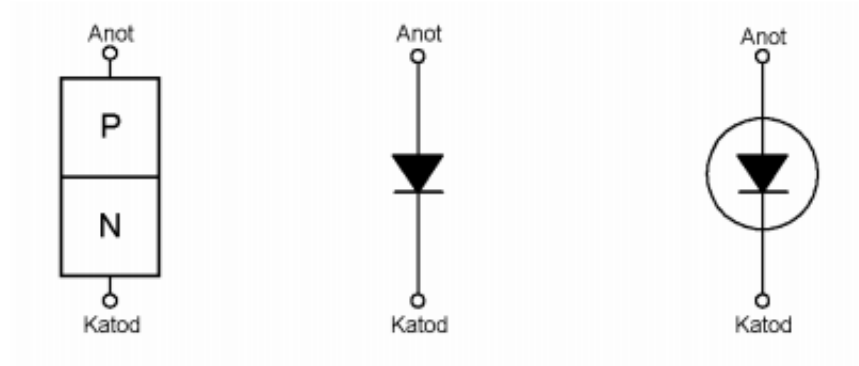


Diyot'larda kılıf tipleri ve terminal isimleri



PN Birleşimi ve Diyot

- Elektronik biliminde her devre elemanı sembollerle ifade edilir. Sembol tespiti bir takım uluslararası kurallara göre yapılmaktadır. Diyotun temel yapısı ve şematik diyot sembolleri verilmiştir.

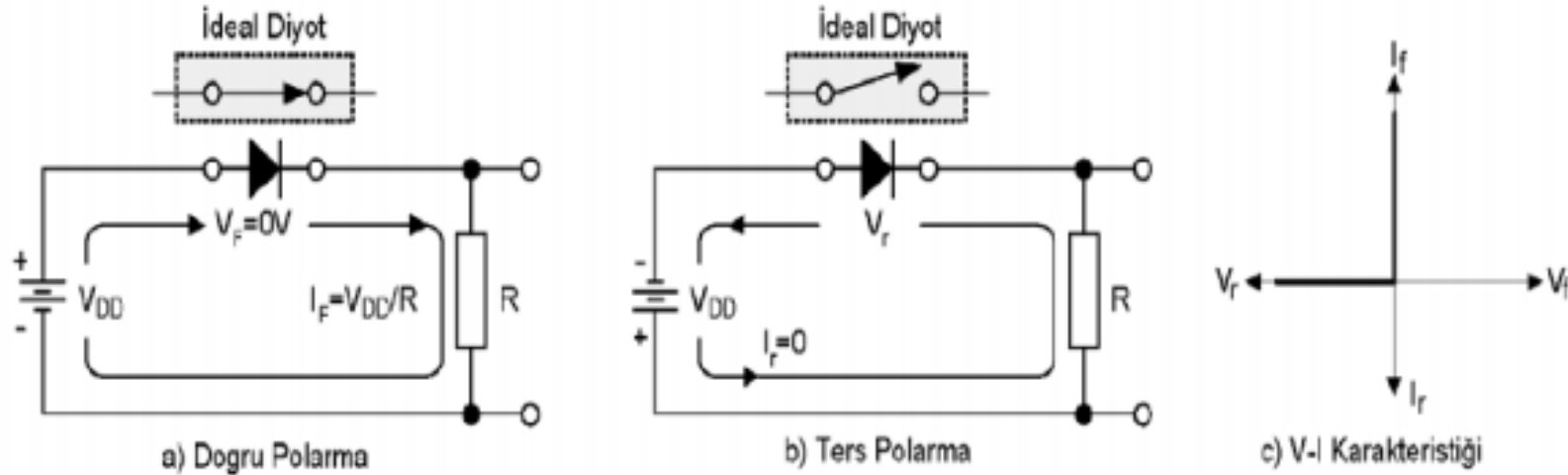


PN Birleşimi ve Diyot

- Şekilde görüldüğü gibi diyot 2 terminalli aktif bir devre elemanıdır. Terminallerine işlevlerinden dolayı “anot” ve “katot” ismi verilmiştir. Anot terminalini P tipi madde, katot terminalini ise N tipi madde oluşturur.
- Elektronik endüstrisinde farklı amaçlar için tasarlanmış, işlevleri ve özellikleri farklılıklar gösteren diyotlarda vardır. Bu diyotlar, özel tip diyotlardır.

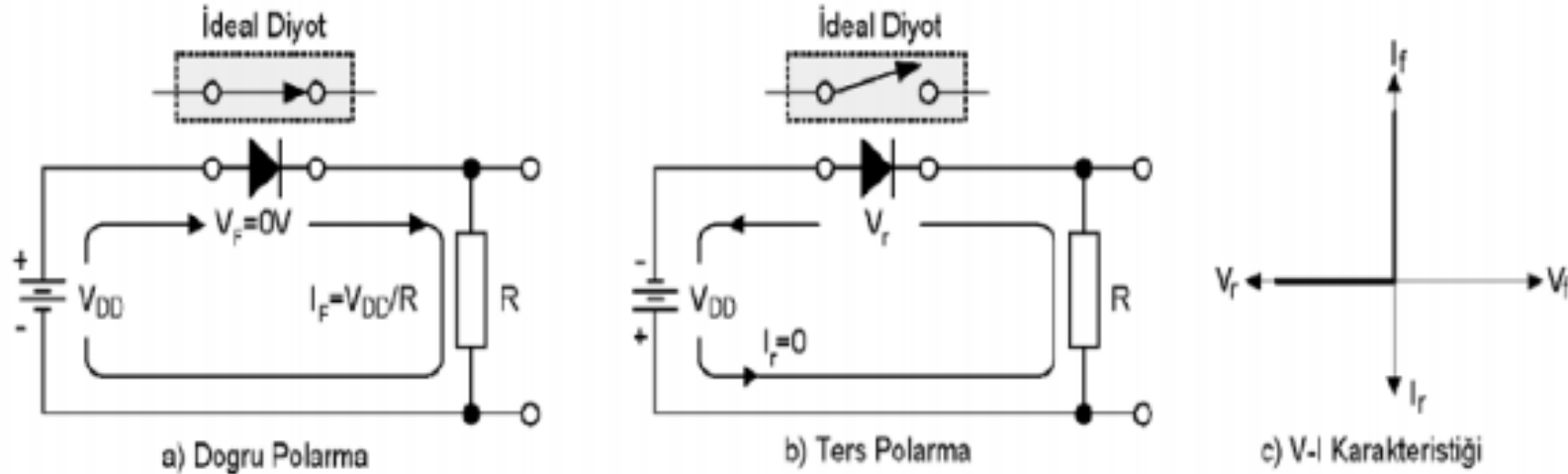
İdeal Diyot Modeli

- İdeal diyotu tek yönlü bir anahtar gibi düşünebiliriz.
- Anot terminaline göre; katot terminaline negatif veya daha düşük bir gerilim uygulanan diyot, doğru (ileri) yönde polarlamıştır.
- Diyot, doğru yönde polarlandığında kapalı bir anahtar gibi davranır. Üzerinden akım akmasına izin verir.
- Direnci minimumdur.
- Bu durum aşağıdaki Şekil a'da görülmektedir.



İdeal Diyot Modeli

- Anot terminaline göre; katot terminaline pozitif yada daha büyük bir gerilim uygulanan diyot ters yönde polarmalandırılmış olur.
- İdeal diyot ters yönde polarmalandırıldığında, açık bir anahtar gibi davranır.
- Üzerinden akım akmasına izin vermez ve direnci sonsuzdur.
- Bu durum Şekil b'de gösterilmiştir.
- İdeal bir diyot'un Akım-gerilim karakteristiği ise Şekil c'de verilmiştir.



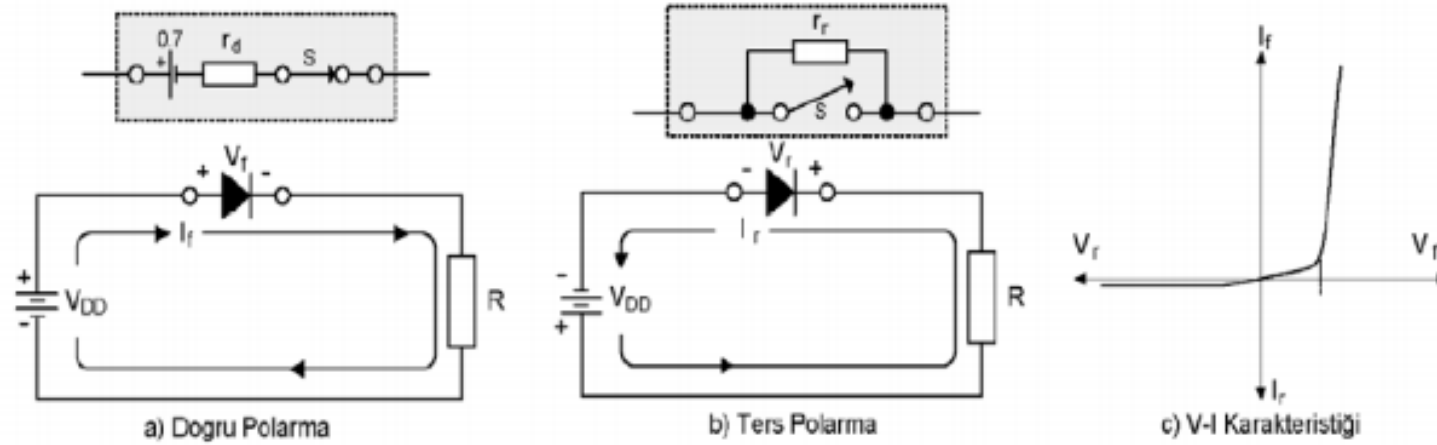
İdeal diyot'un ileri ve ters polarmada davranışları

Pratik Diyot Modeli

- Pratik kullanımda diyot, ideal modelden farklı davranışlar sergiler. Örneğin; doğru polarma altında kapalı bir anahtar gibi kısa devre değildir.
- Bir miktar direnci vardır.
- Bu nedenle üzerinde bir miktar gerilim düşümü oluşur.
- Bu gerilime “diyot öngerilimi” denir ve V_f veya V_d ile sembolize edilir.
- Bu gerilim değeri; silisyumda 0.6 - 0.7V, germanyumda ise 0.2 - 0.3V civarındadır.

Pratik Diyot Modeli

- Gerçek bir diyot'un doğru polarma altında modellenmesi aşağıdaki şekil a'da verilmiştir.
- Ters yönde polarmada ise, açık bir anahtar gibi direnci sonsuz değildir. Bu nedenle üzerinden çok küçük bir miktar akım akar.
- Bu akıma "sızıntı akımı" denir ve I_r ile sembolize edilir.
- Sızıntı akımı çok küçük olduğundan pek çok uygulamada ihmal edilebilir.
- Gerçek bir diyot'un ters polarma altında modellenmesi aşağıdaki şekil b'de ve diyotun V-I karakteristiği ise şekil c'de verilmiştir.

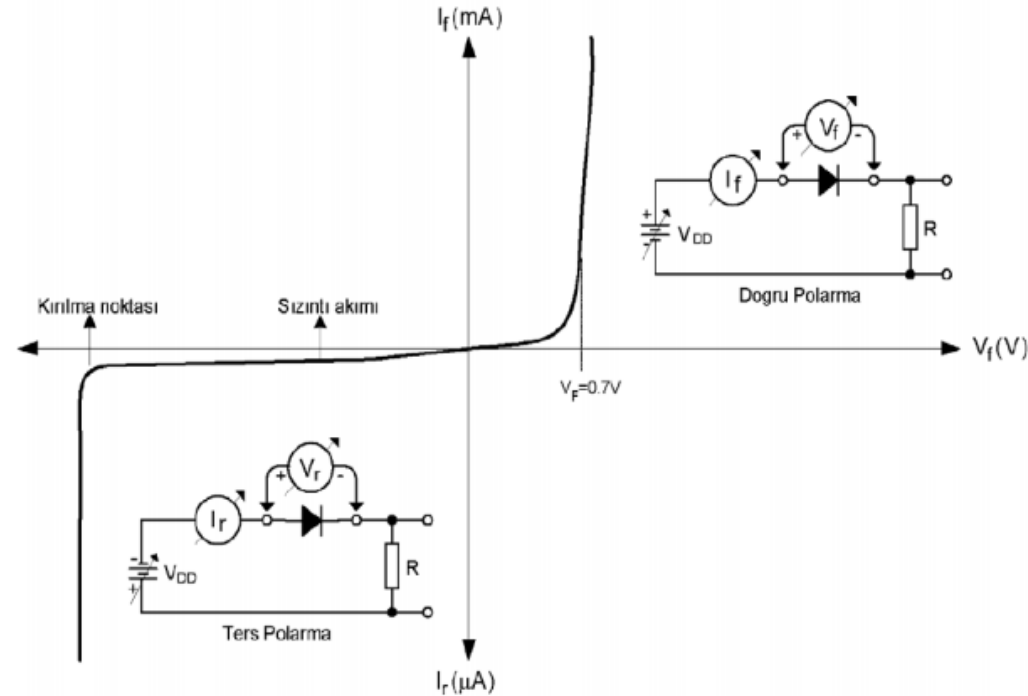


DİYOT KARAKTERİSTİKLERİ

- Diyot karakteristiği; diyota uygulanan polarma gerilimi ve akımlarına bağlı olarak diyotun davranışını verir.
- Üretici firmalar; ürettikleri her bir farklı diyot için, gerekli karakteristikleri kullanıcıya sunarlar.
- Diyot'un V-I karakteristiği; diyot uçlarına uygulanan gerilimle, diyot üzerinden geçen akım arasındaki ilişkiyi gösterir.
- Diyot; doğru ve ters polarma altında farklı davranışlar sergiler.

DİYOT KARAKTERİSTİKLERİ

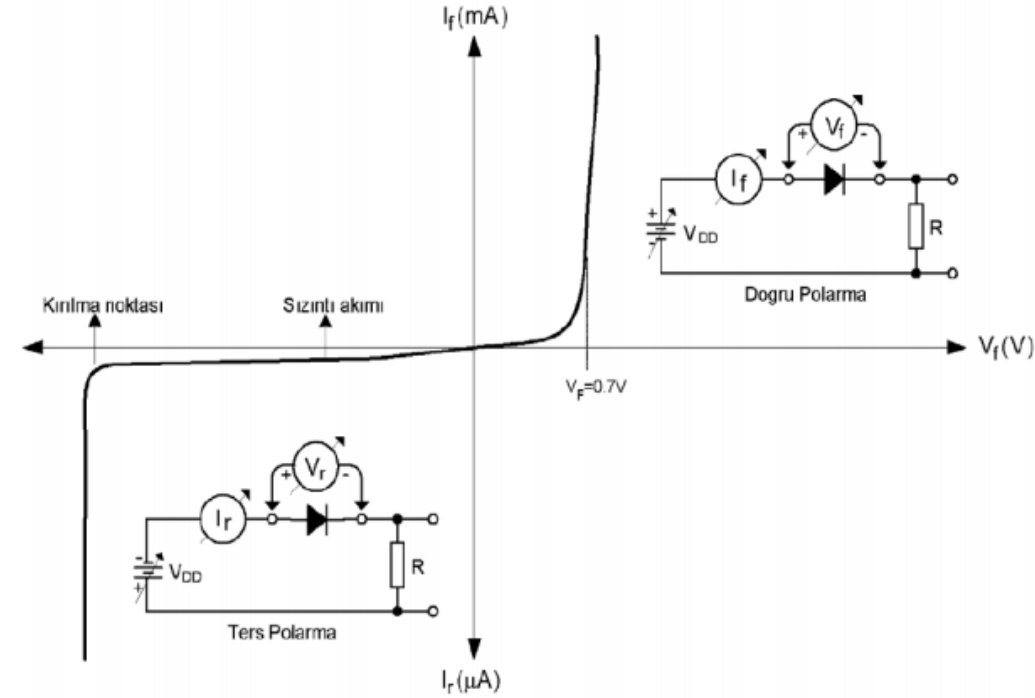
- Genel kullanım amaçlı silisyum diyotun doğru ve ters polarmalar altındaki V-I karakteristiği şekilde verilmiştir. Şekil üzerinde diyotun V-I karakteristiğini çıkarmak için gerekli devre bağlantıları görülmektedir.



Silisyum diyot'un V-I karakteristiği

DIYOT KARAKTERİSTİKLERİ

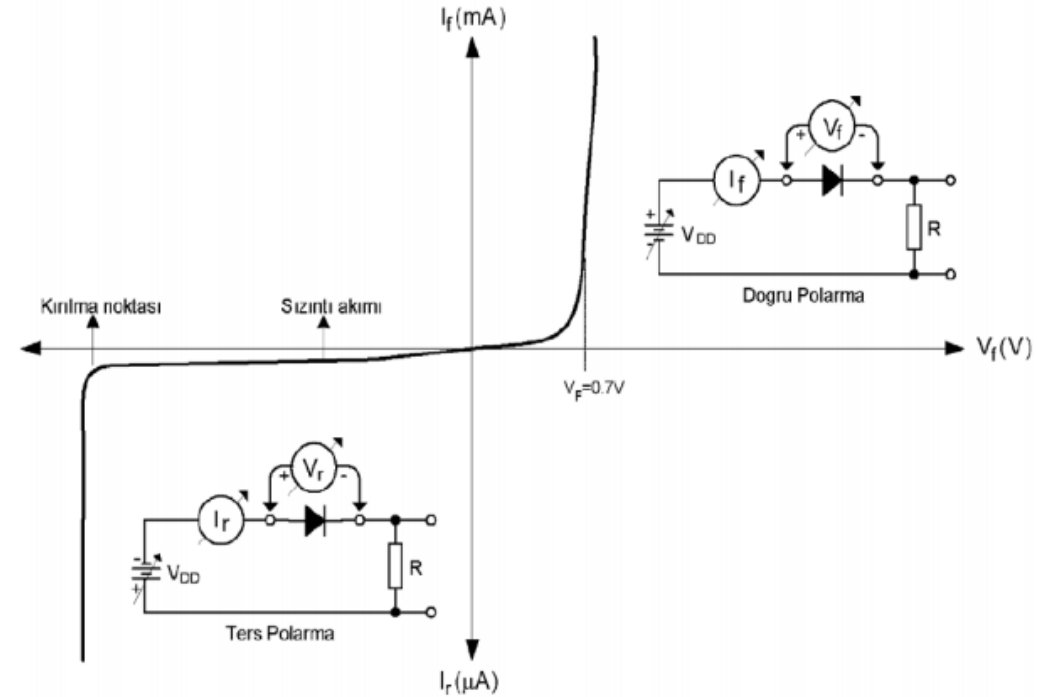
- Diyot, doğru polarmada iletimdedir.
- Ancak ilettime başlama noktası V_F olarak işaretlenmiştir.
- **Bu değerden sonra diyot üzerinden akan ileri yön I_f akımı artarken, diyot üzerine düşen gerilim yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.**
- Bu gerilim diyot öngerilimi olarak adlandırılır.
- Diyot öngerilimi silisyum bir diyotta yaklaşık olarak 0.7V civarındadır.



Silisyum diyot'un V-I karakteristiği

DİYOT KARAKTERİSTİKLERİ

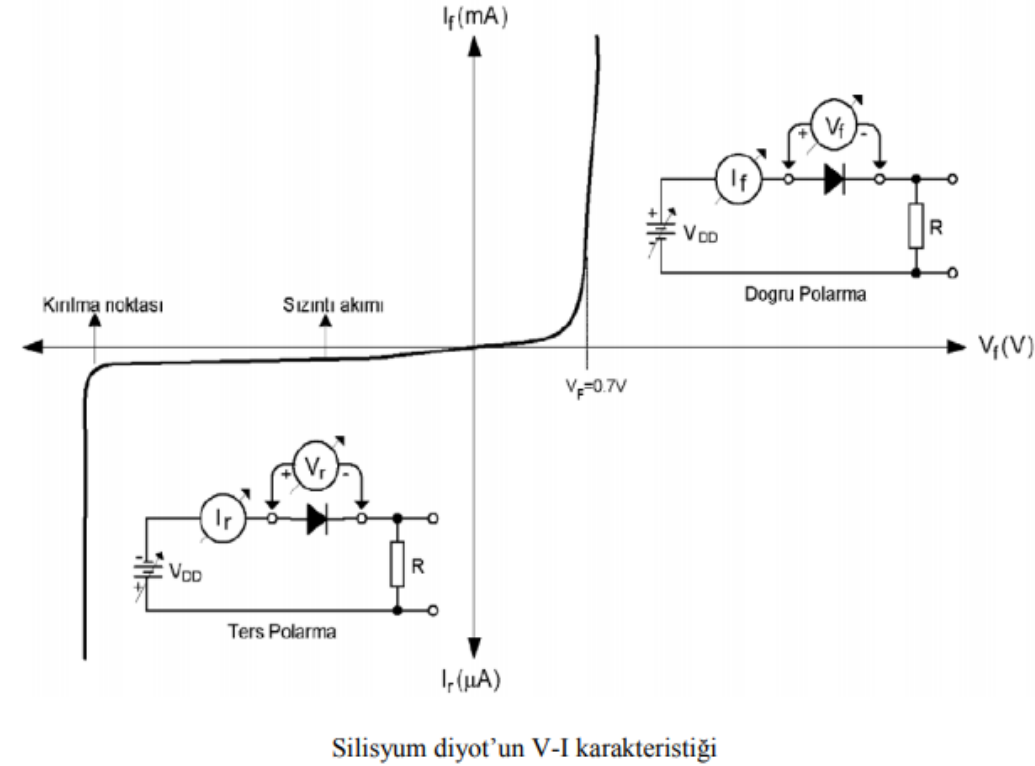
- Ters polarma altında ise; diyot üzerinden geçen akım miktarı çok küçüktür. Bu akıma “sızıntı akımı” denir.
- Sızıntı akımı, silisyum bir diyotta birkaç nA seviyesinde, germanyum bir diyot’ta ise birkaç μA seviyesindedir.
- Ters polarma altında diyot, belirli bir gerilim değerinden sonra ilettime geçer. Üzerinden akan akım miktarı yükselir.
- Ters polarma altında diyot’u kırılıp ilettime geçmesine neden olan bu gerilime “kırılma gerilimi” denir.
- Bu durum yukarıdaki şekil üzerinde de gösterilmiştir.



Silisyum diyot'un V-I karakteristiği

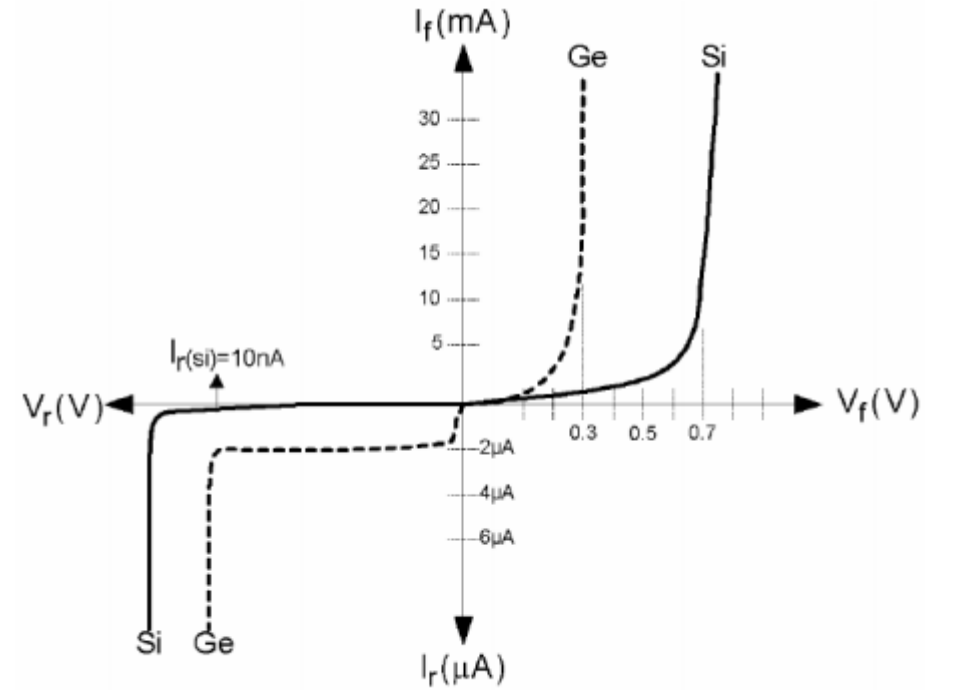
DIYOT KARAKTERİSTİKLERİ

- Diyot; kırılma geriliminde ilettime geçmekte ve üzerinden akım akmasına izin vermektedir.
- Yandaki şekildeki grafik dikkatlice incelenirse, diyot üzerinden akan akım arttığı halde, gerilim sabit kaldığı gözlenmektedir.
- Bu durum önemlidir.
- Üretici firmalar, bu durumu dikkate alarak farklı değerlerde kırılma gerilimine sahip diyotlar geliştirip, tüketime sunmuşlardır.
- Bu tür diyotlar zener diyotlarıdır.



DİYOT KARAKTERİSTİKLERİ

- Silisyum ve germanyum diyotların akım-gerilim karakteristik eğrileri yanda şekilde verilmiştir.
- Görüldüğü gibi germanyum diyotların sızıntı akımı çok daha büyüktür.
- Bu nedenle günümüzde silisyum diyotlar özellikle tercih edilir.
- Germanyum diyotlar, ise öngerilimlerinin küçük olmaları nedeniyle (0.2–0.3V) özellikle alçak güçlü yüksek frekans devrelerinde kırpıcı olarak kullanılmaktadırlar.



Silisyum ve germanyum diyot karakteristiklerinin karşılaştırılması

Diyot Direnci

- Diyot'un elektriksel olarak direnci; diyot uçlarındaki gerilimle diyot üzerinden geçen akımın oranına göre tayin edilir.
- Diyot direnci, karakteristiğinde görüldüğü gibi doğrusal değildir.
- Doğru polarma altında ve iletim halindeyken, direnci minimum $10\ \Omega$ civarındadır.
- Ters polarma altında ve kesimdeyken ise $10\text{M}\ \Omega$ - $100\text{M}\ \Omega$ arasındadır.
- Diyotun doğru akım altında gösterdiği direnç değerine “statik direnç” denir. Statik direnç (r_s) aşağıdaki gibi formüle edilir:

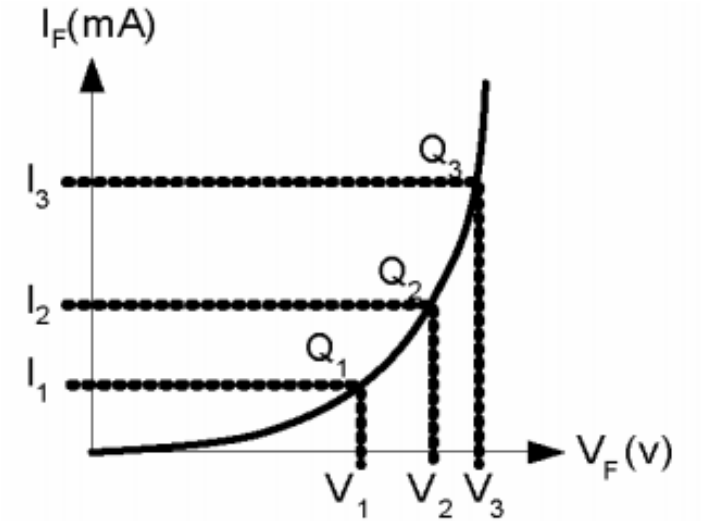
$$r_s(\text{statik}) = \frac{V_D}{I_D}$$

Diyot Direnci

- Alternatif akım altında gösterdiği direnç değerine “dinamik direnç” denir. Dinamik direnç (r_D) aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$r_D (\text{dinamik}) = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

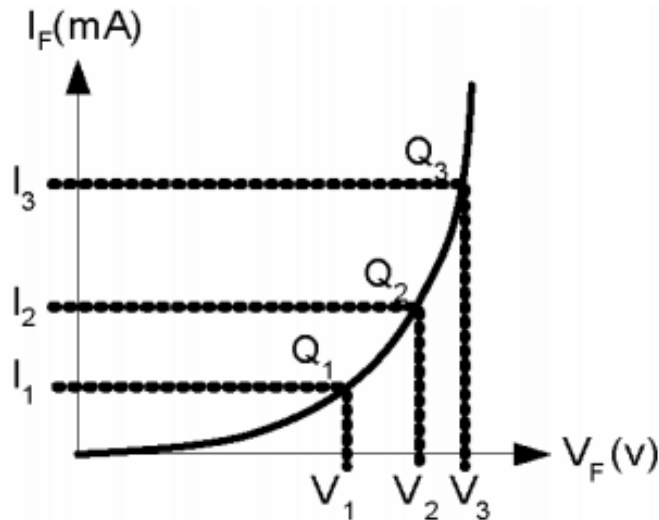
- Diyotlarda; dinamik veya statik direnç değerlerinin hesaplanmasında diyot karakteristiği kullanılır. Yandaki şekilde silisyum bir diyotun ileri yön karakteristiği verilmiştir.



Statik ve Dinamik diyot dirençlerinin belirlenmesi

Diyot Direnci

- Statik ve dinamik diyot dirençlerinin belirlenip formüle edilmesinde şekilde görülen diyot karakteristiğinden yararlanılır.
- Şekilde görülen karakteristikte değişim noktaları Q1, Q2 ve Q3 olarak işaretlenmiştir.
- Örneğin Q1-Q2 noktalarında diyot'un statik direnci: $r_s(Q_1) = \frac{V_1}{I_1}$ $r_s(Q_2) = \frac{V_2}{I_2}$ olarak bulunur.

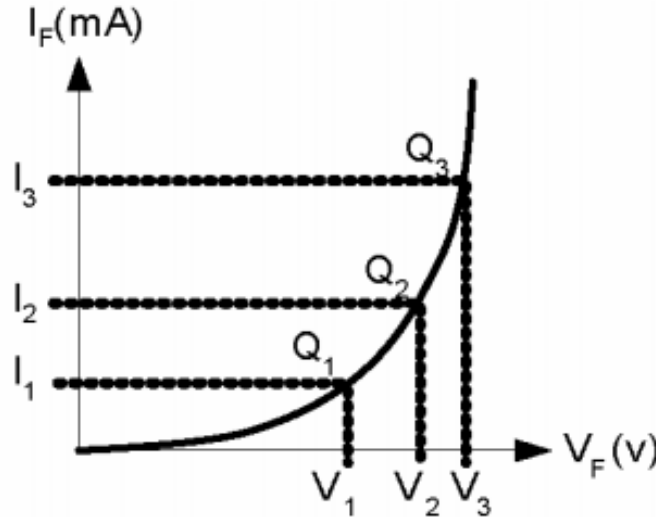


Statik ve Dinamik diyot dirençlerinin belirlenmesi

Diyot Direnci

- Diyot'un dinamik direnci ise, akım ve gerilimin değişmesi ile oluşan direnç değeridir.
- Örneğin Q2 noktasındaki dinamik direnç değerini bulmak istersek, Q2 noktasındaki değişimin Q3 – Q1 değişimi gibi bir değişimini almamız gerekir.

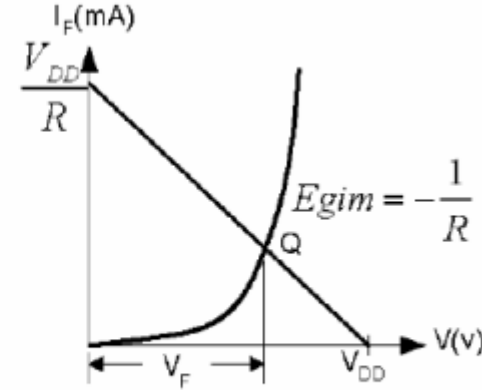
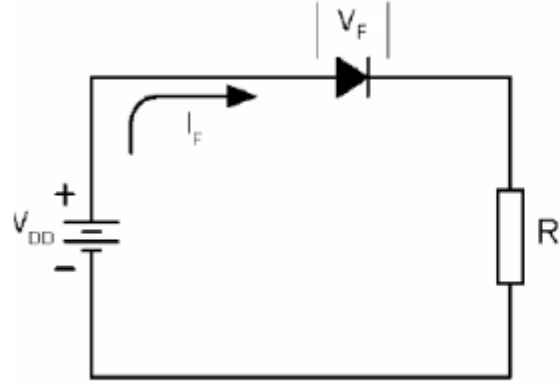
$$r_D = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_3 - V_1}{I_3 - I_1}$$



Statik ve Dinamik diyot dirençlerinin belirlenmesi

Yük Doğrusu ve Çalışma Noktası

- Diyot, direnç ve DC kaynaktan oluşan basit bir devre aşağıdaki şekilde verilmiştir.
- Devrede diyot doğru yönde polarize edilmiştir.



Yük Doğrusu ve Çalışma Noktası

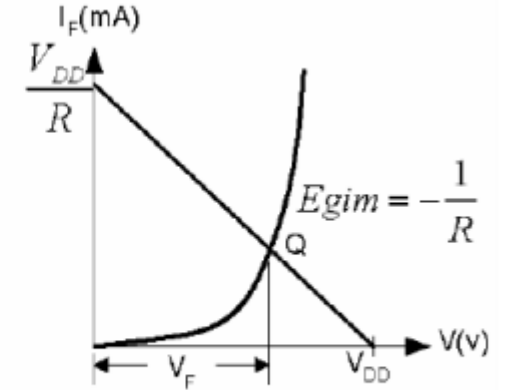
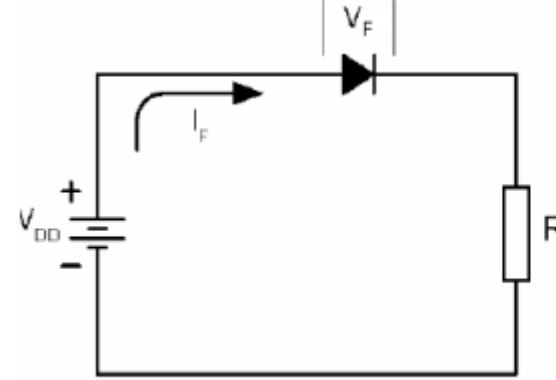
- Diyot ideal kabul edilirse devreden akacak akım miktarı:

$$I_F = \frac{V_{DD}}{R}$$

olacağı açıktır.

- Gerçek bir diyot kullanıldığında ise; devreden akacak I akımı miktarına bağlı olarak diyot uçlarında V_F ile belirlenen bir diyot öngerilimi oluşacaktır.
- Bu gerilim değeri lineer değildir. Bu gerilim değeri:

$$V_F = V_{DD} - I_F \cdot R \quad \text{olur.}$$



Yük Doğrusu ve Çalışma Noktası

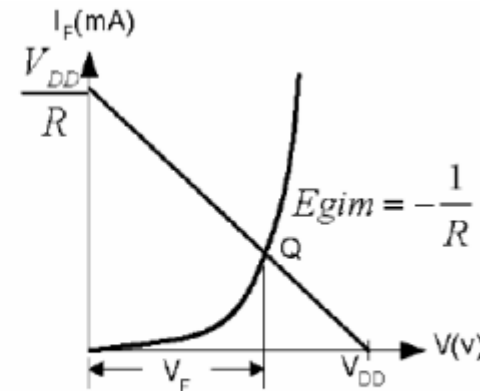
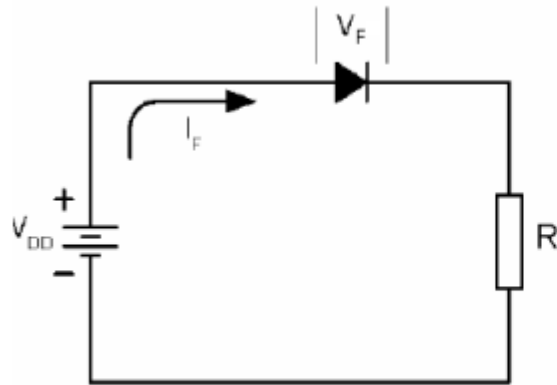
- Ayrıca devreden akan akacak olan I_f akımı değerinin VDD gerilimine bağlı olarak da çeşitli değerler alacağı açıktır.
- Çeşitli VDD değerleri veya I_f değerleri için, diyot ön gerilimi V_F 'nin alabileceği değerler diyot karakteristiği kullanılarak bulunabilir.
- VDD geriliminin çeşitli değerleri için devreden akacak olan I_f akım değerleri bulunup karakteristik üzerinde işaretlenir ve kesişim noktaları birleştirilirse yukarıdaki şekilde görülen eğri elde edilir.
- Bu eğriye **yük doğrusu** denilir.

Yük Doğrusu ve Çalışma Noktası

- Yük doğrusu çizimi için: $V_F = V_{DD} - I_F \cdot R$

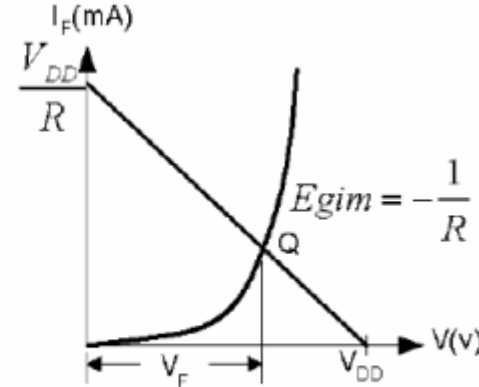
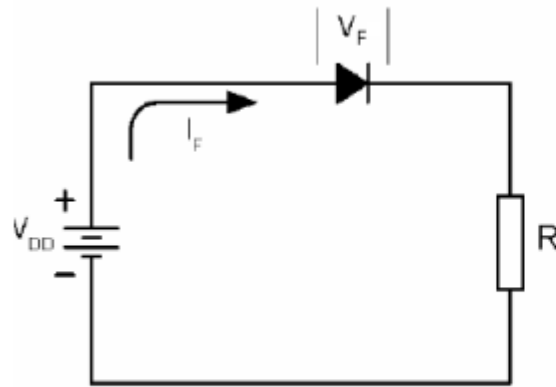
$I_f = 0$ için $V_f = V_{DD}$ (Diyot yalıtkan)

$V_f = 0$ için $I_f = V_{DD}/R$ (Diyot iletken)



Yük Doğrusu ve Çalışma Noktası

- Bulunan bu değerler karakteristik üzerindeki koordinatlara işaretlenir. İşaretlenen noktalar karakteristik üzerinde birleştirilirse yük doğrusu çizilmiş olur.
- Bu durum aşağıdaki şekil üzerinde gösterilmiştir.
- Diyot karakteristik eğrisinin yük çizgisini kestiği nokta Q çalışma noktası olarak bilinir.
- Yük çizgisinin eğimi ise $-1/R$ 'dir.
- Şekilde verilen devreye bağlı olarak yük doğrusu bir defa çıkarıldıktan sonra V_{DD} 'nin herhangi bir değeri için akacak akım miktarı ve buna bağlı olarak R direnci uçlarında oluşabilecek gerilim değeri kolaylıkla bulunabilir.
- Yük doğrusu ve çalışma noktasının tayini; diyot'u özellikle hassas kullanımlarda duyarlı ve pratik çalışma sağlar.



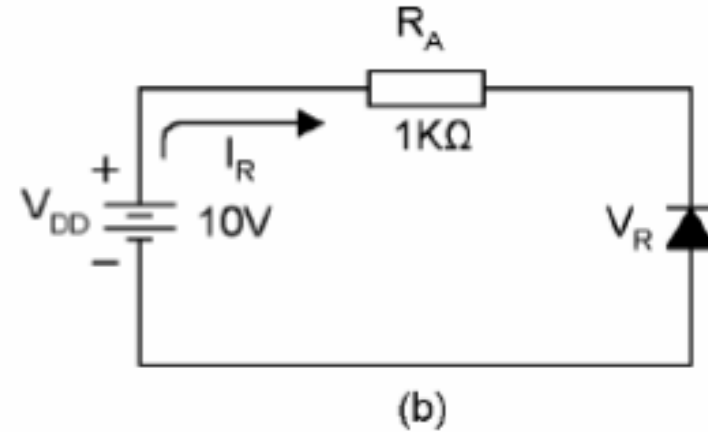
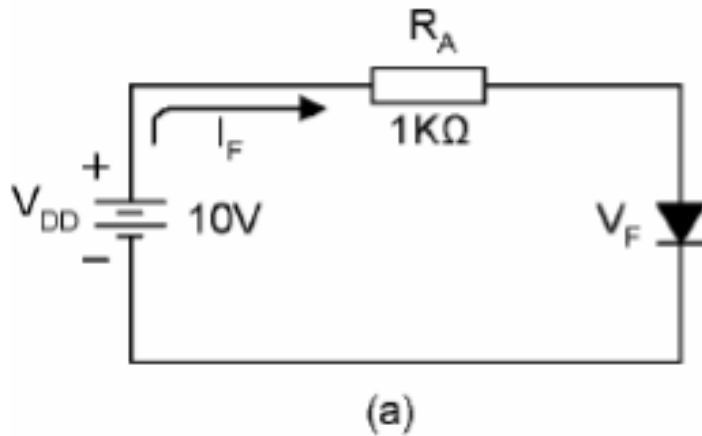
Sıcaklık Etkisi

- Diyot karakteristiği ile ilgili bir diğer faktör ise sıcaklıktır.
- Üretici firmalar diyotun karakteristik değerlerini genellikle 25 °C oda sıcaklığı için verirler.
- Diyot'un çalışma ortamı ısısı, oda sıcaklığından farklı değerlerde ise diyot öngeriliminde ve sızıntı akımında bir miktar değişime neden olur.
- Diyot öngerilimi V_f ; her 10 °C'lik ısı artışında yaklaşık 2.3mV civarında azalır.
- Diyot sızıntı akımı I ; her 100 °C'lik ısı artışında yaklaşık iki kat olur.
- Diyot'un ısı değişimine karşı gösterdiği duyarlılık oldukça önemlidir. Örneğin bu duyarlılıktan yararlanılarak pek çok endüstriyel ısı ölçümünde ve kontrolünde sensor olarak diyot kullanılır.

Örnek SORU 1.

- a) Aşağıdaki şekilde verilen devre için diyot üzerinden akan ileri yön akımını ideal ve pratik bir silisyum diyot için bulunuz.
- b) Aşağıdaki şekilde verilen devre için ters yön gerilim ve akım değerlerini ideal ve pratik bir silisyum diyot için bulunuz.

(Silisyum diyot ön gerilimi 0.7 V, ters yön akımı $I_R=1\mu\text{A}$)



Diyot devreleri

Çözüm

a)

İdeal Diyot Modeli;

$$I_F = \frac{V_F=0V}{R_A} = \frac{10V}{1K\Omega} = 10mA$$

$$V_A = I_F \cdot R_A = (10mA) \cdot (1K\Omega) = 10V$$

Pratik Diyot Modeli;

$$I_F = \frac{V_F=0.7V}{R_A} = \frac{10V - 0.7V}{1K\Omega} = 9.3mA$$

$$V_A = I_F \cdot R_A = (9.3mA) \cdot (1K\Omega) = 9.3V$$

b)

İdeal Diyot Modeli;

$$I_R=0A$$
$$V_R = V_{DD} = 10V$$

$$V_{RA} = 0V$$

Pratik Diyot Modeli;

$$I_R=1\mu A$$
$$V_{RA} = I_R \cdot R_A = (1\mu A) \cdot (1K\Omega) = 1mV$$

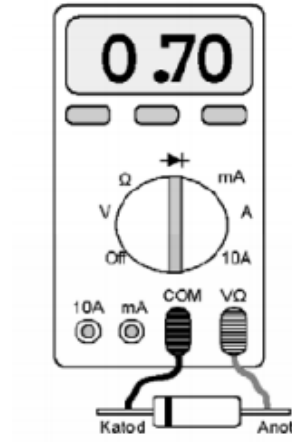
$$V_R = V_{DD} - V_{RA} = 10V - 1mV = 9.999V$$

Diyot Testi

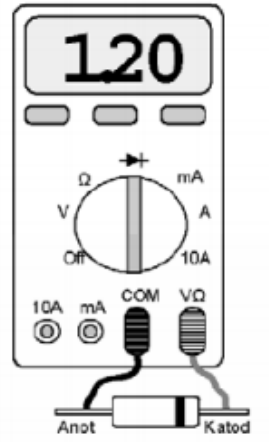
- Diyot, sayısal veya analog bir multimetre yardımıyla basitçe test edilebilir. Analog bir multimetre ile ölçme işlemi Q konumunda yapılır.
- Sağlam bir diyot'un ileri yön direnci minimum, ters yön direnci ise sonsuz bir değerdir.
- Test işlemi sonucunda diyot'un anot-katot terminalleri de belirlenebilir.

Diyot Testi

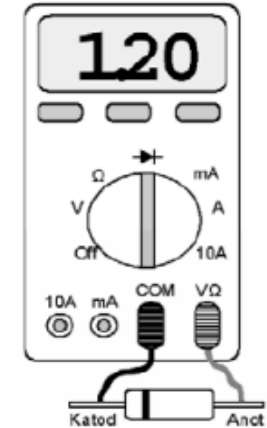
- Yandaki şekillerde diyotun sayısal bir multimetre yardımıyla nasıl test edileceği gösterilmiştir.
- Test işlemi sayısal multimetrenin “Diyot” konumunda yapılır. Multimetrenin gösterdiği değer diyot üzerindeki öngerilimdir.
- Bu gerilim; doğru polarmada silisyum diyotlarda 0.7V civarındadır. Germanyum diyotlarda ise 0.3V civarındadır.
- Ters polarmada her iki diyot tipinde multimetrenin pil gerilimi (1.2V) görülür.



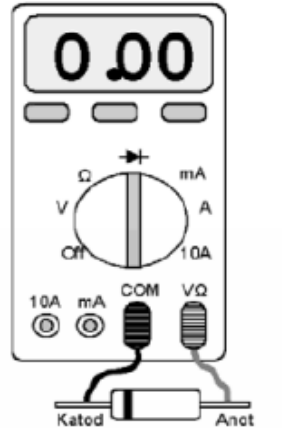
a) İleri Yönde polarma
Diyot Sağlam



b) Ters Yönde polarma
Diyot Sağlam



c) İleri Yönde polarma
Diyot Bozuk (açık devre)



d) İleri Yönde polarma
Diyot Bozuk (kisa devre)

Sayısal multimetre ile diyot testi

ÖZET (2. ve 3.Hafta)

- Doğadaki tüm maddeler atomlardan oluşur. Klasik bohr modeline göre atom 3 temel parçacıktan oluşur. Proton, nötron ve elektron.
- Atomik yapıda nötron ve protonlar merkezdeki çekirdeği oluşturur. Elektronlar ise çekirdek etrafında sabit bir yörüngede dolaşırlar. Protonlar pozitif yüklüdür. Nötronlar ise yüksüzdür.
- Elektronlar, çekirdekten uzakta belirli yörüngelerde bulunurlar ve negatif yüklüdürler. Yörüngedeki elektronlar atom ağırlığı ve numarasına bağlı olarak belirli sayılardadırlar.

ÖZET (2. ve 3.Hafta)

- Atomun yörüngeleri K-L-M-N olarak adlandırılırlar. Bir atomun son yörüngesindeki elektron miktarı 8'den fazla olamaz.
- Atomun son yörüngesindeki elektronlar “valans elektron” olarak adlandırılırlar. Valans elektronlar maddenin iletken, yalıtkan veya yarıiletken olarak tanımlanmasında etkindirler.
- Yarıiletken materyaller 4 adet valans elektrona sahiptir. Elektronik endüstrisinde yarıiletken devre elemanlarının üretiminde silisyum ve germanyum elementleri kullanılır.

ÖZET (2. ve 3.Hafta)

- Silisyum veya germanyum elementlerine katkı maddeleri eklenerek P ve N tipi maddeler oluşturulur. P ve N tipi maddeler ise elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanılırlar.
- P ve N tipi maddelerin birleşimi diyot'u oluşturur. Birleşim işlemi bir noktada yapılabilirdiği gibi yüzey boyunca da yapılabilir. Bu nedenle diyotlar genellikle yüzey birleşimli veya nokta temaslı olarak imal edilirler. Her iki tip diyot'unda temel özellikleri aynıdır.
- Diyot elektronik endüstrisinin en temel devre elemanlarından biridir. İki adet terminale sahiptir. N tipi maddeden oluşan terminale Katot, P tipi maddeden oluşan terminale Anot ismi verilir.

ÖZET (2. ve 3.Hafta)

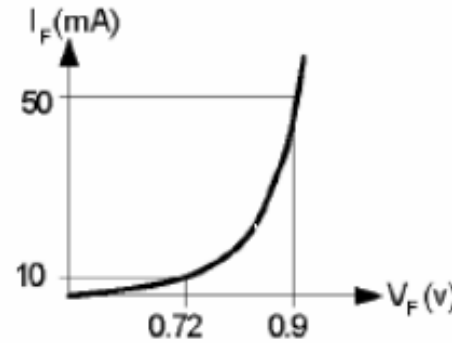
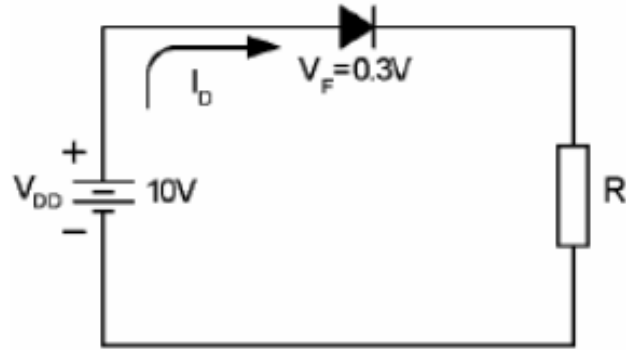
- Diyot iki temel çalışma biçimine sahiptir. Bunlar iletim ve kesim modunda çalışmadır.
- Diyot'un anoduna; katoduna nazaran daha pozitif bir gerilim uygulanırsa diyot iletim bölgesinde çalışır ve iletkenidir. Diyot'un anoduna; katoduna nazaran daha negatif bir gerilim uygulanırsa diyot kesim bölgesinde çalışır yalıtkandır.
- İletim bölgesinde çalışan bir diyot üzerinde bir miktar gerilim düşümü oluşur. Bu gerilime “diyot öngerilimi” denir. Diyot öngerilimi silisyum bir diyot üzerinde yaklaşık 0.7V, Germanyum bir diyot üzerinde ise yaklaşık 0.3V civarındadır

ÖZET (2. ve 3.Hafta)

- Diyot öngerilimi bir miktar diyot'un çalışma ortamı ısısına bağlıdır.
- Diyot öngerilimi 10°C sıcaklık artmasına karşın yaklaşık 2.3mV azalır.
- Kesim bölgesinde çalışan bir diyot, pratik olarak açık devre (direnci sonsuz) değildir. Üzerinden çok küçük bir miktar akım akar. Bu akıma "sızıntı akımı" denir. Bu değer nA ile μA 'ler mertebesinde.
- Sızıntı akım değeri germanyum diyotlarda silisyum diyotlardan bir miktar daha fazladır. Sızıntı akımı diyot'un çalışma ısısından etkilenir. Örneğin her 100°C sıcaklık artışında sızıntı akımı yaklaşık iki kat olur.
- Analog veya sayısal bir ohmmetre kullanılarak diyotların sağlamlık testi yapılabilir. Test işlemi sonucunda ayrıca diyot'un anot ve katot terminalleri belirlenebilir.

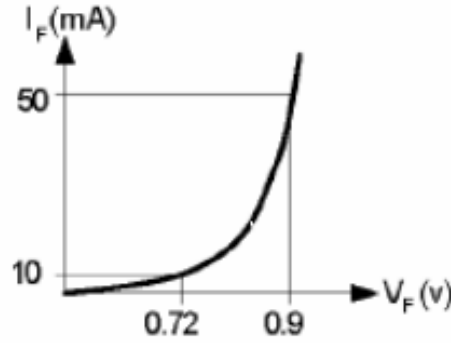
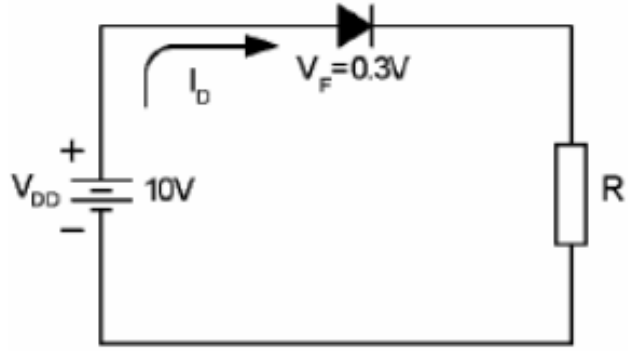
ÖDEV 1(Ödevler Laboratuvar ders saatinde teslim edilecektir.)

- SORU 1.
- a) Aşağıdaki şekilde verilen devrede germanyum diyot kullanılmıştır. Diyot'un dayanabileceği maksimum akım değeri 100mA olduğuna göre R direncinin minimum değeri ne olmalıdır? Diyot ve direnç üzerinde harcanan güçleri bulunuz?
- b) Aynı devrede verilen diyot karakteristiğini kullanarak diyotun ac dinamik direncini bulunuz?



Diyot devresi ve V-I karakteristiği

ÖDEV 1



Diyot devresi ve V-I karakteristiği

- SORU 2. Şekildeki devrede V_{DD} gerilimi okul numaranızın ilk iki hanesi, kullanılan diyotu silisyum diyot ve diyotun dayanabileceği maksimum akım okul numaranızın son 3 hanesi mA ise R direnç değeri nedir?