

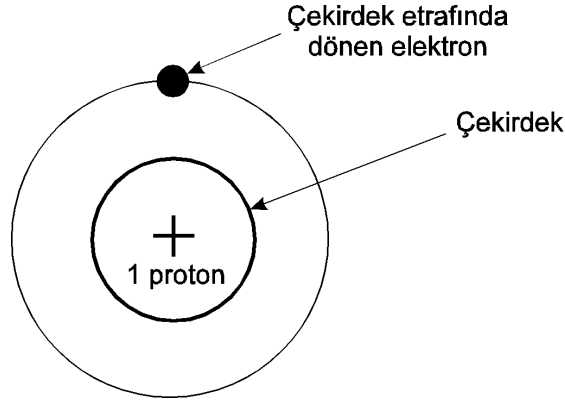
ANALOG ELEKTRONİK

ANALOG ELEKTRONİK.....	i
A. KISA ATOM BİLGİSİ.....	1
Giriş.....	1
Yörünge ve Kabuk.....	1
Enerji Bantları.....	2
İletken, Yarı İletken ve Yalıtkanlar.....	4
Kovalent Bağ.....	5
Saf Yarı İletken Malzemenin Özellikleri.....	5
N Tipi Malzeme.....	6
P Tipi Malzeme.....	7
Katkı Maddelerine Sıcaklığın Etkisi.....	8
B. DİYOTLAR ve ÇEŞİTLERİ.....	9
P-N Jonksiyonu.....	9
Ters Kutuplama.....	9
Çığ Delinme.....	10
İleri Kutuplama.....	10
Diyodun V-I Karakteristiği.....	11
Diyotlu Devrelerde Grafik Yöntemi ile Çalışma Noktasının Bulunması.....	12
İleri Kutuplama Durumu.....	12
Uygulama 1 :.....	13
Çözüm :.....	13
Ters Kutuplama Durumu.....	14
Uygulama 2 :.....	14
Çözüm :.....	14
Sonuçlar.....	15
Diyodun Direnci.....	15
Uygulama 3 :.....	15
Çözüm :.....	16
Uygulama 4 :.....	17
Çözüm :.....	17
Diyot Devrelerinin Yaklaşık Eşdeğer Analizi.....	17
Uygulama 5 :.....	18
Çözüm :.....	18
Uygulama 6 :.....	19
Çözüm :.....	19
Uygulama 7 :.....	19

KISA ATOM BİLGİSİ

Giriş

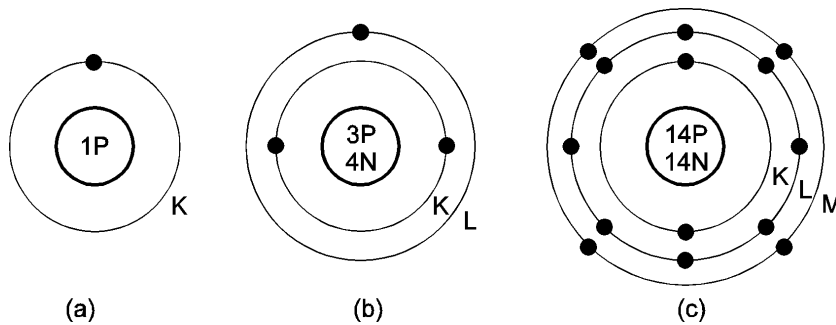
Maddenin en küçük parçası olan atom, merkezinde bir çekirdek ve etrafında dönen elektronlardan oluşur. Çekirdeği oluşturan en ağır parçacıklar proton ve nötronlardır. Proton ve nötronların ağırlığı yaklaşık olarak birbirine eşittir. Protonun ağırlığı elektronun ağırlığının 8000 katıdır. Elektron ve protonun elektrik yükleri birbirine eşittir. Protonlar pozitif yüklü olup, elektronlar negatif yüklüdür. Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Serbest halde atom nötr haldedir yani elektron sayısı proton sayısına eşittir. Atomlardaki elektron sayısı birden yüzbeşe kadar değişmektedir. Elektron, nötron ve proton sayısına göre farklı atomlar ve bu atomlardan özellikleri değişik olan elementler oluşur. Bir atomun numarası elektron sayısına veya proton sayısına eşittir. Atomun ağırlığı ise çekirdekteki nötron ve protonların sayısına eşittir. Hidrojen atomunun yapısı şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Hidrojen atomu

Yörünge ve Kabuk

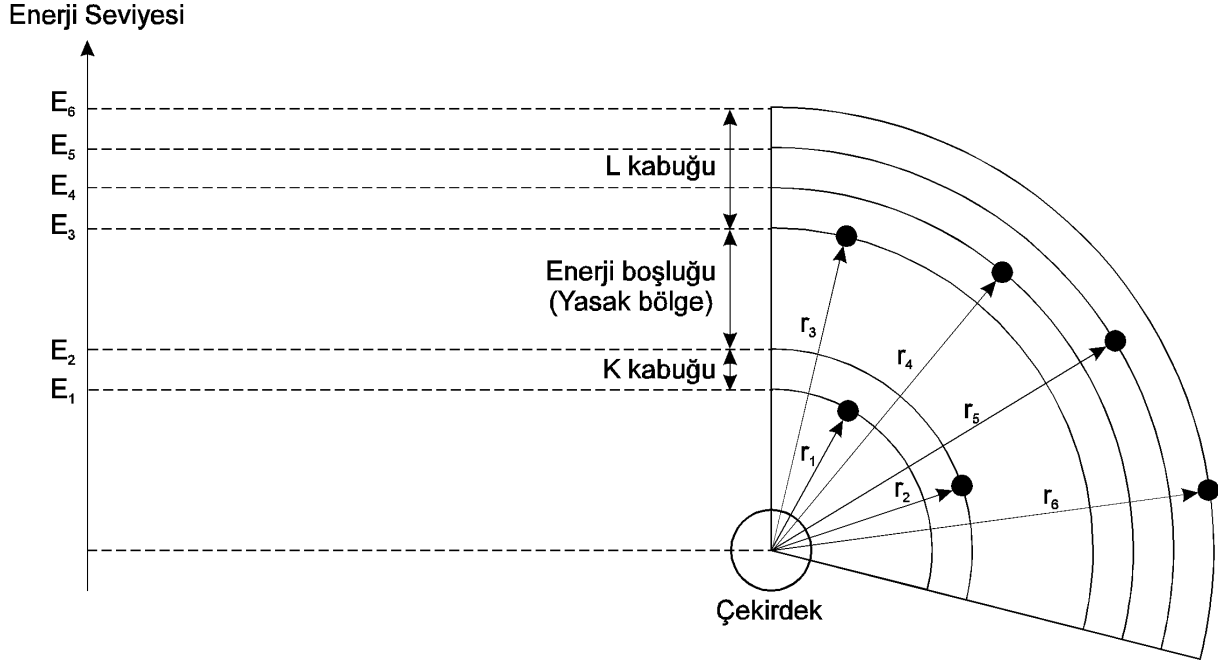
Elektronlar atomun çekirdeği etrafında *yörüngelerde* dönmektedir. Yörüngeler *kabuklarda* toplanmıştır ve kabuklar arasında boşluklar vardır. Bir atomun belirli sayıda kabuğu vardır. Her bir kabukta bulunabilecek maksimum elektron sayısı belirli ve sabittir. Kabuklar çekirdekten itibaren K,L,M,N,O,P,Q olarak adlandırılır. Kabuklarda bulunabilecek maksimum elektron sayısı sırasıyla 2,8,18,32,50,72,98 olarak bilinmektedir. Örnek olarak farklı atomların yapıları şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Değişik atom yapıları a) Hidrojen, b) Lityum ve c) Silisyum.

Enerji Bantları

Çekirdek etrafındaki dönen elektronların her biri ayrı bir yörüngeye ve her yörünge belirli bir enerji seviyesine sahiptir. Modern fiziğe göre her bir elektronun ayrık bir enerji seviyesi mevcuttur. Elektronlar çekirdekteki pozitif yüklü protonlar tarafından çekilir. Coulomb kanuna göre elektrik yükleri arasındaki çekim kuvveti mesafenin karesi ile ters orantılıdır. Dolayısıyla üst kabuklarda bulunan elektronların çekirdek tarafından çekilme kuvveti daha zayıftır. Bir atomun K kabuğunda bulunan elektronlar, L kabuğundaki elektronlara göre çekirdek tarafından daha kuvvetli bir şekilde çekilir. Elektronun yörüngesinin çapı arttıkça enerjisi de artar. Elektron enerjisi potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamıdır. Şekil 1.3'te yörüngelerdeki elektronlar ve enerjileri görülmektedir.



Şekil 1.3. Çekirdek etrafındaki yörüngeler ve enerji seviyeleri.

$$r_1 < r_2 < r_3 < r_4 < r_5 < r_6 \Rightarrow E_1 < E_2 < E_3 < E_4 < E_5 < E_6$$

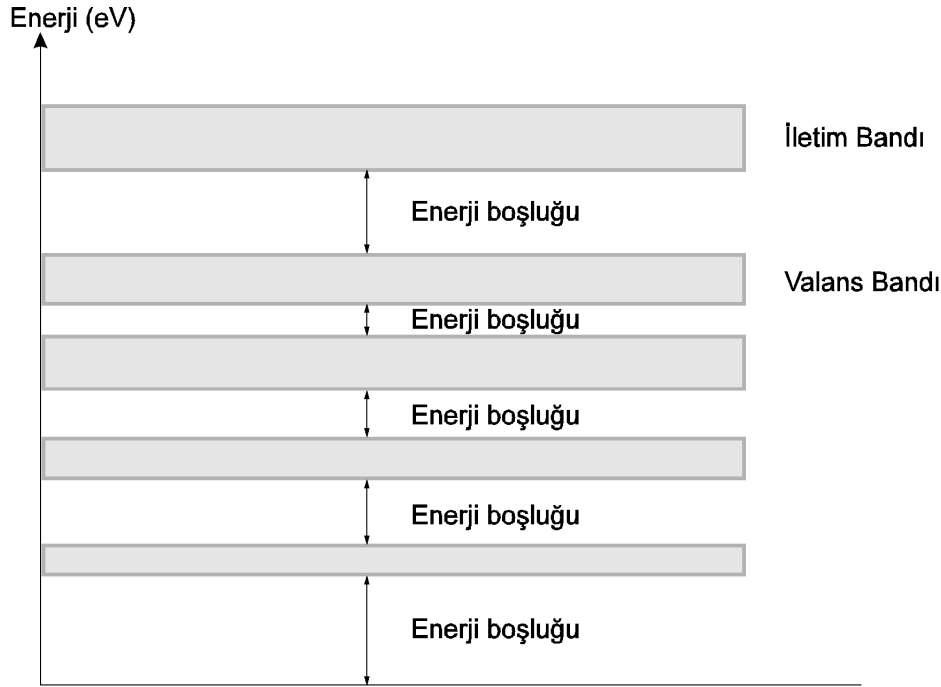
r : yarıçap, E : elektron enerjisi

Elektronların enerjileri çekirdekten uzaklaştıkça artmaktadır. Yarıçapı küçük olan elektronun enerjisi en küçüktür ve enerji yarıçap ile artar. Kabuk içindeki elektronların enerjileri arasındaki fark küçüktür. Kabuklar arasındaki enerji farkı ise büyüktür. L kabuğunda izin verilen maksimum elektron sayısı sekizdir yani sekiz farklı enerji seviyesi bulunabilir.

Kabuklar arasındaki bölge, yasak bölge veya enerji boşluğu olarak adlandırılır. Elektronlar bu bölgede bulunmazlar. Bütün kabuklar arasında enerji boşluğu mevcuttur. Atomun en dış kabuğundaki elektronlara *valans elektron* adı verilir. Atomun türüne göre dış kabuk K, L, M, N veya başka bir kabuk olabilir. Örneğin bakır atomundaki elektron sayısı 29 olup en dış kabuk N kabuğudur. Bakır atomunda bir tane valans elektron mevcuttur (K=2, L=8, M=18, N=1). Atomların kimyasal özellikleri valans elektronlar tarafından belirlenir. Bu elektronlar kimyasal reaksiyonlara girer ve atomlar arasında bağ oluşturur. En dış kabukta bulunan valans elektronlar atomik yapıdan kolaylıkla ayrılarak *serbest elektron* haline gelebilir. Elektronlar bir atomdan başka bir atoma ek bir enerji uygulanarak geçirilebilir. Atomun en dış kabuğu tamamen dolu ise diğer atomlarla elektron alışverişi yapamaz. Bir atom elektron verdiğinde pozitif, aldığı anda ise

negatif iyon olur. Pozitif iyon oluştuğunda serbest kalan elektron, atomun çekirdeğinin etkisinden çıkarak dış etkilere açık hale gelir.

Tek atom için geçerli olan enerji diyagramları, atomlar bir araya gelerek katı maddeyi oluşturduğunda geçerli olmaz. Katı maddelerde atomlar birbirine çok yakın olduğundan tek bir atomdaki enerji seviyeleri, katı maddede enerji bantlarını oluşturur. Katı bir maddede elektronlar için tek bir atoma göre daha fazla enerji seviyesi vardır ve bu seviyeler bantlar içerisinde toplanmıştır. Şekil 1.4'te enerji bantları gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Enerji bantları

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi valans bandının altında bir çok bant bulunabilir. Maddenin elektriksel özelliklerini incelemek için açısından valans bandı, iletim bandı ve bu iki bant arasındaki enerji boşluğu üzerinde durmak yeterlidir.

Atom ve yarı iletken teorisinde kullanılan *elektron volt* (eV) birimi, bir elektronun bir V'luk gerilim potansiyeline karşı hareket etmesi sonucu kazandığı enerjidir. Bir katı maddenin valans bandındaki elektronları iletim bandına geçirmek için ısı, ışık, elektrik gibi enerjilerden biri uygulanabilir. Maddeye gerilim uygulandığında oluşan serbest elektronlar elektrik akımı üretir. Akımı taşıyan elektronlar serbest elektronlardır. Akım yük akışı olduğuna göre belirli bir noktadan saniyede akan yük miktarı olarak tanımlanabilir. Yük birimi coulomb ve enerji birimi joule ile elektron enerjisi eV arasındaki ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir.

Enerji = Güç x Zaman	$I = Q / t$	1 Amper = 1 Coulomb / saniye
$W = P \times t = V \times I \times t$	$Q = I \times t$	1 Amper = 6.25×10^{18} elektron / saniye
Joule = Watt x saniye		1 Coulomb = 6.25×10^{18} elektron
$W = V \times Q$		1 elektron yükü = 1.6×10^{-19} Coulomb
$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ joules		

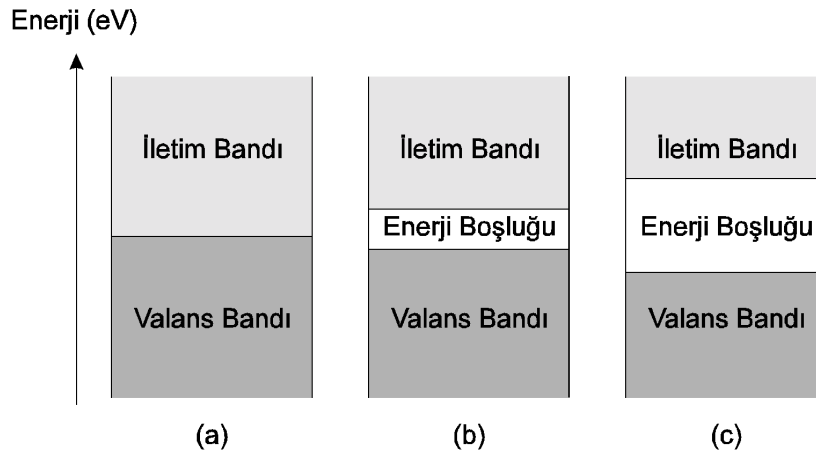
İletken, Yarı İletken ve Yalıtkanlar

Maddelerin elektriksel iletkenliği serbest elektron miktarına bağlıdır. Maddelerin 1 cm^3 'lük hacim içerisindeki serbest elektron miktarlarına göre iletken, yarı iletken ve yalıtkanlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1.1. İletken, Yalıtkan ve Yarı İletkenlerde Serbest elektron sayıları

	Serbest Elektron Sayısı
İletken	$10^{22} / \text{cm}^3 - 10^{23} / \text{cm}^3$
Yarı İletken	$10^8 / \text{cm}^3 - 10^{14} / \text{cm}^3$
Yalıtkan	$10 / \text{cm}^3$

İletken, yarı iletken ve yalıtkanlar enerji boşluklarına göre de sınıflandırılır. Bu durum Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Enerji boşluğu bir iletkende 0.05 eV 'tan küçük, yalıtkanlarda ise 8 eV 'den büyüktür. Yarı iletkenlerdeki enerji boşluğu 0.7 ile 1.4 eV arasındadır.



Şekil 1.5. a) İletken, b) Yarı İletken ve c) Yalıtkan malzemenin enerji bant diyagramları.

İletkenlerde enerji bant diyagramından görüldüğü gibi valans bandı ile iletim bandı arasında boşluk yoktur. Valans elektronlar atomlara zayıf olarak bağlıdır. Valans elektronun atomdan ayrılarak serbest elektron haline gelmesi çok kolaydır. Oda sıcaklığında ilave bir enerji uygulamadan elektrik akımını iletebilecek çok sayıda serbest elektron mevcuttur. Metallerin iyi iletken olmalarının en önemli sebebi son yörüngesinde 1, 2 veya 3 elektron bulunması ve bu elektronları kolaylıkla verebilmeleridir.

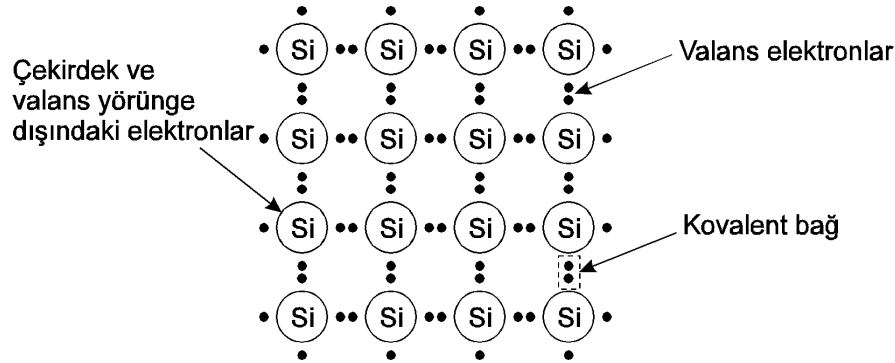
Yarı iletkenlerdeki enerji boşluğu nedeniyle iletim bandında hiç elektron olmadığı kabul edilebilir. Yarı iletkenlerin valans yörüngeleri iletkenlere göre daha fazla dolu olduğundan atomlar arasındaki bağ daha kuvvetlidir. Yarı iletkeni iletken hale getirmek için bu bağ bozabilecek bir enerji uygulamak gerekir. Silisyumun enerji boşluğu 1.1 eV , germanyumun 0.7 eV 'tur. Germanyum silisyuma göre daha iyi iletkenidir. Germanyumun serbest elektron sayısı silisyuma göre 1000 kat fazladır. Oda sıcaklığının sağladığı az bir enerji ile bazı elektronlar bağlarını kopararak iletim bandına atlayabilirler. Bundan dolayı yarı iletken malzemeler oda sıcaklığında elektrik akımını iletirler. Örneğin silisyumun serbest elektron miktarı $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de $2 \times 10^{10} / \text{cm}^3$, $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de $2 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ 'tür. Sıcaklıkla orantılı olarak serbest elektron sayısının

artması yani direncin düşmesi nedeniyle yarı iletkenler negatif sıcaklık katsayısına sahiptir. İletkenlerde ise taşıyıcı sayısı sıcaklık ile artmaz. Sıcaklığın artması ile elektronların hareketlerinde oluşan titreşimler akım geçişini zorlaştırır. Bundan dolayı iletkenlerin direnci sıcaklıkla artar ve direnç pozitif sıcaklık katsayılıdır. Yalıtkanlarda enerji boşluğunun çok büyük olması nedeniyle enerji vererek valans elektronları iletim bandına geçirmek çok zordur. Valans bandının tamamen dolu olmasından dolayı idealde iletim bandında hiç elektron yoktur. Pratikte iletim bandında çok az sayıda elektron olması nedeniyle yalıtkanlar çok küçük akımları iletir.

Kovalent Bağ

Atomlar arasında elektronların ortak kullanılması ile *kovalent bağ* oluşur. Aynı cins atomlar kovalent bağ ile üç boyutlu düzenli bir kristal yapı oluşturur. Kristal yapı periyodik bir şekilde kendini tekrarlayan yapıdır. Katı cisimlerin çoğu kristal yapıdadır. Paylaşılan her elektron, kendisini paylaşan iki komşu atomun çekirdeği tarafından eşit bir şekilde çekilmektedir. Valans elektronların bu şekilde paylaşımı atomları bir arada tutar. Kovalent bağ ile elektron paylaşımı atomun nötr olmasını değiştirmez.

Kararlı bir atom yapısında son yörüngede 8 elektron bulunur. Son yörüngesinde 4 elektron bulunan bir yarı iletken malzemede (silisyum veya germanyum), kendilerine komşu olan atomlar elektron paylaşarak kovalent bağ oluşturur. Böylece atomların son yörüngelerindeki elektron sayısı 8'e tamamlanır ve kristal yapı oluşur. Silisyum kristalinin iki boyutlu yapısı Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



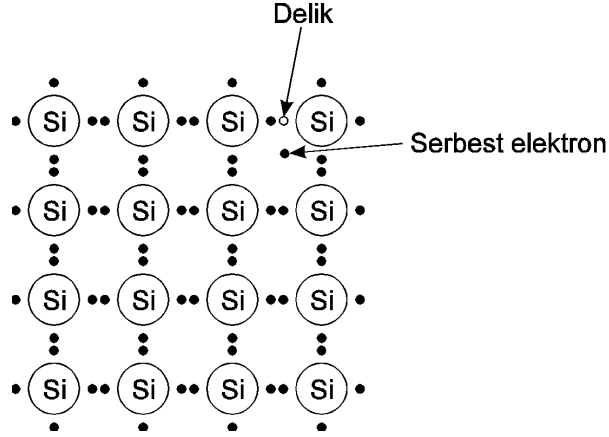
Şekil 1.6. Silisyum kristalinin iki boyutlu yapısı.

Saf Yarı İletken Malzemenin Özellikleri

Saf bir yarı iletken kristalinde 0°K (-273°C)'de valans elektronların hepsi komşu atomlara sıkı bir şekilde kovalent bağ ile bağlıdır. Bağlı olan elektronlar kristal yapı içinde hareket edemez ve elektrik akımını iletmez. Valans bandı doludur ve iletim bandında hiç elektron yoktur. Yarı iletken kristal bir yalıtkan gibi davranır.

Saf bir yarı iletken kristali oda sıcaklığında bir miktar iletkenlik gösterir. Oda sıcaklığında kristal ısınarak atomları enerjilenir. Atomların enerjilenmesi valans elektronların enerjisi artırır. Valans bandının üst seviyesinde bulunan elektronlardan bazıları yeterli kinetik enerjiye ulaşarak atomdan bağını koparır ve serbest elektron haline gelir. Yani boşluk bandını atlayarak iletim bandına geçer. Saf olan Ge ve Si'deki serbest elektronlar, sadece valans bandında bulunan ve ısı veya ışık kaynaklarından kovalent bağı koparmaya yetecek enerji alan veya tam saflaştıramamaktan kaynaklanan az sayıdaki elektrondan oluşur. 10^{13} atom içinde bir katkı atomu bulunduran silisyum saf kabul edilir.

Kristal yapıda ısı enerjisi olarak kovalent bağı koparan bir elektron ve elektronun ayrılması nedeniyle oluşan boşluk Şekil 1.7’de gösterilmiştir. Elektron kaybeden atom pozitif yüklü hale gelir. Elektronun atomdan ayrılması ile kovalent bağda oluşan boşluğa *delik* denir. Delik pozitif yüklü olup bir ağırlığa sahip değildir ve elektronları çeker. Serbest kalan elektron ve oluşan delik, *elektron-delik çifti* olarak adlandırılır. Kristal içindeki elektron-delik çifti sayısı sıcaklıkla artar.

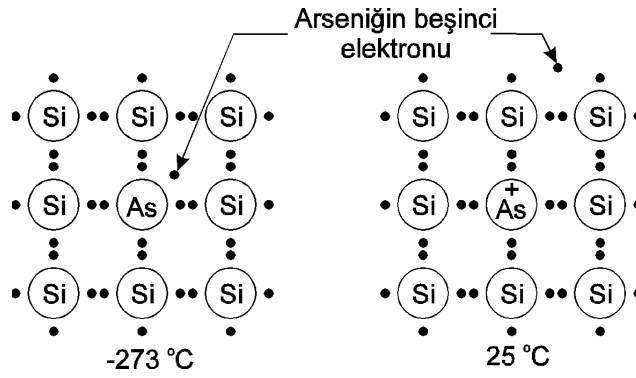


Şekil 1.7. Oda sıcaklığında saf silisyum kristalinde bir elektronun bağı kopartarak serbest hale gelmesi ve delik oluşması.

Oda sıcaklığında bulunan yarı iletken kristale bir gerilim uygulandığında, sıcaklık nedeniyle serbest kalan elektronlar elektrik akımı üretir. Serbest elektronlar atomların çekim etkisinden kurtulduğu için hızlı bir şekilde kaynağın pozitif ucuna doğru hareket eder. Sıcaklığın artması ile serbest elektron ve delik sayısı artar. Kovalent bağlarını koparan serbest elektronların oluşturduğu delikler de hareket halindedir. Kovalent bağ içindeki delik komşu atomun elektronu tarafından doldurulur. Komşu atomda oluşan delik, onun komşusu olan atom tarafından doldurulur. Delik kaynağın negatif ucuna doğru ilerler ve kaynaktan kopan bir elektron deliği doldurur. Sıcaklık nedeniyle elektron-delik çifti sürekli oluşur ve yarı iletken bir akım geçer. Delikleri dolduran elektronlar, serbest elektron olmak için yeterli miktarda enerjilenememiş olan valans elektronlardır. Serbest elektronun hareketi delik hareketine göre çok hızlıdır. Yarı iletken geçen akım, serbest elektronların oluşturduğu akım ile deliklerin oluşturduğu akımın toplamıdır. Delik hareketi serbest elektronların hareketinin tersinedir. Saf bir yarı iletken serbest elektronların sayısı ile deliklerin sayısı birbirine eşittir. Saf bir yarı iletken malzemeye katkı atomları eklendiğinde bant yapısı, elektriksel karakteristikleri değişir. Katkı oranı on milyonda bir civarında olmasına rağmen yarı iletkenin davranışı önemli ölçüde farklılaşır. Katkılanan malzeme N tipi veya P tipi malzemeye dönüşür.

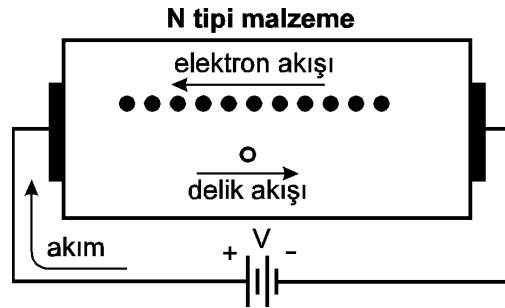
N Tipi Malzeme

Valans elektron sayısı beş olan antimon, arsenik, bizmut ve fosfor gibi bir katkı maddesi germanyum veya silisyum tabana önceden belirlenmiş miktarda eklenerek N tipi malzeme elde edilir. Şekil 1.8’de silisyum malzemeye az miktarda arsenik eklenerek elde edilen N tipi malzemenin sıcaklık ile ilişkisi gösterilmiştir. Arsenik atomlarının beş valans elektronu silikonun kristal yapısına tam olarak uymaz. Sadece dört elektronu kovalent bağda bulunur. Beşinci elektron kovalent bağa katılmaz ve mutlak sıfır sıcaklıkta komşu atoma gevşek bir şekilde bağlıdır. Bu elektron oda sıcaklığında aldığı enerji (0.05 eV civarında) ile serbest elektron olur. Bu elektronun atomdan ayrılması ile delik oluşmaz. Arsenik atomu elektron kaybettiği için pozitif iyon olur. Pozitif iyonların kristal yapı içindeki konumları değişmez.



Şekil 1.8. Silisyuma arsenik eklenmesiyle elde edilen N tipi malzeme.

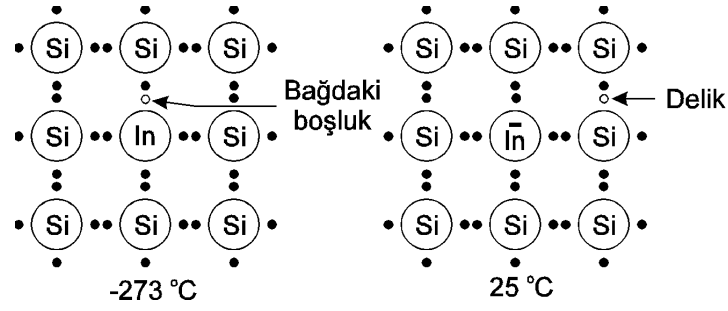
Kovalent bağı oluşturan elektronlardan bazıları oda sıcaklığında iletim bandına geçerek delikler oluşur. İletim bandındaki serbest elektron sayısı valans bandındaki delik sayısından çok fazladır. Bu miktar katkılama oranı ile belirlenir. Katkılama işlemi arseniğin serbest elektron sayısı, oda sıcaklığında oluşan elektron-delik çiftinin bir milyon katı olacak şekilde yapılır. Saf kabul edilen silisyum malzemesinde oda sıcaklığında her 10^{12} atomda bir serbest elektron bulunur. 10^6 atomda bir katkı atomu bulunursa, taşıyıcı oranı 10^6 (bir milyon kat) artar. N tipi malzemede serbest elektronlar çoğunluk akım taşıyıcısı ve delikler azınlık akım taşıyıcısıdır. Şekil 1.9'da N tipi malzemede elektron ve delik akışları gösterilmiştir. Elektronlar kaynağın (-) ucundan (+) ucuna doğru hareket eder. Akım yönü elektron akışının tersi olarak kabul edilir.



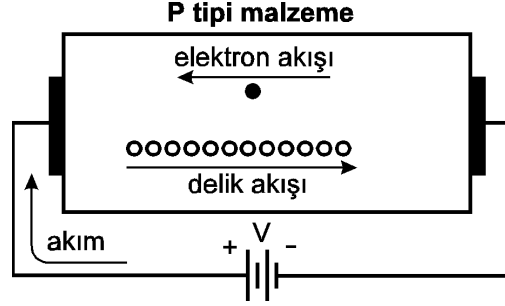
Şekil 1.9. N tipi malzemede elektron ve delik akışları.

P Tipi Malzeme

Valans elektron sayısı üç olan indiyum, boron, alüminyum ve galyum gibi bir katkı maddesi germanyum veya silisyum tabana önceden belirlenmiş miktarda eklenerek P tipi malzeme elde edilir. Şekil 1.10'da silisyum malzemeye az miktarda indiyum eklenerek elde edilen P tipi malzemenin sıcaklık ile ilişkisi gösterilmiştir. İndiyum atomlarının üç valans elektronu silisyumun kristal yapısına tam olarak uymaz. İndiyum kristal yapıda üç kovalent bağ oluşturur ve bir kovalent bağ boş kalır. Boş kalan kovalent bağdaki delik, komşu atomların valans elektronları ile kolaylıkla doldurulabilir. Bu deliğin doldurulması için gereken enerji, valans elektronların boşluk bandını atlayarak iletime bandına geçmeleri için gereken enerjiden çok küçüktür. İndiyum atomlarına komşu olan silisyum atomlarının valans elektronları oda sıcaklığında yeterli miktarda enerji alarak (0.08 eV civarında) delikleri kolaylıkla doldurur. İndiyum atomları elektron aldığı için negatif iyon olur. Oda sıcaklığında silisyum atomlarında oluşan elektron-delik çifti nedeniyle iletim bandında az sayıda serbest elektron da bulunur. P tipi malzemede çoğunluk akım taşıyıcıları delikler ve azınlık akım taşıyıcıları elektronlardır. Bu durum Şekil 1.11'de gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Silisyuma indiyum katılarak elde edilen P tipi malzeme.



Şekil 1.11. P tipi malzemede elektron ve delik akışları.

Katkı Maddelerine Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklıkla N veya P tipi malzemede oluşan elektron-delik çifti, yani azınlık akım taşıyıcıları artar. Katkı maddesinden gelen çoğunluk taşıyıcıları ise sıcaklıkla değişmez. Örnek olarak N tipi bir malzemede farklı sıcaklıklarda oluşan elektronlar ve delikler Tablo 1.2'de gösterilmiştir. Mutlak sıfırda (-273 °C) elektron-delik çifti oluşturacak bir enerji yoktur. Aynı zamanda katkı atomlarının elektronlarını iletim bandına geçirecek seviyede bir enerji de yoktur. Oda sıcaklığında (25 °C) azınlık taşıyıcılarının sayısı, katkı maddesinden kaynaklanan serbest elektron sayısına göre çok düşüktür. Sıcaklık 250 °C olduğunda delik sayısı elektron sayısına yaklaşık olarak eşittir ve madde saf bir yarıiletken gibi davranır.

Tablo 1.2. Farklı sıcaklıklarda tipik bir N tipi silisyumun taşıyıcı konsantrasyonları.

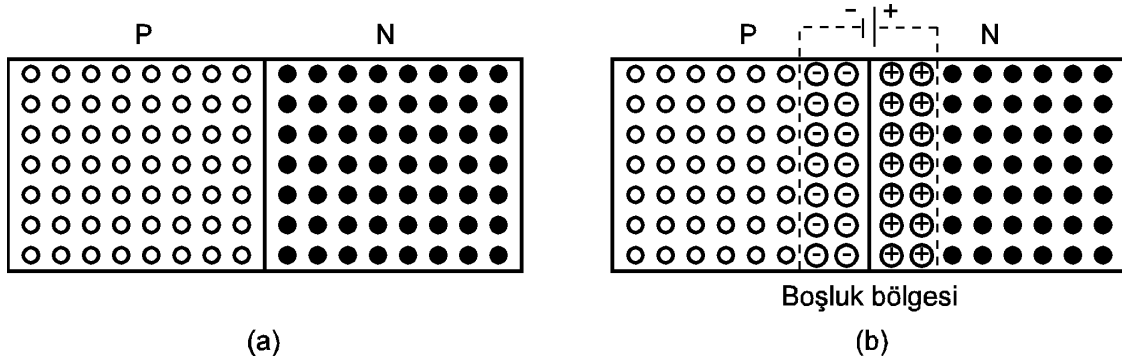
Sıcaklık	Katkı maddesinin serbest elektronları	Sıcaklıkla oluşan elektron (delik) sayısı	Toplam serbest elektron sayısı
-273 °C	0	0	0
25 °C	10^{15}	1.5×10^{10}	$\approx 10^{15}$
200 °C	10^{15}	10^{15}	2×10^{15}
250 °C	10^{15}	10^{16}	1.1×10^{16}

A. DİYOTLAR ve ÇEŞİTLERİ

P-N Jonksiyonu

P ve N tipi malzemeler bir kristal yapı içinde bir araya getirildiğinde iki bölge arasında bir P-N jonksiyonu oluşur. Bu eleman yarı iletken diyot olarak bilinir ve tek yönde akım geçirir. P-N jonksiyonu diyot, transistör ve diğer yarı iletken elemanların temelidir.

Jonksiyon oluşmadan önce oda sıcaklığında, N bölgesinde çok sayıda serbest elektron ve P bölgesinde çok sayıda delik mevcuttur. Elektronlar ve delikler bütün yönlerde serbestçe hareket eder. Jonksiyon oluşması anında elektronlardan bir kısmı P bölgesine doğru hareket eder. Bu hareketin sebebi difüzyon akımıdır. Difüzyon akımı elektron yoğunluğunun çok olduğu yerden az olduğu yere doğru oluşan yayılmadır. P bölgesine geçen elektronlar deliklerle birleşir. N bölgesinde elektronlarını kaybeden atomlar (+) ve P bölgesinde elektron olarak deliklerini kaybeden atomlar (-) olur. Bunun sonucunda P-N jonksiyonu yakınında çok sayıda pozitif ve negatif iyon olur. N bölgesindeki elektronların hepsi P bölgesine geçemez. N bölgesindeki elektronlar pozitif iyonlar tarafından çekilir. Bu elektronların P bölgesine geçebilmeleri için negatif iyonların itme kuvvetini yenmeleri gerekir. Şekil 2.1(a)'da P-N jonksiyonu ve (b)'de jonksiyonun birleşmesinden sonra oluşan boşluk bölgesi gösterilmiştir. Boşluk bölgesi bir pil gibi gerilim üretir. Boşluk bölgesinde oluşan gerilim germanyum diyotlarda 0.3 V, silisyum diyotlarda ise 0.7 V'tur.



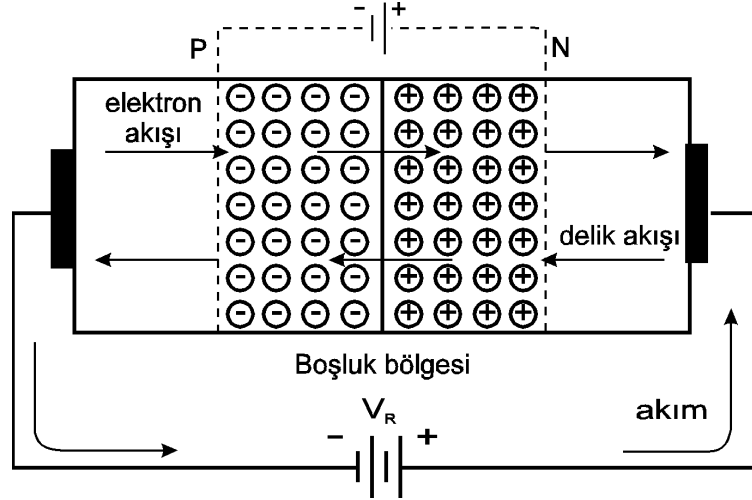
Şekil 2.1. a) P-N jonksiyonu, b) Boşluk bölgesinin oluşması.

Boşluk bölgesi, jonksiyonu difüzyon yoluyla geçmek isteyen çoğunluk taşıyıcıları için bir engel oluşturur. N bölgesindeki bir serbest elektronun P bölgesine geçebilmesi için bu gerilim potansiyelini aşacak bir enerjiye sahip olması gerekir. Boşluk bölgesinde sıcaklık nedeniyle oluşan elektron-delik çiftleri sürüklenme (drift) akımı ile difüzyon akımının tersine hareket eder. Bu iki akımın toplamı sıfırdır.

Ters Kutuplama

P-N jonksiyonunun P bölgesine negatif ve N bölgesine pozitif bir gerilim uygulanmasına *ters kutuplama* (polarma) denir. P bölgesindeki delikler kaynağın negatif ucu tarafından ve N bölgesindeki elektronlar kaynağın pozitif ucu tarafından çekilir. Çoğunluk taşıyıcıları jonksiyondan uzaklaşarak jonksiyon etrafında daha çok pozitif ve negatif iyon oluşur. Geçici rejimde çoğunluk akım taşıyıcıları bir akım oluşturur. Boşluk bölgesi genişleyerek kararlı rejimde bu bölgenin potansiyeli P-N jonksiyonuna uygulanan V_R gerilimine eşit olur ve

çoğunluk taşıyıcı akımı sıfır olur. Çok küçük bir V_R gerilimi çoğunluk akım taşıyıcılarının akışını durdurmak için yeterlidir. Ters kutuplanan bir P-N jonksiyonunda azınlık akım taşıyıcıları jonksiyondan bir sızıntı akımı geçirir. V_R gerilimi arttıkça sızıntı akımı artar. V_R geriliminin daha fazla artırılması azınlık akım taşıyıcılarının sayısını arttırmaz çünkü elektron-delik çiftinin miktarı sıcaklığa bağlıdır. Jonksiyondan geçen bu akıma *ters doyma akımı* denir. Şekil 2.2'de ters kutuplama durumundaki P-N jonksiyonu ve içinden geçen sızıntı akımı gösterilmiştir.



Şekil 1.13 Ters kutuplama durumundaki P-N jonksiyonu.

Çığ Delinme

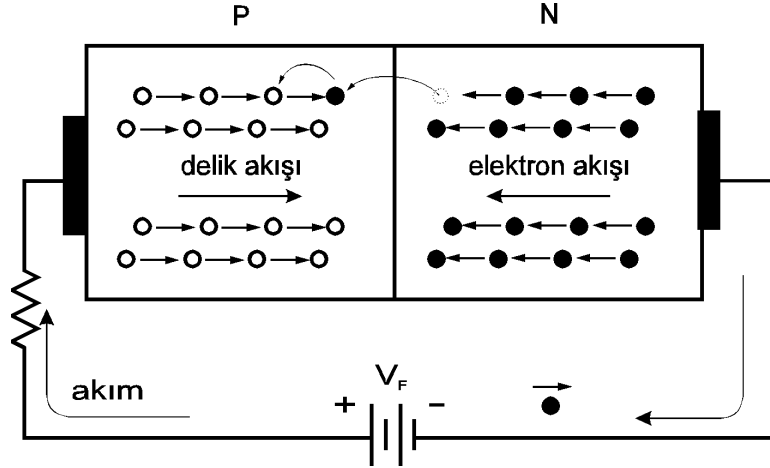
P-N jonksiyonuna uygulanan ters gerilimin artırılması azınlık akım taşıyıcılarının daha hızlı hareket etmelerine neden olur. Bu akım taşıyıcıları kristal içindeki atomlara çarparak valans elektronların enerjilenmesine ve kovalent bağı kopararak valans elektronların serbest kalmasına neden olur. Serbest kalan azınlık akım taşıyıcıları hızla hareket ederek başka atomlara çarpar ve yeni elektron-delik çiftlerinin oluşmasına neden olur. Böylece azınlık akım taşıyıcı sayısı hızlı bir şekilde (çığ gibi) yükselir. Bu olaya çığ delinme denir ve azınlık akım taşıyıcılarını bu şekilde hızlandırmak için gerekli enerjiyi oluşturan gerilime *ters devrilme gerilimi* (V_{BD}) denir. Ters devrilme gerilimi sıcaklığa, katkı miktarına ve başka faktörlere bağlıdır.

İleri Kutuplama

P-N jonksiyonunun P bölgesine pozitif ve N bölgesine negatif bir gerilim uygulanmasına *ileri kutuplama* denir. P bölgesindeki delikler kaynağın pozitif ucu tarafından ve N bölgesindeki elektronlar kaynağın negatif ucu tarafından jonksiyona doğru itilir. Bu bölgedeki pozitif ve negatif iyonlar nötr hale gelmeye başlar. Jonksiyona uygulanan V_F gerilimi yeteri kadar büyük ise, diyot içinde oluşan gerilim potansiyeli sıfırlanır ve boşluk bölgesi ortadan kalkar. N bölgesindeki elektronlar yeterli enerji alarak P bölgesine geçer. P bölgesine geçen elektron burada valans elektron haline gelir ve delikten deliğe atlayarak kaynağın pozitif ucuna doğru hareket eder. P bölgesinde valans elektronların hareketi, deliklerin ters yönde hareketi demektir. Akım yönü, delik hareketi ile aynı yönde kabul edilir. N bölgesini terk eden her elektron için kaynağın negatif ucundan bir elektron çıkar. Böylece jonksiyondan sürekli akım geçer. V_F gerilimi silisyum diyotta 0.7 V ve germanyum diyotta 0.3 V'tan büyük olduğunda P-N

jonksiyonundan akım geçmeye başlar. Gerilimin biraz daha arttırılması akımın hızla artmasına neden olur. Akımı sınırlamak için diyoda seri bir direnç bağlanır. Şekil 2.3'te ileri yönde kutuplanmış bir P-N jonksiyonu gösterilmiştir.

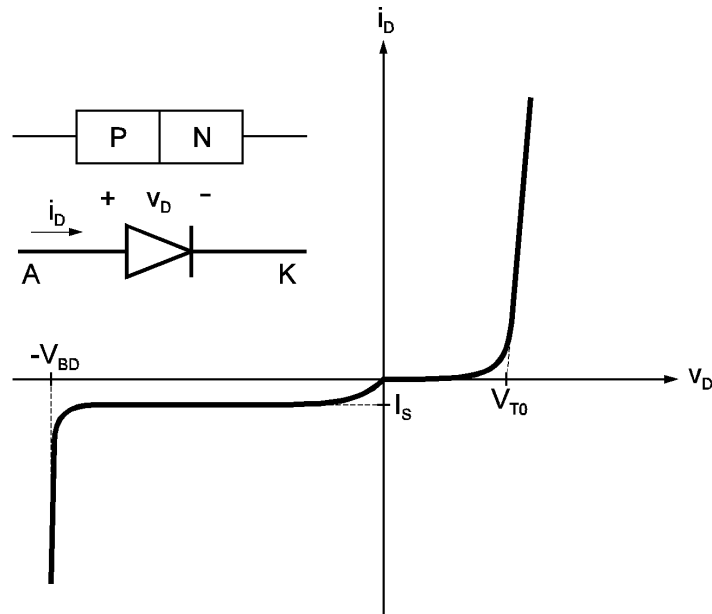
N bölgesinde çoğunluk akım taşıyıcısı olan elektronların, P bölgesine geçmeleri difüzyon ile olur. P bölgesinde elektronlar azınlık akım taşıyıcılarıdır. Bu durum transistörün çalışmasının anlaşılması açısından önemlidir.



Şekil 2.3. İleri yönde kutuplanmış P-N jonksiyonu.

Diyodun V-I Karakteristiği

P-N diyodunun P bölgesine anot ve N bölgesine katot ismi verilir. İleri yönde kutuplanmış diyotta akım P'den N'ye doğru akar. Diyodun ok sembolü ileri yönde kutuplanmış diyottan geçen akım yönünü gösterir. Şekil 2.4'te diyodun sembolü ve V-I karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Diyodun sembolü ve V-I karakteristiği.

Diyodun akım geçirmeye başladığı gerilim eşik gerilimi (V_{T0}) olup, germanyum için 0.3 V ve silisyum için 0.6 V'tur. Eşik gerilimi sıcaklıkla azalır. I_S ters yönde doyma akımıdır ve

sıcaklıkla artar. Oda sıcaklığındaki doyma akımı silikonda on nano amperler mertebesindedir. Germanyumda ise enerji boşluğu daha küçük olduğundan silikona göre daha fazla azınlık akım taşıyıcısı mevcuttur ve sızıntı akımı birkaç mikro amper mertebesindedir. V_{BD} diyodun ters yönde devrilme gerilimidir. Diyoda ters yönde uygulanabilecek gerilimin tepe değeri (PRV), V_{BD} 'den küçüktür ve silisyum diyotta 1000 V , germanyumda ise 400 V civarındadır. PRV kısa süreli ters gerilimdir. Kataloğlarda ayrıca ters yönde uygulanabilecek DC gerilimin maksimum değeri (V_{RDC}) de verilir. Silisyum diyot $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa kadar kullanılabilirken, germanyum diyot $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar kullanılabilir. Silisyum diyodun germanyuma göre dezavantajı eşik geriliminin daha yüksek olmasıdır. Germanyum diyot silisyumdan daha hızlıdır.

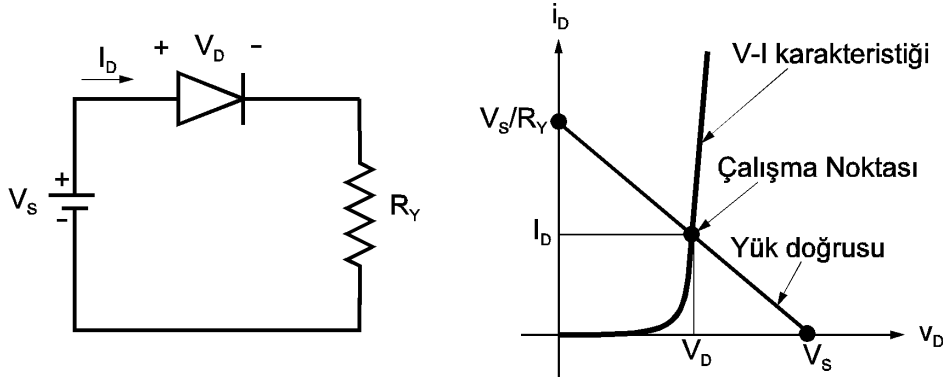
Diyotlu Devrelerde Grafik Yöntemi ile Çalışma Noktasının Bulunması

Elektronik devrelerde kullanılan diyotların çalışmasını devre analizi yöntemleri ile incelemek mümkündür. Uygulamalarda diyot devamlı iletim, devamlı yalıtım veya zaman zaman iletim ve yalıtım durumunda çalışır. DC devrelerde diyodun tek bir çalışma noktası yani akım ve gerilimi mevcuttur. AC bir devrede ise diyodun çalışma noktası değişkendir.

Diyodun çalışma noktası grafik yöntemleri kullanılarak da bulunabilir. Diyodun çalışma noktasının grafik ile bulunması için önce diyodun hangi bölgede olduğuna karar verilir. Diyot ileri kutuplama, ters kutuplama veya devrilme bölgelerinden birinde olabilir. Daha sonra V-I karakteristiği ile yük doğrusu kesştirilir ve çalışma noktası bulunur.

İleri Kutuplama Durumu

İleri yönde kutuplanmış bir diyot ve çalışma noktası Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. DC bir devrede diyodun ileri kutuplanması ve çalışma noktası.

Seri devrede kaynak gerilimi, diyot gerilimi ile yük geriliminin toplamı olarak yazılır.

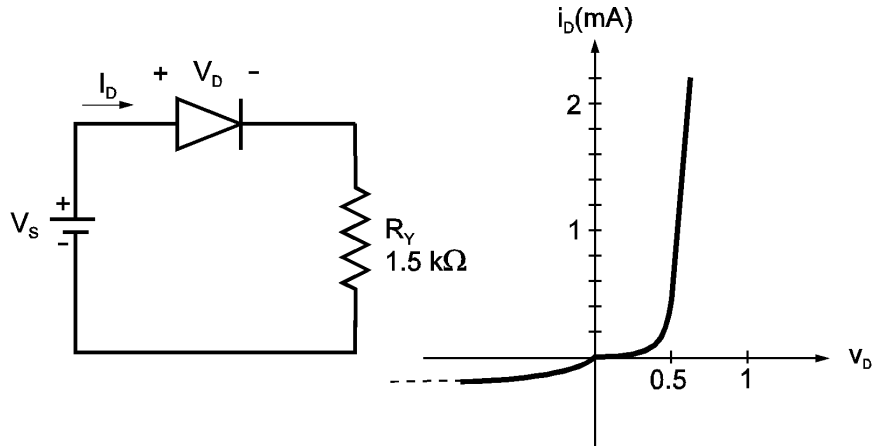
$$V_S = v_D + R_Y i_D$$

Yük doğrusunun çizilmesi için yukarıdaki denklemde $i_D = 0$ için $v_D = V_S$ ve $v_D = 0$ için $i_D = V_S / R_Y$ değerleri elde edilir. Bu iki değer kullanılarak yük doğrusu çizilir. Yük doğrusu ile diyodun V-I karakteristiğinin kesiştiği nokta çalışma noktasıdır. Bu noktanın akım ve gerilim değerleri I_D ve V_D olarak gösterilmiştir.

Uygulama 1 :

V-I karakteristiği aşağıda verilen bir diyot $R_Y = 1.5 \text{ k}\Omega$ olan seri direnç üzerinden ileri kutuplanacak şekilde DC gerilim kaynağına bağlanmıştır. Diyodun çalışma noktasını bulunuz.

- a) $V_S = 1.5 \text{ V}$ b) $V_S = 3 \text{ V}$

**Çözüm :**

- a) $V_S = 1.5 \text{ V}$ için

$$1.5 = v_D + 1500 i_D \quad (\text{yük doğrusunun denklemi})$$

$$i_D = 0 \Rightarrow v_D = 1.5 \text{ V}$$

$$v_D = 0 \Rightarrow i_D = 1.5 / 1500 = 0.001 \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

Bu iki değer kullanılarak yük doğrusu çizilir. Diyodun V-I karakteristiği ile yük doğrusunun kesişme noktası (a) diyodun çalışma noktasıdır. Grafikte (a) noktasında diyodun gerilimi $v_D = 0.55 \text{ V}$ ve akımı $i_D = 0.63 \text{ mA}$ olarak görülmektedir. Sonucun doğruluğunu kontrol etmek için bulunan akım ve gerilim denklemde yerine konulur. $1.5 \cong 0.55 + 1500 \times 0.63 \times 10^{-3}$

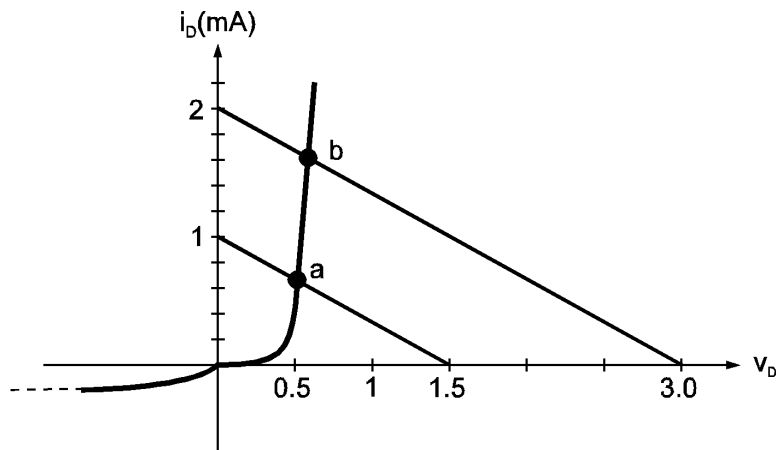
- b) $V_S = 3 \text{ V}$ için

$$3 = v_D + 1500 i_D \quad (\text{yük doğrusunun denklemi})$$

$$i_D = 0 \Rightarrow v_D = 3 \text{ V}$$

$$v_D = 0 \Rightarrow i_D = 3 / 1.5 \text{ k}\Omega = 2 \text{ mA}$$

Diyodun çalışma noktası (b noktası) $v_D = 0.6 \text{ V}$ ve akımı $i_D = 1.6 \text{ mA}$ olarak görülmektedir.

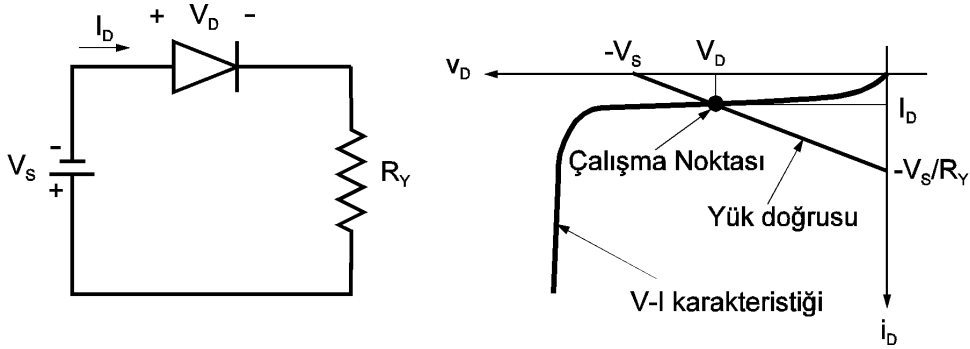


Ters Kutuplama Durumu

Ters yönde kutuplanmış bir diyot ve çalışma noktası Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Çevre denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$-V_S = v_D + R_Y i_D$$

Yük doğrusunun çizilmesi için yukarıdaki denklemde $i_D = 0$ için $v_D = -V_S$ ve $v_D = 0$ için $i_D = -V_S / R_Y$ değerleri elde edilir. Bu iki değer kullanılarak yük doğrusu çizilir.

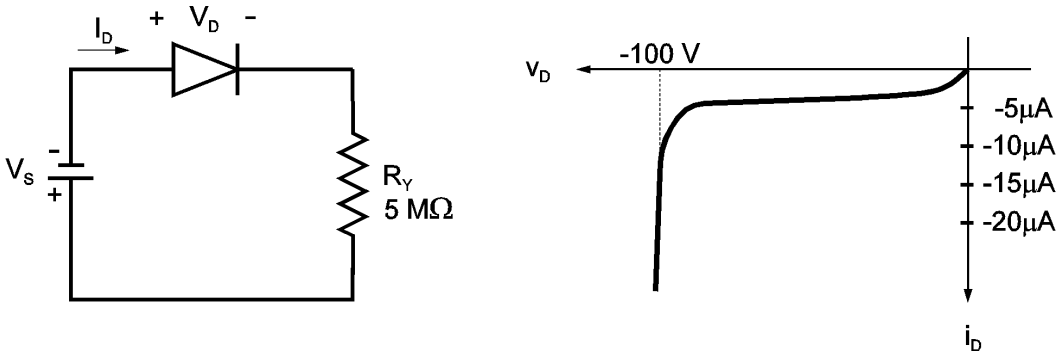


Şekil 2.6. DC bir devrede diyodun ters kutuplanması ve çalışma noktası.

Uygulama 2 :

V-I karakteristiği aşağıda verilen bir diyot $R_Y = 5 \text{ M}\Omega$ olan seri direnç üzerinden ters kutuplanacak şekilde DC gerilim kaynağına bağlanmıştır. Diyodun çalışma noktasını bulunuz.

- a) $V_S = 50 \text{ V}$ b) $V_S = 75 \text{ V}$ c) $V_S = 125 \text{ V}$

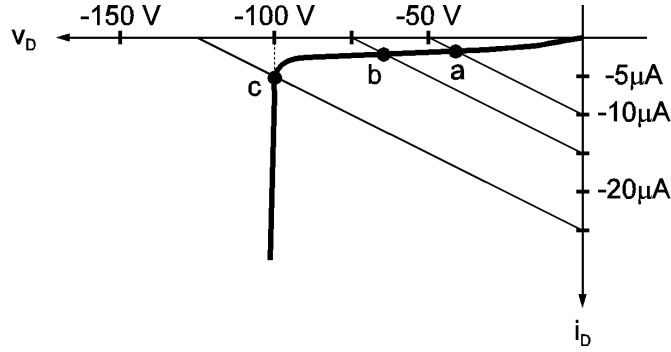
**Çözüm :**

a) Yük doğrusu gerilim eksenini -50 V 'ta, akım eksenini $-50 / 5 \text{ M}\Omega = -10 \mu\text{A}$ değerinde keser. Çalışma noktası $v_D = 45 \text{ V}$ ve $i_D = 1 \mu\text{A}$ 'dir.

b) Yük doğrusu gerilim eksenini -75 V 'ta, akım eksenini $-75 / 5 \text{ M}\Omega = -15 \mu\text{A}$ 'de keser. Çalışma noktası $v_D = 70 \text{ V}$ ve $i_D = 2 \mu\text{A}$ 'dir. Bu akım ters doyma akımıdır ve gerilimle artmaz. Devrilme gerilimine kadar aynı değerde akım geçer. Bu akım değeri azınlık akım taşıyıcılarının sayısına bağlıdır.

c) Yük doğrusu gerilim eksenini -125 V 'ta, akım eksenini $-125 / 5 \text{ M}\Omega = -25 \mu\text{A}$ 'de keser. Çalışma noktası $v_D = 100 \text{ V}$ ve $i_D = 5 \mu\text{A}$ 'dir. 100 V 'un üzerindeki bir ters gerilim diyodun ters devrilmesine ve aşırı akım geçmesine neden olur. Devrilme bölgesinde diyot akımı

sınırlanmazsa aşırı akım geçer ve diyot bozulur. Bu devrede 5 M Ω 'luk seri direnç aşırı akım geçmesini önler.



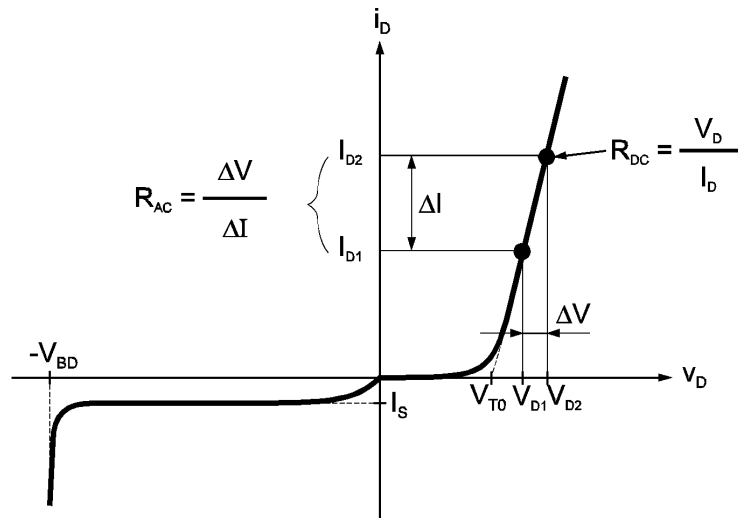
Sonuçlar

Yük doğrusu analizinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. Kaynak gerilimi diyodu ileri kutupladığında, kaynak geriliminin artırılması ile diyot gerilimi eşik geriliminden sonra artmaya devam etmez, hemen hemen sabit kalır. Diyottan geçen akım seri direnç tarafından belirlenir.
2. Kaynak gerilimi diyodu ters kutupladığında, diyottan çok küçük bir ters akım geçer. Kaynak gerilimi $-V_{BD}$ gerilimine ulaşana kadar sabit kabul edilebilir.
3. Diyoda uygulanan ters gerilim V_{BD} 'den büyük ise, diyot üzerinde V_{BD} gerilimi düşer. Diyot akımı seri direnç tarafından belirlenir.

Diyodun Direnci

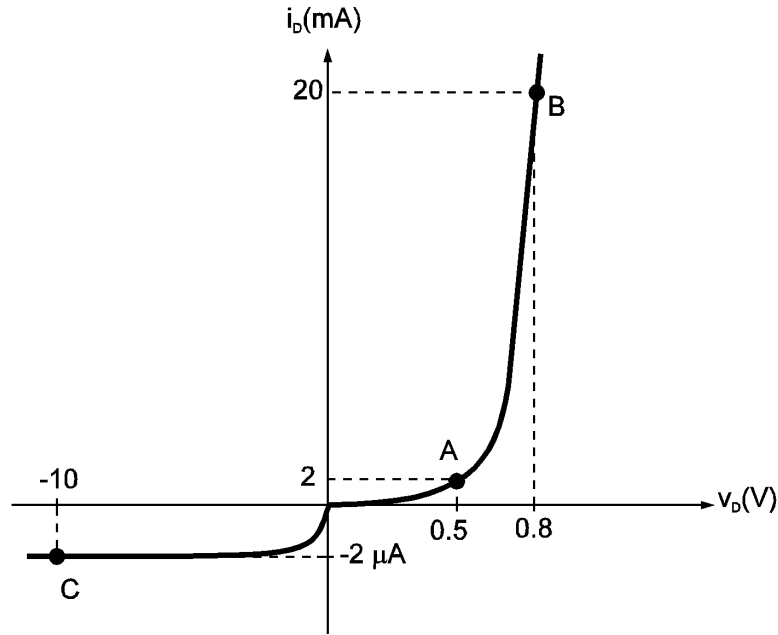
Diyodun direnci DC veya AC olarak tanımlanabilir. Çalışma noktasındaki direnç DC veya *statik direnç* olarak tanımlanır. İleri yönde kutuplanmış bir diyodun statik direnci akım yükseldikçe artar. Diyot karakteristiğinin belirli bir bölgesinde, gerilimdeki değişimin akımdaki değişmeye oranı AC veya *dinamik direnç* olarak tanımlanır. Şekil 2.7'de direnç tanımları gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Diyodun AC ve DC direnci.

Uygulama 3 :

Aşağıdaki verilen diyot karakteristiğini kullanarak A, B ve C noktalarındaki diyodun dirençlerini bulunuz. İdeal diyot ile karşılaştırınız.



Çözüm :

A noktasındaki DC direnç; $R_{DC} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} = \frac{0.5}{2 \text{ mA}} = 250 \Omega$

B noktasındaki DC direnç; $R_{DC} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} = \frac{0.8}{20 \text{ mA}} = 40 \Omega$

İleri kutuplama bölgesinde diyodun direnci gerilim ve akım arttıkça artar. İdeal bir diyotta iletimdeki iç direnç sıfır kabul edilir.

C noktasındaki DC direnç; $R_{DC} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} = \frac{-10}{2 \mu\text{A}} = 5 \text{ M}\Omega$

Ters kutuplama bölgesinde direnç oldukça yüksektir. İdeal bir diyotta ise bu bölgede direncin sonsuz olduğu ve hiç akım geçmediği kabul edilir.

DC bir devrede belirli bir çalışma noktasında diyodun direnci bulunarak, diyot yerine bu eşdeğer direnç konulabilir.

Uygulama 4 :

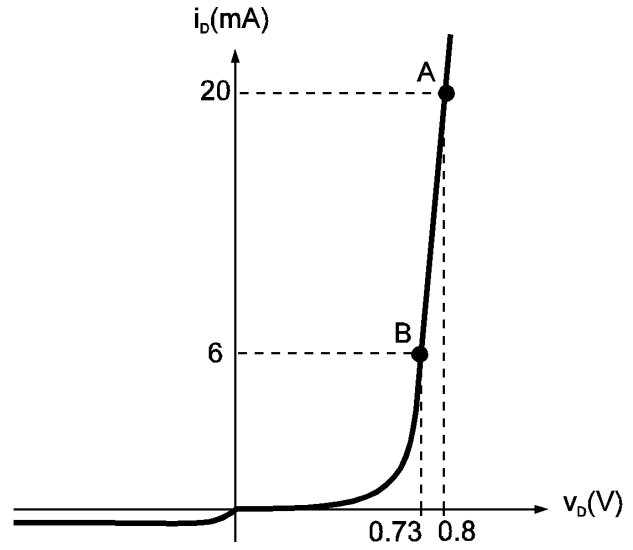
Yanda verilen diyot karakteristiğini kullanarak A, B noktaları arasında diyodun AC direncini bulunuz.

Çözüm :

$$R_{AB} = \frac{V_A - V_B}{i_A - i_B} = \frac{0.8 - 0.73}{20 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-3}}$$

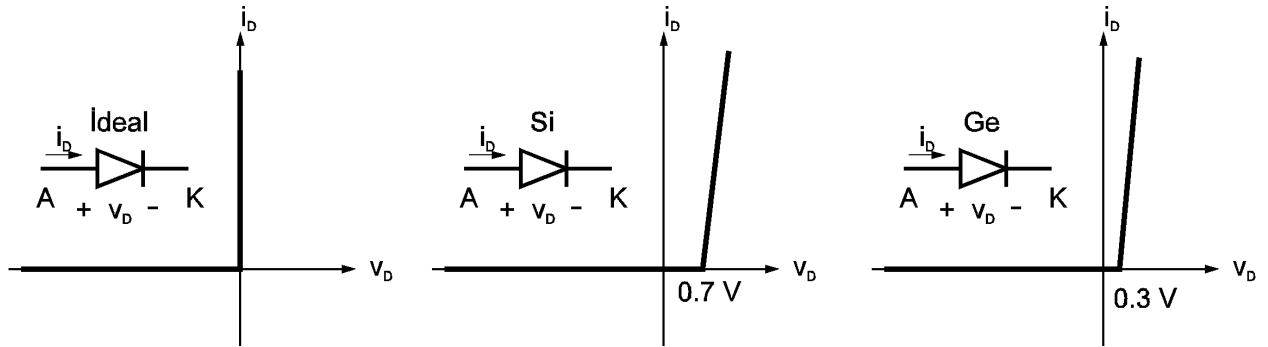
$$R_{AB} = 5 \Omega$$

AB noktaları arasındaki direnç AC direnç veya ortalama direnç olarak adlandırılır.

**Diyot Devrelerinin Yaklaşık Eşdeğer Analizi**

Bir devrede diyodun çalışma noktası grafik metodu ile veya diyodun eşdeğeri kullanılarak bulunabilir. Diyodun yaklaşık eşdeğerini kullanmak kolay bir çözümdür ve doğruluğu daha düşüktür. Çalışma noktasının bulunması grafik metodu ile oldukça güçtür.

Diyodun yaklaşık eşdeğer devresinde, geçirme yönünde diyodun belirli bir eşik geriliminde iletme geçtiği kabul edilir. Bu eşik gerilimi germanyum için 0.3 V ve silisyum için 0.7 V'tur. Diyot eşik geriliminden sonra bir direnç gibi davranır. İletimdeki iç direnç oldukça düşüktür (birkaç ohm mertebesinde) ve bir çok uygulamada ihmal edilir. İdeal diyodun eşdeğeri ile silisyum ve germanyum diyotların eşdeğer devreleri Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 İdeal, silisyum ve germanyum diyotların eşdeğer devreleri.

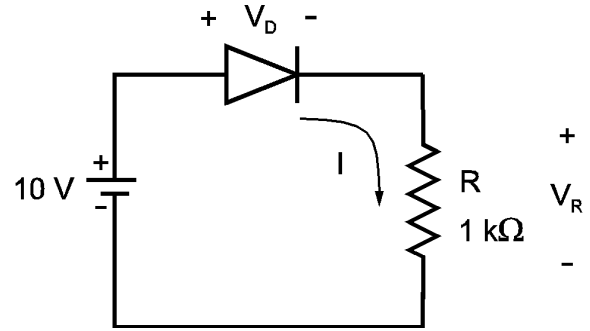
Ters kutuplama bölgesinde diyodun eşdeğer direnci sonsuz kabul edilir. Diyoda ters yönde devrilme geriliminden daha büyük bir gerilimi uygulanırsa diyot devrilerek akım geçirir. Bu akımın değeri dirence bağlıdır. Bu esnada diyodun üzerindeki gerilim devrilme gerilimidir. Uygulamada diyodun ters devrilme gerilimi, üzerine gelebilecek maksimum gerilimden büyük seçilir.

Uygulama 5 :

Yanda verilen devrede,

- İdeal diyot için,
- Silisyum diyot için,
- Germanyum diyot için

diyot akımını ve direnç gerilimini bulunuz.

**Çözüm :**

Devrede diyot geçirme yönünde kutuplanmıştır ve iletimdedir. Diyot ve direnç seri bağlı olduğundan diyot akımı direnç akımına eşittir. Diyot gerilimi ile direnç geriliminin toplamı kaynak gerilimini verir.

- İdeal diyodun gerilim düşümü sıfırdır ve iletimdeki iç direnci sıfırdır. Devreden geçen akım,

$$I = \frac{10}{1 \cdot 10^3} = 10 \text{ mA bulunur.}$$

Direnç gerilimi,

$$V_R = IR = 10 \text{ mA} \cdot 1\text{k}\Omega = 10 \text{ V bulunur.}$$

- Silisyum diyodun iletim gerilim düşümü 0.7 V'tur. Diyodun iletimdeki iç direnci çok küçüktür ve direnç yanında sıfır kabul edilebilir. Devreden geçen akım,

$$I = \frac{10 - 0.7}{1 \cdot 10^3} = 9.3 \text{ mA bulunur.}$$

Direnç gerilimi,

$$V_R = IR = 9.3 \text{ mA} \cdot 1\text{k}\Omega = 9.3 \text{ V bulunur.}$$

- Germanyum diyodun iletim gerilim düşümü 0.3 V'tur. Diyodun iletimdeki iç direnci çok küçüktür ve direnç yanında sıfır kabul edilebilir. Devreden geçen akım,

$$I = \frac{10 - 0.3}{1 \cdot 10^3} = 9.7 \text{ mA bulunur.}$$

Direnç gerilimi,

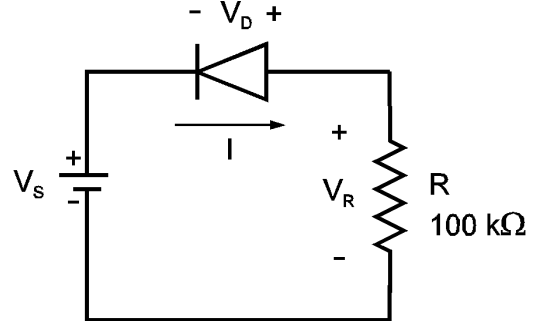
$$V_R = IR = 9.7 \text{ mA} \cdot 1\text{k}\Omega = 9.7 \text{ V bulunur.}$$

NOT : Devredeki gerilim çok büyük ise silisyum ve germanyum diyodun eşik gerilimi de ihmal edilerek çözüm ideal diyottaki gibi bulunur.

Uygulama 6 :

Şekildeki devrede kullanılan diyodun devrilme gerilimi $V_{BD} = 75 \text{ V}$ 'tur.

- $V_S = 30 \text{ V}$ ve
- $V_S = 100 \text{ V}$ için, devreden geçen akım ile diyot ve direnç gerilimini bulunuz.

**Çözüm :**

- Diyot ters kutuplama bölgesinde olduğuna göre devreden geçen akım sıfır kabul edilir. Bütün gerilim diyot üzerinde oluşur. Direnç üzerindeki gerilim sıfırdır.

$$\begin{aligned} I &\cong 0 \\ V_D &= -30 \text{ V} \\ V_R &= I.R = 0 \end{aligned}$$

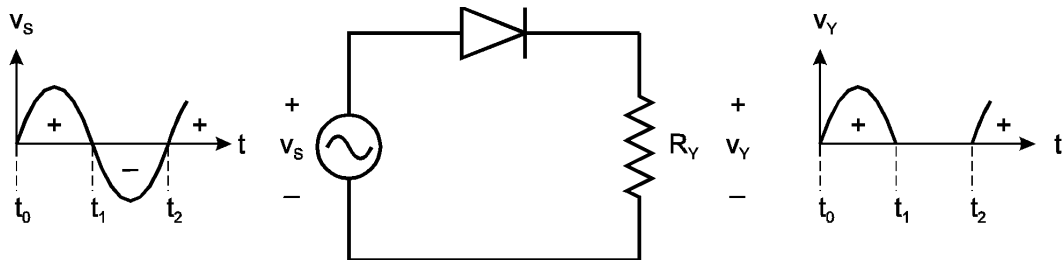
- Diyoda gelen ters gerilim devrilme gerilimini aştığına göre seri direnç akımı belirler.

$$\begin{aligned} V_D &= -50 \text{ V} \\ I &= \frac{V_S - V_{BD}}{R} = \frac{100 - 75}{100 \text{ k}\Omega} = 0.25 \text{ mA} = 250 \mu\text{A} \\ V_R &= I.R = 100 \text{ k}\Omega \cdot 250 \mu\text{A} = 100 \cdot 10^3 \cdot 250 \cdot 10^{-6} = 25 \text{ V} \end{aligned}$$

Diyotta harcanan güç, $P_D = 50 \cdot 250 \cdot 10^{-6} = 12.5 \text{ mW}$ bulunur.

Yarım Dalga Doğrultucu

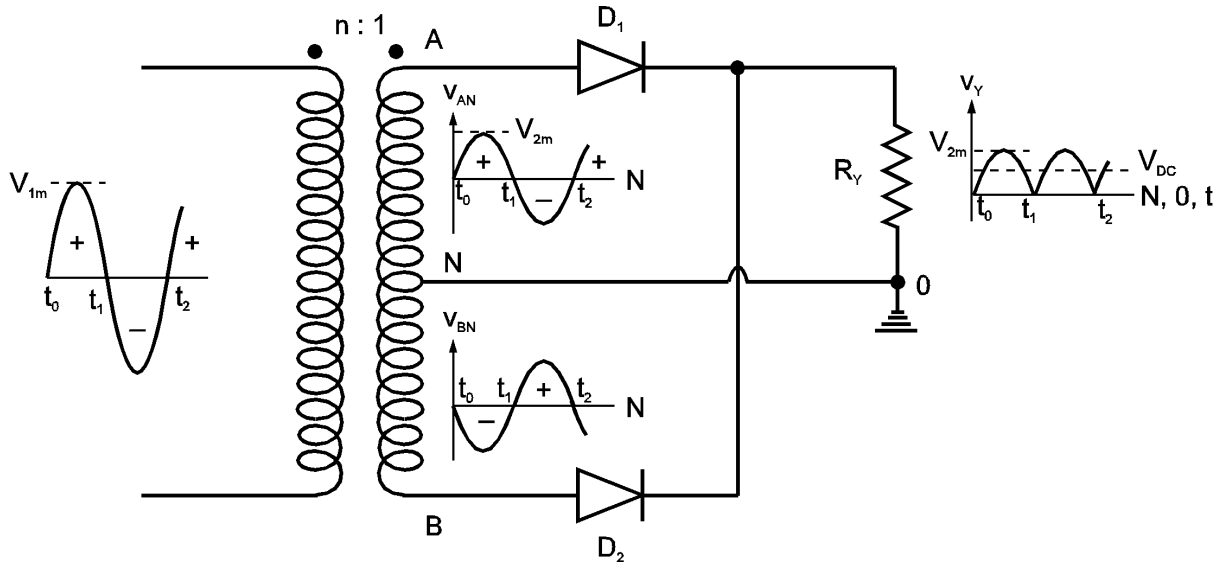
Diyot tek yönde akım geçirme özelliğinden dolayı doğrultucu devrelerinde yaygın olarak kullanılır. Doğrultucu devreleri, AC gerilimi DC gerilime çevirmek için kullanılır. Doğrultucu analizinde diyotlar ideal kabul edilecektir. Şekil 2.9'da yarım dalga doğrultucu devresi gösterilmiştir. Devrenin girişine bir AC gerilim uygulanmıştır. $t_0 - t_1$ aralığında yani pozitif alternansta diyot iletimdedir. Bu aralıkta diyodun gerilimi sıfır kabul edilirse, giriş gerilimin tamamı yük üzerinde görülür. $t_1 - t_2$ aralığında yani negatif alternansta diyot kesimdedir. Devreden geçen akım ve yük gerilimi sıfırdır.



Şekil 2.9 Yarım dalga doğrultucu, giriş ve çıkış gerilimleri.

Tam Dalga Doğrultucu

Tam dalga doğrultma, AC gerilimin her iki alternansının doğrultularak yüke verilmesi ile yapılır. Şekil 2.10'da orta uçlu transformatör ile yapılan tam dalga doğrultucu devresi gösterilmiştir. Transformatör girişine uygulanan şebeke geriliminin ve çıkışındaki gerilimlerin orta uca göre değişimleri şekilde gösterilmiştir. Devrede iki diyot kullanılarak her iki alternans doğrultulur ve yüke verilir. $t_0 - t_1$ aralığında D_1 diyoduna gelen gerilim orta uca göre pozitifdir. D_1 diyodu iletme girer ve yüke pozitif alternans verilir. D_2 diyodu bu aralıkta negatif gerilime maruz kaldığından kesimdedir. $t_1 - t_2$ aralığında aralığında, D_2 diyodu orta uca göre pozitif gerilime maruz kalır ve iletme girer. Böylece negatif alternans doğrultularak yüke verilir. Bu aralıkta üst sargı gerilimi orta uca göre negatifdir ve D_1 diyodu kesimdedir. Yükten geçen akım her iki alternansta da pozitifdir dolayısıyla yük gerilimi pozitif olur.



Şekil 2.10. Orta uçlu transformatör ile yapılan tam dalga doğrultma devresi.

Dönüştürme oranı $n:1$, giriş gerilimi V_1 ve çıkış gerilimi $2x V_2$ olan orta uçlu transformatörde,

$$V_{2m} = \frac{V_{1m}}{2n}$$

olarak yazılır. m indisi maksimum değerdir. Yük üzerindeki gerilimini ortalama değeri,

$$V_{DC} = \frac{2V_{2m}}{\pi}$$

olarak hesaplanır. Bir diyodun maruz kaldığı maksimum gerilim,

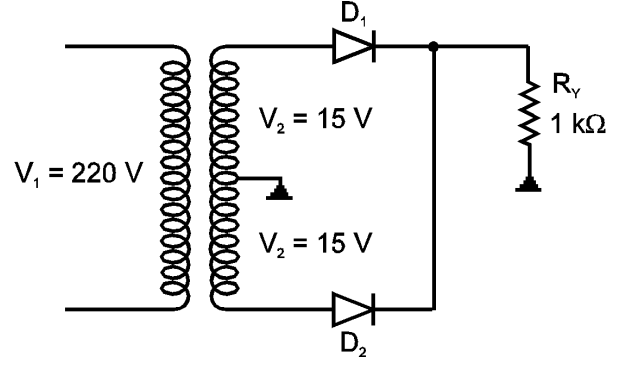
$$PIV = 2V_{2m}$$

şeklinde hesaplanır. PIV (Peak Inverse Voltage) diyot kesimde iken oluşur. Kullanılan diyodun PIV değeri bu değerinde olmalıdır.

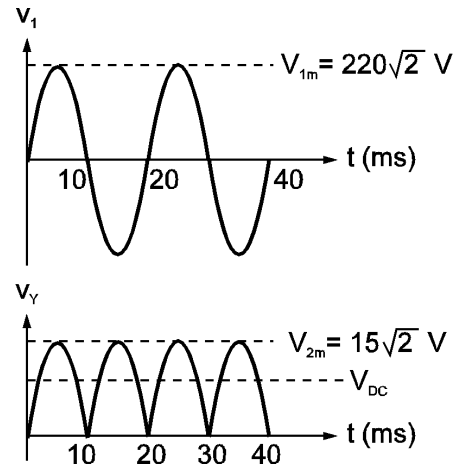
Uygulama 7 :

Şekilde verilen tam dalga doğrultucuda transformatör giriş gerilimi 220 V, 50 Hz ve çıkış gerilimi 2×15 V'tur (Gerilim değerleri efektif değerlerdir).

- Giriş ve çıkış gerilimlerinin değişimlerini çiziniz ve çıkış geriliminin ortalamasını bulunuz.
- Bir diyodun minimum PIV değerini hesaplayınız.

**Çözüm :**

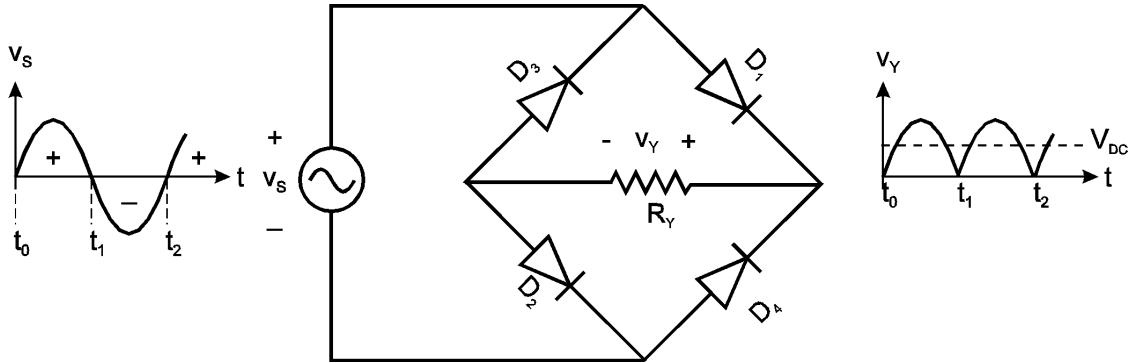
- $V_1 = 220$ V
 $V_{2m} = 220\sqrt{2}$ V = 311 V
 $V_2 = 15$ V
 $V_{2m} = 15\sqrt{2}$ V
 $T = \frac{1}{50} = 0.02 = 20$ ms
 $V_{DC} = \frac{2V_{2m}}{\pi} = \frac{2 \cdot 15\sqrt{2}}{\pi} = 13.5$ V



- Bir diyoda gelen maksimum gerilim,
 $PIV = 2V_{2m} = 30\sqrt{2} = 42.4$ V
 Diyodun PIV değeri 42.4 V'tan büyük olmalıdır. PIV değeri 50 V veya 75 V seçilebilir.

Köprü Doğrultucu

Köprü doğrultucu ile elde edilen DC gerilim, orta uçlu transformatör ile yapılan tam dalga doğrultucudaki DC gerilimin iki katıdır. Şekil 2.11'de köprü doğrultucu devresi ve giriş çıkış gerilimleri gösterilmiştir.



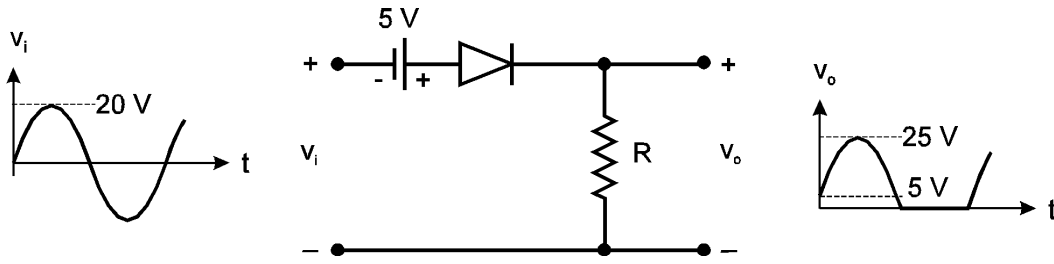
Şekil 2.11. Köprü doğrultucu devresi ve giriş çıkış gerilimleri.

Pozitif alternansta $D_1 - D_2$ diyotları iletimde, $D_3 - D_4$ diyotları kesimdedir. Negatif alternansta $D_3 - D_4$ diyotları iletimde, $D_1 - D_2$ diyotları kesimdedir. Yükten geçen akım ve yük gerilimi her iki alternansta da pozitiftir. Bir diyodun maruz kaldığı maksimum gerilim giriş geriliminin tepe değeridir.

KIRPICICI DEVRELER

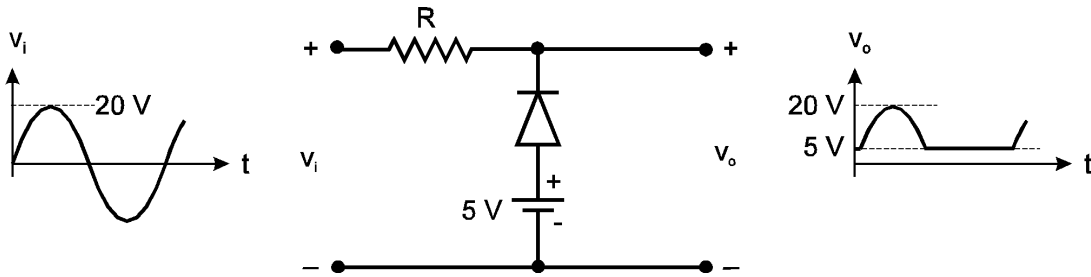
Diyot devreleri giriş işaretinin belirli bir bölgesini kırpma ve işareti ötelemek için kullanılabilir. Kırpıcılar öngerilimli, öngerilimsiz, seri, paralel, pozitif veya negatif türde olabilir. Öngerilimli devrelerde DC gerilim kaynağı kullanılır. Kırpma seviyesi devrede kullanılan DC gerilim kaynağının değeri ile ayarlanabilir. Diyodun yönü ile seri veya paralel bağlı olmasına göre, pozitif veya negatif kırpma yapılabilir. Kaynağın yönünün değiştirilmesi ile kırpma işlemi tamamen değişir.

Şekil 2.12’de öngerilimli seri kırpıcı ve giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu devrede $-5 V$ ’tan daha düşük gerilimler için diyot açık devre olur ve çıkış gerilimi sıfır olur. $-5 V$ ’un üzerinde diyot iletime girer. Böylece giriş gerilimi $5 V$ yukarı ötelenmiş olur ve altı kırpılır.



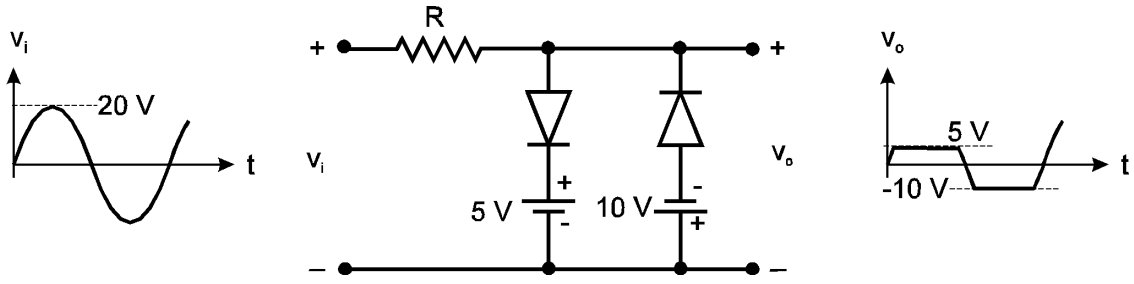
Şekil 2.12 Öngerilimli seri bir kırpıcı.

Şekil 2.13’de öngerilimli paralel kırpıcı gösterilmiştir. Bu devrede $5 V$ ’tan daha küçük gerilimler için diyot kısa devre olur ve çıkış gerilimi $5 V$ olur. Giriş geriliminin $5 V$ ’un altındaki kısmı kırpılır.



Şekil 2.13 Öngerilimli paralel kırpıcı.

Şekil 2.14’te gösterilen öngerilimli paralel kırpıcıda iki diyot kullanılmıştır. Pozitif alternansta ve $5 V$ ’un üstünde, pozitif yöndeki diyot iletime girer ve çıkış gerilimi $5 V$ olur. Negatif alternansta ve $-10 V$ ’un altında, negatif yöndeki diyot iletime girer ve çıkış gerilimi $-10 V$ olur. Böylece giriş gerilimi hem alttan hem de üstten kırpılmış olur. Gerilim değerleri değiştirilerek kırpma seviyeleri değiştirilebilir.

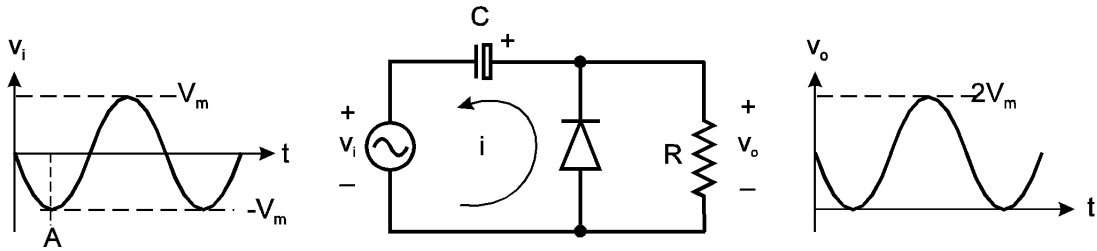


Şekil 2.14 Öngerilimli iki diyotlu paralel kırpıcı.

KENETLEYİCİ DEVRELER

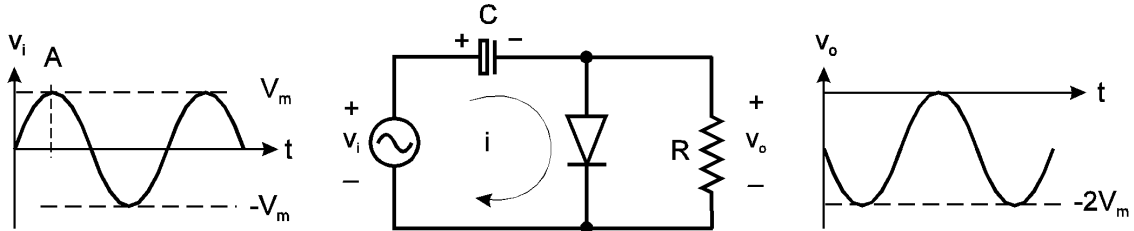
Kenetleyici devreler ac bir işarete dc bir seviye eklemek için kullanılır. Kenetleyiciler televizyon alıcılarında dc seviye elde etmek için kullanılır. Alıcıya gelen video işareti genellikle kapasitif bir amplifikatör ile yükseltilir. Yükseltme işlemi dc bileşenin yani siyah, beyaz ve boşluk seviyelerinin kaybolmasına neden olur. Video işareti resim tüpüne uygulanmadan önce bu referans seviyeler kenetleyici yeniden elde edilir.

Şekil 2.15'te pozitif dc kenetleyici gösterilmiştir. A noktasına kadar kondansatör şarj olur. Daha sonra kondansatör geriliminin sabit kaldığı kabul edilir. Devrede kondansatörün deşarjı R üzerinden olur. RC zaman sabiti uygulanan giriş sinyalinin periyodundan çok büyüktür. Çıkış gerilimi sabit olan kondansatör gerilimi ile giriş geriliminin toplamıdır.



Şekil 2.15 Pozitif bir dc kenetleyici.

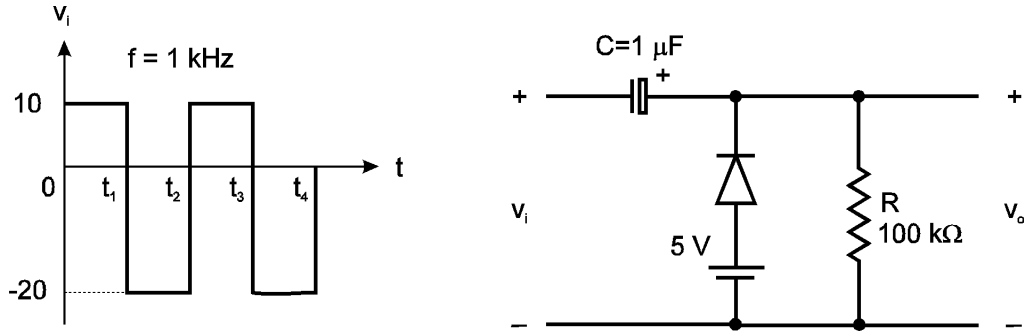
Kenetleyici devreler giriş işaretini negatif dc seviyeye de kaydırabilir. Kenetleyici devre içinde dc bir gerilim kaynağı kullanılarak farklı dc seviyeler de elde edilebilir. Şekil 2.16'da negatif bir dc kenetleyici gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Negatif bir dc kenetleyici.

Uygulama 8 :

Aşağıda verilen kenetleyici devrede giriş gerilimi için çıkış gerilimini çiziniz.

**Çözüm :**

Devre girişine uygulanan işaretin frekansı 1 kHz olduğuna göre darbe periyodu,

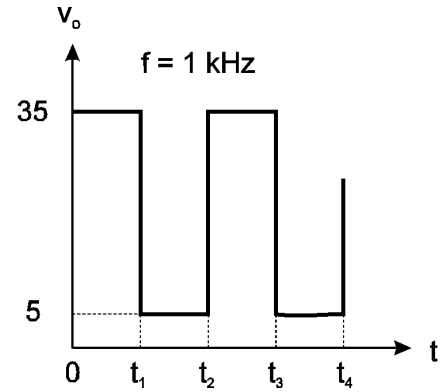
$$T = 1 / f = 1 \text{ ms}$$

olarak bulunur. RC zaman sabiti,

$$R.C = 100\text{k}.1\mu = 100.10^3.1.10^{-6} = 100.10^{-3} = 100 \text{ ms.}$$

RC zaman sabiti darbe periyodundan çok büyük olduğu için kondansatör geriliminin R üzerinden deşarj olmadığı kabul edilir.

Analize diyodun iletimde olduğu aralıktan başlayalım. $t_1 - t_2$ aralığında diyot iletimdedir. Devrenin girişinde -20 V gelmektedir. Yani alt ucuna +20 V uygulanmıştır. Diyot bu aralıkta Anot-Katot gerilimi pozitif olduğundan iletime girer ve çıkış gerilimi 5 V olur. Kondansatör ise şekilde gösterildiği gibi +25 V'a şarj olur. $t_2 - t_3$ aralığında diyot kesime girer. Çıkış gerilimi giriş gerilimi ile kondansatör geriliminin toplamıdır. $v_o = 10 \text{ V} + 25 \text{ V} = 35 \text{ V}$. Çıkış geriliminin değişimi yanda verilmiştir.

**Zener Diyot**

Normal diyotlarda ters devrilme olayı istenmez. Zener diyotlar ise belirli bir güce kadar ters devrilme bölgesinde kullanılabilir. Ters kutuplanmış bir diyodun devrilmesi iki şekilde olur.

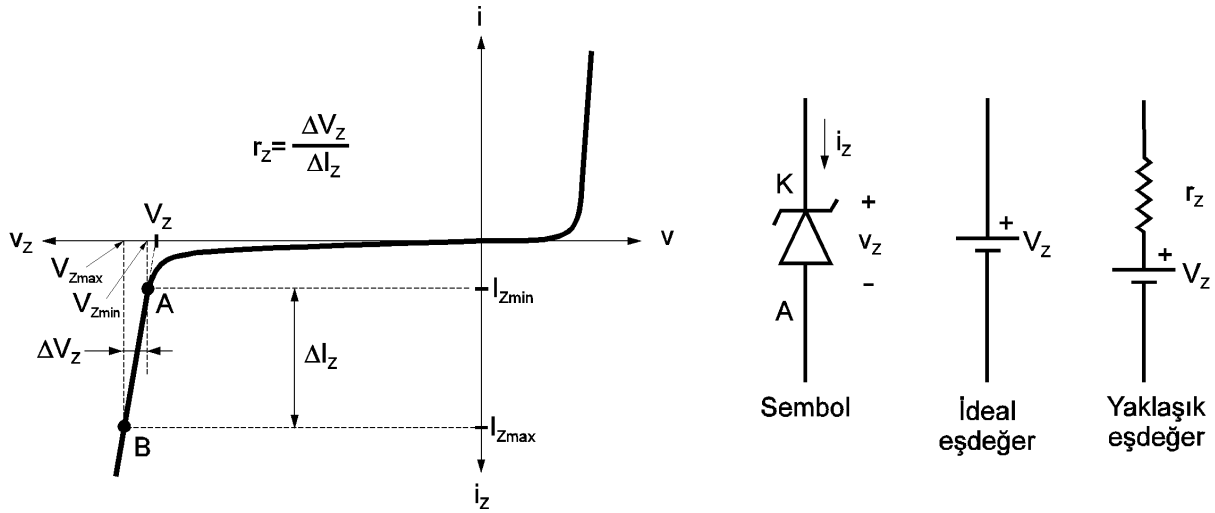
- 1- Çığ devrilme: Ters kutuplama ile hızlanan azınlık taşıyıcıların kovalent bağdaki valans elektronları koparması ile oluşur. Çığ devrilme diyoda 5 volttan daha büyük bir ters gerilim uygulandığında oluşur.
- 2- Zener devrilme : Boşluk bölgesi dar olması durumunda meydana gelen yüksek elektrik alanı nedeniyle oluşur. Bu elektrik alanı kovalent bağdaki valans elektronları kopararak diyottan ters yönde yüksek akım geçmesine neden olur. Zener devrilme 5 volttan küçük gerilimlerde oluşur. Katkı oranının artırılması boşluk bölgesini daraltır. Boşluk bölgesinde oluşan elektrik alanı (uzaklık ile ters orantılı) ise artar. Dolayısıyla katkı oranının artırılması zener diyodun devrilme gerilimini azaltır.

Zener diyodun karakteristiği, sembolü ve eşdeğer devreleri Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Zener diyot ileri yönde kutuplanırsa normal bir diyot gibi davranır. Uygulamalarda zener diyot ters devrilme bölgesinde kullanılır. Karakteristik eğride iki önemli nokta gösterilmiştir. A noktası zener diyodunun ters devrilme noktasıdır. Zener diyodun A noktasında çalışabilmesi için, diyottan minimum bir akım geçmesi gerekir. Bu durumda zener gerilimi minimumdur. B noktasında diyottan maksimum akım geçer ve zener gerilimi maksimumdur. B noktasındaki akım değeri katalogta verilen I_{ZM} değerini aşmamalıdır. Zener diyotlar 1.8 V ile 200 V arasındaki gerilim değerlerinde ve 1/4 W ile 50 W arasındaki güç değerlerinde üretilmektedir.

Zener diyodun ideal eşdeğeri bir gerilim kaynağı kabul edilir. Yaklaşık eşdeğeri ise bir direnç ve kaynak geriliminin toplamı olarak verilir.

$$v_z = V_z + r_z \cdot i_z$$

Zener diyodun iç direncinin tanımı karakteristik eğri üzerinde gösterilmiştir. İç direnç ne kadar küçük olursa, zener uçlarındaki gerilimin akım ile değişmesi o kadar az olur. Zener diyot, regülasyon ve referans gerilim sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.17. Zener diyodun karakteristiği, sembolü ve eşdeğer devreleri.

Zener diyodun devrilme gerilimi sıcaklıkla değişir. Kataloglarda gerilimin $^{\circ}\text{C}$ başına yüzde olarak değişmesini gösteren bir sıcaklık katsayısı (K_T) verilir. Örneğin 15 V’luk bir zener diyotta $K_T = 0.2 \% / ^{\circ}\text{C}$ ise, 1°C ’lik artış zener geriliminin 0.03 V artmasına neden olur. Sıcaklık katsayısı zener devrilme bölgesinde çalışan diyotlarda negatif, çığ devrilme bölgesinde çalışan diyotlarda pozitifdir. Zener gerilimi arttıkça sıcaklık katsayısı da artar.

Uygulama : 9

Biz zener diyodun akımında 2 mA’lık bir değişme olduğunda, uçlarındaki gerilim 50 mV değişmektedir. Zener direncini hesaplayınız.

Çözüm :

$$r_z = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z} = \frac{50 \text{ mV}}{2 \text{ mA}} = 25 \Omega$$

Uygulama : 10

Gerilimi 10 V ve iç direnci 5 Ω olan zener diyottan 20 mA geçmesi durumunda uçlarındaki gerilimin ne olacağını bulunuz.

Çözüm:

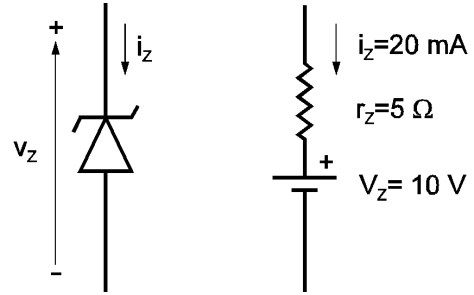
Direnç uçlarındaki gerilim,

$$r_Z \cdot i_Z = 5 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0.1 \text{ V}$$

bulunur. Zener uçlarındaki gerilim,

$$v_Z = V_Z + r_Z \cdot i_Z = 10 + 0.1 = 10.1 \text{ V}$$

olur. 20 mA akım geçtiğinde zener diyot gerilimi % 10 artar.

**Uygulama : 11**

Şekilde verilen devrede giriş geriliminin hangi aralığında regülasyon sağlanacağını hesaplayınız.

$$I_{Z \min} = 1 \text{ mA}, I_{Z \max} = 15 \text{ mA}$$

$$V_Z = 5.1 \text{ V}, r_Z = 10 \Omega$$

Çözüm:

$$I_{Z \min} = 1 \text{ mA için;}$$

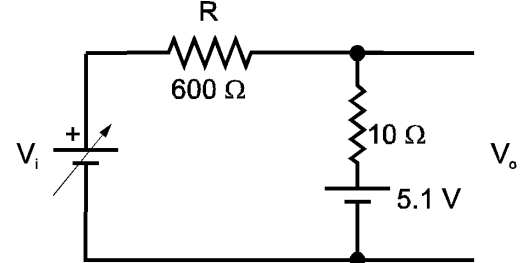
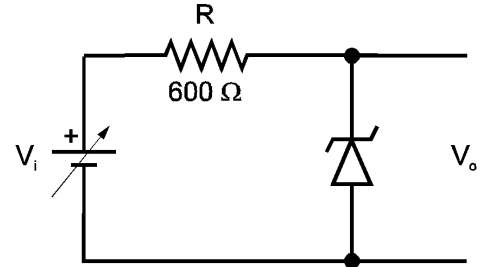
$$V_o = V_Z + r_Z \cdot I_{Z \min} = 5.1 + 10 \cdot 1 \text{ mA} = \underline{5.11 \text{ V}}$$

$$V_{i \min} = R \cdot I_{Z \min} + V_o = 600 \cdot 1 \text{ mA} + 5.11 = \underline{5.71 \text{ V}}$$

$$I_{Z \max} = 15 \text{ mA için;}$$

$$V_o = V_Z + r_Z \cdot I_{Z \max} = 5.1 + 10 \cdot 15 \text{ mA} = \underline{5.25 \text{ V}}$$

$$V_{i \max} = R \cdot I_{Z \max} + V_o = 600 \cdot 15 \text{ mA} + 5.25 = \underline{14.25 \text{ V}}$$



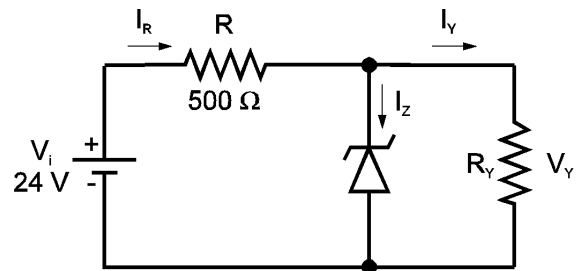
Girişe değişken bir giriş gerilimi uygulanması ile çıkış geriliminin değişmemesi istenmektedir. Çıkış geriliminin regüle edilebilmesi için girişe 5.71 V ile 14.25 V aralığında bir gerilim uygulanması gerekir. Bu durumda çıkış gerilimi 5.11 V ile 5.25 V arasında bir değer alır.

Uygulama : 12

Şekilde verilen devrede $I_{Z \min} = 3 \text{ mA}$,

$I_{ZM} = 90 \text{ mA}$, $V_Z = 12 \text{ V}$, $r_Z = 10 \Omega$ olan bir zener diyot kullanılmıştır.

- Regülasyon sağlanabilmesi için R_Y direncinin minimum değerini hesaplayınız ($r_Z = 0$ alınır).
- Çıkış geriliminin akıma bağlı değişimini çizin. Çıkış gerilimindeki bağlı regülasyonu hesaplayınız.



Çözüm:

a) Devrede yük bağlı değil iken, R direncinden geçen akım maksimum olur. Bu akım aynı zamanda zenerden geçer.

$$I_{R \max} = I_{Z \max} = \frac{V_i - V_Z}{R} = \frac{24 - 12}{500} = 24 \text{ mA} \quad I_{Z \max} < I_{ZM}$$

Zenerden geçen maksimum akım I_{ZM} değerini geçmemelidir. Devrede $I_{Z \max} < I_{ZM}$ şartı sağlandığından R direncinin değeri uygundur. Bu devrede R direnci biraz daha küçük seçilebilir.

Yük akımı maksimum iken zenerden geçen akım minimumdur. Zener diyodun regülasyon yapması için $I_{Z \min} = 3 \text{ mA}$ değerinde bir akım zenerden geçmelidir. Yük akımından geçen maksimum akım ve minimum yük direnci aşağıdaki gibi hesaplanır.

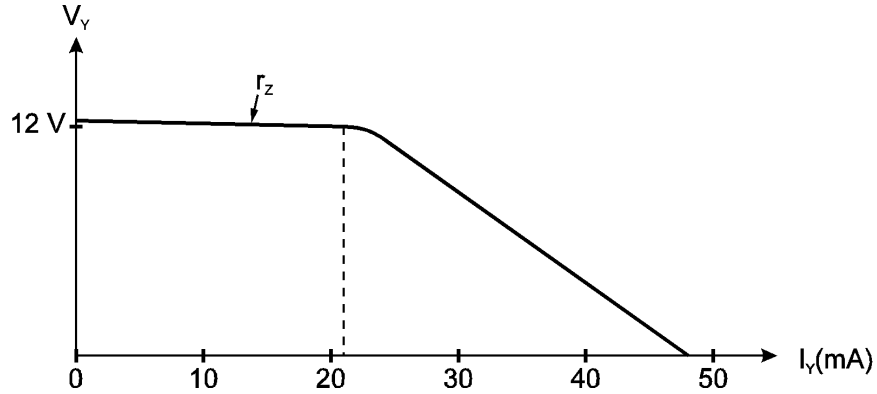
$$I_{Y \max} = I_{R \max} - I_{Z \min}$$

$$I_{Y \max} = 24 \text{ mA} - 3 \text{ mA} = 21 \text{ mA}$$

$$R_{Y \min} = \frac{V_Y}{I_{Y \max}} = \frac{12}{21 \text{ mA}} = 570 \Omega$$

$$\underline{R_Y > 570 \Omega} \text{ olmalıdır.}$$

Yük geriliminin değişimi akıma göre aşağıdaki gibi çizilebilir. Yük akımı 21 mA olana kadar zener diyot regülasyon sağlar. Bu aralıkta doğrunun eğimi r_Z direncini verir. Bu değerden sonra zener diyot çok az akım geçirir ve yüksek direnç gösterir. Çıkış kısa devre edilirse gerilim sıfır olur, akımı sadece R direnci sınırlar. Kısa devre akımı $24V/500 = 48 \text{ mA}$ 'dir.



b) Boşta çalışmada yük akımı sıfırdır ve zenerden maksimum akım geçer. Bu durumda zener gerilimi (yük gerilimi) maksimum olur.

$$V_{Y \max} = V_{Z \max} = V_Z + r_Z \cdot I_{Z \max} = 12 + 10 \cdot 21 \cdot 10^{-3} = 12.21 \text{ V}$$

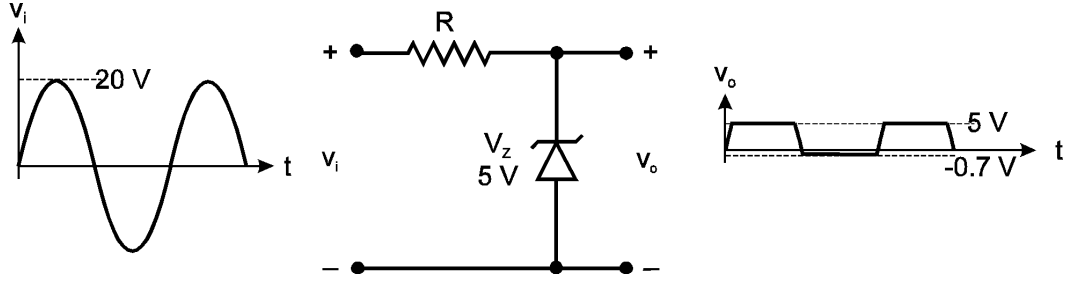
Yük akımı maksimum olduğunda zenerden geçen akım minimumdur. Bu durumda zener gerilimi (yük gerilimi) minimum olur.

$$V_{Y \min} = V_{Z \min} = V_Z + r_Z \cdot I_{Z \min} = 12 + 10 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 12.03 \text{ V}$$

$$\text{Bağıl Yük Regülasyonu} = \frac{12.21 - 12.03}{12} \times 100 = \% 1.5$$

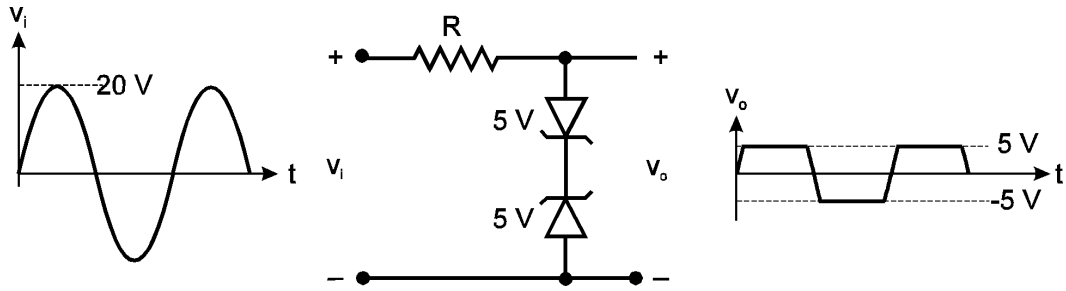
Zenerli AC regülatör (AC Sınırlayıcı)

Zener diyot, elektronik eleman ve entegre devrelerin girişlerini aşırı gerilimlerden korumak için kullanılabilir. Şekilde 2.18’de gerilimi tek yönde kırpmaya devresi gösterilmiştir. Devrede giriş geriliminin pozitif bölgesinde zener geriliminin üstünü kırpar. Negatif alternansta normal diyot gibi davranır ve iletme girer.



Şekil 2.18. Tek yönlü kırpıcı

Gerilimi iki yönde kırpmak için Şekilde 2.19’de verilen devre kullanılabilir. Pozitif alternansta Z1 diyodu normal, Z2 diyodu ise zener diyot gibi davranır. Negatif alternansta ise Z2 normal diyot, Z1 zener diyot gibi davranır. Zener diyotların gerilimleri uygun seçilerek giriş gerilimi istenilen seviyede kırılabilir.



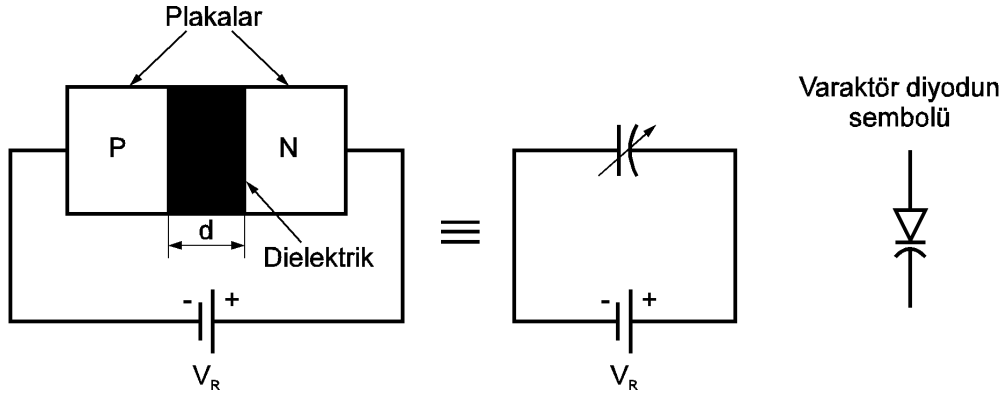
Şekil 2.19. İki yönlü kırpıcı

Varaktör Diyotlar

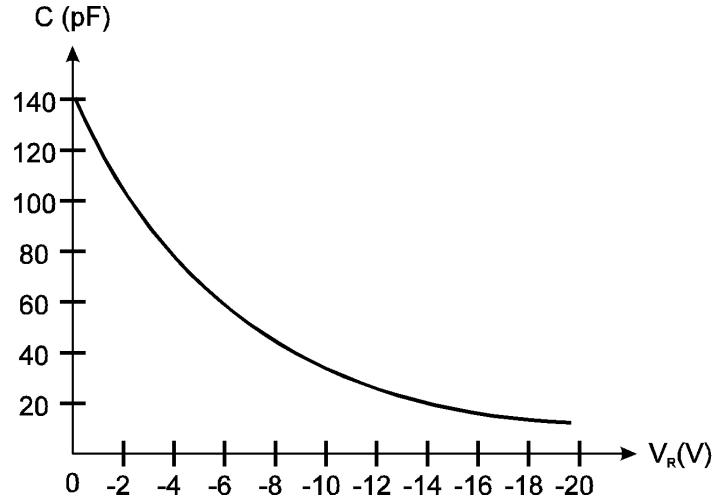
Ters gerilim uygulanan diyot bir kapasite gibi davranır. Normal diyotlarda ters gerilim uygulandığında bir boşluk bölgesi oluşur. Bu boşluk bölgesi uygulanan ters gerilim ile artar. Boşluk bölgesi akım geçirmediğinden yalıtkan kabul edilir. P ve N bölgeleri ise iletken olduğundan kapasitenin plakaları gibi davranır. Normal diyotların kapasitesi uygulanan ters gerilime bağlı olarak az miktarda değişir. Katkılama miktarı jonksiyon civarında arttırılarak kapasitenin değişme oranı yükseltilebilir. Bu şekilde yapılan özel diyotlara varaktör diyot denir. Varaktör diyotların kapasitesi gerilimle değiştirebilir. Diyodun kapasitesi,

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

olarak hesaplanır. Burada ϵ geçirgenlik, A jonksiyonun alanı ve d jonksiyonun genişliğidir. Diyoda ters gerilim uygulandığında oluşan kapasite ve varaktör diyodun eşdeğeri Şekil 2.20’de gösterilmiştir. Ters gerilim arttıkça boşluk bölgesi artar ve kapasite azalır. Kapasitenin gerilime bağlı değişimi Şekil 2.21’de gösterilmiştir. Bir potansiyometre ile diyoda gelen ters gerilim değiştirilerek varaktör diyodun kapasitesi kontrol edilebilir. Varaktör diyot, radyolarda frekansın ayarlanmasında ve televizyonların elektronik tuner devrelerinde yaygın olarak kullanılır.



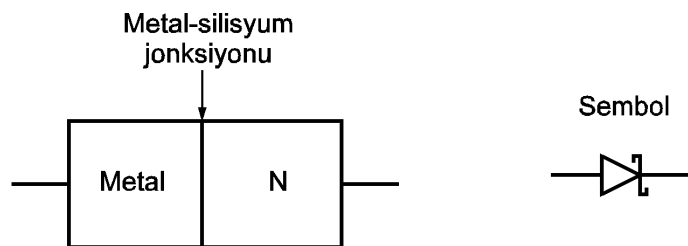
Şekil 2.20. Diyoda ters gerilim uygulandığında oluşan kapasite ve varaktör diyodun eşdeğeri.



Şekil 2.21 . Bir varaktör diyotta kapasitenin gerilime bağlı değişimi.

Schottky Diyotlar

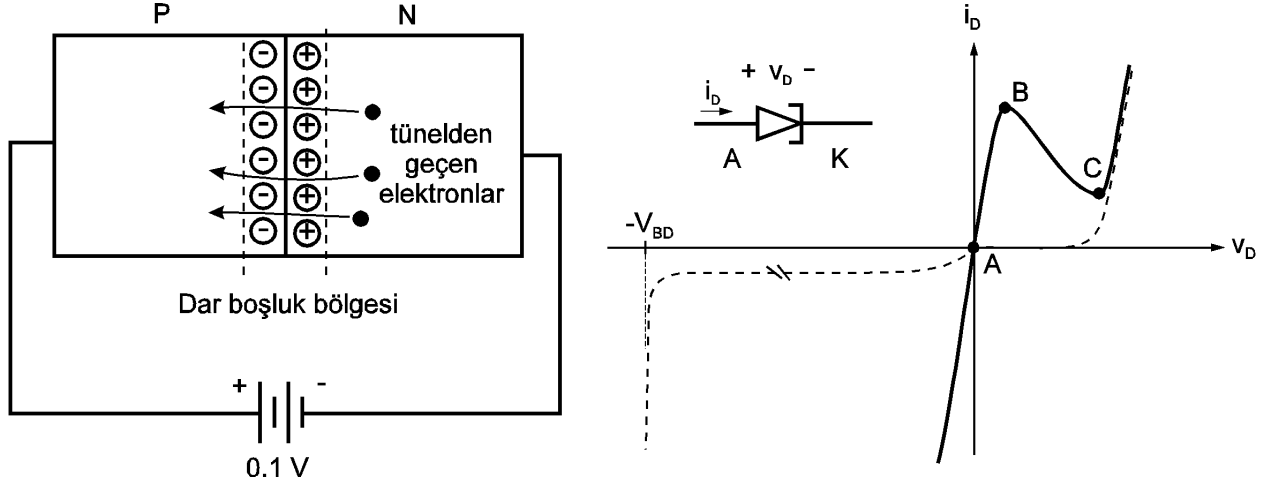
Schottky diyotlar çok yüksek frekanslarda ve hızlı anahtarlama uygulamalarında kullanılır. İletim gerilim düşümünün azlığı ve yüksek anahtarlama hızından dolayı özellikle anahtarlama güç kaynaklarında verim açısından tercih edilir. Hızlarının yüksekliği sebebiyle entegre (IC) devrelerde kullanılır. Schottky diyotta P tipi malzeme yerine altın, gümüş, platin gibi bir metal kullanılır. Metalde iletim bandında çok sayıda elektron mevcuttur. P-N diyodunda mevcut olan boşluk bölgesi Schottky diyotta yoktur ve düşük bir gerilimle iletme girer. Pozitif kutuplama ile N bölgesindeki yüksek enerjili elektronlar metale (P bölgesine) geçerek bu bölgedeki elektronların enerjilerini artırır. Schottky diyot, P-N diyoda göre çok hızlıdır. Çünkü bu diyot sadece çoğunluk akım taşıyıcıları ile çalışır. Serbest elektronların hareketi deliklerin hareketine göre çok hızlıdır. Schottky diyodun yapısı ve sembolü Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



Şekil 2.22. Shottky diyodun yapısı ve sembolü.

Tünel Diyot

Tünel diyot, P ve N bölgelerinde jonksiyon civarındaki katkılanma miktarı artırılarak yapılan bir diyottur. Bilindiği gibi katkılanma miktarının artırılması boşluk bölgesini daraltır ve zener gerilimini azaltır. Tünel diyotta boşluk bölgesinin genişliği normal diyodun yüzde biri kadar küçüktür. Bu nedenle çok küçük bir ileri gerilim diyottan akım geçmesine neden olur. Tünel diyodun yapısı, karakteristiği ve sembolü Şekil 2.23'te verilmiştir.



Şekil 2.23. Tünel diyodun yapısı, karakteristiği ve sembolü.

Şekilde gösterildiği gibi tünel diyodun karakteristiği belirli bir bölgeden sonra normal diyot ile aynıdır. Tünel diyodun çalışması şu şekildedir. A noktasında bir gerilim uygulanmamıştır ve diyottan akım geçmez. A noktasının altında çok küçük ters bir gerilim uygulandığında diyottan geçen akım ters gerilimle hızlı bir şekilde artar. Diyoda küçük bir pozitif gerilim uygulandığında akım geçer ve pozitif gerilimin artırılması ile akım artar. B noktasından C noktasına kadar akım azalır. B ile C arasında diyodun dinamik direnci negatiftir. Gerilimdeki artış akımda azalmaya neden olur. Tünel diyot bu özelliği nedeniyle osilatör devrelerinde kullanılır.

Tünel diyotta boşluk bölgesini geçen elektronların hızı, normal diyotta difüzyon ile yayılan elektronlara göre çok yüksektir. Tünel diyotta elektronlar P-N jonksiyonu civarında ışık hızına yakın bir hızla hareket eder. Tünel diyot bu nedenle çok yüksek frekanslarda (10^7 MHz'e kadar) kullanılabilir.

Işık Yayan Diyotlar (LED)

P-N diyot doğru yönde kutuplandığında, N-tipi malzemede serbest elektronlar difüzyon ile P bölgesine geçer. Elektronlar P bölgesinde deliklerle birleşerek valans elektron haline gelir. N bölgesinde iletim bandında bulunan elektronların, P bölgesinde valans bandına geçmeleri enerji kaybetmelerine neden olur. Bu enerji kaybı silisyum ve germanyum diyotlarda ısıya dönüşür. Galliyum arsenid ve galliyum fosfat gibi malzemelerden yapılan diyotlarda bu enerjinin bir miktarı ışık enerjisine (fotonlara) dönüşür. Yayılan ışığın enerjisi ve frekansı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E = h \times f$$

$$h = 4.137 \times 10^{-15} \text{ : Planck sabiti (Elektronvolt / Hertz)}$$

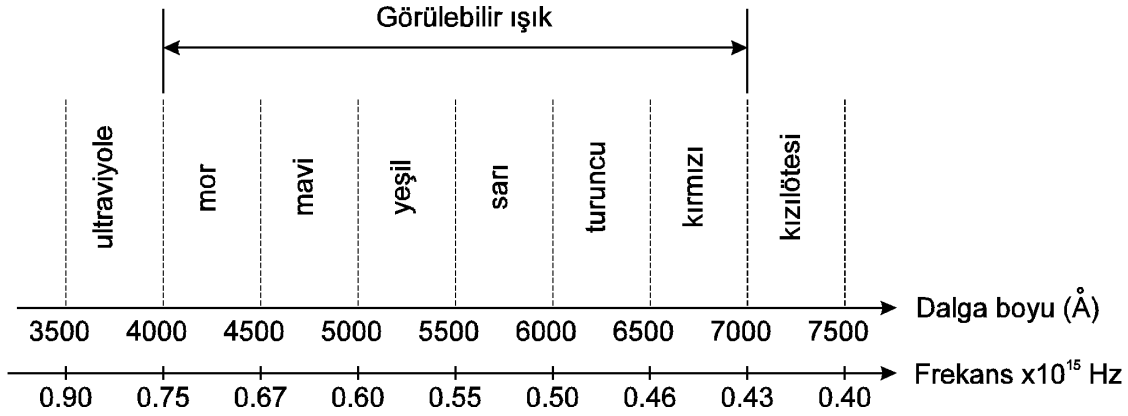
E burada elektronun kaybettiği enerjidir. Enerji ne kadar büyük olursa yayılan ışığın frekansı o kadar yüksektir. Elektronlar elektrik enerjisini taşıdığı gibi, fotonlar ışık enerjisini taşıyan, ağırlığı ve yükü olmayan küçük parçacıklardır. Işık emen cisim enerji almış olur ve ısınır. Bir madde ne kadar çok ısınır yaydığı ışıkların dalga boyları o kadar kısa olur. Işığın hızı ile elektromanyetik dalganın hızı aynı olup $c = 3 \times 10^8$ metre / saniye'dir. Işığın frekansı ile dalga boyu arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Dalga boyu, ışık veya elektromanyetik dalganın bir periyodunda kaç metre yol aldığını gösterir. Yüksek frekanslarda uzunluk birimi olarak metre yerine, milimetrenin onmilyonda biri olan angstrom kullanılır.

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ metre}$$

Farklı renkteki ışık enerjilerinin frekans ve dalga boyları Şekil 2.24'te gösterilmiştir. İnsan gözü 3800-7000 angstrom dalga boyundaki ışıkları görebilir. Gözün en iyi algıladığı renkler sarı ile sarı-yeşil renk bölgeleridir. Güneş ışığı bütün ışıkları eşit içerdiği için beyaz ışık olarak görünür.



Şekil 2.24. Işık enerjisinin frekans ve dalga boyu spektrumu.

Uygulama : 13

Dalga boyu 7000 \AA olan kırmızı ışık fotonlarının enerjisini hesaplayınız.

Çözüm :

Işığın frekansı,

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{7000 \times 10^{-10}} = 0.43 \times 10^{-15} \text{ Hz}$$

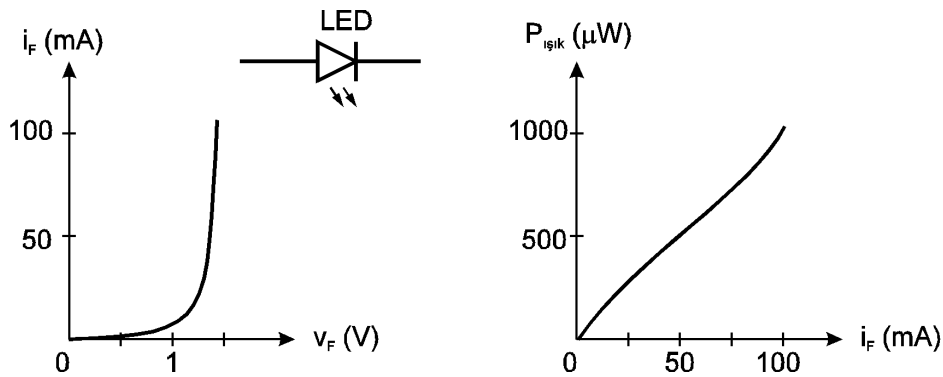
Fotonların enerjisi,

$$E = h \times f = 4.137 \times 10^{-15} \times 0.43 \times 10^{-15} = 1.78 \text{ eV.}$$

Ledlerde galyum arsenit (GaAs), galyum fosfat (GaP), galyum arsenit fosfat (GaAsP) gibi maddeler kullanılır. Bu malzemelerin karıştırılması ve katkılama oranının ayarlanması ile LED'lerin istenilen dalga boyunda ışık vermesi sağlanır. LED'ler kırmızı, turuncu, sarı ve beyaz renklerde üretilmektedir.

LED Karakteristikleri

LED'in V-I karakteristiği, sembolü ve yaydığı ışığın gücü Şekil 2.25'te verilmiştir. LED'in iletim gerilim düşümü 1 V ve geçen akım 100 mA civarındadır. Buna rağmen ışığa dönüşen güç μW seviyesindedir. Elektrik enerjisinin ışık enerjisine dönüşümündeki verim çok düşüktür. LED'lerin güç ihtiyacı 10 ile 150 mW arasında değişir ve ömürleri 100.000 saatten fazladır. LED'lerin ters dayanma gerilimleri 3-4 V civarındadır.



Şekil 2.25. LEDin V-I karakteristiği, sembolü ve yaydığı ışığın gücü.

Diyot Katalog Bilgileri

Genel olarak üreticilerin kataloglarda diyotlarla ilgili verdikleri bilgiler 3 kısımda toplanabilir. Bunlar ileri yönde akım-gerilim, ters yönde akım-gerilim ve sıcaklıkla ilgili değerlerdir. Ayrıca mekanik özellikler ve kısa bilgiler de verilir. Diyodun türüne göre parametre çeşitleri değişebilir. Örneğin, zener diyot ile doğrultucu diyodun kataloglarında farklılıklar mevcuttur. Aşağıda bir doğrultucu diyodunda kullanılan genel kısaltmalar ve açıklamaları verilmiştir.

Maksimum Değerler ve Termal Karakteristikler

- V_{RRM} : Ters yönde dayanabileceği pik gerilim
- V_{RMS} : Ters yönde dayanabileceği efektif gerilim
- V_{DC} : Ters yönde dayanabileceği DC gerilim
- $I_{F(AV)}$: Diyottan geçebilecek maksimum doğrultulmuş akım
- I_{FSM} : Diyottan geçebilecek tek bir yarım dalga sinüs şeklindeki akımın tepe değeri
- R_{θ} : Termik direnç
- T_A : DC gerilimin tutulduğu maksimum sıcaklık
- T_J : Jonksiyonun çalışma sıcaklık aralığı

Elektriksel Karakteristikler

- V_F : İleri yönde maksimum ani gerilim düşümü
- I_R : Nominal ters DC gerilimde geçen maksimum ters akım
- C_J : Tipik jonksiyon kapasitesi