

Bölüm 1: Pasif devre elemanları

"Dirençler, kondansatörler, bobinler"



Elektrik ve elektronik ile ilgili temel kavramlar

1. Elektrik: Grek (Yunan) dilinde kehribar ağacının adı elektriktir. Adı geçen toplumun bilgileri, bu ağacın kurumuş dallarının saç kıllarına sürtülmesinden sonra saman çöplerini çektiğini belirleyince, bu tip özellik gösteren tüm diğer cisimlere **elektrik** adını vermişlerdir.

Çok eski çağlarda ortaya konan elektrik kavramının kapsadığı alan durgun (*statik*) elektriktir. 16. yüzyıldan sonra hızlanan bilimsel ve teknolojik buluşların sonucunda ise durgun elektrik kavramının ötesine geçilerek, bugün yaşantımızın her alanında yararlandığımız elektrikli ve elektronik donanımlar geliştirilmiştir.

2. Elektronik: İleriki bölümlerde ayrıntılı olarak işlenecek olan madde konusunda da görüleceği gibi doğada bulunan 112 elementten bazılarının atomlarının son yörüngelerinde (valans yörünge) bulunan eksi (-) yüklü elektronların hareketlerinden (davranışlarından) yararlanarak çeşitli donanımları yapma bilimine **elektronik** denir. Başka bir tanım ise şu şekildedir: Elektronik, serbest elektron hareketinin denetimini konu edinen bilim dalıdır.

20. yüzyıl elektronik teknolojisinin atılıma geçtiği çağ olmuştur. 21. yüzyıl ise yaşantımızın her diliminin elektronik düzeneklerle donandığı bir asır olacaktır. Elektronik bilim dalı hemen hemen bütün bilim dallarıyla iç içe geçmiş durumdadır. 1920'li yıllarda uygulamaya girmeye başlayan ilk elektronik devreler lambalıydı. (Lambalı devre elemanı: Hava boşaltılmış elektron lambasıdır.) 1950'li yıllardan sonra ise transistörlü elektronik devreler kullanılmaya başlandı.

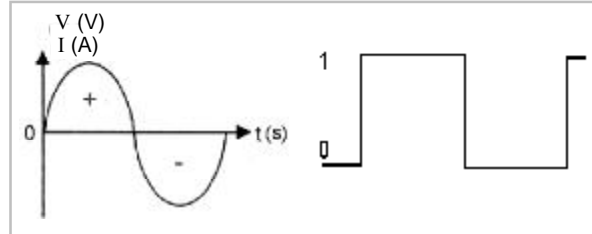
1960'lı yılların ortalarından sonra ise, transistörlerin yerine küçük ama çok işlevli devre elemanları, yani entegreler ön plana çıktı. Entegre (*tümleşik devre, yonga, chip*) olarak adlandırdığımız elemanlar, devrelerin yapısını basitleştirmekte, çalışma hızını artırmakta ve doğru çalışmayı sağlamaktadır.

Günümüzde elektronik, çok çeşitli dallara (endüstriyel elektronik, görüntü sistemleri, tıp elektroniği, dijital elektronik, iletişim, güvenlik...) ayrılabilir duruma gelmiştir. Ancak elektronik temelde, iki kısımda incelenebilir:

I. Analog (örneksel) elektronik

II. Dijital (sayısal) elektronik

Analog temelli devrelerde sinyalin değişimi şekil 1.1'de görüldüğü gibi küçük zaman aralıklarında olmaktadır. Yani, her an sinyalin değerleri farklıdır ve sonsuz sayıda ara değerler söz konusudur. Dijital özellikli devrelerde gerilimin yavaş değişmesi, ona bağlı olarak devre akımının yavaş değişmesi söz konusu olamaz. Dijital yapı devrelerin sinyallerinde şekil 1.2'de görüldüğü gibi iki durum söz konusudur. Yani devreden akım geçmekte ya da geçmemektedir. Anlatımlarda akımın geçme anı '1' ile, geçme anı ise '0' ile gösterilir. Sonuç olarak analog devreler ölçüp örnekler, dijital devreler ise sayar.



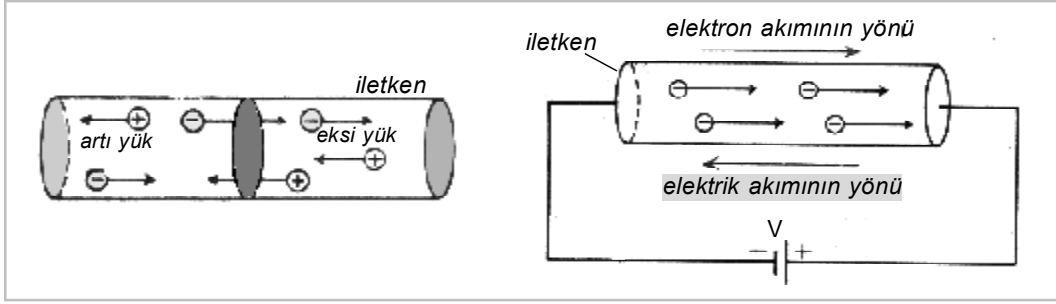
Şekil 1.1: Analog sinyal

Şekil 1.2: Dijital sinyal

3. Elektrik akımı: İletkenden (ya da alıcıdan) birim zamanda geçen elektrik yükü (elektron) miktarına akım denir. Akım, elektronların hareketiyle ortaya çıkar. Ancak eskiden akımın artı (+) yüklü oyuklar tarafından taşındığı sanıldığından, bugün de eski (klasik) teorem kabul edilmektedir.

Başka bir deyişle, bir pilde akım, artı (+) uçtan eksi (-) uca doğru gider deriz. Ancak gerçekte akım eksi (-) uçtan artı (+) uca doğru akar.

Şekil 1.3'te iletken içindeki artı (+) ve eksi (-) yüklü parçacıkların hareket yönleri gösterilmiştir. Şekil 1.4'te ise pilin eksi (-) ucundan çıkan elektronların pilin artı (+) ucuna doğru hareketi görülmektedir.



Şekil 1.3: Artı (+) ve eksi (-) yüklerin iletken içindeki hareketi

Şekil 1.4: Elektrik akımının iletken geçişinin basit olarak gösterilişi

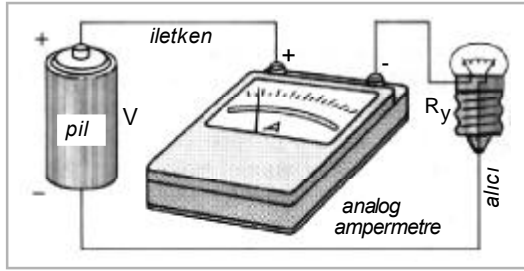
Elektrik devresinden geçen akım "I" ile gösterilir ve ampermetreyle ölçülür. Akımın birimi amper (A), denklemi, $I = V/R [A]$ şeklindedir.

Şekil 1.5'te DC üreticiyle beslenen alıcının çektiği akımın analog tip ampermetreyle ölçülmesine ilişkin bağlantı şeması verilmiştir.

Akımın ast katları: Pikoamper (pA), nanoamper (nA), mikroamper (µA), miliamper (mA).

Akımın üst katları: Kiloamper (kA), megaamper (MA), gigaamper (GA).

Not: Megaamper ve gigaamper uygulamada pek kullanılmamaktadır. Akımın ast ve üst katları biner biner büyür ve küçülür.



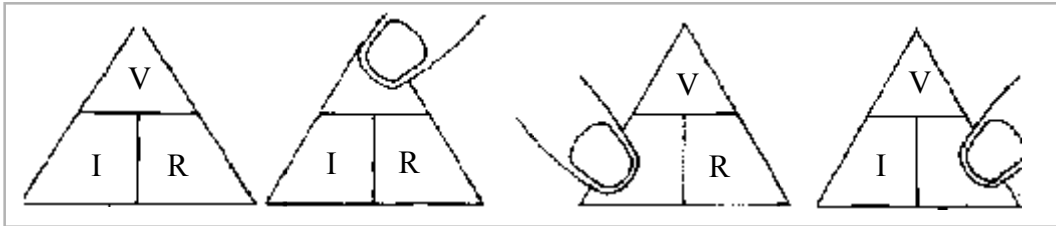
Şekil 1.5: Ampermetrenin devreye bağlantı şeması

4. Gerilim (EMK, elektromotor kuvvet, potansiyel fark): Bir üreticinin iki ucu arasındaki potansiyel farka gerilim denir. Gerilim, voltmetreyle ölçülür ve V, U, E ya da e ile gösterilir. Birimi volt (V), denklemi, $V = I.R [V]$ şeklindedir.

Gerilimin ast katları: Pikovolt (pV), nanovolt (nV), mikrovolt (µV), milivolt (mV).

Gerilimin üst katları: Kilovolt (kV), megavolt (MV), gigavolt (GV).

Not: Megavolt ve gigavolt uygulamada kullanılmamaktadır. Gerilimin ast ve üst katları biner biner büyür ve küçülür.



Şekil 1.6: Ohm kanununun değişkenlerinin üçgen içinde gösterilişi

5. Ohm kanunu (yasası): 1828 yılında *George Simon Ohm* (*Corc Saymın Om*) tarafından ortaya konan denkleme göre, bir alıcıya uygulanan gerilim arttıkça devreden geçen akım da artmaktadır. Alıcının direnci artırıldığında ise geçen akım azalmaktadır.

Başka bir deyişle 1 ohm, 1 volt uygulanmış devreden 1 amperlik akım geçmesine izin veren direnç değeridir.

Ohm kanununda ortaya konan değişkenlerin birbiriyle ilişkisi şekil 1.6'da verilen ohm üçgeniyle açıklanabilir. Bu üçgene göre, hesaplanmak istenen değerini üzeri parmak ile kapatılarak denklem

kolayca çıkarılabilir. Bu yaklaşıma göre:

$V = I.R$ [V], $I = V/R$ [A], $R = V/I$ [Ω] eşitlikleri karşımıza çıkar.

6. Elektronik devre elemanlarının işlev açısından sınıflandırılması

a. Pasif devre elemanları: Enerji kaynağı ya da etkin elektromotor kuvvetleri olmayan, gerilim uygulandığında geçen akımın sonucu olarak enerji harcayan ya da depolayan elemanlardır. Şöyle ki; dirençler akım sınırlaması yaparken ısı ve ışık şeklinde enerji harcarlar. Kondansatörler, elektrik enerjisini elektrik yükü şeklinde, bobinler ise manyetik alan olarak depolarlar.

b. Aktif devre elemanları: Kendileri enerji üreten ya da enerji seviyesini yükselten elemanlardır. Pil, dinamo, enerji üreten, amplifikatör, enerji seviyesini yükselten aktif eleman örneği olarak gösterilebilir.

Pasif devre elemanlarının incelenmesi

A. Dirençler (**rezistans, resistance**)

Bir elektrik devresine gerilim uygulandığında, alıcıdan akım geçmektedir. Geçen akımı sınırlayan etken devredeki dirençtir. Bu yaklaşıma göre, elektrik akımının geçişine karşı zorluk gösteren elemanlara **direnç** denir. Elektrik enerjisi direnç üzerinde ısıya dönüşerek harcanır.

Dirençler, **R** ya da **r** ile ifade edilir. Elektrik devresinde direnç denklemi, $R = V/I$, direnç birimi ise Ω (ohm)'dur. Şekil 1.7'de sabit direnç sembolleri verilmiştir.

Dirençin ast katları: Pikoohm (p Ω), nanoohm (n Ω), mikroohm ($\mu\Omega$), miliohm (m Ω).

Dirençin üst katları: Kiloohm (k Ω), megaohm (M Ω), gigaohm (G Ω).

Not: Pikoohm, nanoohm, mikroohm, miliohm, gigaohm gibi birimlere sahip dirençler uygulamada pek kullanılmamaktadır.



Şekil 1.7: Sabit direnç sembolleri

Dirençlerin devredeki işlevleri (fonksiyonları)

- I. Devreden geçen akımı sınırlayarak aynı değerde tutmak.
- II. Devrenin besleme gerilimini bölerek, yani küçülterek başka elemanların çalışmasına yardımcı olmak.
- III. Hassas yapıları devre elemanlarının aşırı akıma karşı korunmasını sağlamak.
- IV. Yük (alıcı) görevi yapmak.
- V. Isı enerjisi elde etmek.

Dirençlerin üretim şekline göre sınıflandırılması

a. Sabit değerli dirençler: Direnç değerleri sabit olan, yani değiştirilemeyen elemanlardır. Bu dirençler, üzerlerinden geçen akım ve gerilimin değerine göre farklı direnç göstermezler. Ayrıca, dışarıdan yapılan etkiyle (mekanik ya da elektriksel) dirençleri değiştirilemez.

Sabit değerli dirençler 0,1 Ω 'dan 22 M Ω 'a kadar değişik değerlerde ve çeşitli güçlerde üretilir. Ancak bu, her değerde direnç üretilir anlamına gelmez. Uygulamada standart değerlere sahip dirençler karşımıza çıkar. Eğer standart dışı değerde bir dirence gerek duyulursa seri ya da paralel bağlama yapılır. Ya da ayarlı direnç kullanılır.



Resim 1.1: Sabit dirençler

b. Ayarlı (değişken değerli) dirençler: Direnç değerleri, hareket ettirilebilen orta uçları sayesinde ayarlanabilen elemanlardır.

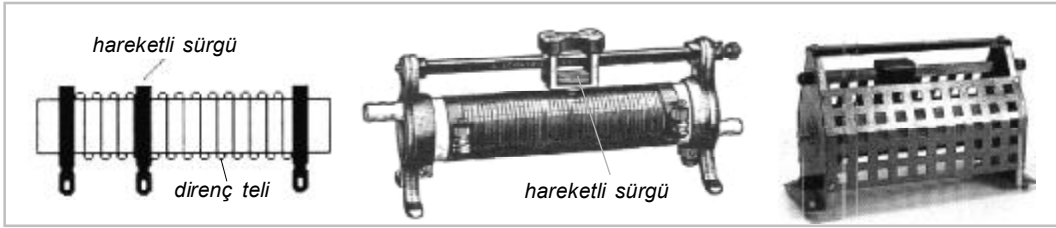
Bu elemanlar yüksek dirençli tel sarımlı ya da karbondan yapılırlar. Karbon tip ayarlı dirençler resim 1.2-a'da görüldüğü gibi, karbon karışımı disk biçiminde yapılırlar. Direnç görevini, sıkıştırılmış kâğıt ya da disk



Resim 1.2: Çeşitli ayarlı dirençler

şeklindeki karbon üzerine ince bir tabaka şeklinde kaplanmış karbon karışımı yapar. Karbon diskin kesilerek elde edilmiş iki ucuna bağlantı terminalleri takılır. Üçüncü uç, esnek gezer kontak biçiminde olup, disk üzerine sürtünerek döner ve istenilen direnç değerinin elde edilmesini sağlar. Bazı tiplerde gezer uç resim 1.2-ç'de görüldüğü gibi doğrusal kaymalı şekilde de olabilir.

Ayarlı dirençlerin yüksek akım ve gerilimlere dayanıklı olanlarına ise reosta denir. Reostalar, devrede akım, gerilim ayarı yapmak için kullanılan dirençlerdir. Resim 1.3'te reostalar görülmektedir.

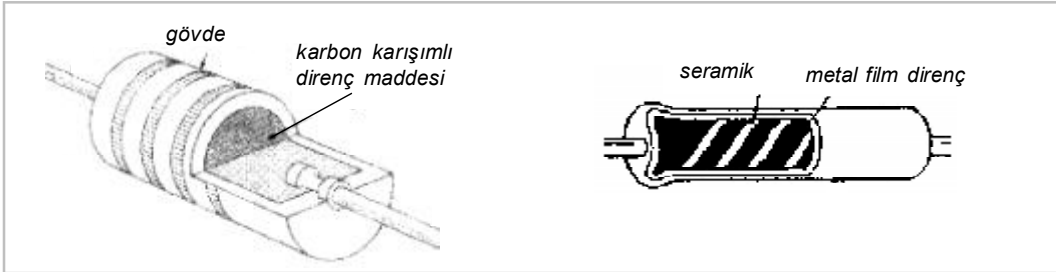


Resim 1.3: Reostalar

Dirençlerin yapıldığı maddeye göre sınıflandırılması

a. Karbon karışimli dirençler: Şekil 1.8'de görüldüğü gibi toz hâlindeki karbonun, dolgu maddesi ve reçineli tutkal ile karışımından yapılmış direnç çeşididir.

Karbon dirençlerin hata (tolerans) oranları yüksektir ve kullanıldıkça (eskidikçe) direnç değerleri de değişir. Değişim zaman içinde $\pm \% 20$ 'lere kadar yükselebilir.



Şekil 1.8: Karbon karışimli direncin yapısı

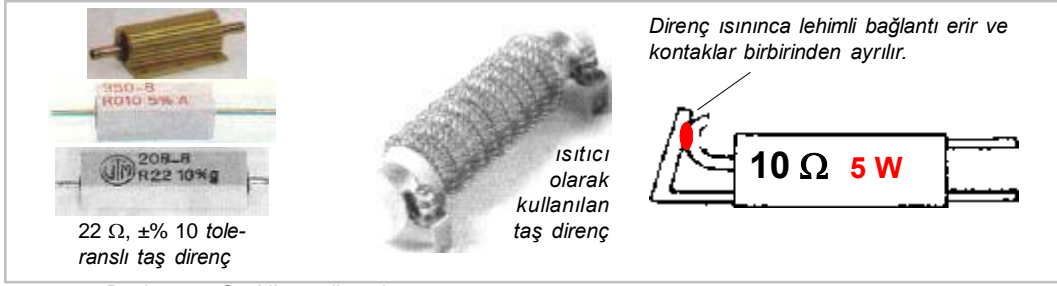
Şekil 1.9: Film direncin yapısı

b. Film (ince tabakalı) dirençler: Seramik bir çubuğun üzerinin elektrik akımına karşı direnç gösteren madde ile kaplanmasıyla elde edilen direnç çeşididir. Şekil 1.9'da film direncin yapısı gösterilmiştir.

Uygulamada kullanılan film direnç çeşitleri şunlardır:

- ▶ Karbon film dirençler
- ▶ Metal oksit film dirençler
- ▶ Metal cam karışımı film dirençler
- ▶ Cermet (*ceramic-metal*) film dirençler
- ▶ Metal film dirençler

Film tipi dirençlerin hata oranları $\pm \% 0,1-2$ gibi çok küçük olabilmektedir. Ayrıca bu tip dirençlerin yük altındaki kararlılıkları da çok iyidir. O nedenle bu tip dirençler hassas yapıli elektronik devrelerde yaygın olarak kullanılırlar.



Resim 1.4: Çeşitli taş dirençler

Şekil 1.10: Termik düzenekli taş dirençler

c. Tel sarımlı (taş) dirençler: Krom-nikel, nikel-gümüş, konstantan, tungsten, manganin gibi maddelerden üretilmiş tellerin ısıya dayanıklı olan porselen, bakalit, amyant benzeri maddeler üzerine sarılmasıyla yapılan dirençlerdir.

Taş dirençler büyük güçlü olduğundan yüksek akım taşıyabilirler. Resim 1.4'te görülen taş dirençlerin büyük güçlü olması, bu elemanların etrafa yaydığı ısının da artmasına yol açar. İşte bu nedenle sıcaktan etkilenen elektrolitik kondansatör, diyot, transistör, entegre gibi elemanlar taş dirençlerin çok yakınına konmaz (monte edilmez).

Uygulamada kullanılan bazı taş (tel) dirençlerde, aşırı akım geçişi durumunda diğer devrelerin zarar görmesini engellemek amacıyla yapılmış termik düzenekler vardır.

Şekil 1.10'da görüldüğü gibi direncin gövdesi üzerinde aşırı akım sonucu oluşan ısı lehimini eritir. Direnç gövdesindeki iki uç birbirinden ayrılır ve akım geçişi durur. Sigortanın atması (lehimin erimesi) dirençten aşırı akım geçişi olduğunu gösterir. Onarım yapılırken ayrılan kısmı tel kullanarak birbirine bağlamak çok sakıncalıdır. Bu yapıldığında koruma düzeneği bir daha görev yapamayarak devrenin başka kısımlarının bozulmasına yol açar.

Karbon ve tel sarımlı dirençlerin teknik özellikler bakımından karşılaştırılması

a. Karbon dirençler

- Büyük değerli direnç yapmaya uygundur.
- Küçük akımlı devrelerde kullanılır.
- Direnç değeri renk koduyla belirtilir.
- Güçleri 1/10 W-5 W arasında değişir.

b. Tel sarımlı (taş) dirençler

- Küçük değerli dirençleri yapmaya uygundur.
- Büyük akımlı devrelerde kullanılır.
- Direnç değeri gövde üzerinde yazılıdır.
- Güçleri 2 - 225 W arasındadır.

Ayarlı direnç çeşitleri

a. Potansiyometreler (pot)

Direnç değerleri, dairesel olarak dönen bir mil ya da sürgü kolu aracılığıyla değiştirilebilen elemanlara **potansiyometre** denir. Şekil 1.11'de potansiyometre sembolü, resim 1.5'te potansiyometrenin iç yapısı ve potansiyometre örnekleri verilmiştir.



Şekil 1.11: Potansiyometre sembolü

Resim 1.5: Potansiyometre örnekleri

Uygulamada kullanılan potansiyometre çeşitleri şunlardır:

I. Anahtarlı potansiyometre: Bir anahtar ile potansiyometre aynı gövdede birleştirilip hem

açma kapama hem de akım ayar işlemini yapabilen elemana **anahtarlı pot** denir. Resim 1.6'da görülen anahtarlı potlar radyo, teyp, dimmer vb. gibi aygıtlarda kullanılır.



Resim 1.6: Anahtarlı potansiyometreler

Resim 1.7: Stereo potansiyometreler

II. Stereo (steryo) potansiyometre: İki potansiyometrenin bir gövde içinde birleştirilmesiyle yapılmış olup, *stereo* (steryo, iki yollu) ses devrelerinde kullanılan elemanlardır. Resim 1.7'de *stereo* potansiyometre örnekleri görülmektedir.

III. Oto radyo teyp potansiyometresi: Taşıtlardaki radyo teyplerde kullanılan potlar çoklu yapıdadır. Yani bir mil üzerine bir kaç adet pot ve açma kapama (*on off*) anahtarı monte edilmiştir. Bu potlar, ses, balans, *fader* (ön-arka) fonksiyonlarını yerine getirirler.

b. Trimpot (trim, trimer direnç): Direnç değerinin ara sıra değişmesinin gerektiği devrelerde kullanılan elemandır. Yapı olarak potansiyometrelere benzer. Direnç değerleri düz ya da yıldız uçlu tornavidayla değiştirilebilir. Şekil 1.12'de trimpot sembolleri, resim 1.8'de ise trimpot örnekleri verilmiştir.



Şekil 1.12: Trimpot sembolleri

Resim 1.8: Çeşitli trimpotlar

Resim 1.9: Vidalı tip ayarlı direnç

c. Vidalı tip (çok turlu) ayarlı direnç: Sonsuz dişli özellikli vida üzerinde hareket eden bir tırnak, **kalın film** yöntemiyle oluşturulmuş direncin üzerinde konum değiştirerek direnç ayarının yapılmasını sağlamaktadır. Hareketli olan tırnak potansiyometrenin orta ucudur. Bu tip ayarlı dirençlerle çok hassas direnç ayarı yapılabilir. Resim 1.9'da vidalı tip ayarlı direnç görülmektedir.

Ayarlı dirençlerin direnç değişim karakteristikleri: Ayarlı dirençler, kullanılacakları devreye göre üç ayrı özellikte üretilirler. Şimdi bunları inceleyelim.

a. Direnç değerleri lineer (doğrusal) olarak değişen ayarlı dirençler: Direnç değerleri sıfırdan itibaren doğrusal (*eşit adım, eşit direnç*) olarak artar. Gövdelerinde **LIN (lin)** sözcüğü bulunur. Örneğin üzerinde LIN 220 k yazılı olan bir pot *lineer* özellikte ve 220 kΩ değerindedir. LIN yazılı dirençlerde değişim **düzgün** olmaktadır. *Lineer* potansiyometreler, güç kaynağı, zamanlayıcı vb. devrelerinde kullanılırlar.

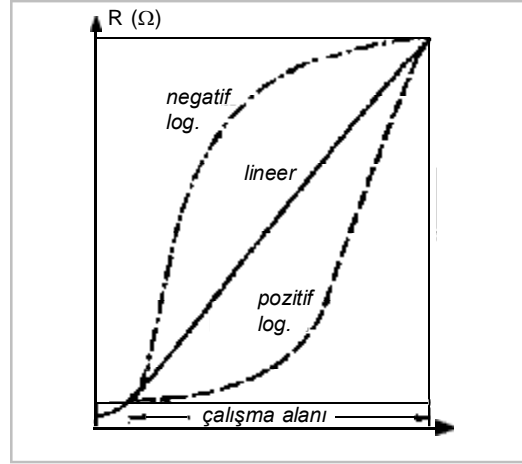
Lineer potansiyometrelerde direncin değişim şeklini anlayabilmek için şekil 1.13 ve şekil 1.14'e bakınız.

b. Pozitif logaritmik (poz. log.) özellikli ayarlı dirençler: Direnç değerleri sıfırdan itibaren logaritmik (eğrisel) olarak artar. Ayar milinin ileri hareketiyle direncin değişiminin logaritmik olabilmesi için karbon maddesinin yoğunluğu da logaritmik olarak değişecek şekilde ayarlanmıştır.

İnsan kulağı logaritmik yapıda olduğundan sesle ilgili elektronik devrelerde (radyo, TV, yükselteç vb.) bu tip dirençler kullanılır. Gövdelerinde LOG ya da POZ. LOG sözcüğü bulunur.

Volüm (ses) kontrolünde lineer bir pot kullanılırsa, ses yavaş yavaş açılırken, önceleri hiç artırmıyormuş gibi olur. Potun son bölümünde ise ses birden artar. Bunun nedeni insan kulağının logaritmik bir organ olmasındandır. Aslında ses lineer bir potta eşit olarak artmaktadır. Ancak insan kulağı zayıf seslere karşı hassas, kuvvetli seslere karşı giderek daha az duyduğundan algılama hatası söz konusu olmaktadır. Logaritmik bir pot ile yapılan ses ayarı ise kulak tarafından çok iyi algılanabilmektedir.

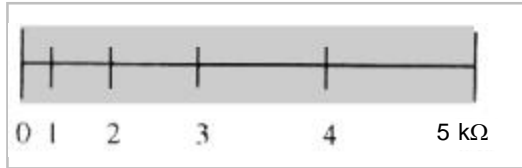
Pozitif logaritmik potansiyometrelerde direncin değişim şeklini anlayabilmek için şekil 1.13'e bakınız.



Şekil 1.13: Ayarlı dirençlerin değerinin değişim şekillerini gösteren eğriler



Şekil 1.14: Lineer potansiyometrelerde direncin değişim aralıkları

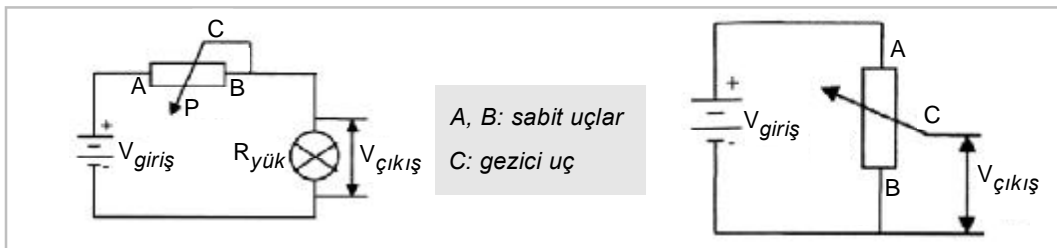


Şekil 1.15: Logaritmik potansiyometrelerde direncin değişim aralıkları

c. Negatif logaritmik (neg. log.) özellikli ayarlı dirençler: Direnç değerleri sıfırdan maksimum (en yüksek) değere doğru logaritmik (eğrisel) olarak artar. POZ. LOG. özellikli dirençlere çok benzerler. Yalnızca direncin değişim şekli sıfırdan itibaren biraz daha hızlıdır. Gövdelerinde LOG ya da NEG. LOG sözcüğü yer alır. Negatif logaritmik potansiyometrelerde direncin değişim şeklini anlayabilmek için şekil 1.13'e bakınız.

Ayarlı dirençlerin kullanım alanları

a. Akım ayarlayıcı (sınırlayıcı) olarak kullanma: Ayarlı dirençler kullanılarak herhangi bir devreden geçen akımın değeri ayarlanabilmektedir. Şekil 1.16'da görülen bağlantı yapıldığında potun orta ucu hareket ettirilirse alıcıdan geçen akımın değerinin değiştiği görülür.



Şekil 1.16: Ayarlı dirençlerin akım ayarlayıcı olarak kullanılması

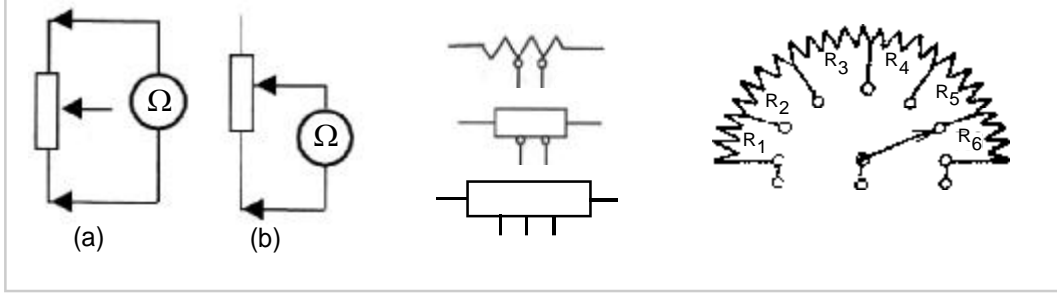
Şekil 1.17: Ayarlı dirençlerin gerilim ayarlayıcı olarak kullanılması

b. Gerilim ayarlayıcı olarak kullanma: Ayarlı dirençler kullanılarak herhangi bir devreye uygulanan gerilimin değeri ayarlanabilmektedir. Şekil 1.17'de görülen bağlantı yapıldıktan sonra

ayarlı direncin orta ucu hareket ettirilirse alıcıya uygulanan gerilimin değeri değiştiği görülür.

Ayarlı dirençlerin sağlamlık testi: Ohmmetrenin probaları şekil 1.18-a'da görüldüğü gibi ilk önce ayarlı direncin kenar uçlarına dokundurulularak eleman üzerinde yazılı direnç değerinin doğru olup olmadığına bakılır.

Daha sonra şekil 1.18-b'de görüldüğü gibi problemlardan birisi ayarlı direncin hareketli ucuna, diğeri de sırayla kenarlarda bulunan sabit uçlara değiştirilir. Orta ve kenar uçlara problemler değiştirilirken ayarlı direncin mili çevrildiğinde (ya da sürgüsü hareket ettirildiğinde) direnç değerinde değişim görülürse elemanın sağlam olduğu anlaşılır.

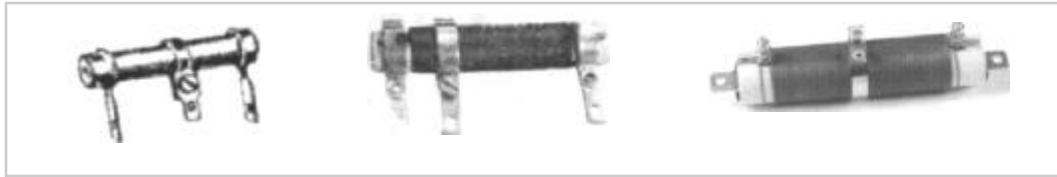


Şekil 1.18: Ayarlı dirençlerin sağlamlık testinin yapıışı

Şekil 1.19: Kademeli direnç sembolleri

Şekil 1.20: Kademeli dirençlerin yapısı

Kademeli dirençler: Bir gövde içine yerleştirilmiş dirençten çok uç çıkarılarak yapılan elemanlara kademeli direnç denir. Şekil 1.19'da kademeli direnç sembolleri, şekil 1.20'de sekiz uçlu kademeli direnç örneği, resim 1.10'da ise uygulamada kullanılan kademeli direnç çeşitlerine yer verilmiştir.



Resim 1.10: Çeşitli kademeli dirençler

Kademeli direnç çeşitleri

a. Çok ayaklı kademeli dirençler: Bir gövde içine yerleştirilmiş bir kaç adet dirençten oluşur. Çok ayaklı olup, bir kaç farklı değerde direnç elde etmeye yarar. Bu tip dirençler, devrelerde gerilim bölücü olarak kullanılır. Resim 1.10'da kademeli direnç örnekleri verilmiştir.

b. Direnç kutuları: Kalibrasyon (ayar) işlerinde ve deney yapmada kullanılan elemanlara direnç kutusu denir. Bir kutu içine yerleştirilmiş olan dirençlerin değeri ayar düğmeleriyle değiştirilerek istenilen değerde direnç elde edilebilmektedir. Örneğin 10'lu direnç kutularında her biri 1-10 arasında adımlandırılmış 5 kademe komütatörü vardır. Komütatörlerin adımları, eşit değerlikli dirençleri, sıralı olarak devreye alır ya da çıkartır. Komütatörün kontrol ettiği 10'lu direnç grupları ise birbirine seri bağlıdır. Direnç kutusu üzerinde bulunan komütatörlerin her biri bir direnç değerini ifade eder. Şöyle ki; birinci komütatörde dirençler birer birer artar. Yani 6 Ω elde etmek için komütatör 6. konuma getirilir. İkinci komütatörde ise kademeler 10'ar 10'ar yükselir. 30 Ω elde etmek için bu komütatörü 3. kademeye getirmek gerekir. Bu sisteme göre 33257 Ω 'luk direnç elde etmek için komütatörler şu kademelere getirilir:

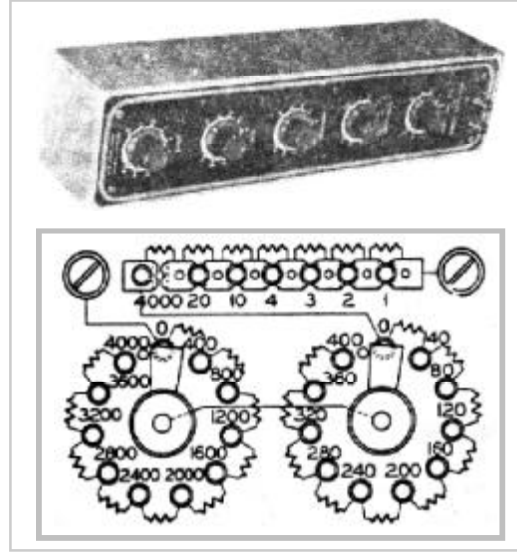
5. komütatör: 3×10.000
4. komütatör: 3×1000
3. komütatör: 2×100
2. komütatör: 5×10
1. komütatör: 7×1

Entegre tipi dirençler: Çok karmaşık devrelerde bir çok direnç bir gövde içinde toplanarak montaj kolaylığı sağlayan direnç modülleri kullanılır. Bu tip dirençlerin bağlantısını doğru yapabilmek için üretici firmaların kataloglarına bakmak gerekir. Şekil 1.21'de entegre tipi direnç örneklerine yer verilmiştir.

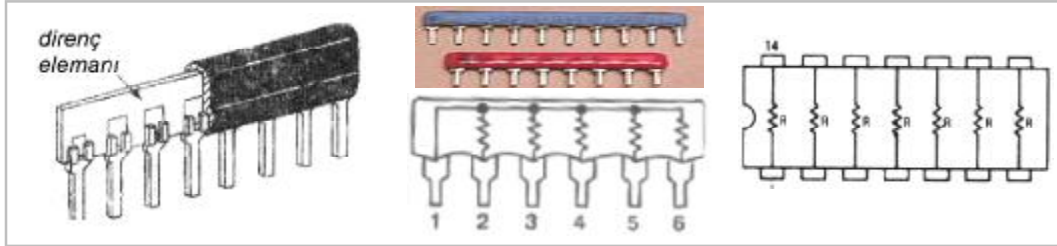
SMD tip (surface mounted device, yüzeye monte edilmiş eleman) dirençler: SMT (surface mount technology, yüzey montaj teknolojisi) yöntemiyle üretilmiş küçük boyutlu elemanlardır. SMD dirençlerin güç ve akım değerleri çok küçük olduğundan düşük akım çeken devrelerde (osilatör, tuner, kumanda devreleri) kullanılmaya uygundur.

Bu tip dirençleri söküp takmak için hassas çalışmak ve ince uçlu kaliteli havyalar kullanmak gerekir. Resim 1.12'de SMD dirençler verilmiştir.

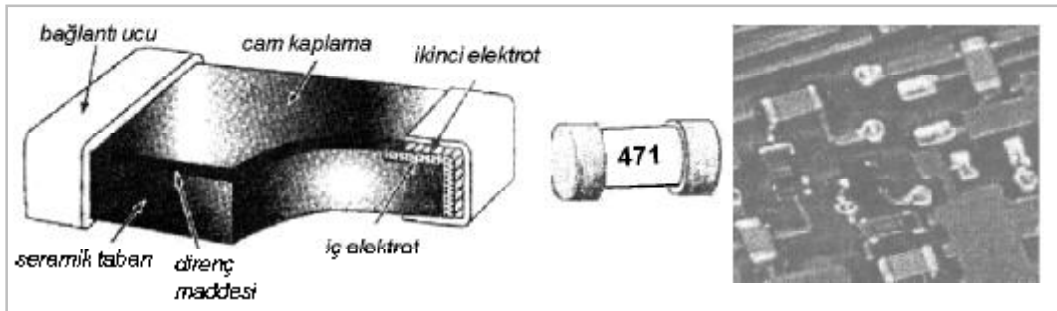
SMD dirençlerin omaj değeri gövde üzerine yazılan rakamlarla ifade edilmektedir. Değer belirtmede kullanılan rakamların en sonda olanı çarpandır. Bunu örneklerle açıklarsak, 180 = 18 Ω , 332 = 3300 Ω , 471 = 470 Ω 'dur.



Resim 1.11: Direnç kutuları



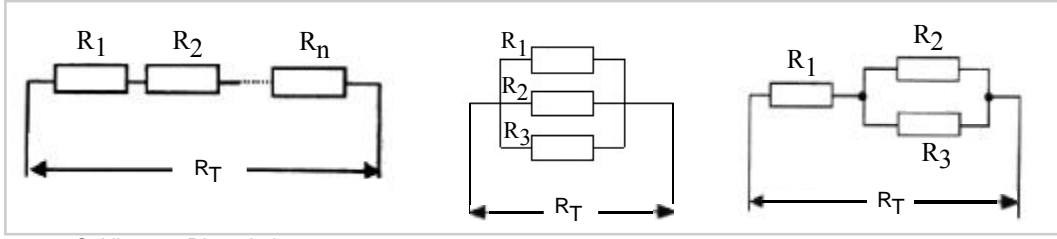
Şekil 1.21: Çeşitli entegre tipi dirençler



Resim 1.12: SMD (chip, yonga) dirençler

Dirençlerin bağlantı şekilleri: Elektronik devrelerde kullanılan dirençler seri, paralel ya da karışık olarak bağlanarak çeşitli değerlerde dirençler elde edilebilir. Şimdi bu bağlantıları inceleyelim.

a. Dirençlerin seri (ard arda) bağlanması: Dirençler seri bağlandığında toplam direnç artar. İstenilen değerde direnç yoksa seri bağlantı yapılır. Örneğin, iki adet 220 Ω 'luk direnç seri bağlanarak 440 Ω 'luk direnç elde edilir. Şekil 1.22'de dirençlerin seri bağlantısı verilmiştir. Bu tip bağlantıda toplam direncin bulunmasında kullanılan denklem, $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ [Ω] şeklindedir.



Şekil 1.22: Dirençlerin seri bağlanması

Şekil 1.23: Dirençlerin paralel bağlanması

Şekil 1.24: Dirençlerin karışık bağlanması

Örnek: Değerleri $R_1 = 12 \Omega$ ve $R_2 = 10 \Omega$ olan iki direnç birbirine seri olarak bağlanmıştır. Devrenin toplam (eşdeğer) direnç değerini bulunuz.

Çözüm: $R_T = R_1 + R_2 = 12 + 10 = 22 \Omega$

b. Dirençlerin paralel bağlanması: Paralel bağlantıda toplam direnç azalır. Ancak, daha yüksek akım geçirebilen güçlü bir direnç elde edilir. Örneğin, 1500Ω 'luk ve $1/4 \text{ W}$ 'lık iki direnç paralel bağlanacak olursa, 750Ω ve $1/2 \text{ W}$ 'lık direnç elde edilir. Şekil 1.23'te dirençlerin paralel bağlantısı verilmiştir.

Paralel bağlamada toplam direncin bulunmasında kullanılan denklem:

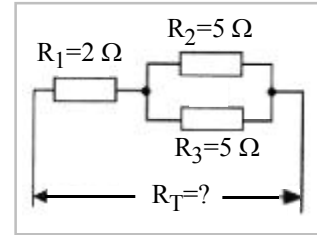
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \text{ şeklindedir.}$$

Örnek: Değerleri $R_1 = 6 \Omega$ ve $R_2 = 4 \Omega$ olan iki direnç birbirine paralel olarak bağlanmıştır. Devrenin toplam direnç değerini bulunuz.

Çözüm: $1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 = 1/6 + 1/4 = 2,4 \Omega$

c. Dirençlerin karışık (seri ve paralel) bağlanması: Karışık bağlantıda dirençler seri ve paralel durum arz ederler. Şekil 1.24'te dirençlerin karışık bağlantısına örnek devre verilmiştir.

Karışık bağlı direnç devrelerinde toplam (eşdeğer) direnç bulunurken, devrenin paralel ve seri kısımları ayrı ayrı hesaplanarak sadeleştirme yapılır. Sadeleştirme yapıldıkça devre seri hâle gelir.



Şekil 1.25: Dirençlerin karışık bağlanması

Örnek: Değerleri $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 5 \Omega$ olan üç direnç şekil 1.25'teki gibi karışık olarak bağlanmıştır. Devrenin toplam (eşdeğer) direncini bulunuz.

Çözüm: $1/R_{T1} = 1/R_2 + 1/R_3 = 1/5 + 1/5 = 2/5$

$$R_{T1} = 5/2 = 2,5 \Omega$$

$$R_T = R_1 + R_{T1} = 2 + 2,5 = 4,5 \Omega$$

Kirchhoff (Kirşof) kanunları

a. Kirchhoff'un gerilim kanunu: Şekil 1.26'da görüldüğü gibi seri olarak bağlanmış dirençlerin üzerine düşen gerilimlerin değerlerinin toplamı devreye uygulanan gerilime eşittir. Yani,

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_n \text{ [V]'tur.}$$

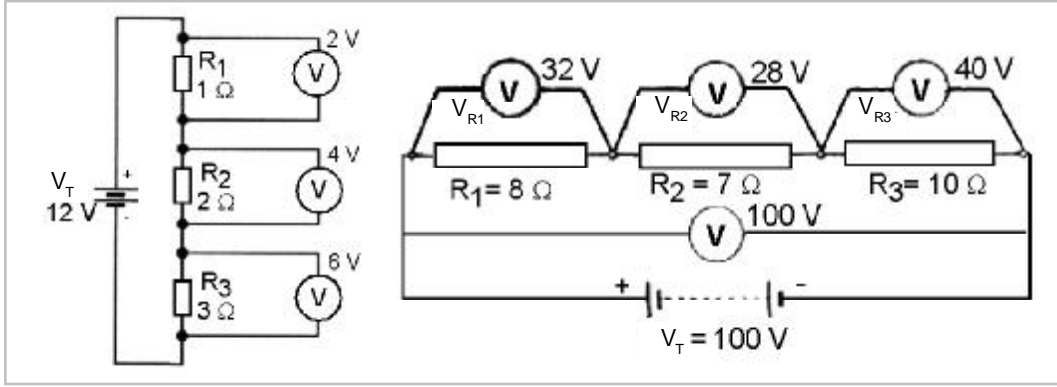
$$V = I \cdot R \text{ olduğundan denklem,}$$

$$V_T = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots + I \cdot R_n \text{ şeklinde de yazılabilir.}$$

Örnek: Şekil 1.27'de verilen birbirine seri olarak bağlanmış üç direncin üzerinde düşen gerilimler, $V_{R1} = 32 \text{ V}$, $V_{R2} = 28 \text{ V}$, $V_{R3} = 40 \text{ V}$ olarak ölçülmüştür. Buna göre devreye uygulanan gerilimin toplam değeri nedir?

Çözüm: $V_T = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} = 32 + 28 + 40 = 100 \text{ V}$

Örnek: Şekil 1.27'de verilen devrede $R_1 = 8 \Omega$, $R_2 = 7 \Omega$, $R_3 = 10 \Omega$ olduğuna göre, **a.** Devrenin



Şekil 1.26: Kirşof'un gerilim kanununun isbatının yapıışı

Şekil 1.27: Kirşof'un gerilim kanunuyla ilgili devre örneği

toplam direncini bulunuz. **b.** Devreden geçen toplam akımı bulunuz.

Çözüm: a. $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 8 + 7 + 10 = 25 \Omega$ b. $I_T = V_T/R_T = 100/25 = 4 \text{ A}$

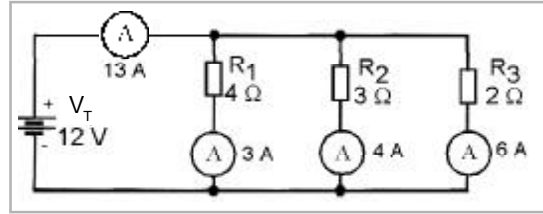
b. Kirchhoff'un akım kanunu: Şekil 1.28'de görüldüğü gibi paralel olarak bağlanmış dirençlerin üzerinden geçen akımların toplamı, devreden geçen toplam akıma eşittir.

Yani, $I_T = I_1 + I_2 + \dots + I_n \text{ [A]}$

$I = V/R$ olduğundan denklem,

$I_T = V/R_1 + V/R_2 + \dots + V/R_n$

şeklinde de yazılabilir.



Şekil 1.28: Kirşof'un akım kanununun isbatının yapıışı

Not: Dirençler paralel bağlıyken hepsinin üzerinde de aynı değerde gerilim düşümü olur.

Örnek: Şekil 1.29'da verilen devrede birbirine paralel bağlanmış iki dirençin üzerinden geçen akımlar ölçülmüş ve $I_1 = 6 \text{ A}$, $I_2 = 4 \text{ A}$ olarak belirlenmiştir. Buna göre devreden geçen akımın toplam değeri nedir?

Çözüm: $I_T = I_1 + I_2 = 6 + 4 = 10 \text{ A}$

Örnek: Şekil 1.29'da verilen devrede birbirine paralel bağlı iki dirençin değerleri $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, devreden geçen toplam akım 10 A olduğuna göre,

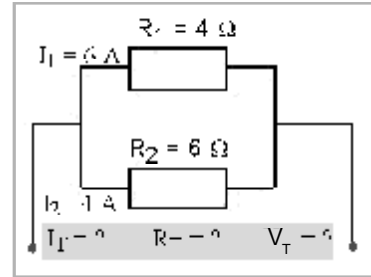
a. Devrenin toplam direncini bulunuz.

b. Devreye uygulanan gerilimin değerini bulunuz.

Çözüm

a. $1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 = 1/4 + 1/6 = (6 + 4)/24 = 24/10 = 2,4 \Omega$

b. $V_T = I_T \cdot R_T = 10 \cdot 2,4 = 24 \text{ V}$



Şekil 1.29: Kirşof'un akım kanunuyla ilgili devre örneği

Elektrikte güç (P, power): DC (doğru akım) ile çalışan alıcılarda akım ile gerilimin çarpımı gücü vermektedir. Başka bir deyişle güç, birim zamanda yapılan iş olarak tanımlanır.

Güç denklemleri:

$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = V^2/R \text{ [W]}$ şeklindedir.

Elektronik devrelerde kullanılan dirençlerde güç: Standart omaj değerlerindeki dirençler

çeşitli güçlerde üretilmektedirler. Devrelerde kaç wattlık direnç kullanılacağı verilen şemalarda **şekil** ya da **yazı** ile belirtilmektedir.

Şekil 1.30'da dirençlerin güç değerinin şekillerle, şekil 1.31'de ise yazıyla gösterilişine ilişkin örnekler verilmiştir.

Elektronik cihazlarda çoğunlukla (radyo, TV, müzik seti vb.) 1/6 W ve 1/4 W'lık (çeyrek watt) sabit dirençler kullanılmaktadır.

Elektronik devrelerde rastgele direnç kullanılmaz. Direnç seçiminde omaj (Ω) değerinin yanında, güç değerinin uygunluğuna da dikkat edilir.

Mini radyo, *walkman* (volkmən) gibi az akım çekerek çalışan aygıtlarda minik boyutlu, yani küçük güçlü ayarlı dirençler kullanılırken, müzik seti, dimmer, akü şarj cihazı vb. gibi aygıtlarda büyük boyutlu dirençler kullanılır. İşte bu nedenle, düşük güçlü bir direnci yüksek akımlı bir devreye bağlayamayız. Bağlama yapılırsa eleman bozulur. Şekil 1.31'de dirençlerin güç değerinin yazıyla gösterilişine ilişkin örnekler verilmiştir.

Dirençlerin standart güç değerleri: 1/20-1/10-1/8-1/6-1/4 (çeyrek watt)-1/3-1/2 (yarım watt) - 3/4-1-2-3-4-5-6-9-10-11-17-20- 50-100 W.

Dirençlerin omaj (Ω) değerinin belirtilmesi: Uygulamada kullanılan yüzlerce değişik modeldeki dirençlerin omaj değeri çeşitli biçimlerde belirtilmektedir. Bunlardan rakam ve renk bantlarıyla yapılan kodlama çok yaygındır.

Dirençlerin renk kodlaması **EIA** (*Electronics Industries Association, Elektronik Endüstrisi Birliği*) tarafından standartlaştırılmıştır.

Dirençlerde omaj değerini belirtme yöntemleri

a. Dirençlerin değerinin yazılı olarak belirtilmesi: Dirençlerin omaj değeri bazı modellerin üzerinde şekil 1.32'de görüldüğü gibi rakam olarak yazılıdır. Bu yöntemde,

► 1000 Ω 'dan küçük değerli dirençlerde **R** harfi, ondalıklı sayılardaki **virgöl** gibi kullanılır.

► 1 k Ω 'dan 999 k Ω 'a kadar olan dirençlerde **k** harfi kullanılır.

► 1 M Ω 'dan 999 M Ω 'a kadar olan dirençlerde **M** harfi kullanılır.

Yani, **R**, ohm, **k**, kiloohm, **M**, megaohm anlamına gelir.

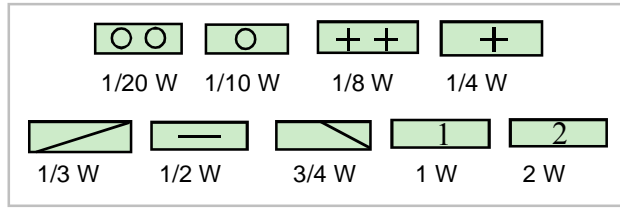
Örnekler

R10 = 0,10 Ω
100R = 100 Ω
2k7 = 2,7 k Ω

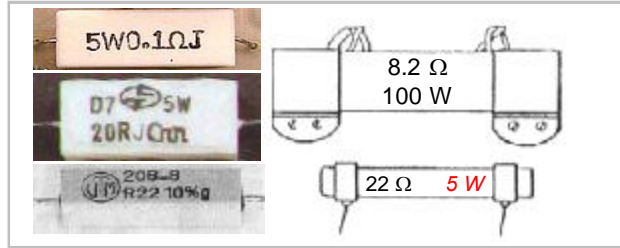
R33 = 0,33 Ω
k91 = 0,91 k Ω
10 k = 10 k Ω

R47 = 0,47 Ω
1k = 1 k Ω
47 k = 47 k Ω

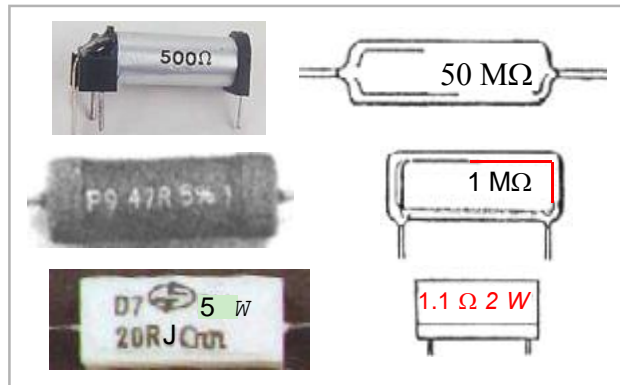
1R33 = 1,33 Ω
1k0 = 1 k Ω
10M = 10 M Ω



Şekil 1.30: Dirençlerin güç değerinin şekillerle belirtilmesi



Şekil 1.31: Dirençlerin güç değerinin yazıyla belirtilmesi



Şekil 1.32: Dirençlerin omaj (Ω) değerinin yazıyla belirtilmesine ilişkin örnekler

Değeri rakam ve harflerle belirtilen dirençlerin toleransını belirten harfler

B: ± % 0,1	C: ± % 0,25	D: ± % 0,5	F: ± % 1	G: ± % 2
J: ± % 5	K: ± % 10	M: ± % 20	N: ± % 30	

Tolerans değerli rakamsal kodlama örnekleri

R33M: 0,33 Ω ± % 20	R47J: 0,47 Ω ± % 5	6k8F: 6,8 Ω ± % 1
10R5D: 10,5 Ω ± % 0,5	330F: 330 Ω ± % 1	2200J: 2200 Ω ± % 5
2k6J: 2,6 kΩ ± % 5	6R8M: 6,8 Ω ± % 20	57kK: 57 kΩ ± % 10

b. Dirençlerin değerinin renk bantlarıyla belirtilmesi: Karbon ve metal filmden yapılmış

dirençlerin çoğunda renk bantlarıyla yapılmış kodlama kullanılır. Bu yöntemde direnç devreye nasıl takılırsa takılsın kodlama renk bantlarıyla yapıldığından elemanın değeri kolayca belirlenebilir.

Renklerle yapılan kodlamalarda 3, 4, 5 ve 6 renk bandı kullanılır.

Hassas dirençlerde kararlılık faktörünün belirtilmesi renk bantlarıyla yapıldığından bunlarda 6. renk bandı da bulunur. Bu bölümde az karşılaşıldığı için 6 renk halkalı kodlama üzerinde durulmamıştır.

Renk kodlarını kolayca öğrenebilmek için kullanılan anahtar cümle, **SoKaKtSaYaMaM GiBi**dir. Burada büyük harflerin herbiri bir rengi ifade etmektedir. Şöyle ki; **S**, siyah, **K**, kahverengi, **K**, kırmızı, **T**, turuncu, **S**, sarı, **Y**, yeşil, **M**, mavi, **M**, mor, **G**, gri, **B**, beyazdır.

Dirençlerde kullanılan renk bantlarının İngilizce karşılıkları şöyledir: 0: Black, 1: Brown, 2: Red, 3: Orange, 4: Yellow, 5: Green, 6: Blue, 7: Violet, 8: Gray, 9: White, Silver: Gümüş, Gold: Altın.

Renk	Sayı	Tolerans	Çarpan
Siyah	0	-	- (10 ⁰)
Kahve	1	±% 1	0 (10 ¹)
Kırmızı	2	±% 2	00 (10 ²)
Turuncu	3	-	000 (10 ³)
Sarı	4	-	0000 (10 ⁴)
Yeşil	5	±% 0.5	00000 (10 ⁵)
Mavi	6	±% 0.25	000000 (10 ⁶)
Mor	7	±% 0.1	0000000 (10 ⁷)
Gri	8	±% 0.05	00000000 (10 ⁸)
Beyaz	9	-	000000000 (10 ⁹)
Altın	-	±% 5	0,1 (10 ⁻¹)
Gümüş	-	±% 10	0,01 (10 ⁻²)
Renksiz	-	±% 20	-

Tablo 1.1: Direnç renk kodları çizelgesi

Dirençlerin renk bantlarıyla kodlanış şekilleri

1. Üç renk bantlı (halkalı) kodlama: Eski tip sabit dirençlerde kullanılan kodlamadır. Uygulamada nadiren karşılaşılar.

Renk bantlarının anlamları: 1. bant: Sayı, 2. bant: Sayı, 3. bant: Çarpan (eklenecek sıfır sayısıdır). Direncin üzerinde dördüncü renk bandı olmadığından (renksiz), tolerans ± % 20 olarak kabul edilir.

Not: Renk bantları direncin gövdesinin hangi kenarına yakınsa o taraf birinci banttır.

Örnek: Yeşil, mavi, siyah, renksiz : 56 Ω ± % 20

Direncin toleranssız (hatasız) değeri : 56 Ω

Direncin hata payı : 56.0,20 = 11,2

+ toleranslı direnç değeri : 56+11,2 = 67,2 Ω

- toleranslı direnç değeri : 56-11,2 = 44,8 Ω

Örnek olarak verilen 56 Ω'luk direncin gerçek değeri toleransı ile birlikte düşünüldüğünde 44,8-67,2 Ω arasında bir değer olabilir.

Örnek: Gri, kırmızı, kahverengi, renksiz : 820 Ω ± % 20

Örnek: Kırmızı, mor, turuncu, renksiz : 27 000 Ω: 27 kΩ ± % 20

Örnek: Kahve, yeşil, sarı, renksiz : 150 000 Ω: 150 kΩ ± % 20

2. Dört renk bantlı (halkalı) kodlama: Renk bantlarının anlamları: 1. bant: Sayı, 2. bant: Sayı, 3. bant: Çarpan, 4. bant: Tolerans.

Örnek: Kahverengi, yeşil, altın, gümüş : 1,5 Ω ± % 10

Örnek: Kahverengi, gri, altın, altın : 1,8 ± % 5



Örnek: Kahve, siyah, siyah, altın	: $10 \Omega \pm \% 5$
Örnek: Gri, kırmızı, siyah, gümüş	: $82 \Omega \pm \% 10$
Örnek: Beyaz, kahverengi, siyah, gümüş	: $91 \Omega \pm \% 10$
Örnek: Kırmızı, mor, kahverengi, altın	: $270 \Omega \pm \% 5$

3. Beş renk bantlı (halkalı) kodlama: Renk bantlarının anlamları: 1. bant: Sayı, 2. bant: Sayı, 3. bant: Sayı, 4. bant: Çarpan, 5. bant: Tolerans.

Örnek: Kahverengi, kırmızı, yeşil, gümüş, kahverengi	: $1,25 \Omega \pm \% 1$
Örnek: Kırmızı, yeşil, turuncu, gümüş, kahverengi	: $2,53 \Omega \pm \% 1$
Örnek: Kırmızı, mor, yeşil, altın, gümüş	: $27,5 \Omega \pm \% 10$
Örnek: Sarı, mor, yeşil, altın, altın	: $47,5 \Omega \pm \% 5$
Örnek: Kırmızı, sarı, beyaz, siyah, altın	: $249 \Omega \pm \% 5$

Dirençlerde tolerans (hata oranı): İstenilen değerde direnç yapılması oldukça güçtür. O nedenle pratikte kullanılan dirençler, üzerlerinde belirtilen değerden biraz farklıdır. Yani 100Ω olarak bilinen bir direncin değeri tam olarak 100Ω olamamaktadır. İşte bu durum üretici firmalar tarafından direncin üzerinde belirtilir.

Tolerans kavramı, direncin üretim hatasının yüzdesel olarak ifade edilmesi olarak tanımlanabilir. Dirençlerde hata oranı % 0,05 - 20 arasında değişmektedir. Pratikte yaygın olarak kullanılan direnç çeşitleri ise % 5 - 10 toleranslıdır. Bir direncin tolerans değerinin yüksek olması (*ya da yükselmesi*) istenmeyen bir durumdur. Düşük toleranslı dirençlerle yapılan devrelerin kararlılığı iyi olacağından, bu tip eleman kullanılarak yapılan cihazların ömürleri de uzun olmaktadır. O nedenle tolerans değeri yüksek olan kalitesiz dirençlerle hassas devre üretmekten kaçınılmalıdır.

Ayarlı dirençlerin bakımı: Nem, toz, aşırı akım ve aşınma zamanla ayarlı direncin özelliklerinin bozulmasına yol açar ve devre arızalanır. Bu durumdaki ayarlı dirençler, kontak temizleme spreyi ya da başka bir maddeyle (*alkol, ispirto vb.*) temizlenir. Hareketli ayaklar kıvrılarak dirençli kısma iyice temas etmesi sağlanır. Düzeltme olmazsa eleman değiştirilir. Özellikle TV, radyo, ve teyp gibi cihazlarda kullanılan ayarlı dirençler yıpranmadan dolayı sık sık arızaya neden olurlar.

Ayarlı direnç başlıkları: Uygulamada kullanılan potansiyometrelerin kolayca kumanda edilebilmesi için çeşitli modellerde pot başlıkları üretilmektedir. Potun miline kumanda eden çubuk şeklindeki kısma geçirilerek kullanılan başlıkların kimisi sadece **geçmeli** kimisi ise **vida ile sıkıştırılmalı** tiptedir.

Direnç üretim serileri: Dirençler, özel üretimler hâric standart değerlerde üretilirler. Bu durumda, bir elektronik devrede kullanılacak direnç standart değerlerin dışındaysa, piyasada bulmamız mümkün değildir. Ancak, bazı üretici firmalar geliştirdikleri devrenin çok kararlı çalışmasını sağlamak için standart dışı değere sahip direnç ürettirerek cihazlarında kullanırlar.

IEC (International Electrotechnical Commission) standartlarına göre üretim serileri

E6 serisi: 1,0-1,5-2,2-3,3-4,7-6,8. Tolerans değerleri $\pm \% 20$ 'dir.



Resim 1.13: Ayarlı direnç başlıkları

E-6 serisinin anlamı: 1-10-100-1000-10.000-100.000-1000.000 Ω ve 1,5-15-150-1500 15.000-150.000-1500.000 Ω şeklinde değere sahip dirençler üretilmektedir.

E-12 serisi: 1,0-1,2-1,5-1,8-2,2-2,7-3,3-3,9-4,7-5,6-6,8-8,2-9,1. Toleransları \pm % 10'dur.

E-24 serisi: 1,0-1,1-1,2-1,3-1,5-1,6-1,8-2,0-2,2-2,4-2,7-3,0-3,3-3,6-3,9-4,3-4,7-5,1-5,6 6,2-6,8-7,5-8,2-9,1. Toleransları \pm % 5'tir.

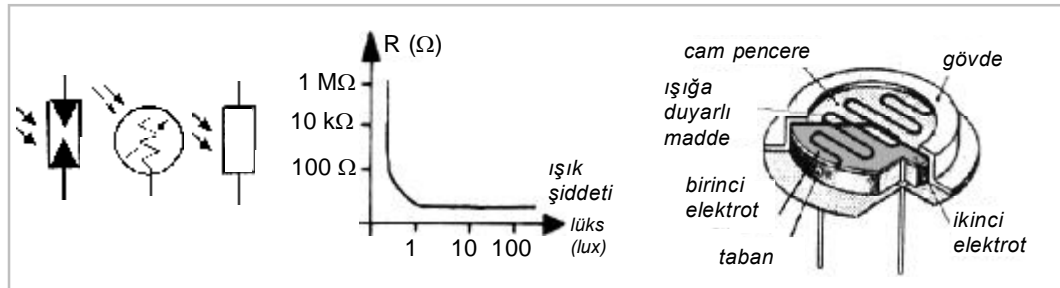
Not: Yukarıda verilen standart üretim serileri kondansatörler için de geçerlidir.

Arızalı direncin belirlenmesi: Gözle bakıldığında karbondan yapılmış bir direncin orta kısmı kararmışsa direnç aşırı akıma maruz kalarak tahrip olmuş demektir. Gözle bir şey anlaşılamazsa ohmmetreyle ölçüm yapılır ve hiç değer okunamazsa direnç içinden kopmuştur. Eğer 0 Ω okunuyorsa direnç içinden kısa devre olmuştur. (Film dirençlerin gövdesi kararmadığı hâlde yine de arıza söz konusu olabilir.)

Uygulamada yaygın olarak kullanılan dirençlerin omaj (Ω) değerleri

0,1 Ω	5,6 Ω	47 Ω	390 Ω	3,3 k Ω	27 k Ω	220 k Ω	2,2 M Ω
0,47 Ω	6,8 Ω	56 Ω	470 Ω	3,9 k Ω	33 k Ω	270 k Ω	3,3 M Ω
1 Ω	8,2 Ω	68 Ω	560 Ω	4,7 k Ω	39 k Ω	330 k Ω	3,9 M Ω
1,2 Ω	10 Ω	82 Ω	680 Ω	5,6 k Ω	47 k Ω	390 k Ω	4,7 M Ω
1,5 Ω	12 Ω	100 Ω	820 Ω	6,8 k Ω	56 k Ω	470 k Ω	5,6 M Ω
1,8 Ω	15 Ω	120 Ω	1 k Ω	8,2 k Ω	68 k Ω	560 k Ω	6,8 M Ω
2,2 Ω	18 Ω	150 Ω	1,2 k Ω	10 k Ω	82 k Ω	680 k Ω	8,2 M Ω
2,7 Ω	22 Ω	180 Ω	1,5 k Ω	12 k Ω	100 k Ω	820 k Ω	10 M Ω
3,3 Ω	27 Ω	220 Ω	1,8 k Ω	15 k Ω	120 k Ω	1 M Ω	12 Ω
3,9 Ω	33 Ω	270 Ω	2,2 k Ω	18 k Ω	150 k Ω	1,2 M Ω	15 Ω
4,7 Ω	39 Ω	330 Ω	2,7 k Ω	22 k Ω	180 k Ω	1,8 M Ω	22 M Ω

Sınırlama ve kontrol dirençleri (özel dirençler): Elektronik devrelerde sabit ve ayarlı dirençlerin yanı sıra ışık, ısı, gerilim, manyetik alan, basınç vb. gibi unsurlara göre değerleri değişen dirençler de kullanılmaktadır. Bu bölümde ışığa, ısıya ve gerilime duyarlı dirençler hakkında temel bilgiler verilecektir.



Şekil 1.36: LDR sembolleri

Şekil 1.37: LDR'nin direncinin, ışığın şiddetine göre değişim eğrisi

Şekil 1.38: LDR'nin yapısı

a. Işığa duyarlı dirençler (LDR, light dependent resistance, fotodirenç): Işıktaki az direnç, karanlıkta yüksek direnç gösteren devre elemanlarına LDR denir. Başka bir deyişle aydınlıkta LDR'lerin üzerinden geçen akım artar, karanlıkta ise azalır.

LDR'lerin karanlıktaki dirençleri bir kaç M Ω , aydınlıktaki dirençleri ise 100 Ω -5 k Ω düzeyindedir. Şekil 1.37'de LDR'lerin direncinin ışığa göre değişimine ilişkin eğri verilmiştir.

LDR'ler, CdS (kadmiyum sülfür), CdSe (kadmiyum selenür), selenyum, germanyum ve silisyum (silikon) vb. gibi ışığa karşı çok duyarlı maddelerden üretilmektedir. Şekil 1.38'de LDR'lerin iç

yapısı verilmiştir.

LDR yapımında kullanılan madde, algılayıcının hassasiyetini ve algılama süresini belirlemekte, oluşturulan yarı iletken tabakanın şekli de algılayıcının duyarlılığını etkilemektedir. LDR'ye gelen ışığın odaklaşmasını sağlamak için üst kısım cam ya da şeffaf plastikle kaplanmaktadır.

LDR'ler çeşitli boyutlarda üretilmekte olup, gövde boyutları büyüdükçe güç değeri yükselmekte ve geçirebilecekleri akım da artmaktadır.

Uygulamada yaygın olarak kullanılan bazı LDR'ler, LDR03, LDR05, LDR07, OPR60 olarak sıralanabilir.

LDR'ler, endüstriyel kumanda sistemlerinde, otomatik gece lambalarında, dijital sayıcılarda, brülörlerde, kanın renk yoğunluğunu belirleyen tıbbi cihazlarda, flaşlı fotoğraf makinelerinde, hareket dedektörlerinde, zil butonlarında vb. kullanılır.



Resim 1.14: Çeşitli LDR'ler

Şekil 1.39: LDR'nin sağlamlık testinin yapılışı

LDR'nin sağlamlık testi: Ohmmetre kullanılarak şekil 1.39'da verilen bağlantı ile yapılan ölçümde LDR, aydınlıkta az direnç, karanlıkta yüksek direnç göstermelidir.



Resim 1.15: Termistör örnekleri

b. Isıya duyarlı dirençler (ısı direnç, termistör, th, termistans): Ortam sıcaklığına bağlı olarak direnç değerleri değişen elemanlara termistör denir. Termistörler, nikel oksit, kobalt, manganez oksitleri, bakır, demir, baryum titanit vb. maddelerden yapılmış elemanlar olup, boncuk, disk, rondela vb. şeklinde üretilirler. Uygulamada kullanılan termistörler çeşitli direnç değerlerinde (10 Ω, 100 Ω, 500 Ω, 1000 Ω, 3000 Ω, 5 kΩ, 10 kΩ, 20 kΩ) üretilmektedir.

1. PTC (positive temperature confient): Sıcaklık arttıkça direnç değerleri artan ve üzerinden geçirdikleri akımı azaltan elemanlara PTC denir. PTC'ler, otomatik ısı kontrol cihazlarında, sıcaklık ölçme aletlerinde, renkli TV'lerin tüplerinde dış manyetik alanlardan dolayı ortaya çıkan renk karışmalarının önlenmesinde vb. kullanılır.

PTC'nin sağlamlık testi: Ohmmetreyle yapılan ölçümde soğukta düşük direnç, ısıtıldığında ise yüksek direnç değeri görülmelidir.

2. NTC (negative temperature confient): Yapı olarak PTC'ye benzer. Isındıkça direnci azalır ve üzerinden geçirebildiği akım artar.

NTC'nin sağlamlık testi: Ohmmetreyle yapılan ölçümde soğukta yüksek direnç, ısıtıldığında ise düşük direnç değeri görülmelidir.

PTC ve NTC'lerin bazı kullanım alanları

- ▶ Isıya duyarlı devre yapımı,
- ▶ Demanyetizasyon (televizyon ekranlarında görüntü bozulmasının önlenmesi) işlemi,

- Sıcaklık ölçümü,
- Transistörlü devrelerde sıcaklık dengeleme,
- Ölçü aletlerinin korunması,
- Buzdolaplarında sıcaklık kontrolü,
- Zaman geciktirme,
- Büyük güçlü elektrikli motorların ısıya karşı korunması

PTC ve NTC'lerin direnç değerinin renk halkalarıyla belirtilmesi: 1. bant: 1. sayı, 2. bant: 2. sayı, 3. bant: Çarpan, 4. bant: Tolerans

Resim 1.16'da direnç değeri renk bantlarıyla belirtilmiş termistör örnekleri verilmiştir.

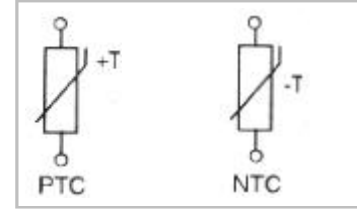
Örnek: Gövdesi üzerinde turuncu, beyaz, turuncu renkleri bulunan termistörün değerini bulunuz.

Çözüm: Turuncu: 3, Beyaz: 9, Turuncu: 3. Termistörün direnç değeri: $3900 \Omega = 3,9 \text{ k}\Omega$

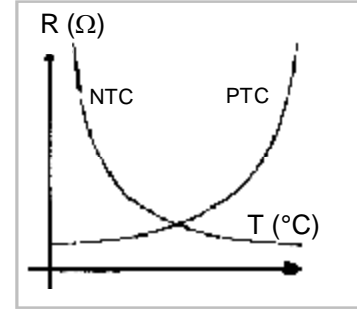
c. Gerilime duyarlı dirençler (VDR, varistör, voltage dependent resistor): Gerilim yükselince direnci hızla azalarak geçirdiği akım artan elemanlardır. Başka bir deyişle, gerilim düşüken VDR'nin direnci çok yüksektir. Gerilim değeri yükseldiğinde ise direnci hızla azalır.

VDR'ler özellikle imal edildikleri gerilim değerinin üzerinde bir gerilimle karşı karşıya kaldıklarında dirençleri hızla küçülerek üzerlerinden geçirdikleri akımı artırır. İşte bu özellikleri sayesinde bağlandıkları devreyi aşırı gerilimden korurlar.

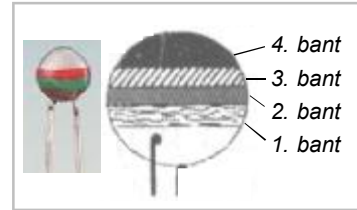
Gerilime duyarlı dirençler yüksek sıcaklıkta sıkıştırılmış silisyum karpit tozlarından yapılır. Bu elemanlar, bobin, röle, trafo, transistör, tristör, anahtar vb. gibi elemanları anı gerilim artışlarının getirdiği zararlı etkilere karşı korumak için, adı geçen elemanlara paralel bağlanarak kullanılır. Şekil 1.43'te VDR'nin transformatörü yüksek gerilime karşı koruyucu olarak kullanılışı görülmektedir.



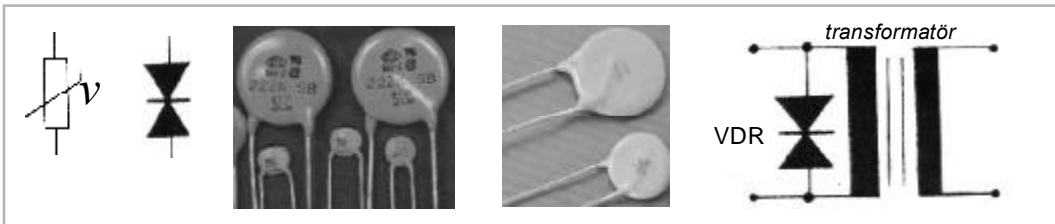
Şekil 1.40: PTC ve NTC sembolleri



Şekil 1.41: PTC ve NTC'lerin direnç değerlerinin sıcaklığa göre değişim eğrileri



Resim 1.16: Isıya duyarlı dirençlerin renk bantlarıyla kodlanması



Şekil 1.42: VDR sembolleri

Resim 1.17: Çeşitli VDR'ler

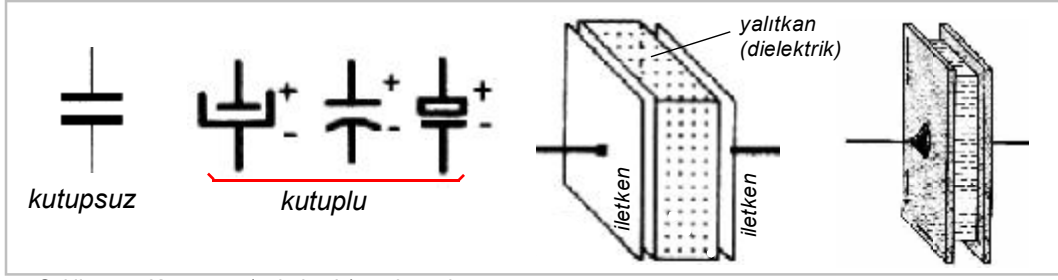
Şekil 1.43: VDR ile trafonun yüksek gerilime karşı korunması

Bazı varistörlerin elektriksel özellikleri şöyledir:

- **SO5K130:** AC'de iletme geçme değeri: 130 V, DC'de iletme geçme değeri: 170 V
- **SO5K275:** AC'de iletme geçme değeri: 275 V, DC'de iletme geçme değeri: 350 V
- **S10K460:** AC'de iletme geçme değeri: 460 V, DC'de iletme geçme değeri: 615 V

B. Kondansatörler (kapasitör, meksefe, capacity)

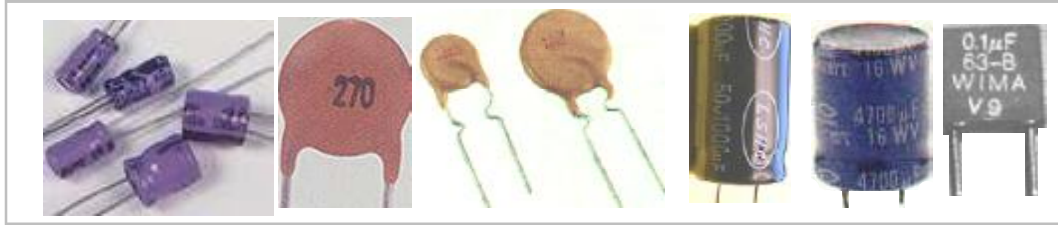
Elektrik yüklerini kısa süreliğine depo etmeye yarayan elemanlara kondansatör denir. Kondansatörün sembolü C, birimi faraddır. Şekil 1.44'te kutupsuz ve kutuplu kondansatör sembolleri verilmiştir.



Şekil 1.44: Kutupsuz (polaritesiz) ve kutuplu (polariteli) kondansatör sembolleri

Şekil 1.45: Kondansatörün yapısı

a. Kondansatörlerin yapısı: Kondansatör, şekil 1.45'te görüldüğü gibi iki iletken levha (plaka) arasına konulmuş bir yalıtkindan oluşur. Yalıtkinda elektriği geçirmeyen anlamında **dielektrik** adı verilir. Dielektrik olarak mika, seramik, kâğıt, polyeester, elektrolitik, tantal, hava, yağ vb. gibi yalıtkanlar kullanılır.



Resim 1.18: Çeşitli kondansatörler

Elektrolitik ve tantal tip kondansatörlerde (+) ve (-) uçlar belirtilmiştir. Yani bunlar kutupludur. O nedenle bu elemanlar yalnızca DC ile çalışan devrelerde kullanılırlar. Kutupsuz (polaritesiz) tip kondansatörler ise DC ve AC gerilimli devrede çalışabilirler. Son yıllarda kutupsuz tip (*bipolar*) elektrolitik kondansatörler de üretilmeye başlanmıştır.

b. Kondansatörlerin elektrik enerjisini depolama kapasitesi

- I. Plakaların yüzey alanına,
- II. Plakaların birbirine yakınlığına,
- III. Araya konan yalıtkanın cinsine göre değişir.

İletken levhaların arasındaki dielektrik maddenin kalite durumuna göre, kondansatör herhangi bir devreye ya da alıcıya bağlı olmasa bile zamanla boşalır. Yani bu elemanlar pil gibi elektrik yüklerini uzun süre depolayamazlar. Resim 1.18'de çeşitli kondansatörler görülmektedir.

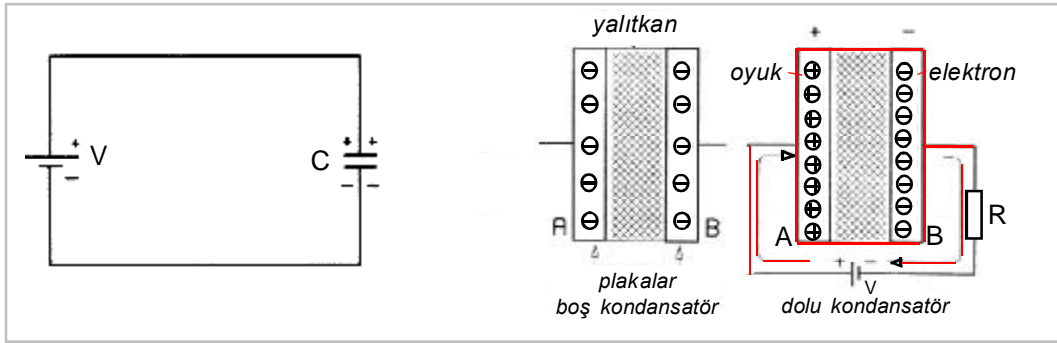
c. Kondansatörlerin şarjı (dolması): Şarj, kondansatör plakalarının yük bakımından farklı duruma gelerek yüklenmesi ya da levhalar arasında potansiyel farkının meydana gelmesi demektir.

Boş bir kondansatörde iki levha eşit miktarda elektrona sahiptir. Kondansatör uçlarına şekil 1.46'da görüldüğü gibi bir pil bağlanırsa, pilin artı (+) ucunun bağlandığı levhadaki elektronlar pilin artı (+) ucuna doğru gitmeye başlarlar. (+ ile - yük birbirini çeker.) Elektronlarını kaybeden levha pozitif yüklü hâle geçer. Bir levhanın pozitif yüklenmesi, pilin eksi (-) ucunun bağlı olduğu levhaya gelen elektronların sayısını artırır.

Sonuç olarak, pilin artı (+) ucuna bağlanan levha pozitif yüklenirken, eksi (-) uca bağlanan levha negatif olarak yüklenir. İki levha arasındaki dielektrik malzeme yalıtkan olduğundan pil sürekli bir akım dolaşımını başlatamaz. Kondansatörde biriken yüklerin gerilimi pil gerilimine eşit olduğunda geçen akım sıfıra iner. Pil ile kondansatör birbirinden ayrıldıktan sonra depolanan enerji kısa süreliğine levhalarda kalır.

Kondansatörler DC enerji kaynağına bağlandığında ilk anda şarj olur. DC akım kesildikten sonra ise belli bir süre bu durumda kalır.

AC enerji kaynağına bağlandığında ise alternans değiştikçe sürekli olarak dolup boşalır. Yani,



Şekil 1.46: Kondansatörün şarjı

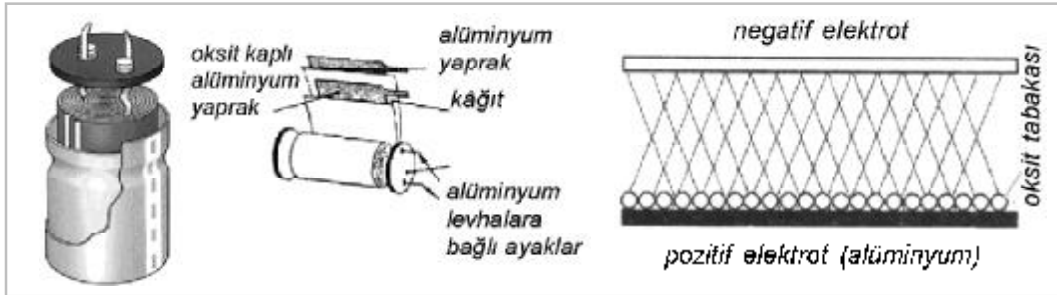
pozitif alternans yükselirken kondansatör şarj olmaya başlar. Akım maksimum değerden sıfıra doğru inerken C boşalır. Alternans negatif yönde yükselirken C bu kez ters yönlü olarak dolmaya başlar. Akım negatif maksimum değerden sıfıra doğru inerken C yine boşalır.

Kondansatör alternatif akım ile beslendiğinde devreye seri bağlı bir ampermetreyle gözlem yapılacak olursa bu elemandan bir akım geçişi olduğu görülür.

Kondansatörlerin kullanılan dielektriğin tipine göre sınıflandırılması

a. Elektrolitik kondansatörler: Dielektrik (yalıtkan) olarak asit borik eriyiği gibi borakslı elektrolitler, iletken olarak alüminyum ya da tantalyumdan plakalar kullanılarak yapılmış kondansatör tipidir.

Elektrolitik kondansatörler kutupsuz (polaritesiz) ya da kutuplu olarak üretilirler. Kutuplu tiplerin DC ile çalışan devrelerdeki bağlantısı özen göstererek yapılmalıdır. Artı (+) ve eksi (-) uç belirlenmeden rastgele yapılan bağlantı anotta bulunan oksit tabakasının metal yüzeyi kısa devre edip yüksek ısı oluşturmaya ve elemanın patlamasına neden olmaktadır.



Şekil 1.47: Elektrolitik kondansatörün yapısı

Elektrolitik kondansatörler kullanılan malzemeye göre iki tipte yapılıdır:

I. Sıvılı tip elektrolitik kondansatörler: Yalnızca DC akımlı devrelerde kullanılırlar. Pozitif levha olarak alüminyum kullanılmıştır. Kondansatöre DC uygulandığında pozitif levha üzerinde yalıtkan bir oksit tabakası oluşur. Bu tabaka dielektrik maddesi gibi davranır. Oluşan oksit tabakası çok ince olduğundan, kondansatörün kapasitesi de büyük olur. Şekil 1.47'ye bakınız.

II. Kuru tip elektrolitik kondansatörler: Bu tiplerde elektrolitik sıvı yerine boraks eriyiği emdirilmiş kâğıt ya da bez kullanılır.

Elektrolitik kondansatörlerin kapasite değerleri: 1-2,2-3,3-4,7-10-22-33-47-100-220-330-470-1000-2200-4700-10.000-22.000-38.000 μ F...

Elektrolitik kondansatörlerin çalışma gerilimleri: 3-6-10-12-16-25-35-40-50-63-100-250-350-450 voltur. (Bu voltaj değerlerinin dışındaki gerilimlere sahip kondansatörler de piyasada vardır.)

Elektrolitik yapılı kondansatörlerde

sıcaklığın önemi: Bu tip kondansatörlerin içindeki elektrolitik sıvısı aşırı sıcaktan dolayı zamanla kurumaya başladığından elemanın kapasite değeri düşer. Bu da hassas devrelerin çalışma sisteminde arızalara yol açar. Özellikle TV'lerde küçük kapasiteli (2,2-3,3-4,7-10-47-100 μF) kondansatörlerin elektrolitinin kuruması nedeniyle bir çok arıza (ekranın üzerinde çizgi oluşumu, görüntü daralması vb.) ortaya çıkmaktadır.



Resim 1.19: Çeşitli elektrolitik kondansatörler

Televizyonlarda taş dirençler, besleme trafosu, güç transistörleri ve yüksek gerilim trafosu ısı yaydığından bunların yakınında bulunan elektrolitik kondansatörler çabuk bozulur. İşte bu nedenle yüksek sıcaklığın söz konusu olduğu yerlerde 85 °C'lık ya da 105 °C'lık iyi kalite elektrolitik kondansatörler kullanılmalıdır.

b. Kâğıtlı kondansatörler: Yalıtkanlık kalitesini artırmak için parafin maddesi emdirilmiş 0,01 mm kalınlığındaki kâğıdın iki yüzüne 0,008 mm kalınlığındaki kalay ya da alüminyum plakalar yapıştırılarak üretilmiş elemanlardır. Şekil 1.48'e bakınız.

Kuru kâğıtlı, yağlı kâğıtlı, metalize kâğıtlı vb. gibi modelleri bulunan kâğıtlı kondansatörler uygulamada yaygın olarak karşımıza çıkmamaktadır.



Şekil 1.48: Kâğıtlı kondansatör

Şekil 1.49: Metal-kâğıtlı kondansatör

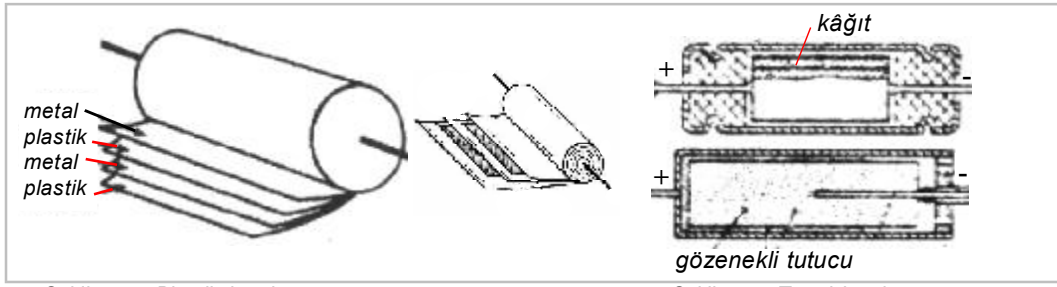
c. Metal - kâğıtlı kondansatörler: Şekil 1.49'da görüldüğü gibi dielektrik (yalıtkan) olarak kâğıt kullanılmış ve bu madde üzerine basınç yoluyla ince alüminyum ya da çinko tabakası kaplanmıştır. Böylelikle daha küçük boyutlu ama kâğıtlıya oranla yüksek kapasiteli kondansatör yapılmıştır.

Metal-kâğıtlı kondansatörler kendi kendilerini onarabilme özelliğine sahiptir. Şöyle ki; yüzeyin bir bölümünde kırılma olduğunda ark oluşur ve bu kısımda ince bir metal yüzey basıncı oluşarak metalsiz bir yüzey oluşur. Bu da kısa devreyi önler.

ç. Plastik kondansatörler: Şekil 1.50'de görüldüğü gibi yalıtkan madde olarak polypropylen (polipropilen), polyester, polykarbonat (polikarbonat) kullanılır. Plastik kondansatörlerin metal kısımları alüminyum levhadır. Bu kondansatörler de kendi kendilerini onarabilirler. Kapasite değerleri çok karardır. İzolasyon (yalıtkanlık) dirençleri de yüksektir.

d. Tantal kondansatörler: Şekil 1.51'de verilen şekilde görüldüğü gibi anot olarak görev yapan oksitlendirilmiş bir tantal yaprak, katot ve sargıyı tutan gözenekli tutucudan oluşur. Kapasite değerleri 0,1 μF ile 68 μF arasındadır.

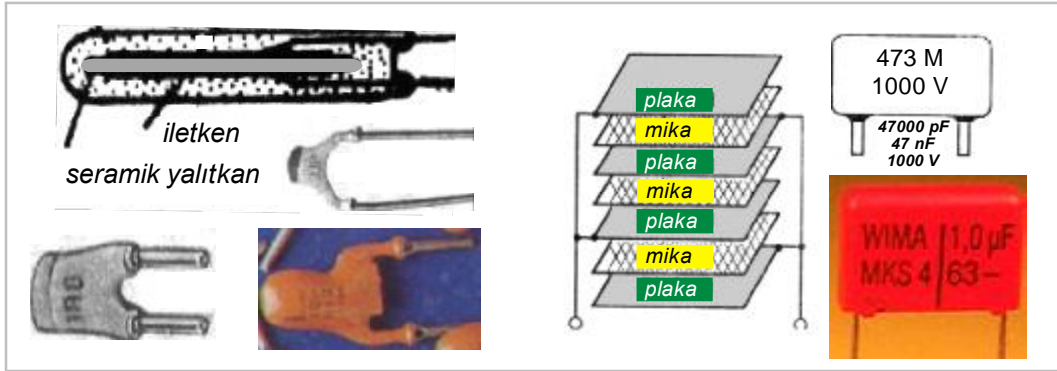
e. Seramik kondansatörler: Şekil 1.52'de görüldüğü gibi dielektrik maddesi olarak seramik kullanılmıştır. İki iletken levha arasına baryum titanat ya da titanyum dioksit gibi seramik maddeler konulur. Disk şeklinde olan seramik kondansatörler uygulamada, mercimek kondansatör olarak da adlandırılmaktadır. Seramik kondansatörlerin kapasite değerleri küçüktür. Toleransları $\pm\%$ 20 dolayındadır. Ayrıca kapasiteleri sıcaklık ve nemden etkilenir. Enerji kayıpları çok az olduğundan daha çok yüksek frekanslı devrelerde kullanılırlar.



Şekil 1.50: Plastik kondansatör

Şekil 1.51: Tantal kondansatör

f. Mika (mikalı) kondansatörler: Şekil 1.53'te görüldüğü gibi dielektrik olarak yalıtımlık düzeyi çok yüksek olan mika kullanılmıştır. İnce metal folyolar arasına mika konularak yapılan bu elemanların kapasiteleri 1 pF ile 0,1 μ F, gerilimleri 100 V ile 2500 V, toleransları ise \pm % 2 ile \pm % 20 arasında değişir.



Şekil 1.52: Seramik kondansatör

Şekil 1.53: Mika kondansatör

g. SMD (surface mounted device) kondansatörler: Küçük boyutlu elektronik devrelerde plaket üzerine monte edilmeye uygun kondansatör çeşididir. Gövde boyutları çok küçük olduğundan lehimlenmesi biraz zordur. Daha çok TV, video, kamera, cep telefonu, bilgisayar vb. gibi aygıtlarda karşımıza çıkar. Resim 1.20'de SMD kondansatörler verilmiştir.



Resim 1.20: SMD kondansatörler

Resim 1.21: Polyester kondansatör

ğ. Polyester kondansatörler: İletken olan iki levha arasına konulmuş polyesterden oluşmuştur. Kapasite değerleri 220 pF ile 0,33 μ F arasında değişir. Resim 1.21'de polyester kondansatör örneği verilmiştir.

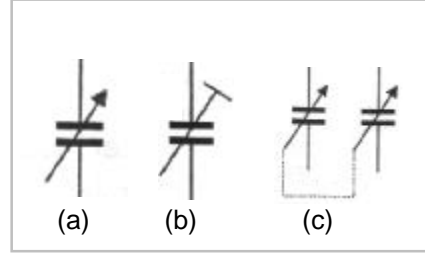
Kondansatörlerin kapasite değerinin ölçülmesi: Ohmmetre ile kondansatörün sağlam olup

olmadığı anlaşılabilir. Ancak kapasite belirlenemez. Bu nedenle bir kapasite ölçere gerek vardır. Analog ya da dijital yapılı bir kapasitemetreyle kondansatörlerin değeri çok kolayca belirlenebilir. (Kondansatörün kapasite değeri ölçülürken doğru sonucu bulmak için kondansatörün uçları birbirine değiştirilerek tamamen boşalması sağlanır. Bu yapılmazsa kapasitemetre tam doğru değeri gösteremez.)

Kondansatörlerin kapasite açısından sınıflandırılması

a. Sabit kapasiteli kondansatörler: Kapasite değerleri değiştirilemeyen kondansatör çeşididir.

b. Değişken kapasiteli (ayarlı) kondansatörler: Biri sabit, diğeri hareket edebilen iki plakaları vardır. Dielektrik, hava ya da plastik türü bir maddeden yapılıdır. Uygulamada bir, iki ya da üç ganklı (bölmeli) ayarlı kondansatörler kullanılmaktadır. İki ganklı kondansatör şekil 1.54-c'de görüldüğü gibi iki ayrı kondansatörün bir gövde içinde birleştirilmesiyle elde edilmektedir.

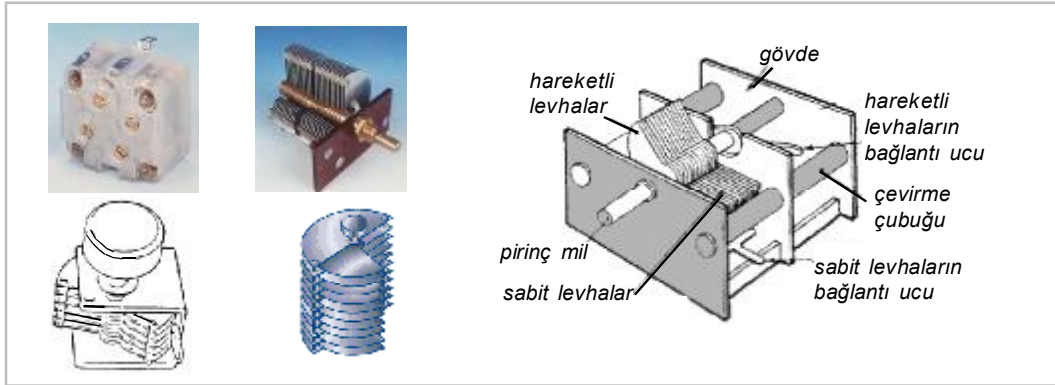


Şekil 1.54: Ayarlı kondansatör sembolleri a) Elle ayarlı b) Trimer c) İki ganklı elle ayarlı

Değişken kapasiteli kondansatör çeşitleri

1. Kapasite değeri elle değiştirilebilen (varyabl, mil ayarlı) kondansatörler: Mil döndürüldükçe levhalar birbirinin üzerine gelir. Bunun sonucunda karşı karşıya gelen levhaların boyutu büyür ve kapasite artmaya başlar. Levhalar arasında plastik ya da hava vardır.

Resim 1.22'de çeşitli ayarlı kondansatör tipleri, şekil 1.55'te ise elle ayarlı (varyabl) kondansatörlerin yapısı verilmiştir.



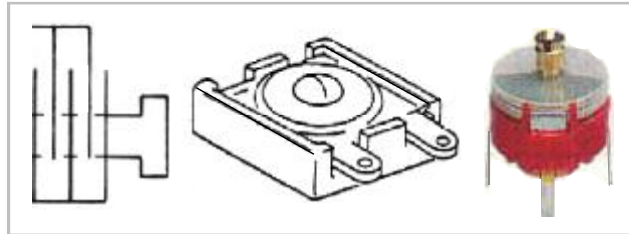
Resim 1.22: Elle ayarlı kondansatör çeşitleri

Şekil 1.55: Ayarlı kondansatörün yapısı

2. Kapasite değeri tornavida ile değiştirilebilen (trimer) kondansatörler: Şekil 1.56'da görülen trimer kondansatörlerde ayar vidasına bağlı, 360° dönebilen plakalarla yüzey alanı değiştirilerek kapasite azaltılıp çoğaltılabilir. Bu elemanların boyutları ve kapasite değerleri çok küçüktür. Trimer kondansatörler, FM verici, telsiz vb. gibi devrelerde kullanılır.

Trimer kondansatörlerin kapasite değerleri şöyledir:

1,2-6 pF, 1,4-10 pF, 1,6-15 pF, 2-30 pF, 2,5-25 pF, 4,5-70 pF, 5-90 pF



Şekil 1.56: Trimer kondansatör örnekleri

Kondansatör birimlerinin birbirine dönüştürülmesi: Farad çok büyük bir kapasite değeri

olduğundan uygulamada faradın ast katları kullanılır. Bunlar: Pikofarad (pF), nanofarad (nF), mikrofarad (μF), milifarad (mF) şeklindedir.

Birimler 1000'er 1000'er büyür ve 1000'er 1000'er küçülür. Büyük birim küçük birime çevrilirken değer 1000 ile çarpılır. Küçük birim büyük birime çevrilirken ise değer 1000'e bölünür. Kondansatör birimlerinin birbirine dönüştürülmesinde izlenen kurallar aşağıda verilmiştir.

0,000001 μF	=	0,01 nF	=	1 pF	1 F
0,00001 μF	=	0,01 nF	=	10 pF	10 ⁶ μF
0,0001 μF	=	0,1 nF	=	100 pF	10 ⁹ nF
0,001 μF	=	1 nF	=	1000 pF	10 ¹² pF
0,01 μF	=	10 nF	=	10000 pF	1 pF
0,1 μF	=	100 nF	=	100000 pF	10 ⁻³ nF
1 μF	=	1000 nF	=	1000000 pF	10 ⁻⁶ μF
10 μF	=	10000 nF	=	10000000 pF	10 ⁻¹² F
100 μF	=	100000 nF	=	100000000 pF	

Kondansatör birimlerinin birbirine dönüştürülmesine ilişkin örnekler:

-220 nF kaç μF'dir? : 0,22 μF
 -560 nF kaç pF'dir? : 560.000 pF
 -33 μF kaç pF'dir? : 33.000.000 pF

Kondansatörlerin çalışma voltajı: Kondansatörlerin kapasitesinin yanında çalışma voltaj da çok önemlidir. Uygulamada kullanılan kondansatörler standart voltaj değerlerindedir.

12 voltta çalışan bir elektronik devrede 3 voltluk kondansatör kullanmak doğru değildir. Özellikle elektrolitik tip kondansatörler aşırı gerilime maruz kaldıklarında ısınarak patlarlar.

Kondansatörlerin standart voltaj değerleri şöyledir: 3 - 6,3 - 10 - 16 - 25 - 35 - 50 - 63 - 100 - 160 - 250 - 350 - 400 - 450 - 630 - 1000 V...

AC çalışma gerilimi belli bir devreye bağlanacak kondansatörün çalışma voltajı:

$$V_C = V_{\text{etkin}} \cdot 1,41 \text{ denklemleriyle bulunur } (V_{\text{etkin}} = V_{\text{şebeke}} = V_{\text{efektif}} = V_{\text{RMS}}).$$

Örnek: 12 V çıkışlı bir doğrultmaç devresinde kullanılacak filtre kondansatörünün çalışma gerilimi kaç volt olmalıdır?

$$\text{Çözüm: } V_C = V_{\text{etkin}} \cdot 1,41 = 12 \cdot 1,41 = 16,92 \text{ V}$$

Buna göre kondansatörün çalışma gerilimi en az 16 ya da 25 V olmalıdır.

Bazı kondansatörlerin maksimum çalışma voltajı DC cinsinden, bazılarının ise AC cinsinden belirtilir. 250 V DC, 400 V AC gibi. Bu noktadan hareketle üzerinde 250 V DC yazan bir kondansatörü 220 V AC devrede kullanamayız. Çünkü, 220 V'luk AC'nin maksimum gerilim değeri, $V_{\text{maks}} = V_{\text{etkin}} \cdot 1,41 = 220 \cdot 1,41 = 310,2 \text{ V}$ 'tur.

Bu nedenle AC 220 voltluk devreye bağlanacak kondansatör en az 350 - 450 voltluk olmalıdır.

Bazı kondansatörlerin üzerinde 250 V değerinin yanında ~ işareti bulunur. Bu işaret kondansatörün 220 voltluk alternatif akıma dayanabileceğini belirtir. Başka bir husus ise şudur: Üzerinde 100 V DC- (ya da =) yazan bir kondansatör ise en fazla 63 V'luk AC gerilime dayanabilir.

Ek bilgi: Etkin (efektif, RMS) değer

Sinüsoidal özellikli olan AC, sıfır (0) ekseninin iki yanında pozitif ve negatif değerler almakta ve bunlara pozitif ve negatif alternanslar denilmektedir. AC'nin değeri her an değişir. Teknik anlatımlarda akım ve gerilimin herhangi bir andaki değerine anı değer denilir. Pozitif ya da negatif alternansın anı değerlerinin toplamı maksimum değer 0,707'sine eşit olmaktadır. İşte bu değere, etkin, efektif ya da RMS (*root mean square*) değer adı verilir.

Başka bir anlatımla, AC özellikli bir sinyalin DC'ye eşit olan değerine etkin değer denir. Ölçü aletleri elektriğin etkin değerini ölçer. 220 voltluk elektriğin maksimum değeri 310,2 voltur. Kullandığımız ölçü aleti etkin değeri (yani 310,2 voltluk gerilimin DC'ye eşit olan değerini)

ölçtüğünden biz skalada 220 V görürüz.

Kondansatörler ise AC'nin maksimum değerine dolar. Yani 220 voltluk şebekeye bağlanan bir kondansatör 310,2 volta şarj olur. İşte bu nedenle, AC besleme geriliminin maksimum değeri hesaplanarak kondansatör seçimi yapılır.

Kondansatörlerin kapasite değerinin rakam, harf ve renk bantlarıyla belirtilmesi:

Kondansatörlerin kapasite değeri ve çalışma gerilimi arttıkça gövde boyutları da büyür. Büyük gövdeli kondansatörlerin üzerinde kapasite değeri ve çalışma voltajı rakamsal olarak belirtilmiştir.

a. Rakamlarla yapılan kodlama: Küçük gövdeli kondansatörlerin üzerinde yazı için fazla yer olmadığından bazı kısaltmalar kullanılır. Örneğin 0 yerine yalnızca nokta (.) konur.

Toleranslı rakamsal kodlamada harflerin tolerans karşılıkları şöyledir:

B: \pm % 0,1 C: \pm % 0,25 D: \pm % 0,5 F: \pm % 1
G: \pm % 2 J: \pm % 5 K: \pm % 10 M: \pm % 20

Toleranslı rakamsal kodlama örnekleri:

Küçük gövdeli bir kondansatörde,			
p68 kodu varsa	C: 0,68 pF	1n kodu varsa	C: 1 nF
15 kodu varsa	C: 15 pF	1n2 kodu varsa	C: 1,2 nF
470 kodu varsa	C: 47 pF	33n kodu varsa	C: 33 nF
152 kodu varsa	C: 1500 pF	,039 kodu varsa	C: 0,039 μ F
472 kodu varsa	C: 4700 pF	,05 kodu varsa	C: 0,05 μ F
103 kodu varsa	C: 10.000 pF	0,5 kodu varsa	C: 0,5 μ F
104 kodu varsa	C: 100.000 pF	μ 47 kodu varsa	C: 0,47 μ F
		1 μ 0 kodu varsa	C: 1 μ F

Resim 1.23: Kondansatörlerin rakam ve harflerle kodlanmasına ilişkin örnekler

P15B kodu varsa C: 0,15 pF \pm % 0,1 tolerans
100J kodu varsa C: 100 pF \pm % 5 tolerans
123J kodu varsa C: 12000 pF \pm % 5 tolerans
104K kodu varsa C: 100000 pF \pm % 10 tolerans
0,001(K) kodu varsa C: 0,001 μ F \pm % 10 tolerans
473M kodu varsa C: 47000 pF \pm % 20 tolerans

b. Renk bantlarıyla (halkalarıyla) yapılan kodlama: Kondansatörlerin üzerindeki renk bantlarına bakılarak, kapasite, tolerans ve voltaj değerleri saptanabilmektedir. Ancak kondansatörlerin özelliklerini renk bantlarıyla belirtme dirençlerde olduğu gibi tam bir standardizasyonda olmadığı için karmaşa söz konusudur. Yani çok değişik şekillerde kodlanmış kondansatörler karşımıza çıkabilmektedir.

Kondansatörlerin renk kodlamasında bulunan değer **pF** cinsindedir. Renklerin rakamsal karşılığı bulunurken gövdede bulunan renkler üstten aşağıya ya da soldan sağa doğru okunarak kapasite değeri bulunur.

I. Üç renk bantıyla yapılan kodlama: 1. bant (A): Sayı, 2. bant (B): Sayı, 3. bant (C): Çarpın.

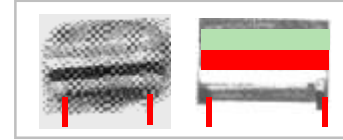
Renkler	Sayı	Çarpan	Tolerans	Çalışma gerilimi (V)	Sıcaklık katsayısı
Siyah	0	-	% 20	10 V	$0.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Kahve	1	0	% 1	100 V	$+33.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Kırmızı	2	00	% 2	200 V	$-75.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Turuncu	3	000	% 3	300 V	$-150.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Sarı	4	10^4	% 4	400 V	$-220.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Yeşil	5	10^5	% 5	500 V	$-330.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Mavi	6	10^6	% 6	630 V	$-470.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Mor	7	10^7	% 7	700 V	$-750.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Gri	8	10^8	% 8	800 V	-
Beyaz	9	10^9	% 9	900 V	-
Kırmızı/mor	-	-	-	-	$+100.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Altın	-	10^{-1}	% 5	-	-
Gümüş	-	10^{-2}	% 10	-	-

Tablo 1.2: Kondansatör renk kodları çizelgesi

II. Dört renk bantıyla yapılan kodlama: 1. bant (A): Sayı, 2. bant (B): Sayı, 3. bant (C): Çarpan, 4. bant (D): Tolerans.

Örnek: Mavi, gri, sarı, kahverengi: $680.000 \text{ pF} \pm \% 1$ (Bu değer 680 nF ya da $0,68 \text{ } \mu\text{F}$ olarak da yazılabilir.)

Örnek: Sarı, mor, turuncu, kırmızı: $47.000 \text{ pF} \pm \% 2 = 47 \text{ nF} \pm \% 2$



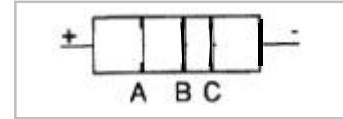
Resim 1.24: Renk bantlarıyla kodlanmış kondansatör örnekleri

III. Beş renk bantıyla yapılan kodlama: 1. bant (A): Sayı, 2. bant (B): Sayı, 3. bant (C): Çarpan, 4. bant (D): Tolerans, 5. bant (E): Çalışma gerilimi

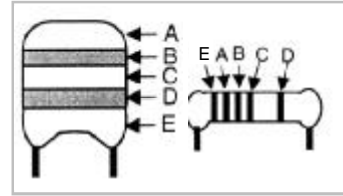
Örnek: Kahve, siyah, sarı, siyah, kırmızı:
 $100 \text{ 000 pF} = 100 \text{ nF} = 0,1 \text{ } \mu\text{F} \pm \% 20/200 \text{ V}$

Örnek: Turuncu, beyaz, kahve, altın, kahve:
 $390 \text{ pF} \pm \% 5/100 \text{ V}$

Örnek: Sarı, mor, turuncu, kırmızı, kahve:
 $47 \text{ 000 pF} \pm \% 2/100 \text{ V}$



Şekil 1.57: Üç renk bantlı kondansatör



Şekil 1.59: Beş renk bantlı kondansatör

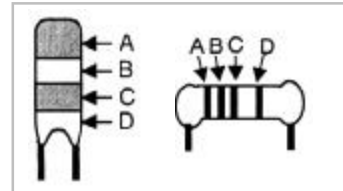
IV. Altı renk bantıyla yapılan kodlama: 1. bant (A): Sayı, 2. bant (B): Sayı, 3. bant (C): Çarpan, 4. bant (D): Tolerans, 5. bant (E): Çalışma gerilimi, 6. bant (F): Sıcaklık katsayısı

Örnek: Üzerinde, turuncu, siyah, turuncu, kahverengi, kırmızı, mor renkleri bulunan kondansatörün kapasitesini bulunuz.

Turuncu: 3. Siyah: 0. Turuncu: 3. Kahverengi: $\pm \% 1$. Kırmızı: 200 V . Mor: $-750.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

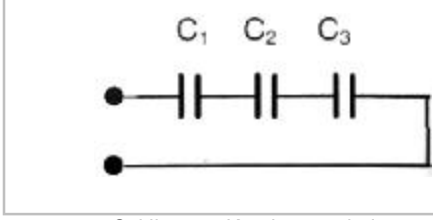
Kondansatör: $30.000 \text{ pF} = 30 \text{ nF} \pm \% 1 / 200 \text{ V}$

Elemanın sıcaklığa göre kapasite değiştirme katsayısı: $-750.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

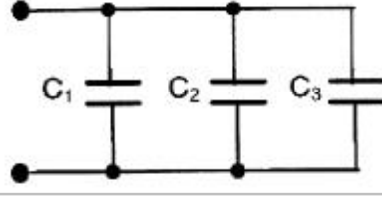


Şekil 1.58: Dört renk bantlı kondansatör

Kondansatör bağlantıları: Kondansatörler devrede kullanılırken çeşitli şekillerde bağlanır. Şimdi bunları inceleyelim.



Şekil 1.60: Kondansatörlerin seri bağlanması



Şekil 1.61: Kondansatörlerin paralel bağlanması

a. Seri bağlama: Seri bağlantıda toplam kapasite azalır, çalışma gerilimi yükselir. Şöyle ki; 10 μF ve 16 voltluk iki kondansatör seri bağlandığında toplam kapasite 5 μF olurken, çalışma gerilimi 32 V olur.

Seri bağlantıda toplam kapasiteyi hesaplamada kullanılan denklem,

$$1/C_T = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n \text{ dir.}$$

Örnek: $C_1 = 10 \mu\text{F}$, $C_2 = 10 \mu\text{F}$ $C_T = ?$

Çözüm: $1/C_T = 1/C_1 + 1/C_2 = 5 \mu\text{F}$

b. Paralel bağlama: Paralel bağlantıda toplam kapasite artar, çalışma gerilimi aynı kalır.

Toplam kapasiteyi hesaplamada kullanılan denklem,

$$C_T = C_1 + C_2 + \dots + C_n \text{ dir.}$$

Örnek: $C_1 = 22 \mu\text{F}$, $C_2 = 47 \mu\text{F}$ $C_T = ?$

Çözüm: $C_T = C_1 + C_2 = 69 \mu\text{F}$

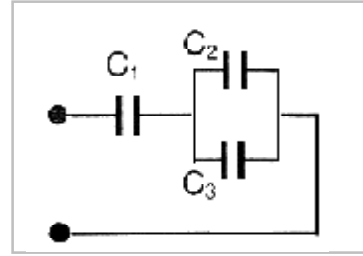
c. Karışık bağlama: Hesaplama yapılırken paralel bağlı olan kısımlar seri hâle indirgenir. Daha sonra seri devrenin toplam kapasitesi bulunur.

Örnek: Şekil 1.62'de verilen devrede $C_1=20 \mu\text{F}$, $C_2=10 \mu\text{F}$, $C_3 = 10 \mu\text{F}$ 'dir. Toplam kapasiteyi (C_T) bulunuz.

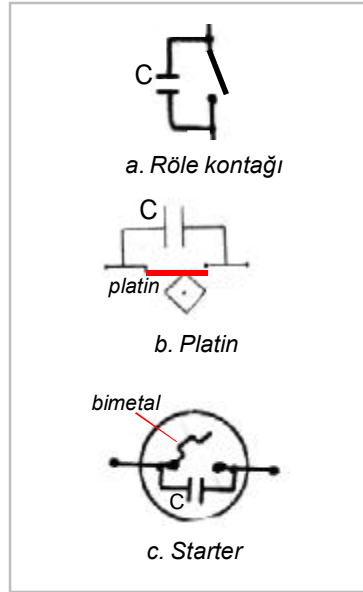
Çözüm: İlk önce paralel bağlı C_2 ve C_3 kondansatörleri seri hâle indirgenir.

$$C_{T1} = C_2 + C_3 = 20 \mu\text{F}$$

$$1/C_T = 1/C_1 + 1/C_2 = 1/20 + 1/20 = 2/20 = 10 \mu\text{F}$$



Şekil 1.62: Kondansatörlerin karışık bağlanması



Şekil 1.63: Kondansatörün kullanım alanlarına ilişkin örnekler

Kondansatörlerin kullanım alanlarına ilişkin örnekler

I. Kondansatörler DC'yi geçirmeyen, AC'yi ise geçiren bir eleman olduğundan yükselteçlerde kuplaj elemanı (DC sinyalleri engelleyip AC sinyalleri geçirici) olarak kullanılır.

II. AC'nin doğrultulmasında diyotlar kullanılır. Ancak diyotlar AC'yi tam doğru akım hâline getiremezler. Diyodun çıkışına bağlanan uygun değerli kondansatör, çıkış sinyalini filtre eder (süzer). Yani şarj ve deşarj olarak alıcıya giden akımı düzgünleştirir.

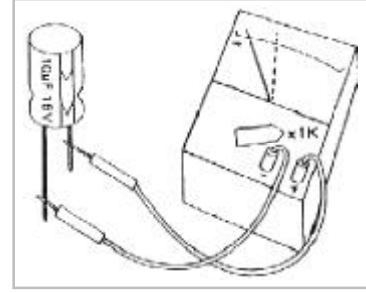
III. Rölelerin kontaklarının açılıp kapanması anında kontak uçlarında ark oluştuğundan, birbirine değen kısımlar çabuk yıpranmaktadır. Bu nedenle rölelerin kontaklarına paralel olarak şekil 1.63-a'da görüldüğü gibi yaklaşık 0,1 μF 'lık bir kondansatör bağlanır. Röle enerjilendiğinde kontaklar

kapanırken kondansatör anî şarj olarak arkı önler

Benzinli motorların ateşleme sisteminde bulunan platinde, meksefe adı verilen kondansatör ve flüoresan lamba starter'lerinde bimetale paralel bağlı olan kondansatör, ark söndürücü olarak çalışır. Şekil 1.63-b ve c'ye bakınız.

Kondansatörlerin sağlamlık testi

a. Küçük kapasiteli kondansatörlerin (1 pF-1 mF) sağlamlık testi: Kondansatör boşaltıldıktan sonra yapılan ölçümde ohmmetre ibresi çok az kıpırdarsa ya da hiç oynamazsa ölçülen kondansatör sağlamdır. (Ölçümlerde ohmmetre komütatörü x1k, x10k ya da x100k konumunda olmalıdır.)



Şekil 1.64: Kondansatörün sağlamlık testinin yapılışı

b. Büyük kapasiteli kondansatörlerin (1-38000 µF) sağlamlık testi: Ölçme komütatörü x10 Ω, x100 Ω kademesine alınır. Ohmmetre ibresi önce küçük bir direnç değeri gösterir sonra yavaş yavaş büyük değere doğru yükselirse kondansatör sağlamdır.

Büyük kapasiteli kondansatörleri pratik olarak şu şekilde de test edebiliriz: Kondansatör önce DC ya da AC ile şarj edilir. Sonra uçları birbirine değiştirilir. Kıvılcım (ark) görülüyorsa kondansatör sağlamdır. Fakat bu yöntem kondansatör açısından sakıncalıdır. Çünkü kondansatörün hızlıca doldurulması ve boşaltılması plakaların tahrip olmasına yol açabilir.

En sağlıklı test kapasitemetreyle yapılır. Ölçüm yapılmadan önce kondansatörün ayakları kısa devre edilerek üzerindeki elektrik yükü iyice boşaltılır. Bu yapılmazsa ölçüm tam doğru olmaz.

Kondansatör arızaları

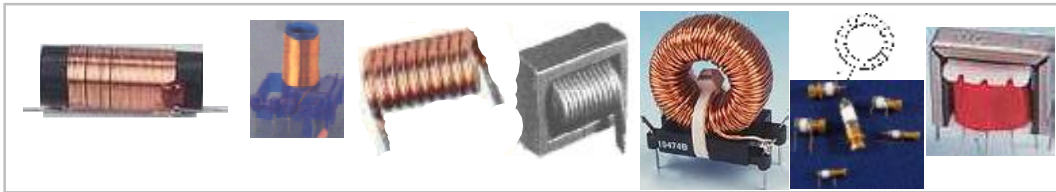
a. Kısa devre: İletken levhalar arasındaki yalıtkan (dielektrik) madde çeşitli nedenlerle delinir ve kondansatör özelliğini kaybeder. Bu durum ohmmetre ya da kapasitemetreyle kolayca anlaşılabilir.

b. Devre kopukluğu: Levhaları dış devreye bağlayan iletken ayaklar kopabilir. Bu durumda eleman değiştirilir.

C. Bobinler (indüktör, self, coil, inductor)

İletken tellerin yan yana ya da üst üste sarılmasıyla elde edilen devre elemanlarına bobin denir. Bobinlerin sembolü L, birimi *henry* (H)'dir.

Bobinler DC ile beslenen bir devrede çalışırken akıma sadece omik direnç gösterirler. Yani, bobinin yapıldığı metalin akıma karşı gösterdiği zorluk söz konusudur.



Resim 1.25: Çeşitli bobinler

AC ile beslenen bir devrede ise, bobinin akıma gösterdiği direnç artar. Artışın sebebi bobin etrafında oluşan değişken manyetik alanın akıma karşı ilave bir karşı koyma (direnç) etkisi oluşturmasıdır. AC sinyalin frekansı yükseldikçe oluşan manyetik alanın değişim hızı da artacağından bobinin akıma gösterdiği direnç de yükselir. Bu nedenle bobinler, dirençleri frekansla birlikte yükselen eleman olarak nitelendirilebilir.

Bobinlerin sarıldığı kısma karkas, mandren ya da makara, iletkenin karkas üzerinde bir tur yapmasına ise sipir, tur ya da sarım adı verilir.

Bobinlerde çoğunlukla dış yüzeyi izoleli (vernikli) bakır tel kullanılır.

Bobinlerle ilgili temel kavramlar: Elektronik devrelerde yaygın olarak kullanılan bobinlerin çeşitli özellikleri vardır. Şimdi bunları inceleyelim.

1. İndüktans (endüktans): Bir bobinin kendi kendini etkileme derecesine **indüktans** denir. Başka bir deyişle, bobinden geçen 1 A'lık AC akımın 1 saniyedeki değişimi, 1 V'luk zıt EMK oluşturuyorsa bu bobinin indüktansı 1 henrydir. Henry birimi, *Joseph Henry* (Cozef Henri) adlı bilginin soyadından alınmıştır.

Henry çok büyük bir birimdir. Uygulamada *henrynin* ast katları (milihenry, mikrohenny) daha çok karşımıza çıkar.

Bobinlerin birimlerinin birbirine dönüşümünün basitce gösterilişi şöyledir:

$$1 \text{ H} = 10^3 \text{ mH} = 10^6 \text{ } \mu\text{H}$$

$$1 \text{ } \mu\text{H} = 10^{-3} \text{ mH} = 10^{-6} \text{ H}$$

Bobinlerin AC sinyallere gösterdiği reaktans, $X_L = \omega.L = 2.\pi.f.L$ [Ω] denklemiyle bulunur. ($\pi = 3,14$. $f =$ Frekans. $\omega =$ Omega)

2. Reaktif devre elemanı olarak bobinler: Bobinler de kondansatörler gibi elektrik enerjisini harcamayan reaktif devre elemanıdır. Bu elemanlar elektrik enerjisini manyetik alan şeklinde çok kısa süreli olarak depo ederler.

Kondansatörler devreye bağlıken gerilimi geri bırakırken (faz farkı), bobinler, gerilimi ileri kaydırırlar. Bu özellikleriyle bobin ve kondansatör birbirinin tamamen zıttı durumundadır.

Bobin ve kondansatörlerin akım ile gerilim arasında faz farkı yaratması uygulamada çeşitli şekillerde fayda ya da zarara neden olur.

3. Bobinlerde zıt elektromotor kuvvet (zıt EMK):

Bir bobine AC özellikli sinyal uygulandığı zaman, değişken akım bobinin etrafında şekil 1.65'te görüldüğü gibi "değişken manyetik alanların oluşmasını" sağlar. İşte bobin çevresinde oluşan manyetik alan, bobin üzerinde iki etkiye bulunur:

Bobinlerin oluşturduğu manyetik alanın birinci etkisi şöyledir: Uygulanan alternatif akım sıfır değerinden maksimum değere doğru yükselirken, bobinin manyetik alanı kendisini oluşturan kuvvete karşı koyarak akımın artışı azaltmaya çalışır.

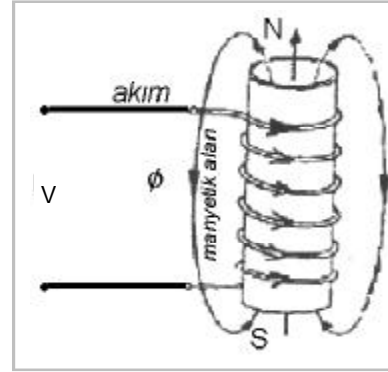
Bobinlerin oluşturduğu manyetik alanın ikinci etkisi ise şudur: Uygulanan alternatif akım maksimum değerinden sıfır değerine doğru azalırken, bobinin manyetik alanı kendi üzerinde gerilim indükleyerek (oluşturarak) geçen akımın azalmasını yavaşlatmaya çalışır.

İşte bobinin oluşturduğu manyetik alanın kendi üzerinde oluşturduğu bu gerilime zıt EMK denir. Bobinler zıt EMK nedeniyle akımın geçişini geciktirirler. Yani AC özellikli akımların 90° geri kalmasına neden olurlar.

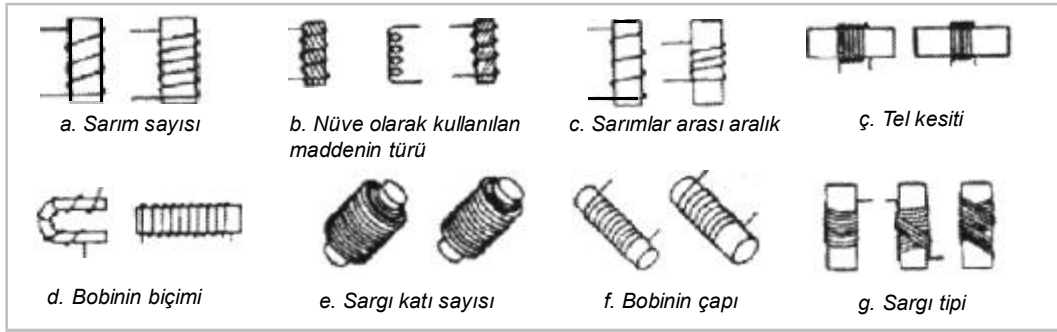
4. Bobinlerin indüktans değerinin değişmesine yol açan etkenler: Uygulamada kullanılan bir bobinin indüktansı çeşitli faktörlere göre azalmakta ya da artmaktadır. Bunlar: **a.** Sarım sayısı, **b.** Nüvenin cinsi, **c.** Sarımlar arası aralık, **ç.** Tel kesiti, **d.** Bobinin biçimi, **e.** Sargı katı sayısı, **f.** Bobinin çapı, **g.** Sargı tipi, **ğ.** Uygulanan AC gerilimin frekansıdır. Şekil 1.66'ya bakınız.

5. Bobinlerin DC ve AC akımlara karşı davranışı: Bir bobine DC akım uygulandığında geçen akım bu elemanın etrafında sabit (donuk, değişmeyen) bir manyetik alan oluşturur. Bu alana yaklaştırılan demir, nikel, kobalt gibi cisimler bobin tarafından çekilir. Bobin içine nüve konmaz ise çekim gücü az olur.

Bobine DC uygulanınca indüktif bir etki görülmez. Devreden geçen akıma yalnızca bobinin omik



Şekil 1.65: Bobinlerde oluşan manyetik alan



Şekil 1.66: Bobinlerde indüktansın değişmesine yol açan etkenler

(R) direnci karşı koyar.

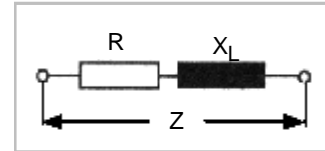
Ancak, bobine değişken gerilim (AC) uygulandığında, sarım etrafında oluşan değişken manyetik alan, akımın dolaşımına engel olucu nitelikte ikinci bir etki doğurur. Tamamen bobinin indüktansına bağlı olarak değişen karşı koyma şiddeti indüktif reaktans (X_L) olarak adlandırılır.

Bobinin AC akıma karşı gösterdiği iki zorluk *empedans* olarak tanımlanır. Empedans değeri, $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ [Ω] denklemiyle bulunur.

Örnek: İndüktansı (endüktansı) 20 mH (0,02 H), omik direnci 6 Ω olan bobinin empedansını bulunuz. Frekans 50 Hz'dir.

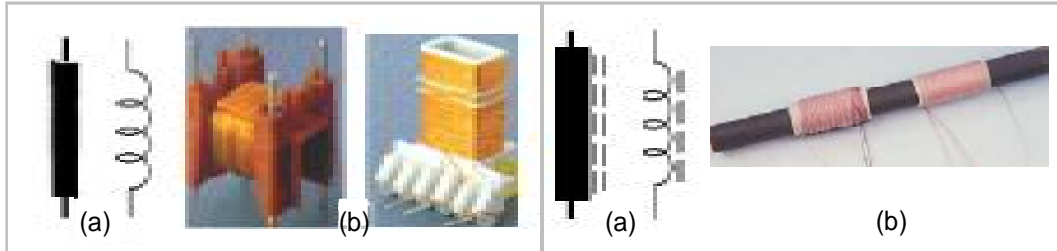
Çözüm: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,02 = 6,28 \Omega$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 6,28^2} = \sqrt{36 + 39,43} = \sqrt{75,43} = 8,68 \Omega$$



Şekil 1.67: Bobinlerin AC sinyallere karşı gösterdiği omik ve indüktif direncin elektriksel eşdeğeri

Bobin çeşitleri: Bobinler kullanım yerlerine göre çeşitli modellerde üretilirler. Şimdi bunları inceleyelim.



Resim 1.26: a. Hava nüveli bobin sembolleri
b. Hava nüveli bobin örnekleri

Resim 1.27: a. Ferrit nüveli bobin sembolleri
b. Ferrit nüveli bobin örneği

a. Hava nüveli bobinler: Daha çok yüksek frekanslı (FM radyo alıcıları, telsiz, TV ve anten yükseltici devreleri vb.) sistemlerde kullanılan bobin çeşididir. Devreye bağlı olan bu tip bir bobinin pozisyonunun el sürerek dahî değiştirilmesi sakıncalıdır. Çünkü, bobinin indüktans değeri değişerek devrenin çalışmasını olumsuz etkiler. Bu nedenle bazı cihazlarda kullanılan hava nüveli bobinlerin üst kısmı, mekanik zorlanmalardan etkilenmemesi için silikon benzeri yapıştırıcı maddelerle kaplanır.

b. Ferrit (ferit) nüveli bobinler: Resim 1.27'de görülen ferrit nüveli bobinler radyo frekans ve yüksek frekanslı devrelerde kullanılır. Nüve, demir, nikel, kobalt, alüminyum, bakır ve bazı katkı maddelerinin bir araya getirilmesiyle üretilmiştir. Ferrit nüveli radyo frekans bobinleri çoğunlukla petek şeklinde sarılır. Petek sargı bobin sipleleri arasındaki kaçak kapasiteyi azaltır. Ferrit nüve yüksek değerli bobinin üretilmesini sağlar. Bu nüvelerin bir başka yararı ise, az bir iletkenle istenilen değerde bobin yapılabilmesini sağlamasıdır.

Ferit nüveler indüktansı artırıcı etki yaparken, manyetik kuvvet çizgilerine karşı yüksek direnç gösteren pirinç ve alüminyumdan yapılmış nüveler indüktansı düşürürler. İletken olan bu tip nüvelerin üzerinden manyetik alandan dolayı yüksek değerli kısa devre akımları (iç akımlar) dolaşır. Özellikle MHz (megahertz) düzeyindeki frekanslara sahip devrelerde bobin nüveleri kısa devre akımlarının az dolaşmasını sağlayacak malzemelerden yapılır.

c. Demir nüveli bobinler:

Resim 1.28'de görülen demir nüveli bobinlere **şok bobini** de denir. Uygulamada daha çok filtreleme ve ses frekans devrelerinde kullanılırlar.

ç. Sac nüveli bobinler:

Transformatör, balast, AC ile çalışan motor, kontaktör vb. gibi yerlerde fuko akımlarının etkisini azaltmak için birer yüzleri yalıtılmış saclardan yapılmış nüveli bobinlerdir. Resim 1.29'da sac nüveli bobin örnekleri verilmiştir.

d. Nüvesi hareketli ayarlı bobinler: Resim 1.30'da görüldüğü gibi bobinlerin içindeki nüve hareketlidir. Nüvenin hareket ettirilmesiyle birlikte bobinin manyetik alanı değişerek indüktans değişmektedir.

e. Sargı ayarlı bobinler (varyometre): Bobinin üzerine sürtünen tırnak şeklindeki bir uç aracılığıyla bobinin değeri ayarlanabilir. Şekil 1.68-ç'de sargı ayarlı bobin sembolü görülmektedir.

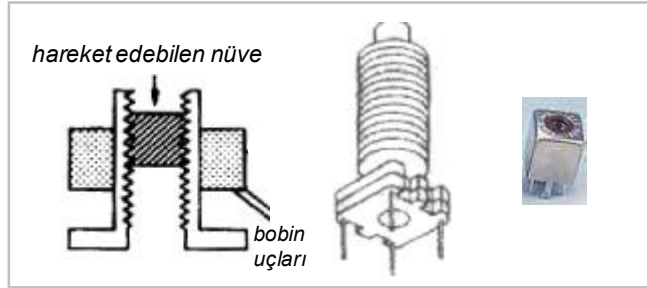
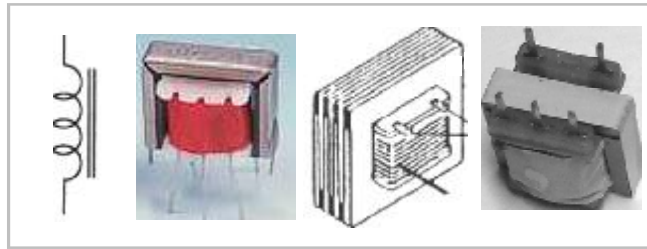
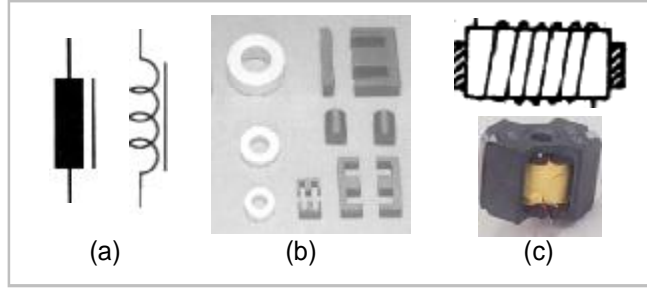
f. Kademeli bobinler: Bobinden alınan uçlar çok konumlu bir anahtara (komütatör) bağlanarak farklı indüktanslar elde edilebilir. Şekil 1.68-d'de kademeli ayarlı bobin sembolü görülmektedir.

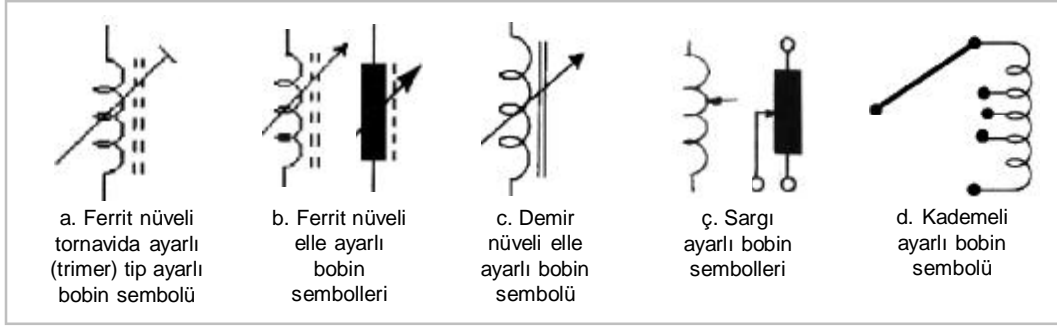
6. Bobinlerin değerinin renk bantlarıyla belirtilmesi: Bazı firmalar ürettikleri bobinlerin kaç mikrohenry (μH) olduğunu renk bantlarıyla belirtmektedir. Bu yöntem dirençlerin kodlanmasına benzer.

Örnekler

- Kahve, siyah, siyah, altın: $10 \mu\text{H} \pm \% 5$
- Kırmızı, mor, kavrengi, gümüş: $27 \mu\text{H} \pm \% 10$

7. Bobinlerin indüktans değerinin belirlenmesi: Bobinlerin değeri en doğru şekilde dijital yapılı LCRmetre indüktans ölçme konumuna getirilerek yapılır.





Şekil 1.68: Ayarlı bobin sembolleri

8. Bobinlerin sağlamlık testi: Ohmmetre ya da indüktansmetre ile yapılabilir. Ohmmetreyle yapılan ölçümde bobinin sadece DC özellikli akımlara karşı gösterdiği omik direnç değeri ve kullanılan telin kopuk olup olmadığı ölçülmüş olur. İndüktansmetre ile yapılan ölçümde ise hem bobinin değeri, hem de sağlam olup olmadığı anlaşılabilir.

9. Baskı devre üzerinde oluşturulan bobinler: Yüksek frekanslı devrelerde (TV, video, TV anten yükselteci, FM radyo, FM verici vb.) kullanılan bobinler, bakırlı plaket üzerine çizilmiş düz bir çizgi ya da zik zaklı bir çizgi ile de elde edilebilmektedir.

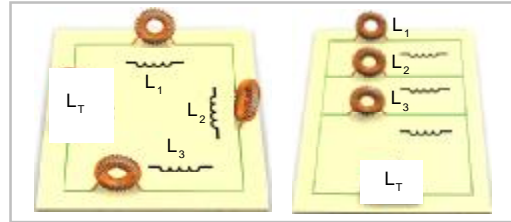
10. Bobinlerin uygulamadaki bazı kullanım alanları: Bobinler uygulamada röle, kontaktör, otomatik sigorta, analog ölçü aleti, mekanik zil, numarator, kapı otomatığı, dinamik mikrofon, dinamik hoparlör, transformator, teyp kafası, balast, motor vb. gibi cihazlarda kullanılır.

11. Bobinlerin seri ve paralel bağlanması: Bobinler seri bağlandığında toplam indüktans (endüktans) $L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$ [H] denklemiyle hesaplanır.

Bobinler paralel bağlandığında ise toplam indüktans $1/L_T = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + \dots + 1/L_n$ [H] ile hesaplanır.

Renk	1. bant	2. bant	Çarpan	Tolerans
Siyah	0	0	1	± % 20
Kahverengi	1	1	10	± % 1
Kırmızı	2	2	100	± % 2
Turuncu	3	3	1.000	± % 3
Sarı	4	4	10.000	± % 4
Yeşil	5	5		
Mavi	6	6		
Mor	7	7		
Gri	8	8		
Beyaz	9	9		
Renksiz				± % 20
Altın			0,1	± % 5
Gümüş			0,01	± % 10

Tablo 1.3: Bobin renk kodları çizelgesi



Resim 1.31: Bobinlerin seri ve paralel bağlanmasının basit resimlerle gösterilmesi

Bölüm 2: Maddenin yapısı ve yarı iletkenler



A. Temel kavramlar

Elektronun temelini oluşturan yarı iletkenleri açıklamadan önce madde ile ilgili kavramları inceleyelim.

Bilindiği gibi bütün maddeler atomlardan oluşmuştur. Beş duyu organımızla çevreyi incelediğimizde çok sayıda değişik özellikli madde görürüz. Örneğin, su, cam, bakır, demir, hava gibi.

a. Madde: Dünyada bulunan 112 çeşit maddenin (element) tümü atomların birleşiminden oluşmuştur. Maddeler doğada katı, sıvı ve gaz hâlinde bulunurlar.

Elektrik akımını iletme durumlarına göre maddeler üçe ayrılır. Bunlar iletken, yalıtkan ve yarı iletkenlerdir.

Elektronik devrelerin büyük bölümü katıların iletkenliği temeline dayanılarak yapılır. Bir maddenin elektriği iletme oranı, maddenin serbest elektron üretme yeteneğine bağlıdır.

b. Atom: Yapılan deneyler, atomun tek bir bütün olmadığını, daha küçük parçalardan oluştuğunu göstermiştir. Atom, merkezindeki artı (+) yüklü ve yüksüz parçacıklardan oluşan çekirdek ve elektronlarıyla güneş sistemi gibidir.

Atomun çekirdeğindeki parçacıklara proton ve nötron adı verilir.

Çekirdeğin çevresinde ise eksi (-) yüklü elektronlar vardır. Şekil 2.1 ve şekil 2.2'de atomun yapısı gösterilmiştir.

Atom, bölünemez anlamındadır. Başka bir deyişle maddelerin bölünemeyen en küçük yapı taşlarına atom denir.

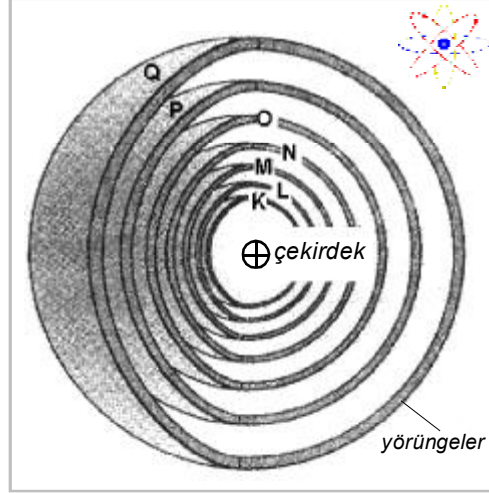
Atom çekirdeğinin çevresinde dönen elektronlar en çok 7 yörünge üzerinde hareket ederler. Eksi (-) yüklü olan elektronlar yörüngelerinin bulunduğu yarı çapa orantılı olarak potansiyel ve kinetik enerjiye sahiptir.

Atomlarda çekirdeğe en yakın yörüngeye elektronların enerji seviyeleri en düşüktür. Çekirdekten uzaklaştıkça enerji seviyeleri artar.

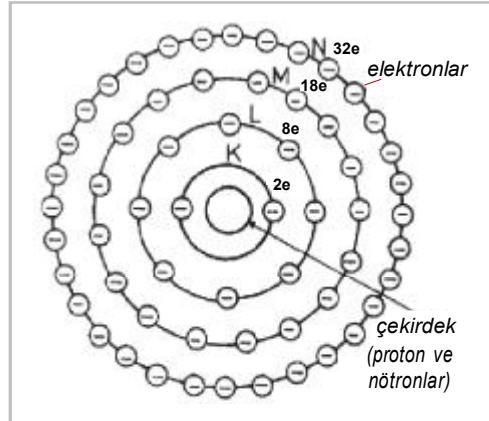
Elementler içinde en basit yapıya sahip olan madde şekil 2.3'te görülen hidrojen atomudur. Bu atom, ortada bir çekirdek ile onun etrafındaki yörüngeye dönen bir elektrondan oluşmuştur.

Atomların çekirdeğinde bulunan protonlar elektriksel bakımdan (+) yüklü, nötronlar ise yüksüzdür. Nötronların elektriksel ve kimyasal etkileşimlerde etkisi (işlevi) yoktur.

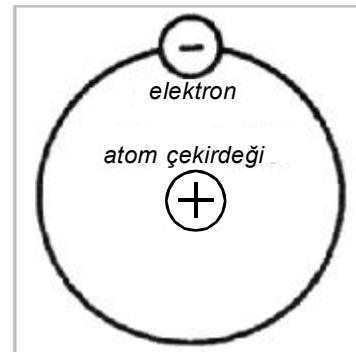
Atomdaki elektronlar, K, L, M, N, O, P, Q adı verilen kabuklarında dağılmış olup, elektrik akımını taşıyan elektronlar en son kabukta yer almaktadır.



Şekil 2.1: Atomun yapısının basit olarak gösterilişi

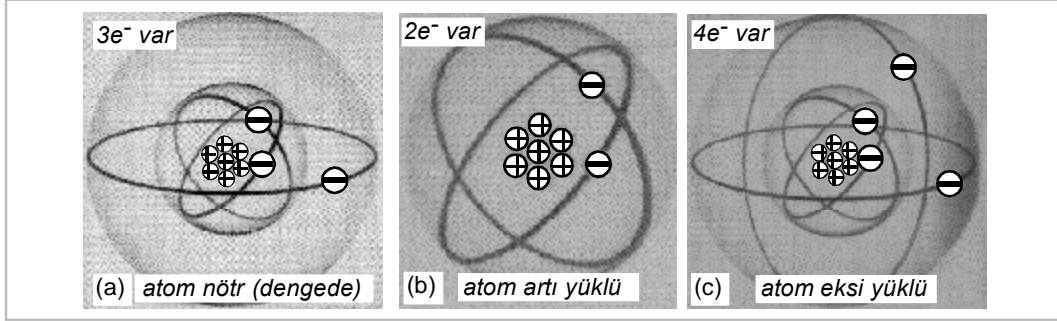


Şekil 2.2: Atomun çekirdeği ve yörüngelerdeki elektronların dizilişi



Şekil 2.3: Hidrojen atomu

Bir maddenin elektriksel olaylarının olduğu son kabukta bulunan elektronlara valans elektronları denir.



c. Elektrik yükü: Bir atom, elektron kaybettiğinde şekil 2.4-b'de görüldüğü gibi pozitif yüklü hâle geçer. Eğer dışarıdan bir elektron alırsa şekil 2.4-c'de görüldüğü gibi negatif yüklü duruma geçer.

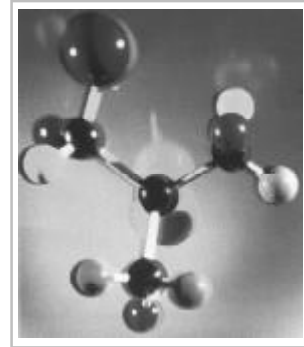
Atomların artı (+) ya da eksi (-) yüklü olması durumuna şarjlı olma da denilir. Eğer herhangi bir atom şarjlı durumdaysa buna iyon adı verilir. Atomlar fazla olan elektronlarını verip nötr (yüksüz) hâle geçmek isterler. Yani üzerlerindeki fazla elektronları ilk fırsatta komşu bir atoma vermeye çalışırlar. Bu özellik aynı adlı kutupların birbirini itmesi, zıt kutupların birbirini çekmesi özelliğinden kaynaklanmaktadır.

ç. İyon: Atomların elektriksel açıdan dengesiz hâline iyon denir. Şöyle ki; dış etkilerle atomun son yörüngesinde bulunan elektronun biri alınırsa elektriksel denge bozularak atom, artı (+) yüklü iyon durumuna geçer. Eğer dengedeki bir atomun son yörüngesine bir elektron girecek olursa atom eksi (-) yüklü iyon durumuna geçer. Şekil 2.4-a-b-c'ye bakınız.

d. Molekül: Bir kaç maddenin birleşiminden oluşmuş yeni maddenin en küçük parçacığına molekül denir.

Örneğin suyun oluşumu için 1 oksijen atomuyla 2 hidrojen atomu gerekir. Bakır sülfat molekülünde ise 1 bakır atomu, 1 kükürt atomu ve 4 oksijen atomu vardır.

İşte bu birleşimlerin en küçük yapı taşı moleküldür. Şekil 2.5'te molekül modeli örneği verilmiştir.

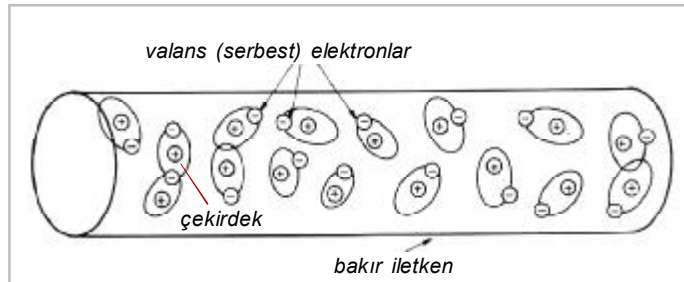


Şekil 2.5: Molekül modeli

B. İletkenler, yalıtkanlar ve yarı iletkenler

a. İletkenler: Bir atomun en dış yörüngesinde az sayıda (1-2-3) elektron varsa, bu elektronları çekirdeğe bağlayan güç zayıftır. Örneğin bakır atomunun son yörüngesinde 1 elektron vardır ve bu, çekirdek tarafından kuvvetlice çekilmediğinden kolayca serbest hâle geçebilir.

Bakırdan yapılmış bir iletkenin iki ucuna belli bir gerilim uygulanırsa, elektronlar pilin eksi (-) ucundan artı (+) ucuna doğru gitmeye başlar. İşte bu elektron hareketi elektrik akımıdır. Gerilim kaynağının artı (+) ucu elektronları yakalarken, eksi (-) ucu maddeye elektron verir. Burada gerilimi bir çeşit elektron



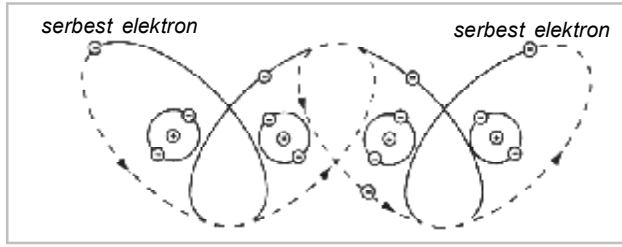
Şekil 2.6: Bakır atomunun yapısının basit olarak gösterilmesi

pompası olarak düşünebiliriz. Gerilimin büyüklüğü artarsa, elektronlar daha hızlı bir şekilde ilerlerler. Yani ortalama hızları artar.

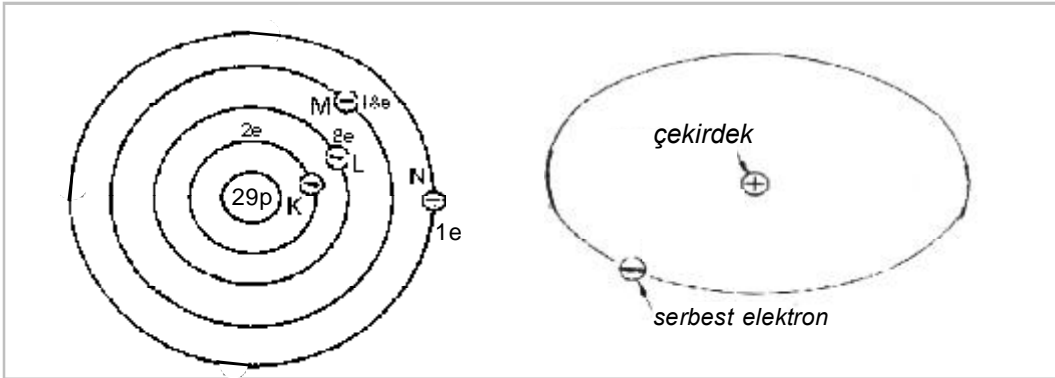
Başka bir deyişle, son yörüngesinde (valans bandı) 1-2-3 elektron bulunduran maddeler az ya da çok elektrik akımını iletirler.

En dış yörüngesinde 2 elektron bulunduran demir ve 3 elektron bulunduran alüminyumun iletkenlikleri bakıra göre daha azdır.

Şekil 2.6'da bakırdan yapılmış iletkende serbest elektronlar, şekil 2.7'de bakır iletkeninde serbest elektronların hareketi, şekil 2.8'de bakır atomunun yapısı ve şekil 2.9'da bakır atomunun yapısının basit olarak gösterilişi verilmiştir.



Şekil 2.7: Serbest elektronların iletken içindeki hareketi



Şekil 2.8: Bakırın atom yapısı

Şekil 2.9: Bakır atomunun yapısının basitçe gösterilişi

b. Yalıtkanlar: Gerilim uygulandığında iletkenliği çok alçak düzeyde olan malzemelere yalıtkan denir. Başka bir deyişle elektrik akımını iletmeyen maddeler yalıtkanlardır.

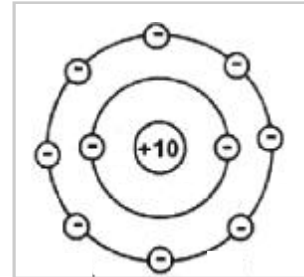
Atom yapısı açısından bakıldığında, son yörüngelerinde (valans bandı) 5-6-7-8 elektron bulunduran tüm maddeler az ya da çok yalıtkanlardır.

Yalıtkanlarda atomlar arası boşlukta serbest elektron bulunmaz. Ayrıca elektronlar çekirdeğe çok sıkı bağlarla bağlıdır.

Elektrik akımını geçirmeyen yalıtkan maddelerde her atom nötr durumdadır. Bir yalıtkana fazladan yüklenen şarj, maddenin o bölgesinde statik olarak kalır. Yükler atomdan atoma iletilmediği için yalıtkan üzerinde başka bir bölgeye geçiş söz konusu değildir.

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi plastik, cam, kauçuk, mermer, kâğıt, tahta gibi yalıtkanlık düzeyi yüksek olan maddelerin atomlarının son yörüngelerinde 8 adet elektron vardır. Yani bu atomlarda son yörünge elektron bakımından doymuş durumdadır. Dışarıya elektron verme ya da dışarıdan elektron alma çok zordur.

Cam, mika gibi iyi yalıtkanların direnci $10^{15} \Omega/\text{cm}^3$ düzeyindedir. Yalıtkanların çok yüksek direnç göstermeleri madde içindeki serbest elektronların ya da diğer akım taşıyıcıların olmamasındandır. Yani yalıtkanlarda atomun bağ yapısı, elektronların yörüngesinden çıkmasına izin vermez. Bu durumu enerji bandı yönünden ele alırsak, iletim bandı ile valans bandı arasındaki yasak bölge şekil 2.12'de görüldüğü gibi dışarıdan uygulanacak enerji ile aşılamayacak kadar geniştir.

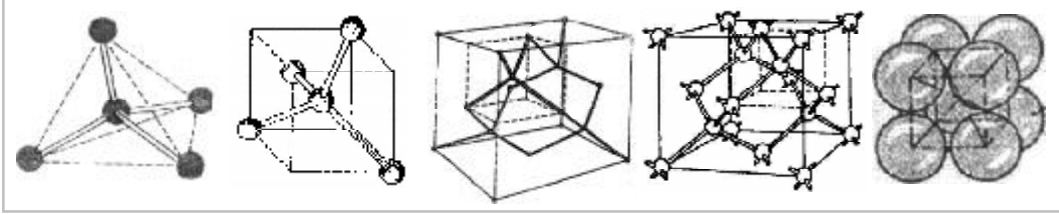


Şekil 2.10: Yalıtkanların son yörüngesinde bulunan elektronlar

Ek bilgi: Yalıtkanların delinmesi

Aslında elektrik akımını hiç geçirmeyen madde yoktur. Yalıtkan olarak bilinen maddeler çok az bir akım geçirirler. (İyi bir yalıtkan olarak kabul edilen polistirenin 1 cm^3 'ünde $6,1 \cdot 10^{10}$ adet serbest

elektron bulunur.) Ancak bu canlılar için zararlı değildir. Yalıtıkana uygulanan gerilim arttıkça geçirdiği akım da artmaya başlar. Belli bir gerilim seviyesinden sonra yalıtıkana tamamen iletken olur. Buna yalıtıkana delinmesi denir. Her yalıtıkana delinmesine yol açan gerilim değeri ayrıdır. Elektrik ve elektronik çalışmalarında kullanılan el takımlarının sap izoleleri incelenecek olursa burada yalıtıkana dayanabileceği son (maksimum) gerilim değeri yazılıdır. Örneğin penselerin sap izolesinde 10.000 V yazar. Bu, plastik yalıtıkana 10.000 V'tan sonra iletken hâle geçebilir anlamı taşır.



Şekil 2.11: Yarı iletkenlerin kristal yapısının üç boyutlu olarak gösterilmesi

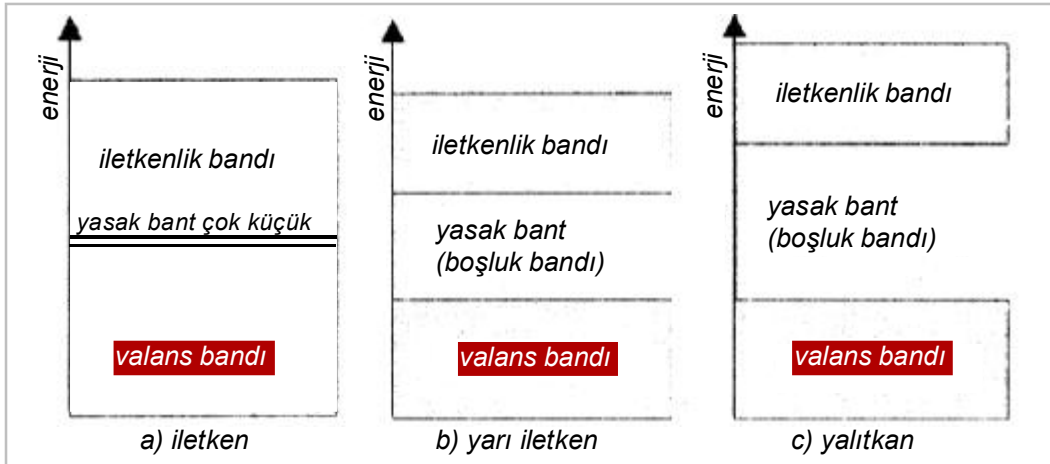
c. Yarı iletkenler: Son yörüngelerinde (valans bandı) dört elektron bulunduran maddelere yarı iletken denir.

Yarı iletkenlerin direnci iletkenlerin direncinden yüksek, yalıtıkanaların direncinden düşüktür. Yani iletkenlik bakımından iletken ve yalıtıkana arasında yer alırlar.

Yarı iletkenlerin 1 cm^3 'ünün iki yüzü arasındaki direnç normal oda sıcaklığında $0,1-50 \Omega$ arasındadır. Bu tip maddelerin dirençleri sıcaklıkla düzgün değişme göstermez.

Yarı iletkenlerin bazıları bileşik, bazıları elementtir. Bileşiklere örnek olarak çinko oksit ile bakır oksiti verebiliriz. Elementlere örnek olarak germanyum ve silisyum (silikon) gösterilebilir.

Yarı iletkenler şekil 2.11'de görüldüğü gibi kristal yapıdadır. Yani atomları belirli bir sistemle sıralanmıştır. Bu yapı tekli (mono) kristal ya da çoklu (poli) kristal olabilmektedir. Silisyum ve germanyum atomlarının son yörüngelerinde dördür elektron vardır. Germanyumun ve silisyumun saf kristalleri oldukça iyi bir yalıtıkana olmalarına karşın, atom yapılarına küçük miktarlarda arsenik, indiyum vb. ekleyerek iletkenlikleri önemli ölçüde değiştirilebilir.



Şekil 2.12: İletken, yarı iletken ve yalıtıkana atomlarında enerji seviyeleri

C. Atomlarda enerji seviyeleri ve bant yapıları

Bir maddeyi elektriksel bakımdan iletken hâle getirebilmek için dışarıdan bir enerji uygulanması gerekir. Bu enerji miktarı üç ayrı enerji bandının oluşmasını sağlar. Bunlar, şekil 2.12'de görülebileceği gibi iletkenlik bandı, yasak bant ve valans bandıdır.

Herhangi bir atomun valans bandındaki elektronların yörüngesinden koparak iletkenlik bandına geçebilmesi için, bu iki bant arasındaki yasak bandı geçmesi gerekir.

a. Yasak bant: Elektron bakımından boş bulunan ve valans bandındaki elektronların iletkenlik bandına geçmesini zorlaştıran (güçleştiren) boşluğa denir.

b. İletkenlik bandı: Valans bandından kopan ve akım taşıyabilecek durumda olan elektronların bulunduğu banttır. Maddeler, elektronlarının bu banda geçmesiyle iletken hâle gelirler.

Maddelerin elektriksel iletkenliği, atomlarının enerji seviyelerine bağlıdır. Her maddenin, içinde bulunan elektronların serbest hâle geçmesi için, o maddeye dışarıdan farklı enerji seviyeleri uygulamak gereklidir.

Saf bir yarı iletken maddede iletkenlik, elektronların bir banttan diğerine geçmesiyle meydana gelir. Yani bir atomun son yörüngesinde bulunan valans elektronun serbest duruma geçmesi, o maddenin iletkenlik kazanması anlamına gelir.

Dışarıdan enerji (ısı, ışık ve benzeri) alan bir elektron bir üst banda (tabakaya) yükselebilir. Daha düşük bir banda geçen elektron ise dışarıya enerji yayar.

Valans bandında bulunan elektronlar çekirdeğin çekim kuvveti nedeniyle yörüngelerinden çıkamazlar. Bunların serbest hâle geçebilmesi için dışarıdan yeter miktarda enerji uygulanması gereklidir. Bu enerjiyi alan elektron, valans bandından çıkıp yasak bölgeyi geçerek iletkenlik bandına ulaşır ve orada akım taşıyıcı olarak görev yapmaya başlar. Elektron yerinden çıktığı zaman arkasında bir oyuk bırakır. Oyuk pozitif yüklü olarak kabul edilir.

İletkenlerin valans bandı enerji seviyesiyle iletkenlik bandı enerji seviyesi aynıdır. Bu nedenle iletkenlerde küçük bir enerji uygulanmasıyla pek çok valans elektron serbest duruma geçebilmektedir. Başka bir anlatımla, iletkenlerde yasak bant yok denecek kadar azdır. Bu sayede elektronlar kolaylıkla valans bandından iletkenlik bandına atlayabilirler. Şekil 2.12-a'ya bakınız.

Yarı iletkenlerin valans bandıyla iletkenlik bandı arasında şekil 2.12-b'de görüldüğü gibi belirli bir boşluk bandı vardır. Bundan dolayı yarı iletkenlerin iletkenlik oluşturabilmesi için, valans elektronlarına boşluk bandı kadar ek enerji uygulamak gereklidir.

Yalıtkanlarda ise şekil 2.12-c'de görüldüğü gibi oldukça büyük bir boşluk bandı vardır. Bundan dolayı elektronları valans bandından iletkenlik bandına geçirebilmek için çok yüksek değerli enerjiye gerek vardır.

c. Atomların yörüngelerindeki elektron sayıları: 20. yüzyılın başlarında **Bohr** ve diğer bilginler tarafından yapılan çalışmalar elektron yörüngelerinin katmanlar hâlinde oluştuğunu göstermiştir.

Başka bir deyişle, elektronlar yörüğe (orbital, kabuk) adı verilen yollar üzerinde dönerler. Bu yörüngelere K, L, M, N, O, P, Q adı verilir ve yörüngeler çekirden dışarıya doğru 1, 2, 3, ... olarak numaralanır. Her yörüngede en çok kaç elektron bulunduğu katman sayısının karesinin 2 ile çarpılmasıyla bulunur.

Yani her katmanda bulunabilen en fazla elektron sayısı $2n^2$ denklemiyle bulunur ($n = 1, 2, 3 \dots$).

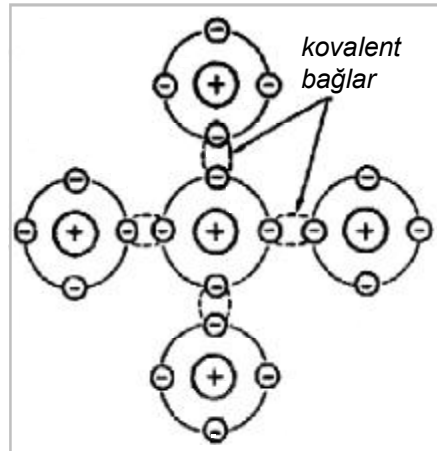
Atomların kabuklarındaki maksimum elektron sayıları şöyledir:

K: 2, L: 8, M: 18, N: 32, O: 50, P: 72, Q: 98

Örnek: Atomun ikinci (L) kabuğunda bulunabilecek maksimum elektron sayısını hesaplayınız.

Çözüm: L kabuğunda bulunabilen maksimum elektron sayısı $= 2 \cdot n^2 = 2 \cdot 2^2 = 2 \cdot 4 = 8$

ç. Atomlarda kovalent (ikili) bağ: Kristal özellikli maddelerin içinde bulunan atomların elektronları dizilirken kimyasal olarak 8'li bağlarla birbirine bağlanırlar. Yani kovalent yapının oluşması için 8 elektrona gerek vardır. Ve bu işlem yarı iletken atomlarının son yörüngelerindeki



Şekil 2.13: Yarı iletkenlerde kovalent bağların gösterilişi

elektronların karşılıklı kullanımıyla gerçekleşir. Şekil 2.13'e bakınız.

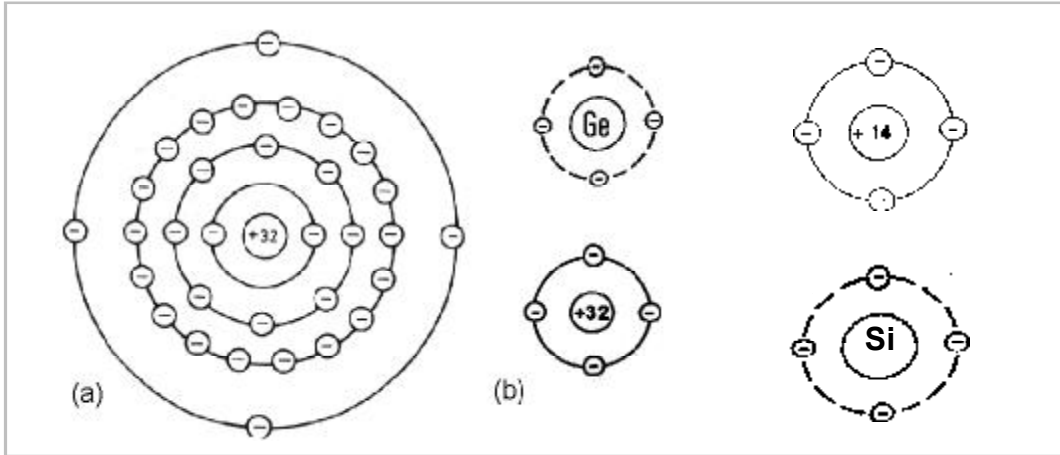
Silisyumun (ya da germanyumun) dört elektronu komşu silisyum atomlarının elektronlarını ortak olarak kullanır. Ortak kullanımdaki elektronlar hem kendi hem de komşu atomun çevresinde döner. Buna kovalent bağ denir.

Silisyum ya da germanyum kristali ısıtılır ya da elektrik akımının etkisine maruz bırakılırsa, kovalent bağların çekim kuvvetini yenen çok az sayıdaki elektron serbest hâle geçer. Halbuki aynı uygulama iletkenlere (örneğin bakıra) yapılırsa sayılamayacak derecede çok sayıda elektron serbest hâle geçer.

Ç. Saf (katkısız) germanyum ve silisyumun kristal yapıları

Elektronik devre elemanlarının büyük bir bölümü silisyum ve germanyum elementlerinden üretilmektedir.

Yaklaşık yarım asır önce başlayan yarı iletken temelli devre elemanı üretiminde ilk zamanlar germanyum maddesi çok yaygındı. Günümüzde ise bu madde az kullanılmaktadır. Çünkü germanyum oda sıcaklığında bile çok sayıda elektronunu serbest bırakmakta, bu ise sızıntı akımlarının çoğalmasına yol açmaktadır. Sıcaklık arttıkça ise germanyumdaki iletkenlik iyice artmakta ve bu madde iletken gibi davranmaya başlamaktadır. Silisyum maddesi ise oda sıcaklığında tam bir yalıtkan gibi davranmaktadır. İşte bu nedenle diyot, transistör, tristör, entegre vb. yapımında silisyum maddesi daha çok kullanılmaktadır.



Şekil 2.14: a) Germanyum atomunun yapısı
b) Germanyum atomunun basitçe gösterilişi

Şekil 2.15: Silisyum atomunun basitçe gösterilişi

Doğadan elde edilen bu iki madde saflaştırılarak (*başka maddelerden arındırılarak*) monokristal hâline getirildikten sonra devre elemanları üretiminde kullanılmaktadır. Kimyasal işlemlerle yabancı maddelerden arındırılan ve monokristal hâle getirilen germanyum ve silisyumun iç yapısı incelenecek olursa şekil 2.11'de görülen kübik kafes sistemi karşımıza çıkar. Şekilde kürecikler atomları, aralarındaki çubuk yollar ise kovalent bağları göstermektedir.

Germanyum atomunda şekil 2.14'te görüldüğü gibi 32 elektron (K kabuğunda 2, L kabuğunda 8, M kabuğunda 18 ve N kabuğunda 4) bulunur. Elektronik ile ilgili anlatımlarda germanyumun sadece en son yörüngesindeki dört elektrondan bahsedildiğinden, bu atomun iç yapısı basit olarak şekil 2.14-b'deki gibi gösterilir. Silisyum atomunda ise 14 elektron, (K kabuğunda 2, L kabuğunda 8 ve M kabuğunda 4 elektron) vardır. Şekil 2.15'te 14 elektronlu silisyum atomunun basit gösterilişi verilmiştir.

Atomların sadece en dış yörüngesinde bulunan elektronlarda elektriksel olaylar meydana geldiğinden, anlatımlarda yalnızca en dış yörüngeden söz edilir. Diğer (iç) yörüngelerdeki elektronlar çekirdek tarafından çok sıkı olarak çekildiklerinden, buldukları yörüngeden ayrılamazlar.

Kristal yapıya sahip olmayan maddelerin elektronları kendi atom çekirdeği etrafında döner. Ancak germanyum, silisyum gibi kristal yapıya sahip maddelerin son yörünge (valans) elektronları komşu atomların her bir valans elektronlarıyla adeta bağılıymış gibi birlikte dönerler. Bunlara "ortak valans

çiftleri” denir. Komşu atomlar arasındaki ortak valans bağları atomlar arasında bir çekme kuvveti yaratır. Ancak komşu atom çekirdeklerindeki artı (+) yükler arasındaki itme kuvvetleri bu çekim gücüne karşı koyar. Bu sayede kristal madde içinde elektriksel denge kurulur.

Kovalent bağ içinde olan germanyum ya da silisyum maddesinde elektrik akımı hareketini başlatmak için dışardan bir enerji uygulamak gereklidir. Çünkü normalde bu maddeler yalıtkan gibi davranırlar.

D. Saf olmayan (katkılı) germanyum ve silisyumun kristal yapısı

Yarı iletkenlere başka madde katıldığı zaman katılan bu elementlerin elektriksel özellikleri değişmektedir.

Başka bir deyişle, elektronik devrelerin üretilmesinde kullanılan P ve N tipi yarı iletkenler germanyum ya da silisyuma belli oranlarda yabancı madde katılmasıyla oluşturulmaktadır.

Son yörüngesinde (valans yörünge) 3 elektron bulunduran maddeler kullanıldığında P tipi bir yarı iletken oluşurken, 5 elektron bulunduran maddeler kullanıldığında ise N tipi yarı iletken elde edilmektedir.

Son yörüngesinde üç valans elektronu bulunan maddeler şunlardır: İndiyum, galyum, alüminyum, bor.

Son yörüngesinde beş valans elektronu bulunan maddeler ise şunlardır: Arsenik, antimuan, fosfor.

a. N (negatif) tipi yarı iletkenin oluşumu: Son yörüngesinde 4 elektron bulunduran silisyum ya da germanyumun içine (yaklaşık olarak 100 milyonda 1 oranında), son yörüngesinde 5 elektron bulunduran arsenik (ya da fosfor, antimuan) maddesi karıştırılırsa, arseniğin 4 elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar. Bir elektron ise boşta kalır. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi serbest hâle geçen beşinci arsenik elektronu, kristal yapıdaki madde içinde dolaşır. İşte elektron yönünden zengin olan bu karışıma **N tipi yarı iletken** denir.

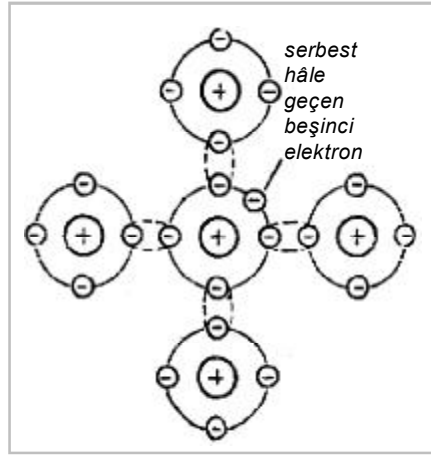
Kristal yapı içine katılan 5 elektronlu madde bir elektronunu yitirdiği için elektriksel olarak pozitif (+) yüklü iyon duruma geçer. Bu elektriksel durum basit olarak gösterilirken, çekirdek (+) yüklü, serbest hâle dolaşan elektronlar ise (-) yüklü olarak ifade edilir.

N tipi yarı iletkenin oluşturulmasında kullanılan maddeler elektron çoğalmasına neden olduklarından, bunlara verici (donör) adı verilir.

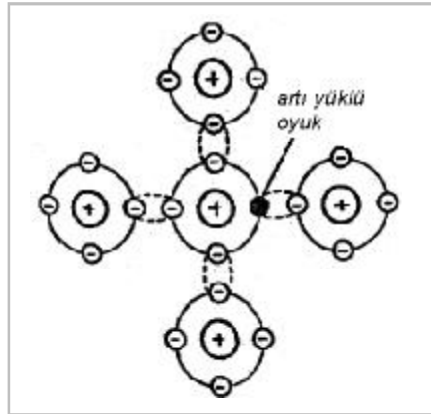
N tipi yarı iletken hâline gelmiş olan maddenin serbest hâle geçmiş elektronları çok olduğu için bunlara çoğunluk taşıyıcılar denir. Yani, N tipi maddede elektrik akımının taşınması işinde çoğunluk olan elektronlar görev yapar.

b. P (pozitif) tipi yarı iletkenin oluşumu: Son yörüngesinde 4 elektronu bulunan silisyum ya da germanyumun içine (yaklaşık 100 milyonda 1 oranında) son yörüngesinde 3 elektron bulunan indiyum (ya da galyum, bor, alüminyum) karıştırılırsa, indiyumun 3 elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar. Şekil 2.17'de görüldüğü gibi silisyum ya da germanyumun elektronlarından birisi ise bağ yapacak indiyum elektronu bulamaz ve dışarıdan elektron kapmak ister.

İşte elektron yönünden fakir olan bu karışım elektriksel olarak pozitif yüklü iyon kabul edilir. Elektronu ihtiyaç olan yer bir oyuk (*hole*, delik, boşluk) ile ifade edilir ve bu pozitif yüklü kabul



Şekil 2.16: N tipi yarı iletkenin oluşumu



Şekil 2.17: P tipi yarı iletkenin oluşumu

edilir. Çünkü oyuk her an elektron çekmeye uygun durumdadır. Oyuk yönünden zengin olan bu tip karışıma da **P tipi yarı iletken** denir.

P tipi maddenin durumu basitçe gösterileceği zaman, çekirdek eksi (-) yüklü, oyuklar ise artı (+) yüklü olarak ifade edilir.

P tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler (indiyum, galyum, bor) elektron azalmasına neden olduklarından, bunlara alıcı (akseptor, acceptor) adı verilir.

E. N ve P tipi yarı iletkenlerde elektron ve oyuk hareketleri

Dışardan madde katkısı yapılarak elde edilen P ve N tipi yarı iletkenler tek başlarına kullanıldıklarında akımı iki yönde de taşıyabilirler. Bu özellik bir işe yaramaz. Ancak, yarı iletkenin elektrik akımına karşı gösterdiği tepkiyi öğrenebilmek için şimdi bunları inceleyelim.

a. N tipi yarı iletkenlerde eksi (-) yüklü elektronların hareketi: N tipi yarı iletkenlerde elektronlar çoğunluk taşıyıcı durumundayken, çok az sayıda olan oyuklar ise azınlık taşıyıcısı durumundadır. Şekil 2.18'de verilen bağlantı yapıldıktan sonra N tipi yarı iletkene DC gerilim uygulanırsa, serbest hâldeki elektronlar, gerilim kaynağının (+) ucunun çekme kuvveti ve (-) ucunun da itme kuvvetiyle, kaynağın (+) ucuna doğru akar. Üreticinin uçları ters çevrilerek devre gözlenecek olursa elektronların bir öncekinin tersi yönde aktığı görülür.

Not: N tipi yarı iletken içinde çok az sayıda oyuk bulunması maddenin tam saf olmamasından kaynaklanır. Bunun pratikte fazla bir zararı yoktur.

b. P tipi yarı iletkenlerde artı (+) yüklü oyukların hareketi: P tipi yarı iletkenlerde oyuklar çoğunluk taşıyıcı durumundayken, çok az sayıda olan elektronlar ise azınlık taşıyıcısı durumundadır.

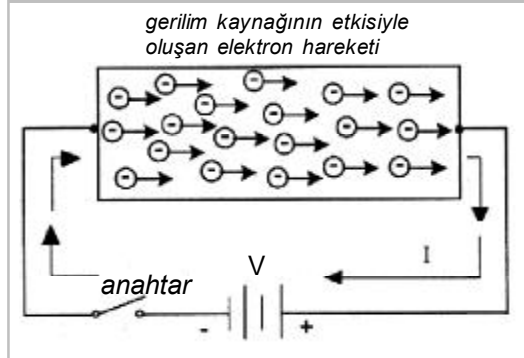
Şekil 2.19'da verilen bağlantı yapıldıktan sonra P tipi yarı iletkene DC gerilim uygulanırsa, oyuklar gerilim kaynağının eksi (-) ucunun çekme kuvveti ve artı (+) ucunun da itme kuvvetiyle, kaynağın eksi (-) ucuna doğru akar. Üreticinin uçları ters yönlü çevrilerek devre gözlenecek olursa oyukların bir öncekinin tersi yönde aktığı görülür.

Not: P tipi yarı iletken içinde çok az sayıda serbest elektron bulunması, maddenin tam saf olmamasından kaynaklanan bir durumdur. Bunun pratik uygulamalarda zararı yoktur.

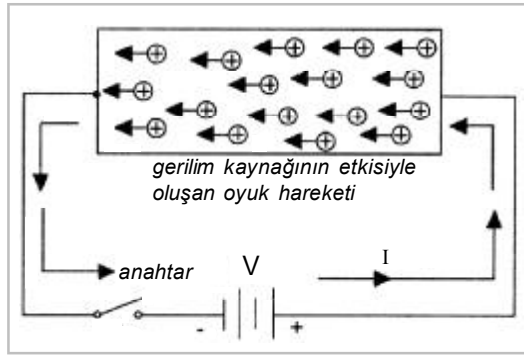
Dikkat edilirse, P ve N tipi yarı iletkenlerin tek başına her iki yönde de akım geçişine izin verdiği görülür. Bunun uygulamada hiçbir yararı yoktur. O nedenle P ve N tipi yarı iletkenler tek başına değil, çeşitli şekillerde biraraya getirilerek devre elemanı yapımında kullanılır.

P tipi maddede az sayıda olan elektronlarla, N tipi maddede bulunan az sayıdaki oyuklara azınlık akım taşıyıcıları adı verilir.

Yarı iletken üretim teknikleri geliştikçe % 100 saflıkta germanyum ve silisyum elde etmek mümkün hâle gelmiştir. Ancak yine de yarı iletken devre elemanları bağlı oldukları devrelerde çalışırken ısı, ışık, aşırı yük gibi etkenlerle azınlık olan akım taşıyıcılarında artış olmaktadır.

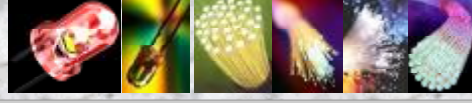


Şekil 2.18: N tipi yarı iletkenlerde elektron hareketi



Şekil 2.19: P tipi yarı iletkenlerde oyuk hareketi

Bölüm 3: Diyotlar

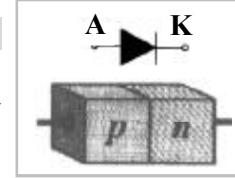


A. Diyotların temel yapısı ve tanımı

P ve N tipi iki yarı iletkenin birleştirilmesinden oluşan elemana **diyot** (*diod, diot, diyod, diode*) denir. Uygulamada kullanılan diyotlar temelde iki gruba ayrılır. Bunlar,

I. Doğrultmaç (*redresör, rectefier*) diyotları,

II. Sinyal diyotlarıdır.



Şekil 3.1: Diyodun sembolü ve yapısı

Doğrultmaç diyotları güç kaynaklarında, AC'yi DC'ye dönüştürmede kullanılır. Bunlar yüksek akımları taşıyabilirler ve yüksek ters tepe gerilimlerine dayanabilirler.

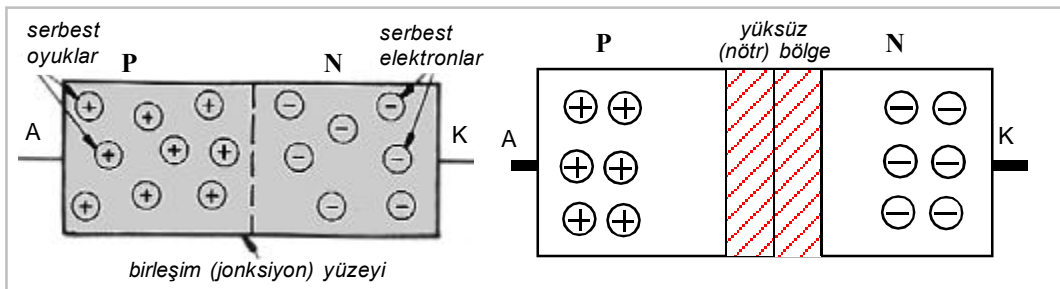
Sinyal diyotları ise lojik (sayısal) devre elemanı ya da radyo frekans (RF) devrelerinde demodülatör (sinyal ayırıcı) olarak kullanılırlar. Başka bir deyişle sinyal diyotları, yüksek frekanslarda çalışmaya duyarlı olmalarının yanı sıra, düşük gerilim ve akımlarda da çalışabilir.

Doğrultmaç ve sinyal diyotları silisyum ve germanyum gibi yarı iletken maddeler kullanılarak yapılır.

Germanyumdan yapılan diyotlardan akım geçirildiğinde üzerlerinde yaklaşık 0,2 voltluk bir gerilim düşümü olurken, silisyumdan yapılmış diyotlarda bu değer 0,6-0,7 V dolayındadır. İşte bu fark nedeniyle germanyum maddesi daha çok sinyal diyodu yapımında kullanılmaktadır.

P ve N tipi maddeler birleştirilerek diyodun üretilmesi: Diyotlar, P ve N tipi yarı iletken maddelerin çeşitli şekilde birleştirilmesiyle üretilmektedir. Şimdi P-N birleşiminin özelliklerini inceleyelim.

a. Polarmasız P-N birleşimi: P ve N tipi yarı iletken madde kimyasal yolla birleştirildiğinde P-N birleşimli kristal diyot elde edilir. Şekil 3.2'de P-N tipi maddelerin birleştirilmesiyle oluşan diyodun yapısı verilmiştir. P ve N tipi iki madde birleştirildiği zaman birleşim yüzeyinin yakınında bulunan elektron ve oyuklar birbirleriyle birleşmeye başlarlar. Birleşmeler sonucunda yüzey civarında nötr (yüksüz) atomlar oluşur.



Şekil 3.2: Polarmasız P-N birleşiminde oyuk ve elektronların davranışı

Şekil 3.3: Polarmasız P-N birleşiminde gerilim settinin oluşumu

P-N maddelerinin birbirine yakın olan kısımlarında oluşan elektron oyuk birleşimleri şekil 3.3'te taralı olarak gösterilen gerilim setti bölgesini ortaya çıkarır. Taralı bölge P-N maddelerinde bulunan tüm elektron ve oyukların birbiriyle birleşmesini önler.

Elektron ve oyukların yer değiştirmesini engelleyen bölgeye gerilim setti (*depletion layer*) denir. Settin kalınlığı 1 mikron kadar olup 0,2-0,7 V arasında bir gerilim uygulandığı zaman yıkılır (aşılır).

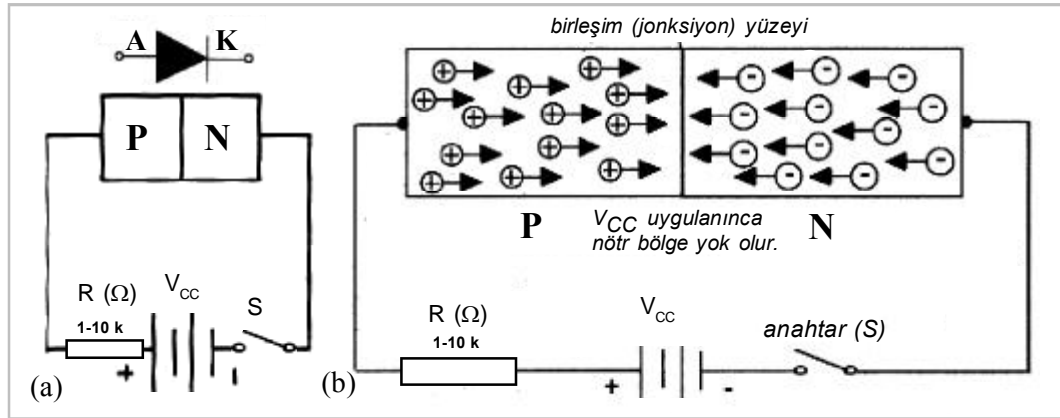
P-N birleşiminde P maddesinin sağ bölümü elektron kazandığı için eksi (-) yüklü olur. N maddesinin sol bölümü ise oyuk kazandığı için artı (+) yüklü duruma geçer. İki yüzey arasındaki bu küçük

potansiyel fark (gerilim), oyuk ve elektronların daha çok yer değiştirmesini önler. Oluşan gerilim setti dışardan uygulanan gerilimle yok edilebilir.

İşte P ve N tipi maddelerin birleştirilmesiyle elde edilen devre elemanlarına **diyot** denir. Günümüzde katkılama oranları değiştirilerek P-N temeli üzerine kurulu bir çok çeşitte diyot yapılmaktadır.

Not: P-N maddelerinin birleşiminden oluşan diyotlarda akım aslında eksiden artıya doğru olmaktadır. Ancak eskiden akımın artıdaneksiye doğru gittiği kabul edildiğinden günümüzde de bu yaklaşım benimsenmektedir. Bazı kitaplarda yapılan anlatımlar elektron hareketini temel almaktadır. Ancak kaynak eserlerin çoğunluğu klasik (eski) yaklaşımı uygun gördüğünden bu kitapta da klasik yaklaşıma göre anlatım yolu seçilmiştir.

b. Polarmalı P-N birleşimi: Polarmasız P-N birleşiminin birleşim yüzeyinde karşılıklı yük dengesi olduğundan akım geçmez. P-N birleşimine doğru yönde (*forward*) ve ters yönde (*reverse*) gerilim uygulandığında bazı elektriksel olaylar ortaya çıkar. Şimdi bu durumları inceleyelim.



Şekil 3.4: P ve N tipi yarı iletken maddelerin birleşiminden oluşan kristal diyodun doğru polarmada çalıştırılması

1. P-N birleşimine doğru yönde akım uygulama (doğru polarma): Şekil 3.4-b'de görüldüğü gibi V_{CC} üreticinin artı (+) ucundan gelen yükler (oyuklar) P tipi maddenin artı (+) yüklerini birleşim yüzeyine doğru iter. Üreticinin eksi (-) ucundan gelen elektronlar ise N tipi maddenin eksi (-) yüklerini birleşim yüzeyine iter.

Artı (+) ve eksi (-) yükler birbirini çekeceğinden elektronlar oyuklara doğru hareket ederler. Yani elektronlar, P tipi maddeye geçerler. Pili artı (+) ucu P tipi maddeye geçmiş olan eksi (-) yüklü elektronları kendine çeker. Bu şekilde P-N birleşiminde elektron akışı başlar. N tipi maddede bulunan her elektron yerinden çıktığı zaman buralarda oyuklar oluşur. Oyuklar artı (+) yüklü kabul edildiğinden, pilin eksi (-) ucu tarafından çekilirler. Görüldüğü üzere elektron akışı eksi (-) uçtan artı (+) uca doğru olmaktadır.

Ancak, eskiden akımın artıdaneksiye doğru gittiği sanılarak (konvansiyonel, klasik yaklaşım) tüm teorik anlatımlar buna göre yapılmıştır. Günümüzde de klasik yaklaşım benimsenmektedir. Yapılan kabulün uygulamada hiç bir sakıncası yoktur.

2. P-N birleşimine ters yönde akım uygulama (ters polarma): Şekil 3.5'te görüldüğü gibi V_{CC} adı verilen üreticinin eksi (-) ucu P tipi maddenin oyuklarını çeker. Üreticinin artı (+) ucu ise N tipi maddenin elektronlarını kendine çeker. Birleşme yüzeyinde elektron ve oyuk kalmaz. Yani birleşim bölgesi artı (+) ile eksi (-) yük bakımından fakirleşir.

Bu yaklaşıma göre ters polarmada diyot akım geçirmez. Ancak kullanılan maddelerin tam saflıkta olmaması nedeniyle çok az bir sızıntı akımı geçer. Mikroamper düzeyinde olan bu akım yok sayılır (ihmal edilir).

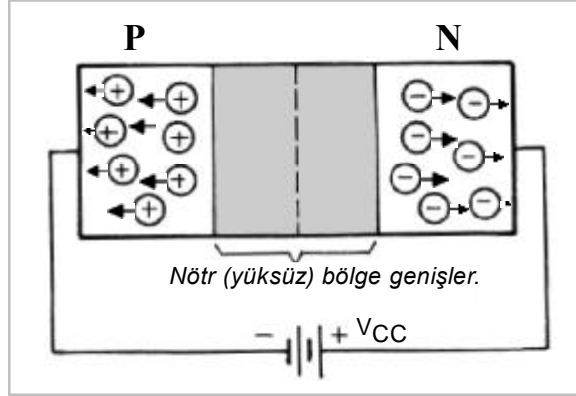
Ters polarize edilen diyotlara uygulanan gerilim yükseltirse eleman delinebilir (bozulur).

Örneğin, 1N4001 adlı diyodun ters yönde uygulanan gerilime dayanabileceği üst değer 50 voltur. Yani bu diyot 50 voltan fazla ters gerilimde delinerek özelliğini kaybeder.

Diyodun delinmesi olayına çığ etkisi adı verilir. Bu etkinin oluşumu kısaca şöyle açıklanabilir: P tipi yarı iletkenin iletim bandındaki bir azınlık elektronu üreticiden yeterli enerjiyi alınca diyodun pozitif ucuna doğru gider. Bu elektron hareket edince bir atoma çarpar ve yeterli enerjiyi sağlayarak bir valans elektronun yörüngesinden çıkıp iletim bandına geçmesini sağlar. Böylece iletim bandındaki elektron sayısı iki olur. Yörüngelerinden çıkan bu elektronlar valans

elektronlara çarparak herbir elektronu iletim bandına çıkarırlar. Böylece iletim bandında dört elektron olur. Bunlar dört valans elektronunu daha iletim bandına sokarlar. Ters polarma geriliminin yüksekliğine göre harekete geçen elektron sayısı hızla artarak ters yönde geçen akımın çoğalmasına neden olur.

Diyotların bir çoğu ters polarmanın aşırı artırılması durumunda bozulacağından bu noktada (dayanma gerilimine yakın yerde) çalıştırılmazlar. Yani 50 volta kadar olan ters gerilimlere dayanabilen 1N4001 adlı diyot, en çok 40 voltluk bir devrede kullanılır. 50 voltun üzerindeki bir gerilim altında çalışan devre söz konusu ise 1N4002 ya da başka bir model diyot seçilir.



Şekil 3.5: P ve N tipi yarı iletken maddelerin birleşiminden oluşan kristal diyodun ters polarlama çalıştırılması

B. P-N yüzey birleşmeli diyot çeşitleri ve yapıları

Elektronik alanında hızlı bir gelişme söz konusudur. Sürekli AR-GE (araştırma-geliştirme) yapan büyük firmalar her geçen gün yeni özelliklere sahip diyot üretmektedirler. Bu bölümde, uygulamada en yaygın olarak kullanılan diyotların yapısı, çalışması ve kullanım alanları açıklanacaktır.

a. Kristal diyotların elektriksel karakteristiklerinin P-N yüzey birleşmeli diyotlarla açıklanması: Kristal diyotlar yapı olarak P ve N tipi iki yarı iletkenin birleşiminden oluşmuş elemanlardır. Uygulamada en çok AC'yi DC'ye çevirme (doğrultma) işlerinde kullanılır.

Doğru polarlama, germanyumdan yapılan doğrultmaç diyotları yaklaşık 0,2 - 0,3 voltta, silisyumdan yapılanları ise yaklaşık 0,6-0,7 voltta iletme geçer. Yani atom yapısının farklılığından ötürü germanyum ile silisyum diyodun gerilim setti değerleri (iletme geçme voltajları) farklı olmaktadır.

b. Doğrultmaç diyotlarının doğru ve ters polarmadaki karakteristik eğrileri: Şekil 3.6'da görüldüğü üzere doğru polarlama belli bir eşik geriliminden sonra diyottan geçen akım artmaktadır. Ters polarlama ise diyot ters dayanma gerilimine kadar akım geçirmez. Uygulanan ters yönlü polarma gerilimi artırılacak olursa eleman delinir (özelliğini kaybeder). Uygulamada kullanılan her diyodun ters dayanma (delinme) gerilim değeri farklıdır.

c. P-N birleşimli doğrultmaç diyotların doğru ve ters polarma karakteristik eğrilerinin çıkarılması: Şekil 3.7'de verilen devre ile doğru yön karakteristik eğrisini çıkarmak için potun değeri yavaş yavaş değiştirilir. Bu işlem sırasında ampermetre ve voltmetrede görülen değerler bir kaç kez kaydedilir.

Daha sonra voltmetreden alınan değerler yatay eksene, ampermetreden alınan değerler ise dikey eksene işaretlenerek doğru polarma karakteristik eğrisi çizilir.

Şekil 3.7'de verilen devre ile ters yön karakteristik eğrisini çıkarabilmek için öncelikle, deneyde kullanılan diyot yerinden sökülerek ters çevrilir. Daha sonra potun mili çevrilerek diyoda uygulanan gerilim sıfırdan itibaren artırılırken ölçü aletlerinden okunan değerler bir kaç kez kaydedilir. Ardından voltmetreden alınan değerler yatay eksene ampermetreden alınan değerler dikey eksene işaretlenerek

ters polarma karakteristik eğrisi çizilir.

Diyodu ters yönde polarize ettiğimizde uygulanan gerilim belli bir seviyeye ulaşıncaya kadar çok küçük bir akım geçişinin olduğu görülür. Ters yönde uygulanan gerilimin değeri diyodun dayanabileceği sınır değer üstüne çıkarılırsa eleman bozulur (delinir).

Ters bağlantı durumunda belli bir gerilimden sonra diyodun yalıtkanlık özelliğini kaybederek iletken hâle geçmesinin (delinmesinin) nedeni şöyle açıklanabilir: Diyoda uygulanan gerilimin büyümesiyle (ya da diyodun çalışma sıcaklığının artmasıyla), serbest elektronlara verilen enerji artmakta ve bu elektronların çarpma etkisiyle de pek çok elektron valans bandından iletkenlik bandına atlayarak elemandan geçen akımın aşırı derecede artmasına sebep olmaktadır.

ç. İdeal diyot: Yukarıda, uygulamada kullanılan doğrultmaç diyotlarının doğru ve ters yönlü polarma gerilimlerine karşı davranışlarını açıkladık.

Bu açıklamaların sonunda şu yargıya ulaşabiliriz: Diyodun doğru polarmasında 0,2 ile 0,7 voltluk gerilim değerinden sonra akım geçişi olmaktadır. Bunun sebebi ise, diyodun yapımında kullanılan maddelerin birleşim yüzeyinde oluşan gerilim settidir.

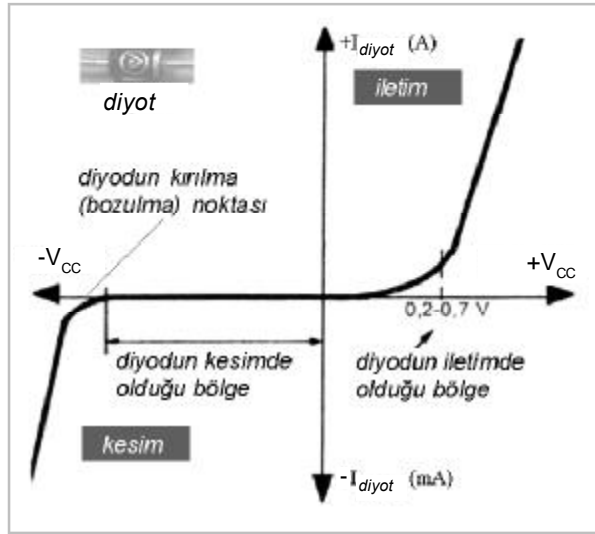
Eğer diyot yapımında kullanılan maddelerin elektronları kolayca hareket edebilseydi diyot doğru polarize iken hemen iletim söz konusu olurdu. Ancak bu gerçekte mümkün değildir. Yani uygulamada kullanılan diyotların doğru ve ters polarma karakteristik eğrileri şekil 3.8'de verilen ideal diyot karakteristiğinden farklıdır.

İdeal diyot, bir elektrik devresindeki anahtar gibi düşünülebilir. Diyodun doğru polarılması **kapalı** anahtarı, ters polarılması ise **açık** anahtarı ifade eder.

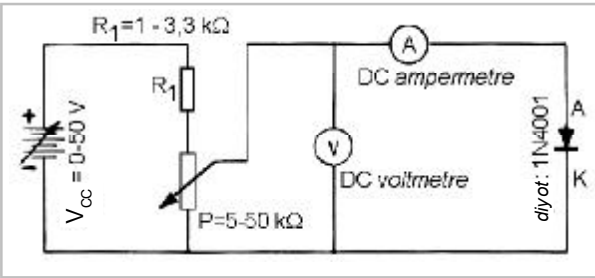
Diyotlarla ilgili hesaplamalarda bu elemanların belli bir gerilimden sonra iletme geçme durumu göz önüne alınarak diyot, şekil 3.9'da görüldüğü gibi içinde ters bağlı bir DC üretici varmış gibi düşünülür. Bu durumu kısaca açıklayalım: Şekil 3.10'da görüldüğü gibi 12 voltluk bir üretece silisyum diyot (1N4001) ile bir flamanlı lambayı seri olarak bağlayalım ve lamba üzerinde düşen gerilimi ölçelim. Bu durumda lamba üzerinde yaklaşık 11,4 V görülecektir. Buradan da anlaşılacağı gibi 0,6 voltluk gerilim diyodun üzerinde düşmektedir.

Seri bağlı devrenin matematiksel denklemini:

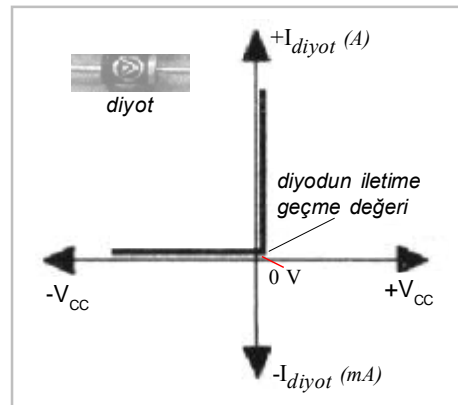
$$V_{CC} = V_{diyot} + V_{lamba} = 0,6 + 11,4 = 12 \text{ V şeklinde yazabiliriz.}$$



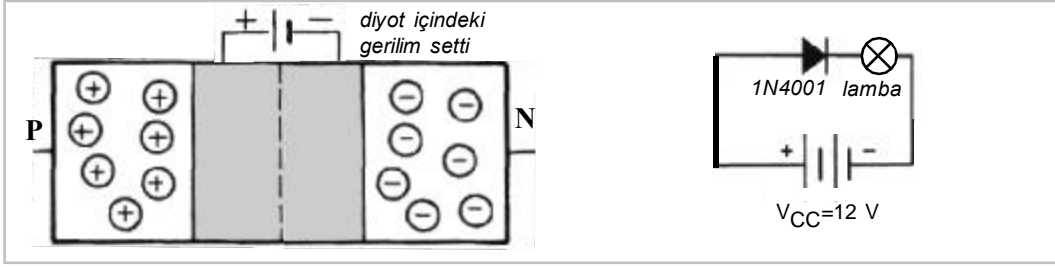
Şekil 3.6: Germanyum ve silisyum diyotların düz ve ters polarma durumundaki gerçek elektriksel karakteristik eğrileri



Şekil 3.7: Diyotların doğru ve ters polarma durumundaki elektriksel karakteristiklerinin çıkarılmasında kullanılan devre



Şekil 3.8: İdeal diyotun doğru ve ters polarma grafiği



Şekil 3.9: Diyotların iletme geçme geriliminin ana üretece (V_{CC}) ters bağlı pil gibi gösterilişi

Şekil 3.10: Diyot ile lambanın seri bağlanması

Özetlersek

I. Diyotlar doğru polarıldığında iletme geçme ancak belli bir gerilim değerinden sonra gerçekleşmektedir.

II. Eşik gerilimi değeri diyodun üretildiği maddeye göre değişmektedir. Örneğin silisyumdan yapılmış diyotların iletme geçmesi için gereken eşik gerilimi 0,6-0,7 voltur.

III. Eşik gerilimi diyodun çalışma sıcaklığına bağlı olarak bir miktar değişmektedir. Örneğin germanyumdan yapılmış dedektör diyodu, 25 °C'ta 0,2 voltta, 60 °C'ta ise 0,1 voltta iletme geçmektedir. Silisyum doğrultmaç diyotları ise, -50 °C'ta 0,8 voltta, 25 °C'ta 0,65 voltta, 100 °C'ta ise 0,5 voltta iletme geçmektedir.

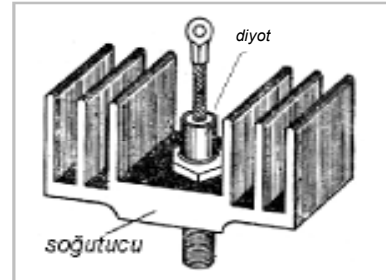
IV. Diyotlar ters polarıldığında sızıntı akımının miktarı, sıcaklığa, uygulanan gerilime, yarı iletkenin cinsine göre değişmektedir. Örneğin, germanyum dedektör diyodundan 5 volt altında 25 °C sıcaklıkta 0,8 μ A, 60 °C'ta 1,8 μ A sızıntı akımı geçtiği görülür. 1N4001 diyodundan ise 50 voltluk ters polarmada, 50 °C'ta 5 μ A, 100 °C'ta 50 mA sızıntı akımının geçtiği görülür.

d. Diyotlarda çalışma sıcaklığı: Her elektronik devre elemanında olduğu gibi diyotlarda da ortam sıcaklığı çok önemlidir. Yani, diyodun sıcaklığı arttıkça karakteristik özelliklerde de değişimler olmaktadır. Bu nedenle, germanyumdan yapılmış diyotların sıcaklığı 90 °C'ı, silisyum diyotların sıcaklığı ise 175 °C'ı geçmemelidir.

e. Diyotların soğutulması: Diyotların gövde sıcaklığının yükselmesine, elemanın içinde doğan ısı neden olur. Diyotta oluşan ısı elemandan geçen akımla doğru orantılı olarak artar.

Bir diyot önerilen akım değerinde güvenli olarak çalışır. Yani gövde sıcaklığının değeri tehlikeli düzeye çıkmaz. Diyottan yüksek akım geçirilirse sıcaklık yükselir.

Diyotlar, şekil 3.11'de görüldüğü gibi alüminyum plaka, vantilatör (*fan*) vb. ile soğutulursa, yüksek akımlardaki dayanıklılıkları artar.



Şekil 3.11: Diyotların soğutulmasında kullanılan alüminyum soğutucu

f. Yüksek güçlü diyotlar: Yüksek akımlı DC elde etmek amacıyla kullanılan bu tip diyotların soğutucusuyla birlikte kullanılması gerekir. Uygulamada 4000 ampere kadar akım taşıyabilen ve 4000 volta kadar çalışma gerilimli olan diyotlar mevcuttur.

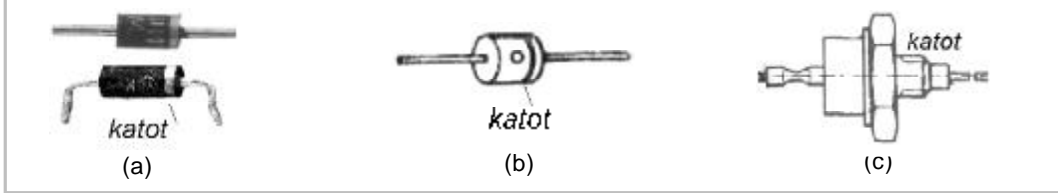
Resim 3.1'de görülen yüksek güçlü diyotlar, kaynak makineleri, akü şarj cihazları, elektroliz sistemleri vb. yerlerde kullanılır.

g. Diyotların gövde şekilleri: Diyotlarda kılıf maddesi olarak cam, plastik ya da metal kullanılır. Eğer diyodun gövdesinde gri çizgi şeklinde bir bant (şekil 3.12-a), nokta biçiminde bir çıkıntı (şekil 3.12-b) bulunuyorsa bunlar katodu belirtir. Metal gövdeli diyotlarda (şekil 3.12-c) ise metal kılıf katot ile bağlı (irtibatlı) durumdadır.

Basit doğrultmaç devrelerinde en çok 1N400... kodlu diyotlar karşımıza çıkar. Bunlar 1 amperlidir.



Resim 3.1: Çeşitli yüksek güçlü diyotlar



Şekil 3.12: Çeşitli gövde biçimlerinde üretilmiş diyotlar

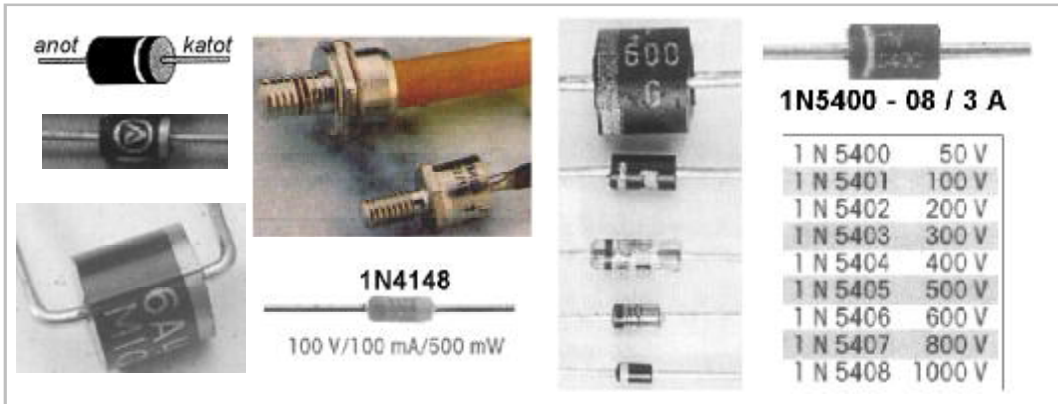
Maksimum çalışma voltajları (ters polarma delinme gerilimi) ise şu şekildedir: 1N4001: 50 V, 1N4002: 100 V, 1N4003: 200 V, 1N4004: 400V, 1N4005: 600 V, 1N4006: 800 V, 1N4007: 1000 V

1N 400.. serisi diyotların akımı yukarıda da belirtildiği gibi 1 A'dır. Ancak bu akım en yüksek (maksimum) değeri gösterir. Uygulamada diyodun uzun süre görev yapabilmesi için en fazla 0,5-0,7 amperlik akım geçecek şekilde devre tasarlanır. Daha yüksek akımlı devre kurulmak istenirse kataloglara bakılarak uygun diyot seçilir. (Örneğin 1 amperden fazla akımlı doğrultmaç devresi yapılıırken 3 A taşıyabilen 1N5400 seçilebilir.)

Bazı elektronik devre şemalarında diyot ismi olarak **DUS**, **DUG** rumuzları (kısaltmaları) karşımıza çıkar. Bu durumda şu diyotlar kullanılabilir:

DUS: BA127, BA217, BA218, BA222, BA317, BA318, BAX13, BAY61, 1N904, 1N4148.

DUG: OA85, OA91, OA95, AA116.



Resim 3.2: Uygulamada kullanılan çeşitli doğrultmaç diyotları

ğ. Doğrultmaç diyotlarının ayaklarının bulunması: Diyodun bir kenarında gri bant varsa burası çıkış (katot) ucudur. Eğer gri bant silinmişse ohmmetreyle uçlar belirlenebilir. Sağlamlık testi yapılırken küçük ohm (300 Ω -3000 Ω) okunan durumda analog tip (ibreli) ohmmetrenin siyah probunun değdiği uç diyodun anot (artı) ucudur. Diğer uç ise katottur.

Not: Analog (ibreli) AVÖmetreler ohm kademesindeyken siyah (-, com) prob artı (+) durumuna geçer.

h. Doğrultmaç diyotlarının sağlamlık testi

i. Ohmmetre ile sağlamlık testi: Ohmmetre komütatörü **x1k** ya da **x10k** kademesine alınır. Diyot bir yönde küçük direnç (300 Ω -3000 Ω), diğer yönde büyük direnç (50 k Ω -200 k Ω) gösteriyorsa sağlamdır. Şekil 3.13'e bakınız.

II. Polarma gerilimine bakılarak sağlamlık testi: Bazı dijital multimetrelerin (AVometre) ölçme komütatörü diyot sembolünün bulunduğu yere getirilir. Yapılan ölçümlerde diyot üzerinde düşen gerilim bir yönde yaklaşık olarak 200-950 mV (0,2-0,95 V) olarak okunur, diğer yönde hiç bir değer okunamazsa eleman sağlam demektir. Yapılan iki yönlü ölçümün birisinde bu değerler okunamazsa diyot bozulmuştur. Şekil 3.14'e bakınız.

Bir diyot (doğrultmaç diyodu, zener diyot vb.) devreye bağlıyken ohmmetre kullanılarak sağlamlık testi yapılacak olursa yanlış sonuçlar okunabilir. Ancak ölçme komütatöründe diyot sembolü bulunan bir ölçü aletiyle eleman devreden sökülmeden sağlamlık testi yapılabilir.

I. Diyotların bozulmasının nedenleri

I. Aşırı akım geçmesi, **II.** Ortam sıcaklığının yükselmesi, **III.** Lehimleme işleminin hatalı yapılması, **IV.** Uygulanan gerilimin aşırı artması, **V.** Mekanik (fiziksel) zorlamalar, **VI.** Diyodun kalitesiz olmasıdır.

i. Diyotların seri ve paralel bağlanması

I. Diyotların seri bağlanması: Ters dayanma gerilimi daha yüksek diyot elde etmek için seri bağlama yapılır. Şekil 3.15'te diyotların seri bağlanması gösterilmiştir.

Örneğin 100 voltluk bir devre için ters dayanma gerilimi 50 V olan 2 adet 1N4001 diyot seri bağlanarak 100 volta dayanabilen diyot yapılabilir. Çok sayıda diyodun seri bağlanmasıyla elde edilmiş olan elemanlara ise yüksek gerilim diyodu adı verilmektedir. Şekil 3.16'da yüksek gerilim diyodu örnekleri görülmektedir.

II. Diyotların paralel bağlanması: Yüksek akımlı diyot elde etmek için paralel bağlama yapılır. Ancak bu yöntem sağlıklı değildir. Üretim kusurlarından dolayı diyotlar aynı özellikte yapılamaz. Bu nedenle paralel bağlantıda diyodun birisi daha önce bozulur. Bu diğer diyotlardan geçen akımı çoğaltır ve onların da yanmasına neden olur.

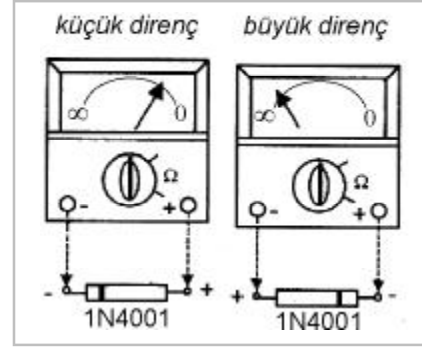
O nedenle pratik uygulamalarda katalogdan bakılarak uygun akımlı diyot seçimi yapılır. Şekil 3.17'de diyotların paralel bağlanması gösterilmiştir.

j. Doğrultmaç diyotlarını koruma yöntemleri:

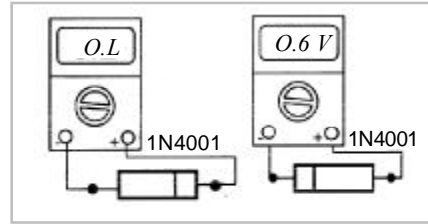
Doğrultmaç diyotları aşırı akım ve gerilimlerden koruyacak önlemler alınarak kullanım ömürleri uzatılabilir. Küçük ve orta güçteki doğrultmaçları aşırı akımdan korumak için sigorta kullanılır. Sigortanın akım değeri doğrultmacın anma (nominal) akımına eşit olacak şekilde seçilir.

Büyük güçlü doğrultmaçlar termik, manyetik ya da termistörlü aşırı akım röleleriyle korunurlar. Yüksek akımlı diyotların iyi korunması için termistörlü sıcaklık kontrol devreleri kullanılmaktadır. Isı kontrol devresi sayesinde doğrultmacın gövde sıcaklığı istenmeyen değere yükseldiğinde koruma sistemi çalışmaya başlamaktadır.

Doğrultmaç devresini besleyen şebeke gerilimindeki değişme fazla olmaz. Yani şebeke gerilimi (220 V), doğrultmacı bozacak yüksek değerlere çıkamaz. Ancak buna rağmen yine de aşırı gerilime



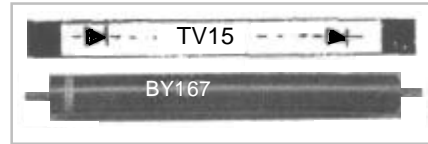
Şekil 3.13: Diyodun sağlamlık testinin analog ohmmetreye yapılışı



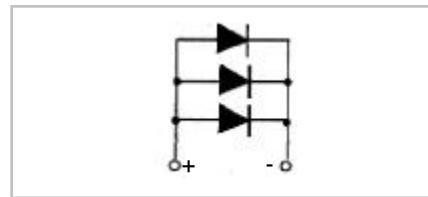
Şekil 3.14: Diyodun sağlamlık testinin polarma gerilimine bakılarak yapılışı



Şekil 3.15: Diyotların seri bağlanması



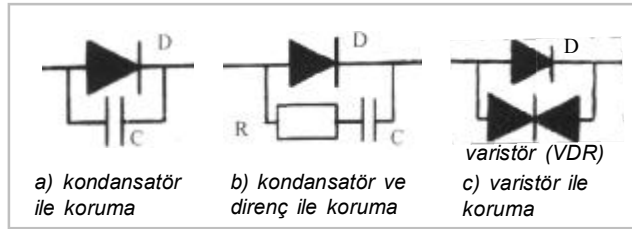
Şekil 3.16: Yüksek gerilim diyotları



Şekil 3.17: Diyotların paralel bağlanması

karşı koruyucu önlemler alınır. Doğrultmaç devresinin girişinde bulunan anahtarın açılıp kapanması anında ya da devrenin enerjisinin kesildiği anlarda trafonun sargılarında diyotları bozacak büyüklükte yüksek gerilimler oluşur. Yani doğrultmaçta kullanılan trafonun primer sargısında bulunan anahtar açıldığında demir nüvedeki manyetik alan kısa zamanda sıfır (0) olur. Maksimum değerden sıfır değerine doğru hızlıca düşen akımın yarattığı manyetik alan sekonder sargıda yüksek bir gerilim oluşturur. İşte sekonder sargılarında oluşan indüksiyon gerilimi özellikle, trafo yüksüz çalışırken çok daha büyük olur. İndüklenen yüksek gerilim kısa süreli olmasına karşın doğrultmaçta kullanılan diyotların delinmesine neden olabilir.

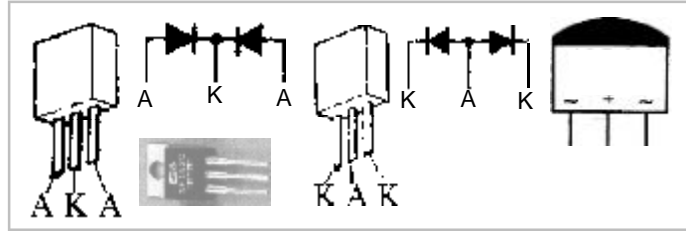
Trafoda doğan yüksek indüksiyon gerilimlerini söndürmek için primer sargıya ya da diyotlara paralel olarak **I. Kondansatör**, **II. Kondansatör ve direnç**, **III. VDR** (gerilime duyarlı direnç) gibi elemanlar bağlanır. Şekil 3.18'e bakınız.



Şekil 3.18: Doğrultmaç diyotlarını koruma yöntemleri

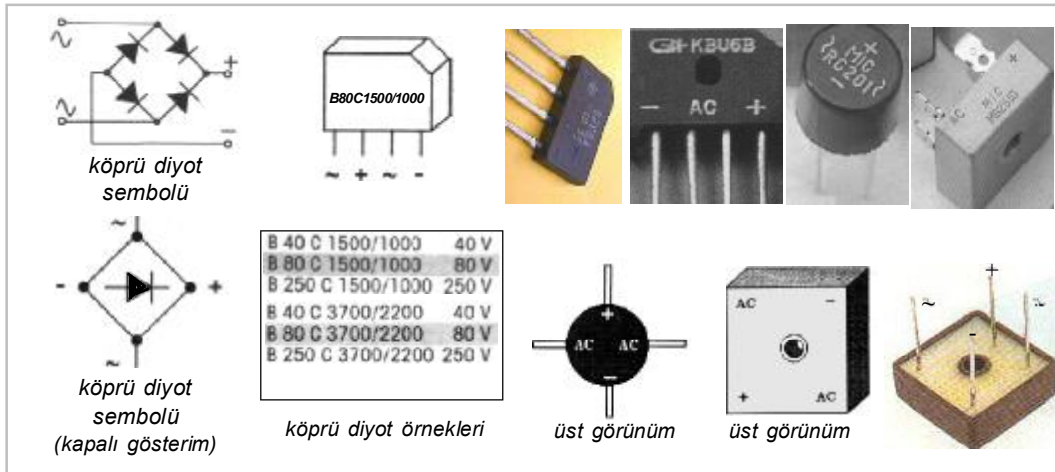
k. Köprü tipi (bridge, blok) diyotlar

I. İki diyotlu blok diyotlar: Orta uçlu trafolu tam dalga doğrultmaç devrelerinin yapımında kullanılır. Üç ayaklıdır. Kenardaki iki ayağa AC uygulanırken, orta ayaktan DC (DA) çıkış alınır. İki diyotlu blok diyotlar günümüzde çok az kullanılmaktadır. Şekil 3.19'da iki diyotlu blok (köprü) diyot örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.19: İki diyotlu blok diyotlar

İki diyotlu blok diyotların sağlamlık testi: Kenardaki uçlarla orta uç arasında yapılan ölçümlerde bir yönde 300 Ω-3000 Ω, diğer yönde 50 kΩ-200 kΩ'luk değerler okunmalıdır.



Resim 3.3: Köprü diyotların sembolü ve uygulamada kullanılan çeşitli köprü diyotlar

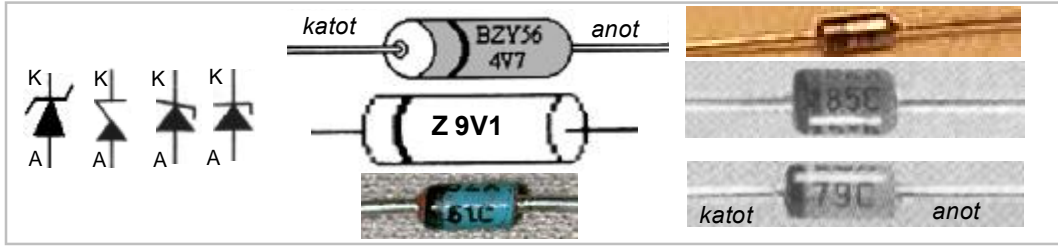
II. Dört diyotlu blok (köprü) diyotlar: Dört adet doğrultmaç diyodunun bir gövde içinde birleştirilmesiyle elde edilmiş olup dört ayağa sahiptirler. Bunlar devreye montajda kolaylık sağlar. Gövde üzerinde sinüsoidal (~) işareti bulunan ayaklar AC giriş uçlarıdır. (+) ve (-) işareti bulunan ayaklar ise DC çıkış uçlarıdır. Resim 3.3'te köprü diyot çeşitleri görülmektedir.

Köprü diyodun sağlamlık testi: Ohmmetreyle yapılan ölçümlerde, AC giriş uçları iki ölçümde de yüksek direnç (50 k Ω -200 k Ω), DC çıkış uçları bir yöndeki ölçümde küçük direnç (300 Ω -3000 Ω), diğer yöndeki ölçümde ise yüksek direnç (50 k Ω -200 k Ω) okunmalıdır.

Köprü diyot örnekleri

- ▶ B40C1500: 40 V/1,5 A
- ▶ B40C3200: 40 V/3,2 A
- ▶ B80C5000: 80 V/5 A
- ▶ B600C500: 600 V/0,5 A
- ▶ B250C1500/1000: 250 V/1,5 A
- ▶ B40C2200: 40 V/2,2 A
- ▶ B40C10000: 40 V/10 A
- ▶ B380C1500: 380 V/1,5 A
- ▶ B80C1500/1000: 40 V/1,5 A

Not: Dikkat edilirse bazı köprü diyotların akım değerinin iki şekilde yazıldığı görülür. Örneğin B80C1500/1000 gibi. Bunun anlamı şudur: Diyot devreye bağlandıktan sonra metal bir soğutucuya bağlanacaksa üzerinden maksimum 1,5 A geçirilebilir. Eğer soğutucu kullanılmıyacaksa elemanın taşıyabileceği maksimum akım 1 A olacaktır.



Şekil 3.20: Zener diyot sembolleri

Resim 3.4: Çeşitli zener diyotlar

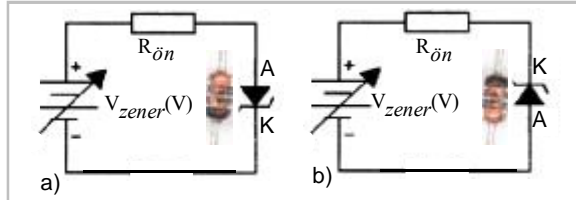
I. Zener (zenner, gerilim sabitleyici, regüle) diyotlar: P ve N tipi iki yarı iletkenin birleşiminden oluşmuş, uçlarına uygulanan gerilimi sabit tutmaya yarayan diyotlardır. Zener diyotlarda kullanılan P ve N tipi yarı iletkenlerin katkı madde oranları doğrultmaç diyotlarından biraz daha fazladır.

Zener diyotlar devreye ters bağlanırlar. (Ters polarma altında çalışırlar.) Bu nedenle ters polarmada gerilim kırılması değişimi doğrultmaç diyotlarından farklıdır. Yani belli bir gerilime kadar zener diyot akım geçirmez. Kırılma (zener) noktası adı verilen voltaj düzeyine gelindiğinde ise geçen akım miktarı aniden yükselir.

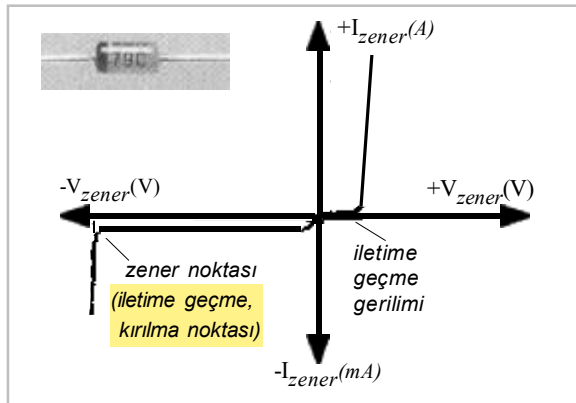
Bu diyotların kırılma gerilimi, üretim aşamasında katkı maddesi miktarı ayarlanarak belirlenir.

Zener diyodu şekil 3.21-a'da görüldüğü gibi devreye doğru polarmalı olarak bağlayıp gerilimi yavaş yavaş artırırsak elemandan geçen akımın da arttığı görülür.

Zener diyodu şekil 3.21-b'de görüldüğü gibi devreye ters polarmalı olarak bağlayıp gerilimi yavaş yavaş artırırsak elemandan geçen akımın belli bir gerilim değerine kadar çok az olduğu, gerilim



Şekil 3.21: Zener diyotların, a) Doğru b) Ters polarılması



Şekil 3.22: Zener diyotların doğru ve ters polarma altında çalıştırılması durumunda elde edilen eğriler

zener diyodun üst sınır değerini aştığında ise geçen akımın aniden çok yüksek bir değere çıktığı görülür. Ters polarmada karşılaşılan bu durum uygulamada kullanılan bir çok devrede bize fayda sağlar. (Gerilimin sabit-lenmesi, sinyal kırpma, eleman koruma vb. gibi.)

Şekil 3.22'de zener diyotların doğru ve ters polarmalı olarak çalıştırılması durumunda elde edilen karakteristik eğrisi verilmiştir.

Zener diyotların çalışma voltajları: 1-1,8-2,4-2,7-3,3-3,6-3,9-4,3-4,7-5,1-5,6-6,2-6,8-7,5-8,2-9,1-10-11-12-13-15-16-18-20-22- 24-27-30-33-36-39-43-47-51-55-62-68-75-82 -91-100-200 V...

Burada verilen voltaj değerlerinin ne anlama geldiğini bir örnekle açıklayalım: 12 voltluk zener diyot, üzerine uygulanan ters yönlü gerilim 12 V olana kadar akım geçirmez. Gerilim 12 voltu aştığında ise zener diyot aniden iletkenleşerek akım geçirmeye başlar. Bu sırada zener diyoda paralel olarak bir voltmetre bağlanıp ölçüm yapılacak olursa eleman üzerinde 12 voltluk bir gerilim düşümünün olduğu görülür.

Zener diyotlar düşük akımlı olduklarından mutlaka ön dirençle korunmaları gerekir.

Zener diyodun gücü biliniyor ve elemana bağlanacak ön direncin değeri belirlenmek isteniyorsa, $V_{zener} \cdot I_{zener maks} < P_{zener}$ kuralı göz önüne alınır. (Yani zener diyoda uygulanan gerilimle, elemandan geçen akımın değerlerinin çarpımı zener diyodun gücünden büyük olmamalıdır.)

Zener diyoda bağlanması gereken ön direncin değeri ise:

$R_{ön} = (V_{giriş} - V_{zener}) / I_{zener maks} [A]$ denklemi ile bulunur.

Örnek: a. Gücü 200 mW (0,2 W) çalışma gerilimi 12 V olan zener diyodun dayanabileceği maksimum akım nedir?

b. Kullanılan zener diyodun bozulmaması için 15 V giriş gerilimi olan bir devrede zener diyoda bağlanması gereken ön direncin değerini hesaplayınız.

Çözüm: a. $I_{zener maks} = P_{zener} / V_{zener} = 0,2 / 12 = 0,0166 A = 16,6 mA$

b. $R_{ön} = (V_{giriş} - V_{zener}) / I_{zener maks} = (15 - 12) / 0,0166 = 180 \Omega$

Basit DC güç kaynağı devrelerinde zener diyodun ters yönde geçirebileceği akım yaklaşık 0,005-0,01 A (5-10 mA) olarak kabul edilir. Hassas uygulamalarda en doğru akım değeri için diyot kataloglarına bakılmalıdır.

Zener diyotların ters bağlantı durumunda belli bir gerilimden sonra iletken olmasının nedeni: Eğer, P-N maddeleri ters yönde polarılırsa (*reverse bias*) ters yönde küçük bir sızıntı akımı oluşur. Normal olarak bu akım küçük olduğundan dolayı yok sayılabilir. Ancak ters yönlü olarak uygulanan gerilim belli bir değeri aşarsa diyot ters yönde ilettime geçer. Diyodun ters yönde akım geçirmeye başlaması yarı iletken fiziğinden (yapısından) kaynaklanan bir durumdur. Yani zener diyoda uygulanan ters polariteli gerilimin büyümesiyle, serbest elektronlara verilen enerji artmakta ve bu elektronların çarpma etkisiyle de pek çok elektron valans bandından iletkenlik bandına atlayarak geçen akımın artmasına neden olmaktadır.

Uygulamada kullanılan diyotlarda iki çeşit ters kırılma (zener) durumu vardır.

I. Çığ olayı: Normal diyotlarda yüksek gerilimin etkisiyle çığ olayı (*avalanche effect*) ortaya çıkar ve diyot bozulur. Yani normal diyotlara uygulanan ters gerilim izin verilen değer üzerinde çıkarılırsa eleman tamamen bozulur kullanılamaz hâle gelir.

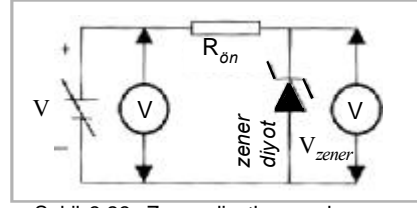
II. Zener etkisi: Zener diyotlarda ise çığ etkisi küçük değerli ters gerilimlerde oluşur. Bu olayda zener diyot hemen bozulmaz. Çünkü, zener diyotların kırılma gerilimini düşürmek için yüksek oranda katkı maddesi eklenmektedir. Ters polarma altında kırılma gerilimine yakın değerlerde valans bandındaki elektronlar hareket ederek ters yön akımının geçmesini kolaylaştırır. Ters yönlü akımın zener diyodun taşıyabileceğinden fazla olmaması için koruyucu olarak ön dirençler kullanılır.

Zener diyotların çalışma geriliminin belirlenmesi: Zener diyodun üzerinde yazılı olan

çalışma voltajı okunamıyorsa, Şekil 3.23'te verilen basit devreyle elemanın kaç voltluk olduğu saptanabilir. Şekil 3.23'teki devrede girişe 0 volttan başlayarak artırılan DC uygulanır. Çıkıştaki voltmetrenin gösterdiği gerilim değeri sabitleştiği anda zener diyodun çalışma voltajı belirlenmiş olur.

Zener diyot gerilimi belirlenirken diyoda seri bağlanacak direnç $220 \Omega - 10 \text{ k}\Omega$ dolayında, kullanılacak güç kaynağı ise DC 0 - 30 V arası çıkış veren tipte olabilir.

Eğer 30 volttan büyük gerilime sahip bir diyodun kaç voltluk olduğu bulunmak isteniyorsa (örneğin TV'lerde kullanılan yüksek gerilimli zener diyotlar), bu durumda şebeke gerilimi 1N4004 ya da 1N4007 diyotla DC'ye çevrildikten sonra seri dirençle ($50 \text{ k}\Omega - 220 \text{ k}\Omega$ 'luk) korunan zener diyoda uygulanarak elemanın çalışma gerilimi belirlenebilir.



Şekil 3.23: Zener diyotların çalışma geriliminin belirlenmesinde kullanılan bağlantı şeması

Zener diyotların sağlamlık testi: Bir yönde küçük ($300 \Omega - 3000 \Omega$), diğer yönde büyük ohm ($50 \text{ k}\Omega - 200 \text{ k}\Omega$) okunmalıdır.

Zener diyotların kodlanması: Zener diyotların üzerinde teknik özellikleri bildiren çeşitli harf ve rakam kodlamaları bulunur. Arka sayfadaki örneklere bakınız.

BZY85C9V1 kodlu zener diyodun özellikleri

B: Silisyumdan yapılmıştır.

Z: Zener diyottur.

Y: Doğrultmaç devrelerinde kullanılır.

C: Elemanın hata oranı (toleransı) $\pm \% 5$ 'tir.

Tolerans değerini gösteren diğer harfler:

A: $\pm \% 1$. **B:** $\pm \% 2$. **D:** $\pm \% 10$

85: Firmanın üretim numarasını belirtir.

9V1: 9,1 V zener diyodun gerilim değeridir.

Zener diyot örnekleri

ABD normuna göre kodlanmış bazı zener diyotların gerilim değerleri:

1N4728A: 3,3 V

1N4739A: 9,1 V

1N4742A: 12 V

1N4764A: 100 V

Avrupa normuna göre kodlanmış bazı zener diyotların özellikleri:

BZY63: 9,1 V, Toleransı: $\pm \% 5$, Gücü: 0,28 W

BZY69: 12 V, Toleransı: $\pm \% 5$, Gücü: 0,28 W

BZX14: 9,1 V, Toleransı: $\pm \% 5$, Gücü: 0,4 W

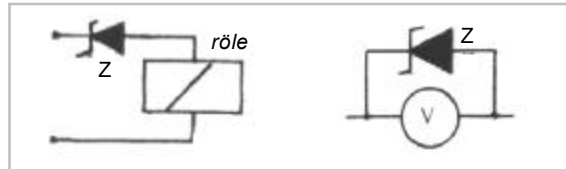
BZX17: 12 V, Toleransı: $\pm \% 5$, Gücü: 0,4 W

Zener diyotların kullanım alanları

I. Zener diyotlu regüle devresi: Zener diyotlarla basit paralel, seri, şönt ve hata yükselteçli regüle devreleri yapılabilmektedir. Bu devrelerin görevi, giriş gerilimi değişmesine rağmen çıkış gerilimini sabit tutmaktır. (Bu konu güç kaynaklarıyla ilgili bölümde açıklanmıştır.)

II. Röleyi belirli bir gerilimden sonra çalıştıran zener diyotlu devre:

Şekil 3.24'te verilen bağlantı kullanılarak rölenin çalışmaya başla-yacağı gerilim değeri ayarlanabilir. Devrede mini rölenin çalışma gerilimi 9 V ve seri bağlı zener diyot ise 6,2 V'luk olsun. Buna göre besleme uçlarına uygulanan gerilim yaklaşık 15,2 V olmadan röle çalışmaz.



Şekil 3.24: Seri bağlı zener diyot ile rölenin çalışması geriliminin yükseltilmesi

Şekil 3.25: Ölçü aletlerinin zener diyot ile yüksek gerilimden korunması

III. Ölçü aletlerini aşırı (yüksek) gerilimden koruyan zener diyotlu devre: Bu tip uygulamalarda

korunacak elemana paralel olarak bağlanan zener diyot, devreye aşırı gerilim uygulanması durumunda iletme geçerek koruma yapar.

Örneğin iç yapısı döner çerçeveli olan bir voltmetrede, aletin ibresinin hareketini sağlayan bobin ve yaylı ibre düzeneğinin besleme uçlarına şekil 3.25'te görüldüğü gibi paralel olarak bağlanan zener diyot voltmetrenin bobin düzeneğine yüksek gerilim gelmesi durumunda iletme geçerek koruma yapar.

m. Ledler (ışık yayan diyot, light emitting diode, solid state lamp): Işık yayan flamansız lambalara led denir. Bu elemanlar çeşitli boyutlarda (1-1,9-2-2,1-3-5-10 mm vb.) üretilirler. 2-20 mA gibi çok az bir akımla çalıştıklarından ve sarsıntılara dayanıklı olduklarından her türlü elektronik devrede karşımıza çıkarlar.

Işık, bir yarı iletken, P tipi madde içine enjekte edilen bir elektronun oyukla birleşmesi ya da N tipi madde içine enjekte edilen bir oyuğun elektronla birleşmesi sonucunda oluşur. Bu olaydaki temel esas, elektronların enerji kaybının ışımaya olarak ortaya çıkmasıdır.

Ledlerin yaydığı ışınların renkleri kırmızı, sarı, yeşil, turuncu, mavi, pembe vb. şeklindedir. Bunlardan kırmızı led en yüksek verimli olan tiptir. Ledler normal koşullarda yaklaşık 100.000 saat boyunca ışık verebilirler.

Ledlerin yapısında kullanılan galyum arsenik (GaAs), galyum arsenik fosfat (GaAsP), galyum fosfat (GaP), çinko, nitrojen vb. gibi maddelere göre ortaya çıkan ışığın rengi de farklı olmaktadır. Yani yarı iletken içine konan elementler ledin yaydığı ışığın rengini belirlemektedir. Yeşil renk veren ledlerin içinde nitrojen bulunmaktadır. Nitrojen miktarı artırıldıkça ışık sarı olmaktadır. Kırmızı renk elde etmek için ise çinko ve oksijen kullanılmaktadır.

Kırmızı led en az 1,5 - 1,6 V ile çalışırken, turuncu 1,7 V, sarı 1,8 V, yeşil 2,2 - 2,4 voltta ışık yaymaya başlar. Yaklaşık 2,5 ile 4 volttan yüksek gerilimler ledlerde bozucu etki yapar. Yüksek DC gerilimlere bağlanacak ledlere şekil 3.28'de görüldüğü gibi seri olarak ön direnç bağlanır. Lede bağlanması gereken ön direncin değeri,

$$R_{\text{ön}} = (\text{besleme gerilimi} - \text{led gerilimi}) / \text{led akımı} [\Omega]$$

Başka bir deyişle,

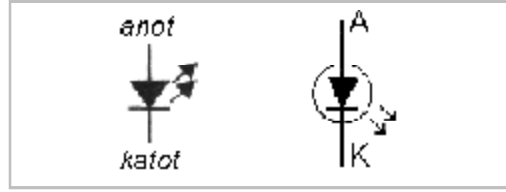
$$R_{\text{ön}} = (V_{\text{devre}} - V_{\text{led}}) / I_{\text{led}} [\Omega] \text{ denkleminde bulunur.}$$

Not: Pratik hesaplamalarda $I_{\text{led}} = 10 - 20 \text{ mA}$ (0,01- 0,02 A) olarak kabul edilir.

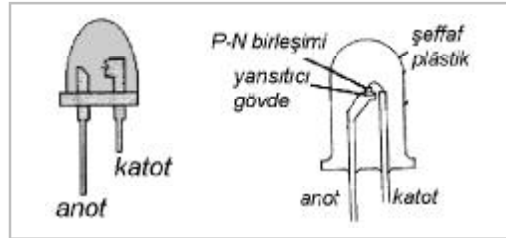
Örnek: 12 V'luk devrede kırmızı lede seri bağlanacak direncin değerini bulunuz. ($V_{\text{led}} = 1,5 \text{ V}$)

Çözüm: $R_{\text{ö}} = (12 - 1,5) / 0,01 = 10,5 / 0,01 = 1050 \Omega = 1000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$

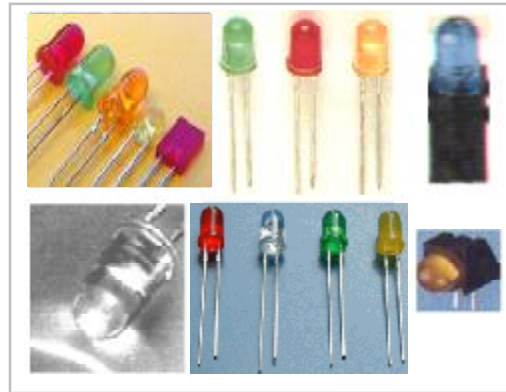
Ledin çektiği akım miliamper düzeyinde olduğundan lede seri olarak bağlanacak direncin gücünün 1/4 W olması yeterlidir.



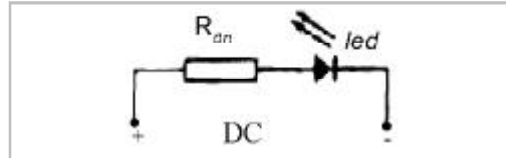
Şekil 3.26: Led sembolleri



Şekil 3.27: Ledin yapısı

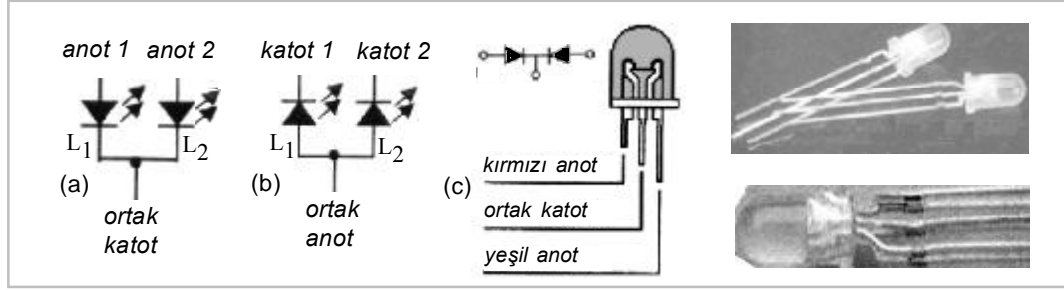


Resim 3.5: Led örnekleri



Şekil 3.28: Ledin seri ön direnç ile çalıştırılması

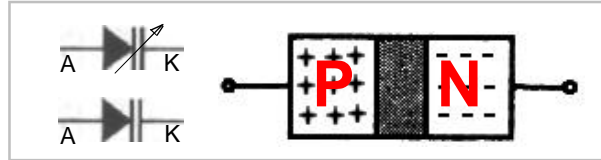
Ledin sağlamlık testi: Doğrultmaç diyoduyla aynıdır. Ohmmetreyle yapılan ölçümde bir yönde 300 Ω - 3000 Ω , diğer yönde 50 k Ω - 200 k Ω okunmalıdır.



Şekil 3.29: Çok renkli ledlerin yapısı ve çok renkli led örnekleri

n. Çok renkli ledler: Uygulamada iki ya da üç ledin bir gövde içinde birleştirilmesiyle oluşturulmuş, iki hatta üç renk yayan ledler de kullanılmaktadır.

Şekil 3.29-a'daki ledten üç farklı renk elde edilebilir. **Anot 1** ve **anot 2'**ye DC üreticinin artı ucunu, ortak katoda ise DC üreticinin eksi ucunu bağlarsak gövde içinde bulunan iki ledin çalışması sonucu karma bir renk (üçüncü renk) oluşur. **Anot 1** ile ortak katoda DC uygulandığında L_1 ışık yayar. **Anot 2** ile ortak katoda DC uygulandığında ise L_2 ışık yayar.

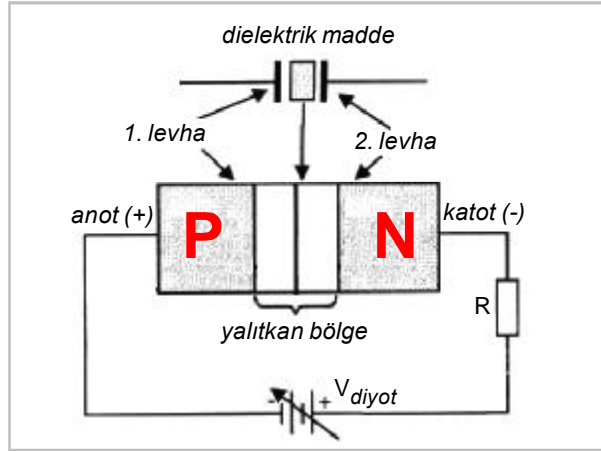


Şekil 3.30: Kapasitif diyot sembolleri

Şekil 3.31: Kapasitif diyodun yapısı

o. Kapasitif (varikap, varaktör) diyotlar: Uçlarına uygulanan ters polariteli gerilime bağlı olarak kapasite değeri değişen elemanlara kapasitif diyot denir. Yarı iletkenlerde P-N birleşiminde geçiş bölgesi ters polarizasyon ile genişletilebilmekte ve bu sayede de diyodun kapasite değeri değişmektedir.

Kapasitif diyotlar ters bağlı olarak devredeyken P-N birleşim yüzeyinde şekil 3.32'de görüldüğü gibi elektron ve oyukların uzaklaştığı geçiş bölgesi oluşur. Bu bölge diyoda uygulanan gerilimle doğru orantılı olarak değişir. Gerilim artırılırsa nötr (boş) bölge genişler. P-N kristalleri iletken levha durumuna geçerken, nötr bölge de dielektrik (yalıtkan) özelliği gösterir. Böylece küçük kapasiteli bir kondansatör elde edilmiş olur. Oluşan kapasite devre gerilimiyle ters orantılıdır. Yani diyoda uygulanan gerilim arttıkça kapasite azalır.



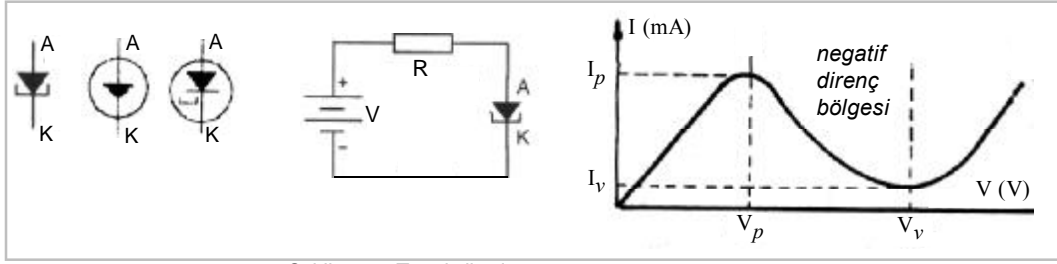
Şekil 3.32: Kapasitif diyodun ters polarılması

Hareketli plakalı ayarlı kondansatörler elektronik devre emprimelerinde (bakırlı plaket) çok yer kapladığından, küçük boyutlu ve dijital yapıya sahip devrelerde varikap diyotlar kullanılmaktadır.

Kapasitif diyotlar TV, radyo vb. cihazların yayın (frekans) seçici (tuner) devrelerinde kullanılırlar.

Kapasitif (varikap) diyot örnekleri

- BB105A, B:** UHF frekanslı devrelerde kapasite değiştirmek için kullanılır.
- BB121A, B:** VHF/UHF frekanslı devrelerde kapasite değiştirmek için kullanılır.
- BB143A, B:** FM/VHF frekanslı devrelerde kapasite değiştirmek için kullanılır.
- BB110:** FM/VHF frekanslı devrelerde kapasite değiştirmek için kullanılır.



Şekil 3.33: Tünel diyot sembolleri

Şekil 3.34: Tünel diyotların karakteristiğinin çıkarılmasında kullanılan devre

Şekil 3.35: Tünel diyotların elektriksel (V-I) karakteristik eğrisi

ö. Tünel (tunnel, esaki) diyotlar: Doğru polarma altında çalışan, gerilime göre dirençleri değişen devre elemanlarıdır.

Tünel diyotlar fazla katkılı germanyum ya da galyum arsenikten yapılırlar. Katkılama maddesi olarak galyum, arsenik, berilyum, altın vb. kullanılır.

Bu elemanlar küçük polarma gerilimlerinde iletken duruma geçebilirler. Ayrıca diğer diyotlardan daha iyi iletkenlerdir.

Şekil 3.34'te verilen bağlantı şeması kurulduktan sonra V gerilimi sıfırdan itibaren artırılacak olursa, diyottan geçen akım da şekil 3.35'te görüldüğü gibi artmaya başlar. V_p değerine gelindiğinde akım maksimum (I_p) değerine ulaşır. V gerilimi artırılmaya devam edildikçe V_p değerinden sonra diyottan geçen akımın azalmaya başladığı görülür. Akımın azalmaya başladığı aralığa diyodun negatif direnç bölgesi denir.

Gerilim V_v değerine ulaştığında akım en düşük düzeye (I_v) iner. V_v geriliminden sonra eleman normal diyot gibi davranır. Ancak, tünel diyotlar bu bölgede çalıştırılmazlar.

Tünel diyotlar çok küçük güçlü olup çoğunlukla çalışma frekansı 10.000 MHz'e kadar olan osilatörlerde, yükselteçlerde ve hızlı anahtarlama devrelerinde (multivibratörler, gecikmeli osilatörler) vb. kullanılırlar.

1N2939 kodlu tünel diyodun bazı karakteristik özellikleri şöyledir: İleri yön akımı: 5 mA, Ters yön akımı: 10 mA, Ters yön gerilimi: 30 mV, İleri yönde tepe nokta akımı gerilimi: 450-600 mV.

p. Enfraruj (infrared) ledler: P ve N tipi iki yarı iletkenin birleşiminden oluşmuştur. Yarı iletkenlere çeşitli maddeler eklenerek insan gözünün göremeyeceği frekanslarda (kızıl ötesi) ışık yayan led elde edilmiştir. Dış görünüm olarak led diyotlara benzeyen enfraruj ledler en çok uzaktan kumanda (TV, video, müzik seti, otomatik çalıştırılan endüstriyel makineler vb.) sistemlerinde kullanılırlar.

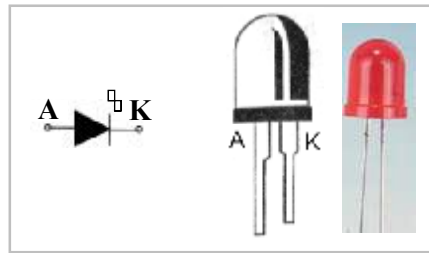
Enfraruj led örnekleri: LD271, LD274, CQW13, CQY99, TSHA-6203, VX301...

Enfraruj ledin sağlamlık testi: Ohmmetreyle yapılan ölçümde bir yönde küçük ohm ($300 \Omega - 3000 \Omega$) diğer yönde büyük ohm ($50 k\Omega - 200 k\Omega$) okunmalıdır.

r. Ledli display'ler (rakam, harf göstergeler): Led

kullanılarak yapılan rakam, harf gösterici devre elemanlarına **display** denir. Yaygın olan yedi parçalı led göstergeler anodu şase (ortak) ve katodu şase olmak üzere iki tipte üretilir.

l. Anodu ortak (common anode, anodu şase) display'ler: Bu tip display'lerin içinde bulunan tüm ledlerin anodları şekil 3.38'de görüldüğü gibi gövde içinde birbiriyle birleştirilmiştir. Eleman çalıştırılırken artı (+) besleme ortak anoda uygulanır. Diğer uçlara uygulanan eksi beslemelere göre display'de çeşitli rakamlar oluşur.



Şekil 3.36: Enfraruj led sembolü

Şekil 3.37: Çeşitli enfraruj ledler

II. Katodu ortak (common cathode, katodu şase) display'ler:

Anodu şasenin tam tersi özelliğindedir. Yani, gövde içindeki ledlerin tümünün katot uçları şekil 3.39'da görüldüğü gibi birbirine bağlıdır.

5 V ile çalışan devrelerde kullanılan display'lerin içindeki ledleri yüksek akım ve gerilime karşı korumak için $220 \Omega - 470 \Omega$ arasında değere sahip ön dirençler kullanılır.

Not: Anodu ortak display'leri çalıştırmak için 74LS47, katodu şase display'leri çalıştırmak için ise 74LS48 kod çözücü entegresi kullanılabilir. (Geniş bilgi için dijital elektronik kitaplarına bakınız.)

s. Elektronik devrelerde kullanılan diğer diyotlar:

Elektronik devrelerde daha bir çok çeşitte diyotlar kullanılmaktadır. Şimdi bunların bazılarını inceleyelim.

I. Gunn (gan) diyotlar:

1963 yılında **J. B. Gunn** adlı bilgin tarafından bulunan diyot çeşididir. Daha çok osilatör devrelerinde kullanılır. Gunn diyotlar polarma gerilimi

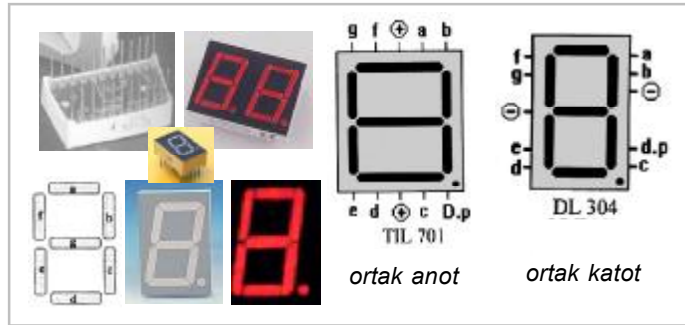
uygulandığında belli voltaj değerinden sonra sürekli olarak iletim ve kesime giderek kare dalgaya benzeyen sinyallerin oluşmasını sağlarlar. Şekil 3.40-a'da gunn diyot sembolü, şekil 3.40-b'de ise bu diyotların elektriksel karakteristiği verilmiştir.

II. Impact (çığ) diyotlar: Gunn diyotlara göre P ve N maddesindeki yabancı madde oranları fazladır. Ayrıca çalışma gerilimleri ve güçleri gunn diyotlardan daha büyüktür.

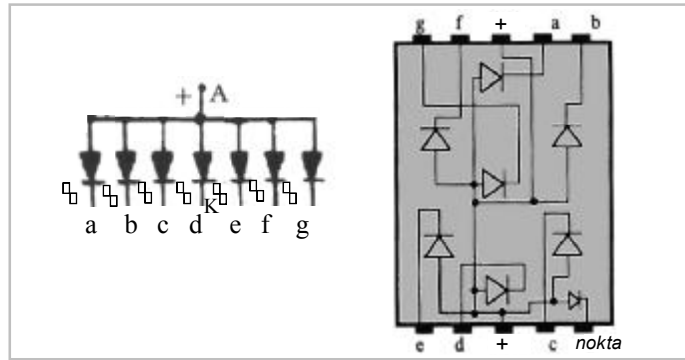
Impact diyotlar silisyum ve galyum arsenik kullanılarak üretilir. Bu elemanlar düşük gürültü ve hızlı tepki zamanı gerektiren yüksek frekanslı devrelerde kullanılırlar. Şekil 3.41'de çığ diyotların yapısı ve elektriksel karakteristiği verilmiştir.

III. Şotki (schottky) diyotlar: Çok hızlı olarak iletim kesim olabilen diyotlardır. Ayrıca bu elemanların iletime geçme gerilimleri çok düşüktür.

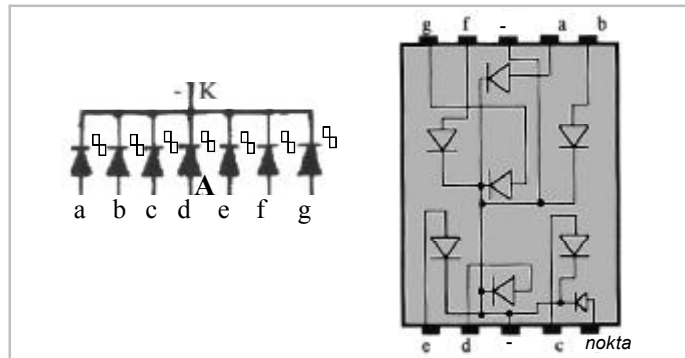
Normal diyotlar alçak frekanslarda, uçlarına uygulanan gerilimin yönü değiştiğinde bu değişime uygun olarak hemen iletken ya da yalıtkan durumuna geçebilirler. Ancak yüksek frekanslarda (10 MHz



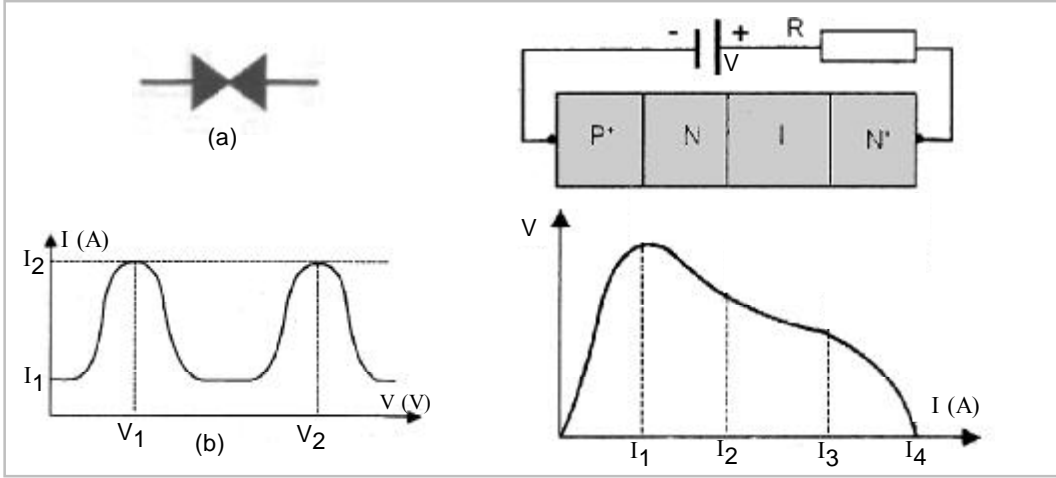
Resim 3.6: Display'lerin iç yapısı ve çeşitli display'ler



Şekil 3.38: Anodu ortak display'in yapısı

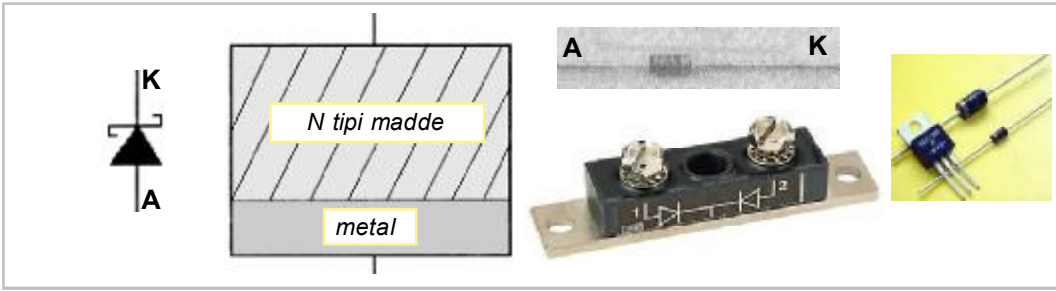


Şekil 3.39: Katodu ortak display'in yapısı



Şekil 3.40: a) Gunn diyot sembolü b) Gun diyodun elektriksel karakteristik eğrisi

Şekil 3.41: Impact diyodun yapısı ve elektriksel karakteristik eğrisi



Şekil 3.42: Şotki diyot sembolü

Şekil 3.43: Şotki diyodun yapısı

Resim 3.7: Şotki diyot örnekleri

ve daha üstü), diyot uçlarına gelen gerilimin yönü değiştiği hâlde diyot bir durumdan ötekine (iletim, yalıtım durumları) hemen geçemez.

İşte bu nedenle yüksek frekanslı devreler için hızlı davranabilen şotki diyotlar yapılmıştır.

Şotki diyotlarda birleşim yüzeyi platin ile kaplanmıştır. Bu durum birleşme yüzeyindeki yalıtkan tabakayı inceltmekte ve bu sayede diyodun iletim ya da yalıtıma geçme hızı artmaktadır. Bu elemanların birleşim yüzeyleri çok küçük olduğundan doğru polarmada 0,25 voltluk gerilimlerde bile ilettime geçebilmektedirler.

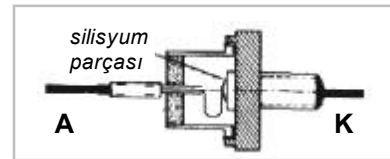
Şekil 3.42'de şotki diyot sembolü, şekil 3.43'te şotki diyodun yapısı ve resim 3.7'de şotki diyot örnekleri verilmiştir.

Şotki diyotların bazı kullanım alanları: Mikro dalga alıcıları, modülatörler, demodülatörler, dedektör devreleri vb.

IV. Nokta temaslı (kedi bıyığı) diyotlar: Germanyum ve silisyumdan üretilirler. Diyodun iç görünümü şekil 3.44'te görüldüğü gibi kedi bıyığına benzediğinden elemana bu ad verilmiştir.

Nokta temaslı diyotlarda P tipi parça, N tipi parçaya göre noktasal küçüklüktedir. P elemanı ile kontağı (teması), 0,1 mm çapında tungsten-molibden alaşım kırıkcı tel sağlar. Kedi bıyığına benzeyen ince telin kaynak olduğu uç katoddur. Nokta temaslı diyotların iki ucu arasında oluşan kapasite 1-2 pF gibi küçük bir değere düşürülebildiğinden bu elemanlar yüksek frekanslı dedektör (seçme, ayırma) devrelerinde vb. kullanılır.

Nokta temaslı diyot örneği: **AA134**: Doğru yöndeki direnci 75 Ω , ters yöndeki direnci 3,5 M Ω

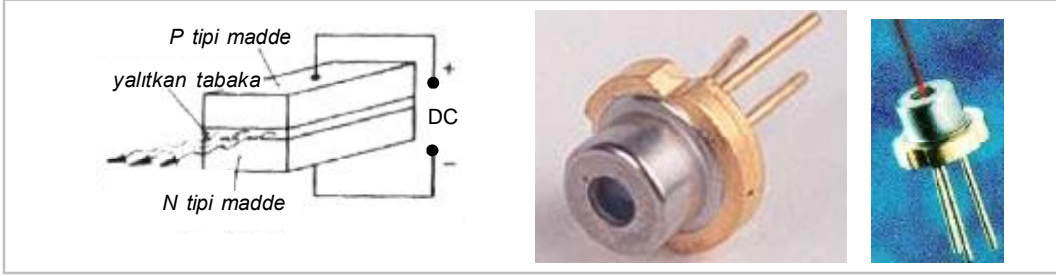


Şekil 3.44: Nokta temaslı diyodun yapısı



Şekil 3.45: Lazer ışınları

Şekil 3.46: Normal lambanın yaydığı ışınlar



Şekil 3.47: Lazer diyodun yapısının basit olarak gösterilişi

Resim 3.8: Lazer diyot

V. Yarı iletken lazer (*laser*) diyotlar: Lazer, çıkarılan ışığın yükseltme yoluyla canlandırılıp yayılması anlamına gelir. Bu yolla ışık ışınları ince ve yoğun bir ışık hüzmesi (demeti) hâline getirilebilir.

Lazer ışığı normal bir kaynaktan çıkan ışıktan iki bakımdan ayrılır. Birincisi, lazer şekil 3.45'te görüldüğü gibi tamamıyla tek renklidir. Yani lazer ışınının frekansı tektir. Ayrıca lazer dağınık değildir. Yani bütün ışık (hepsi elektromanyetik radyasyonun bir formu olduğu için) doğadaki dalga formuna benzer.

Sıradan kaynaklardan elde edilen ışık şekil 3.46'da görüldüğü gibi rastgele yayılır. İşte bu nedenle lazerden çıkan ışık zayıflamaz ve çok uzak mesafelere gidebilir.

Yarı iletken lazer basit olarak N tipi yarı iletken (GaAs) ve difüzyon yoluyla içerisine çinko konmuş P tipi yarı iletken maddeden oluşur. Şekil 3.47'de lazer diyodun yapısı basit olarak gösterilmiştir. Gerilim uygulandığında yalıtkan yüzey ışın ya da *koharent* enfraruj ışın yayar.

Yarı iletken lazer diyotlar, fiber optik kablolarla bilgi iletiminde, gece görme aygıtlarında, mesafe ölçmede, tıbbi aygıtlarda, *barkod* okuyucularda vb. kullanılırlar.

VI. Shockley (şokley, PNP, dört tabaka, 4D) diyotlar: Şokley diyotlar şekil 3.49'da görüldüğü gibi dört adet yarı iletkenin birleşmesinden oluşmuş elemanlardır.

Bu diyot doğru polarıma altında çalışırken uçlarına uygulanan gerilim iletim seviyesine ulaşınca kadar, şekil 3.50'de görüldüğü gibi ters polarize edilmiş normal diyot gibi çalışır.

Uygulanan gerilim yükselerek iletim gerilimi seviyesine ulaştığında ise diyot aniden iletme geçerken, eleman üzerinde düşen gerilim de azalmaya başlar. Gerilim belirli bir değere azaldıktan sonra tekrar yükselmeye başlar. Bu noktadaki gerilime tutma gerilimi denir.

Şokley diyodu tutma geriliminden sonra gerilimini ve akımını artırarak düz polarmalı normal diyot gibi çalışır.

Başka bir anlatımla şokley diyotlar başlangıçta ters polarmalı normal diyot gibi, tutma geriliminden sonra düz polarmalı normal diyot gibi çalışır. Bu iki çalışma noktası arasında gerilim düşerken akımın arttığı bir karakteristik gösterirler. İşte bu özellikleri nedeniyle darbe jeneratörleri, bellek devrelerinde vb. kullanılırlar.

VII. PIN (P-I-N, pozitif-has-negatif) diyotlar: Katkı madde (yabancı madde) oranları yüksek P ve N tipi yarı iletken maddelerinden oluşan PIN diyodun P-N eklemi arasına ince bir yalıtkan tabaka

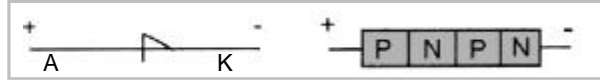
olan I parçası yerleştirilmiştir.

Bu diyotlar doğru polarmada ayarlı bir direnç, ters polarmada ise sabit değerli bir kondansatör gibi çalışırlar. Şekil 3.51'de PIN diyotların yapısı ve radyo frekans eşdeğer devresi verilmiştir.

PIN diyotlar, alçak frekanslı (AF) ses sinyalleriyle, yüksek frekanslı (YF, HF) radyo sinyallerinin modülasyonunda (karıştırılmasında), doğru polarma gerilimi değiştirilerek elektronik zayıflatıcı olarak vb. kullanılırlar.

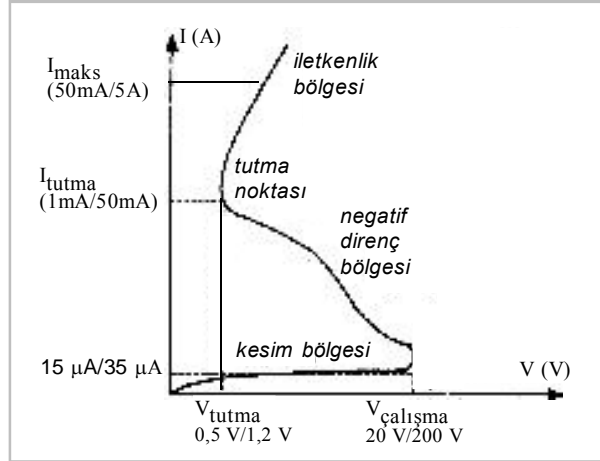
VIII. Sabit akımlı diyotlar:

Gerilimdeki değişmelere rağmen akımı sabit tutabilen diyotlardır. Örneğin 1N5305 kodlu diyoda uygulanan gerilim 2 ile 100 V arasında değişmesine rağmen geçen akım 2 mA olarak sabit kalır. Bu elemanlar akım regülasyonunu sağlamak için kullanılırlar.

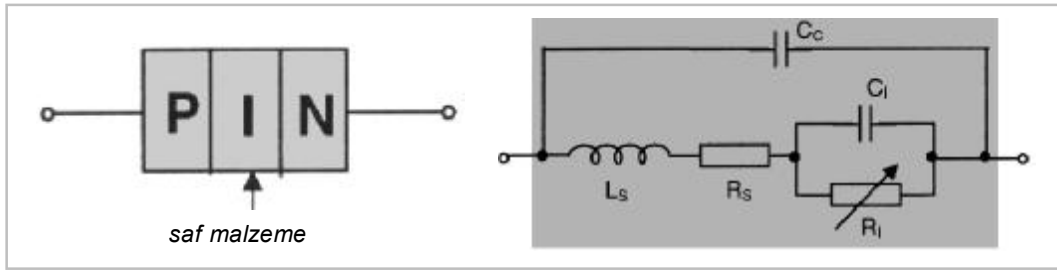


Şekil 3.48: Dört tabaka (4D) diyot sembolü

Şekil 3.49: Dört tabaka (4D) diyodun yapısı



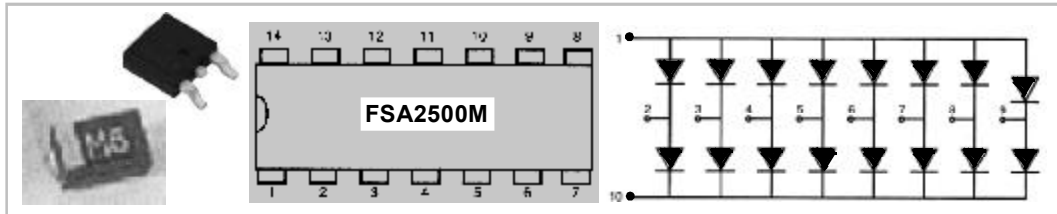
Şekil 3.50: Dört tabaka diyotların elektriksel karakteristik eğrisi



Şekil 3.51: PIN diyotların yarı iletken iç yapısı ve RF (radyo frekans) eşdeğer devresi

IX. SMD tip (*chip*, *çip*) diyotlar: Küçük boyutlu elektronik devrelerde (bilgisayar, yazıcı, faks, TV, telefon, video vb.) kullanılan diyotlardır. SMD tip diyotların özellikleri diğer diyotlarla aynıdır. Sadece boyutları çok küçük olduğundan söküp takılmaları zordur. SMD tipi elemanların söküp takma işlemleri ince uçlu havya ve kaliteli lehim yoksa yapılmamalıdır.

Bazı SMD diyot örnekleri: BAS16 (SMD kodu: JU/A6): 75 V/250 mA, BAL74 (SMD kodu: JC): 50 V/250 mA, BYM1050: 50 V/1 A



Resim 3.9: SMD tipi diyot örneği

Şekil 3.52: Entegre tipi diyotların yapısı

X. Entegre tipi diyotlar (diyot dizileri): Karmaşık yapılı elektronik devrelerde diyotlar entegreye benzer şekilde bir gövde içinde toplanmış hâlde olabilmektedir. Şekil 3.52'de verilen entegre tipi diyot modelinde görüldüğü gibi 16 adet diyot bir gövde içinde birleştirilerek kullanıma sunulmuştur.

ş. Optoelektronik: Led, fiber optik kablo, fotodiyot, fototransistörün birer optoelektronik araç olduğunu vurgularsak kelime ne kadar yabancı olsa da hangi konularla ilgili olduğunu kavrayabiliriz.

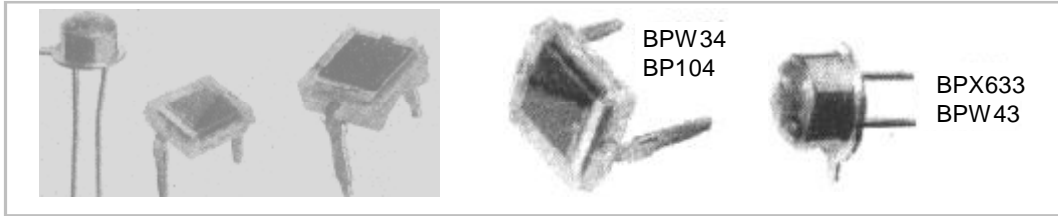
Optoelektronik aletler, ışık yayan, ışığı algılayan, ya da ışığın bir yerden başka bir yere iletilmesini sağlayan araçlardır. Bu aletler, iletişim, güç elektroniği, ölçüm ve denetim yapma gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

Genel bir tanımla ışık, radyo dalgaları, gama ışınları, kızıl ötesi ışınım ve röntgen ışınlarına benzer nitelikleri olan elektromanyetik ışınım (radyasyon) şeklinde bir enerjidir. Başka bir deyişle ışık, düzgün bir enerji dağılımına sahip elektrik ve manyetik alandan oluşan dalga olup, enerji taşıyan parçacıklardan yani fotonlardan oluşmaktadır.

Işığın dalga ve parçacıktan oluşan ikili bir yapısı vardır. Bazen parçacık özelliği bazen de dalga özelliği ağırlık kazanır. Ancak mutlak olan husus, ışığın enerji taşıdığıdır. Işığın elektronik alanında kullanılmasını sağlayan bu özelliğidir.

Optoelektronik 0,3 µm'den 30 µm'ye kadar dalga boylarındaki elektromanyetik ışınım ile ilgilidir. Yani bu aralık hemen morötesinin içinden başlar, gözle görülür aralığında geçerek kızılötesi bölgesinin epey içine kadar uzanır.

Gözle görülür ışık, renkli olarak algılanmakta olup, rengi, dalga boyunun belirlediği anlaşılmaktadır. Kırmızı ışık en uzun dalga boyuna sahip olup, 0,78 µm, mor ışık ise 0,4 µm'dir. 0,8 µm'den 100 µm'ye kadar olan aralık kızıl ötesi, 0,01 µm'den 0,4 µm'ye kadar olan bölüm ise mor ötesi olarak adlandırılır.



Resim 3.10: Çeşitli fotodiyotlar

Optoelektronikle ilgili elektronik devre elemanları

I. Fotodiyotlar (*photodiode*, *ışığa duyarlı diyot*): Üzerine ışık düştüğünde iletken olarak katot ucundan anot ucuna doğru akım geçiren elemana fotodiyot denir. Bu elemanlar doğrultmaç diyotlarına çok benzer. Tek fark şekil 3.54'te görüldüğü gibi fotodiyotların birleşim yüzeyinin aydınlatılmış (ışık alabiliyor) olmasıdır.

Fotodiyotlar devreye ters bağlanır ve ışık ile ters yöndeki sızıntı akımlarının artması sùretiyle kontrol yaparlar. Bu kontrol, ışıkla yarı iletkenin kristal yapısındaki bağların bazı noktalarda kopması sonucu elektron ve oyukların hareketiyle doğan akımın çoğalması şeklinde olur.

Şekil 3.55'te görüldüğü gibi fotodiyotların üzerine gelen ışık bu elemanların geçirdikleri akımı artırmaktadır. Geçen akım, ışığın şiddetine bağlı olarak 100 µA ile 150 mA, gerilim ise 0,14 - 0,15 volt arasında değişmekte olup çok küçüktür.

Fotodiyotların çalışma hızı yaklaşık 1 nanosaniye ile 0,2 mikrosaniye arasında olup son derece yüksektir. Bu hızlı davranışları ve boyutlarının küçük olması nedeniyle ışık ölçüm aygıtlarında, ışık dedektörlerinde, elektronik alarm düzeneklerinde, elektronik flaşlarda, optokuplörlerde, fiber optik kabloyla veri iletiminde vb. yaygın olarak kullanılırlar.

Fotodiyotlar enfraruj ışınlarına karşı da duyarlıdır. Bunu sağlamak için diyodun gövdesindeki alıcı kısmın merceği renkli cam ya da plastikten yapılarak normal ışınların etkide bulunması önlenir.

Fotodiyot örnekleri: BPW12, BPW20, BPW30, BPW33, BPW34, BPW63, BPW65.

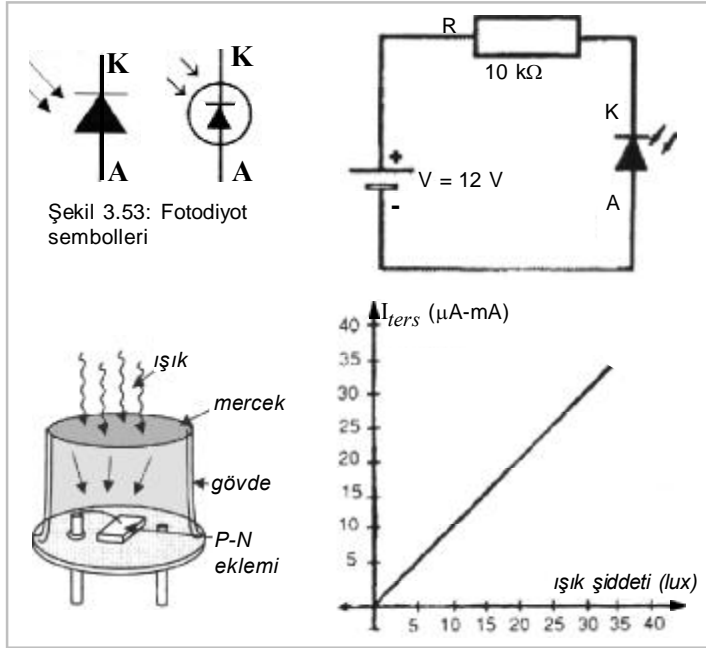
II. Optokuplörler (*optik bağlaç*, *optocoupler*, *optoizolatör*, *optoswitch*): Işık yayan eleman ile ışık algılayan bir elemanın aynı gövde içinde birleştirilmesiyle elde edilen elemanlara optokuplör denir. Şekil 3.56'da yapıları görülen bu elemanlarda ışık yayan eleman olarak led, enfraruj led kullanılırken ışık algılayıcı olarak fotodiyot, fototransistör, fototristör, fototriyak vb. gibi elemanlar

kullanılır.

Optokuplörler daha çok ışık yoluyla, iki ayrı özellikli devre arasında elektriksel (galvanik) bağlantı olmadan irtibat kurulmasını sağlayan devrelerde kullanılırlar. Şöyle ki; düşük gerilimle çalışan bir devreyle yüksek gerilimli bir güç devresine optokuplör aracılığıyla kumanda edilebilir.

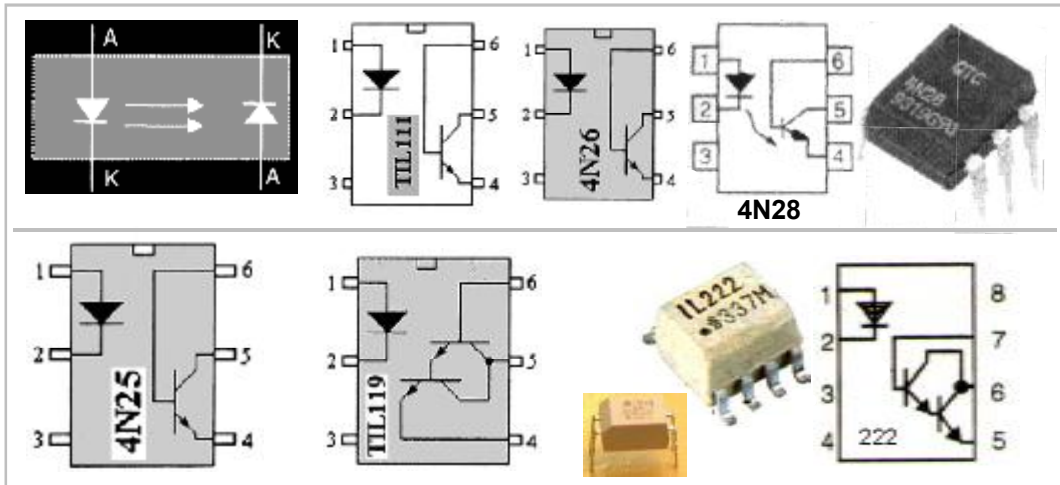
Optokuplörler 2000 - 5000 volt arası gerilimlere dayanıklı olduğundan en hassas kontrol sistemlerinde güvenle kullanılabilir.

Burada verilen voltaj (gerilim) değerleri iki ayrı özellikli devrenin birbiri arasında akım geçişinin olabilmesi için uygulanması gereken değeri belirtir. Şöyle ki; kumanda devresi 5 V ile çalışsın. Bu devrenin tetikleme akımı göndermesiyle enfraruj led ışın yayarak karşısında bulunan ışığa duyarlı elemanı tetikler. Tetiklenen eleman ise ilettime geçerek yüksek voltajlı devrenin çalışmasını sağlar. Optokuplörler, TV, bilgisayar, PLC cihazı ve otomasyon sistemlerinde kullanılır.



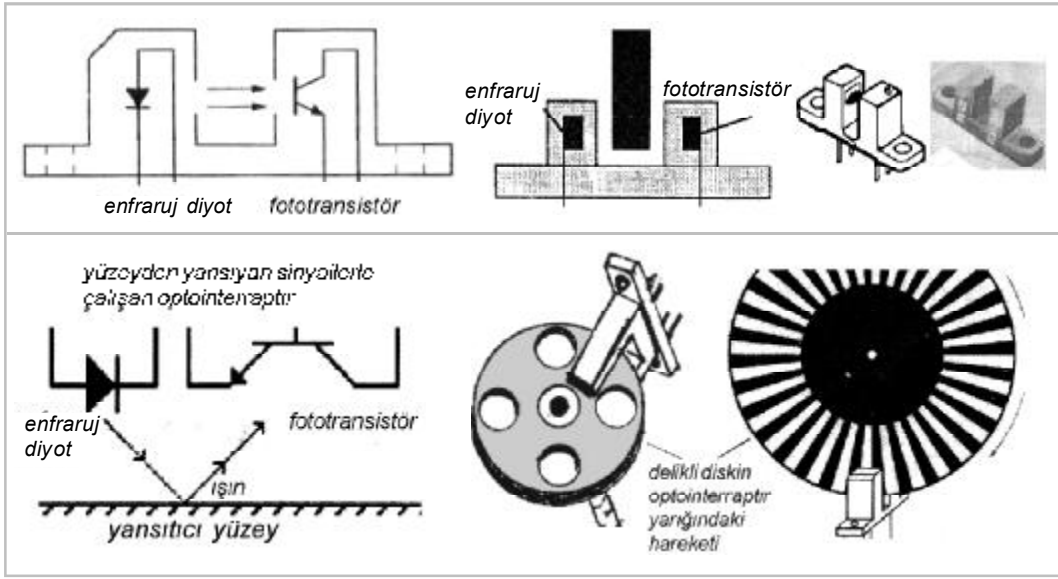
Şekil 3.54: Fotodiyodun yapısı

Şekil 3.55: Işığa bağlı olarak fotodiyodun üzerinden geçen akımın değişimini gösteren eğri



Şekil 3.56: Uygulamada kullanılan çeşitli optokuplörlerin iç yapısı

III. Optointerraptırlar (optointerrupter, açık tip optokuplör): Optokuplörler çok benzeyen devre elemanlarıdır. Tek farkları, ışık yayan eleman ile ışığı algılayan eleman arasına bir cisim girmesi mümkün olacak şekilde (açık gövdeli) dizayn edilmiş olmalarıdır. Şekil 3.57'de yapıları görülen bu elemanlarda ışık yayan elemana akım uygulandığında oluşan ışık algılayıcıya ulaşır. Algılayıcının çıkışında maksimum değerde akım oluşur. Araya bir cisim girdiğinde ışık geçişi sona ereceğinden



Şekil 3.57: Optointerraptırların yapısı

algılayıcı elemanın çıkış akımı sıfır (0) olur.

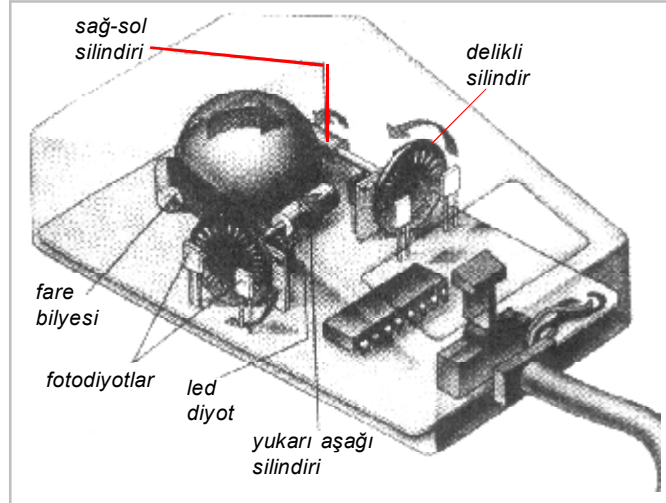
Optointerraptırlar bilgisayar farelerinde (mouse), otomasyon sistemlerinde, robot kontrollerine vb. kullanılırlar.

Ek bilgi: Bilgisayar faresinin yapısı

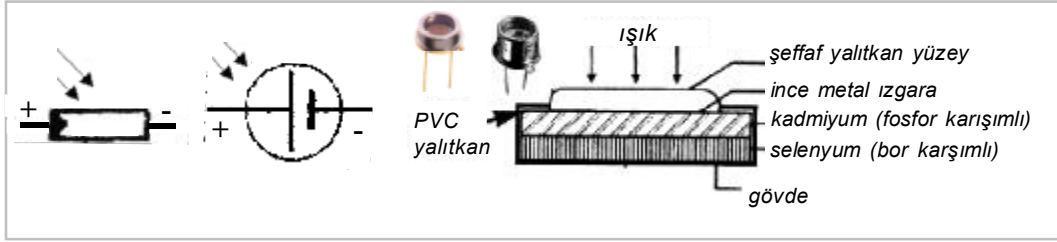
Şekil 3.58'de iç yapısı verilen bilgisayar faresi hareket ederken, gövde içindeki bilye elimizle yaptığımız hareketlerin miktarlarını birbirine dik olarak yerleştirilmiş iki silindir yardımıyla ikiye ayırır. Led ve fotodiyotlar (ya da fototransistörler) arasında kalan delikli disk, silindirin dönme hızı ile orantılı olarak döner. Bu sırada fotodiyotlar led tarafından yayılan ışığın engellerden geçmesi anında bir sinyal (kare dalga) üretirler. Doğal olarak birim zamanda üretilen bu sinyallerin sayısı delikli diskin dönme hızı, silindirin dönme hızıyla orantılı olacaktır. Sonuçta farenin altında dönen topun hareketleri entegreli devre aracılığıyla bilgisayarın işlem devrelerine aktarılabilmektedir.

IV. Fotopiller (fotosel, güneş pili, solar cell, photovoltaic cell):

Güneş enerjisini (gün ışığını) elektrik enerjisine dönüştüren elemanlara fotopil denir. Foton absorblanmasıyla (emilmesiyle) oluşan yük taşıyıcılar çoğunlukta oldukları bölgelere sürüklenirler. Birleşim yüzeyinden I akımı geçer ve N tipi madde eksi (-), P tipi madde ise artı (+) yüklenmiş olur. I akımı, birleşim yüzeyinin ileri yönde kutuplaşmasına ve birleşim potansiyel setinin alçalmasına neden olur. Dış devre açık ise (alıcı yoksa) P'den N'ye akım geçer ve birleşim yüzeyindeki set tekrar yükselir. P bölgesi eksi (-), N bölgesi artı (+) yüklenir. Sonra tekrar



Şekil 3.58: Bilgisayarda kullanılan farenin iç yapısı



Şekil 3.59: Fotopil sembolleri

Şekil 3.60: Fotopilin yapısı

foton absorblanarak (emilerek) olay devam eder.

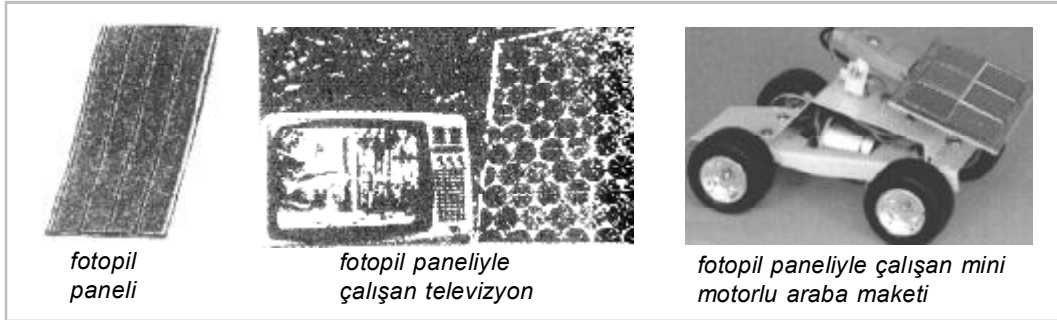
Dış devreden akım çekilirse P-N birleşim yüzeyindeki potansiyel, elektronları daha yüksek potansiyelle çıkaran batarya (pil) rolü oynamaktadır.

Enerjisi yeterli bir ışık demeti, P-N birleşim yüzeyine düşürülecek olursa foton, elektronlarla karşılaşarak enerji verebilir. Serbest hâldeki elektronlar valans elektronlarının ancak $1/10^4$ kadar olduğundan, bu ihtimal zayıftır. Foton, muhtemel valans elektronu ile karşılaşır ve ona enerjisini bırakarak iletkenlik bandına çıkarır. Valans bandına giden elektron arkasında bir boşluk (artı yük) bırakır. Sonuç olarak P tipi bölge artı (+), N tipi bölge eksi (-) yüklenerek bir elektriksel potansiyel farkının oluşmasına yol açar. Bu da elektrik akımını doğurur.

Foton akısı, ışık demetine birim yüzeyden birim zamanda geçen foton sayısı olarak tanımlanır. Işık ışınları (fotonlar) fotopil üzerine düştüğünde küçük yarı iletken temelli hücrelerde yaklaşık 0,4-0,5 V / 8-100 mA'lık elektrik akımının oluşmasını sağlarlar.

Güneş pilleriyle 3 V gerilim elde etmek isteniyorsa 6 tanesi birbirine seri olarak bağlanır. Sistemden alınan akım yükseltmek istendiğinde ise, elemanlar paralel bağlanır. Yüksek gerilim ile akım elde etmek için yapılmış güneş enerjisi panellerinde yüzlerce güneş pili seri ve paralel bağlı durumdadır. Güneş pili üzerine düşen ışığın şiddeti bir noktadan sonra artırılrsa da (örneğin 4000 luksten sonra) alınan gerilim sabit kalmaktadır.

Bu elemanlar, güneş ışığıyla çalışan saat, radyo, TV, hesap makinesi, otomobil, sokak lambası, uydu vericisi, uçak vb. gibi aygıtlarda kullanılır.



Resim 3.11: Fotopil örnekleri

t. Diyot katalogları: Üretici firmalar uygulamalarda istenilen sonuçları elde edebilmek için ürettikleri elemanlar hakkında ayrıntılı bilgi katalogları yayımlarlar.

Elektronik devre tasarımcıları ve onarım işiyle uğraşanlar piyasaya sürülmüş olan kitap ya da CD-ROM hâlindeki tanıtım kataloglarını alarak başvuru kaynağı olarak kullanırlar.

Diyot kataloglarında bulunan kısaltmaların anlamları

$+I_{\text{diyot}} = I_F$: Diyodun doğru polarmada geçirebileceği akım (*forward current*)

$-I_{\text{diyot}} = I_R$: Diyodun ters yön akımı (*reverse current*)

R_F : Diyodun iletim direnci (*forward resistance*)

R_R : Diyodun ters yön direnci (*reverse resistance*)

$V_{\text{iletim}} = V_F$: Diyodun iletim gerilimi (*forward voltage*)

$V_{\text{ters}} = V_R$: Diyodun ters yön gerilimi (*reverse voltage*). Diyoda uygulanabilecek maksimum gerilim

değeri (1N4001 diyot için bu değer 50 voltur).

$t_j = t_{stg}$: Diyodun çalışma sıcaklığı

C_j: Diyodun kapasitesi

f: Diyodun çalışma frekansı

P: Diyodun gücü

u. Diyotların rakam ve harflerle kodlanması

1. harf: Yarı iletkeni belirtir.

A: Almanya'dan yapılmıştır.

B: Silisyumdan (silikondan) yapılmıştır.

C: Galyum-arsenikten yapılmıştır.

D: İndiyum-antimonundan, indiyum arsenikten yapılmıştır.

R: Polikristal (çoklu kristal) yarı iletkenlerden (kadmium sülfat vb.) yapılmıştır.

2. harf: Diyodun cinsini (genel işlevini) belirtir.

A: Dedektör diyodu, yüksek hızlı diyot, mikser diyodu, doğrultmaç diyodu

B: Kapasitif (varikap) diyot

P: Photo (foto) diyot

E: Tünel diyot

N: Optokuplör

P: Işık belirleme (hissetme) elemanı

Q: Işık yayan diyot (led)

Y: Doğrultmaç ya da benzeri diyot

Z: Gerilim referansı ya da regülatör diyot

Diyot üzerinde bir ve ikinci harften sonra gelen numaralar, elemanın özel kullanım alanlarını belirtir.

1N, 1/4M, 25N, 4M, 1/2Z: Amerikan standartında kullanılan kodlama

1S: Japon standartında kullanılan kodlama

2T, 3T, 4T: ITT firmasının kodlaması

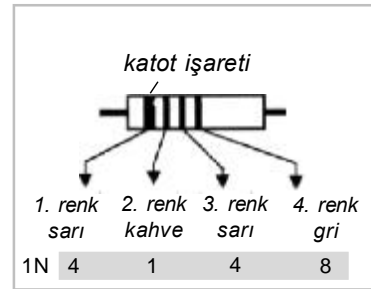
5A, 5D, 8D, 10B-C-D, A, AA, AAY, AB, AC, AD, AE, AZ, BA, BAX, BAY, BB... çeşitli üretici firmalarca kullanılan diyot kodları

ü. Diyotların renk bantlarıyla kodlanması: 1N serisi diyotların bazı modellerinde elemanın adı renk bantlarıyla gösterilmektedir. Renklerin rakamsal karşılıkları şöyledir:

Siyah	: 0	Kahverengi	: 1
Kırmızı	: 2	Turuncu	: 3
Sarı	: 4	Yeşil	: 5
Mavi	: 6	Mor	: 7
Gri	: 8	Beyaz	: 9

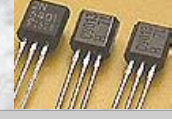
Örnek: Gövdesi üzerinde **sarı, kahverengi, sarı, gri** renkleri bulunan diyodun modelini belirleyiniz.

Çözüm: Sarı: 4. Kahverengi: 1. Sarı: 4. Gri: 8 = 1N4148

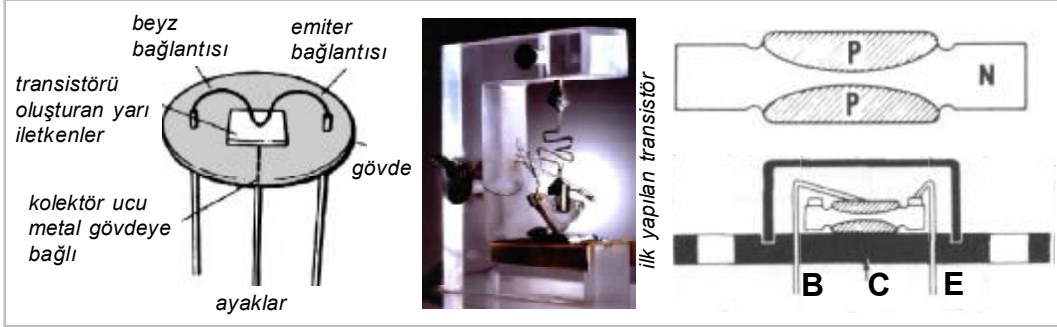


Şekil 3.61: Diyotların renk bantlarıyla kodlanması

Bölüm 4: Transistörler (BJT)



Giriş: Elektronik ile ilgili sistemlerin gelişip üstün seviyeye gelmesi yarı iletken temelli transistörlerin bulunmasından sonra olmuştur. Uygulamada 100.000'e yakın çeşitte transistör vardır. Ayrıca her geçen gün yeni özelliklere sahip transistörler üretilmektedir.



Şekil 4.1: Nokta temaslı transistörlerin yapısının basit olarak gösterilmesi

Şekil 4.2: Yüzey temaslı transistörlerin yapısının basit olarak gösterilmesi

Şekil 4.1'de görülen germanyumdan yapılmış ilk nokta temaslı transistörler 1947 yılında Bell Telefon Laboratuvarlarında çalışan W. Brattain ve J. Bardeen adlı bilim insanları tarafından bulunmuştur.

Germanyum transistörler ısıdan çok etkileniyor, ısı ile akımları artıyordu. Elektrotlar arası kapasitelerinin büyük olması ise osilasyonlara (salınımlara) neden oluyordu. Daha sonraki yıllarda silisyumdan transistör yapımı başladı. Silisyum transistörler germanyum transistörlerde ortaya çıkan bir çok sakıncanın ortadan kalkmasını sağladı.

1949 yılında ise nokta temaslı transistörlerden daha kolayca üretilebilen, bugün kullandığımız iki polar malzeme (bipolar) yüzey temaslı tip transistörler Schockley (Şokley) tarafından geliştirilmiştir. Şekil 4.2'de yüzey temaslı transistörün yapısı görülmektedir. İki polar malzeme yüzeyli transistörler teknik anlatımlarda kısaca **BJT** (*Bipolar Junction Transistor*) olarak da adlandırılmaktadır.

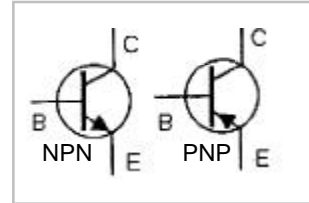
Transistör kelimesi, transfer (aktarma) ve *resistor* (direnç) sözcüklerinin kısaltılmasıyla ortaya çıkmıştır.

Transistörlerin ayak adlarının Türkçe karşılıkları şöyledir:

Emiter (emitter): Yayıcı,

Kolektör (collector): Toplayıcı,

Beyz (base): Taban, giriş, kontroldür.



Şekil 4.3: NPN ve PNP transistör sembolleri

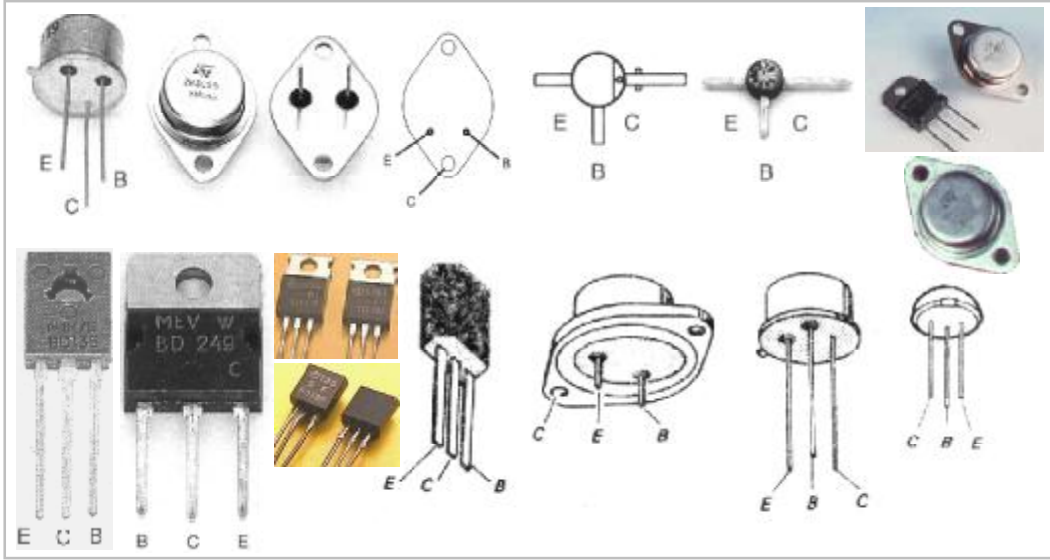
A. Transistörlerin genel tanımı

NPN ya da PNP şeklinde dizilmiş üç yarı iletkenin birleşiminden oluşmuştur. Ayakları beyz (B), kolektör (C), emiter (E)'dir. B ucu tetiklendiğinde C-E arasının direnç değeri azalarak akım geçirir. C-E arasından geçen akımın değeri beyz ucuna uygulanan tetikleme akımının miktarına bağlıdır.

NPN ve PNP transistörün çalışma ilkesi ve yapısı birbirine çok benzemesine rağmen yüksek frekanslı sinyallere karşı tepkisi daha iyi olduğundan NPN tip transistörler devrelerde daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Transistörlerin yapısı

a. NPN tipi transistörün yapısı: Şekil 4.4'te görüldüğü gibi NPN transistör yapılırken iki adet N tipi özelliğe sahip yarı iletken malzemenin arasına ince bir katman hâlinde P tipi malzemenin beyz tabakası yerleştirilmiştir. Araya yerleştirilen beyz tabakası iki büyük tabaka arasındaki elektron



Resim 4.1: Çeşitli transistörler

oyuk geçişini kontrol etme bakımından görev yapmaktadır.

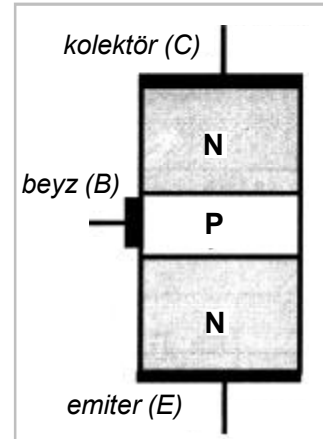
Transistörleri musluğa (vana) benzetmek mümkündür. Musluk akan sıvıyı denetler (ayarlar). Transistör ise geçen akımı denetler. Bu özelliği sayesinde küçük akımlar aynı biçimde olmak kaydıyla büyütülebileceği gibi, küçük bir akım ile büyük bir alıcının çalışması da sağlanabilir.

Şekil 4.5'te verilen vana eşdeğerinde B ucundan bir miktar su verildiğinde yay ile tutturulmuş kol aşağıya doğru inerek C bölgesinden E bölgesine doğru yüksek miktarda bir su geçişini sağlar. B girişine uygulanan su kesildiği anda yay kolu çekerek C ile E arasındaki geçişi kapatır.

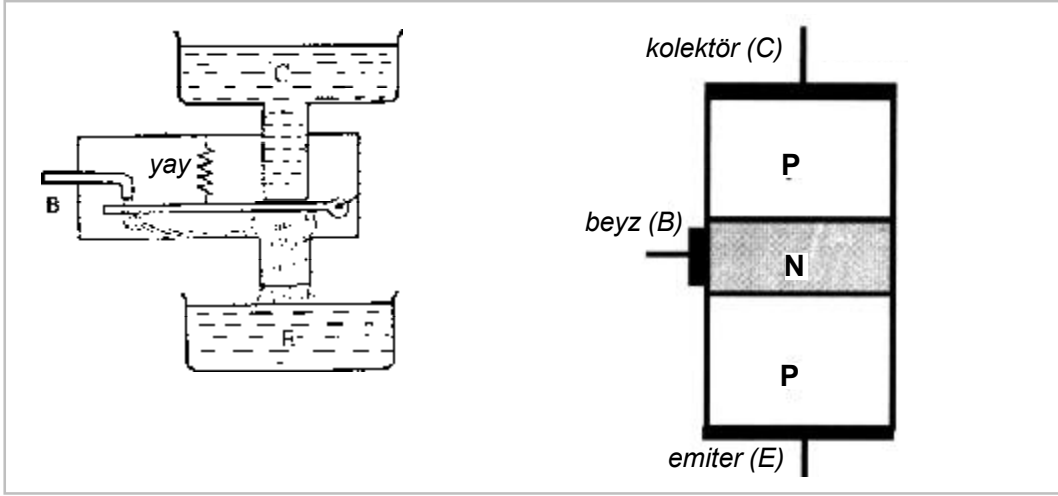
b. PNP tipi transistörün yapısı: Şekil 4.6'da görüldüğü gibi PNP transistör yapılırken iki adet P tipi özelliğe sahip yarı iletken malzemenin arasına ince bir katman hâlinde N tipi malzemeden beyz tabakası yerleştirilmiştir. Araya yerleştirilen beyz tabakası iki büyük tabaka arasındaki elektron oyuk geçişini kontrol etme bakımından görev yapmaktadır.

Transistörlerin çalışma ilkesi

a. NPN tipi transistörün çalışma ilkesi: Şekil 4.7'de görüldüğü gibi, V_{BB} kaynağının artı (+) ucu beyz bölgesini pozitif olarak yükler. V_{CC} kaynağının eksi (-) ucu E bölgesindeki elektronları yukarı iter. Sıkışan elektronlar beyz (B) tarafından çekilir. Başka bir deyişle, emiterin iletim bandındaki elektronlar E-B gerilim settini aşarak beyz bölgesine girerler. Ancak B bölgesi çok dar olduğundan, emiterden gelen elektronların % 1-2'lik kısmı B bölgesi tarafından çekilirken, yaklaşık % 98-99'luk kısım C bölgesine geçer. V_{CC} 'nin artı (+) ucu C bölgesindeki elektronları kendine çeker. Bu sayede elektron hareketi süreklilik kazanır. V_{BB} 'nin verdiği beyz akımı olduğu sürece E'den C'ye elektron akışı sürer. NPN transistörde elektronlar yukarı giderken (şekil 4.8), oyuklar aşağı doğru gider (şekil 4.9). Bu nedenle pratik anlatımda B'ye uygulanan artı (+) sinyal C'den E'ye doğru akım geçirir denir. Sonuç olarak, emiter akımı, beyz ve kolektör akımlarının toplamına eşittir. Bunu denklem olarak ifade edersek, $I_E = I_B + I_C [A]$ eşitliği yazılabilir.

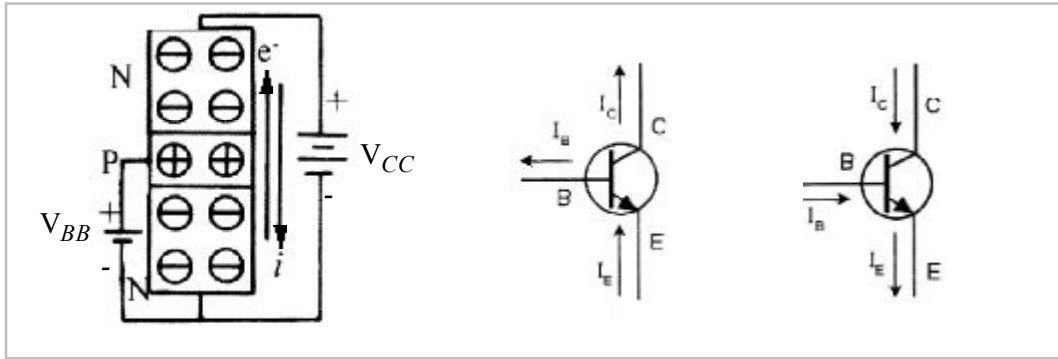


Şekil 4.4: NPN transistörün yarı iletken yapısı



Şekil 4.5: Transistörün vana (musluk) eşdeğeri

Şekil 4.6: PNP transistörün yarı iletken yapısı



Şekil 4.7: NPN transistörün iç yapısı

Şekil 4.8: NPN transistörde elektronların hareket yönleri

Şekil 4.9: NPN transistörde oyukların hareket yönleri

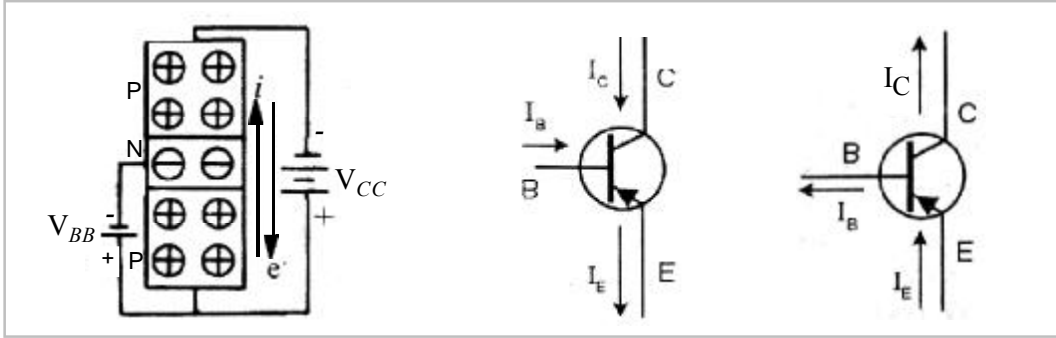
b. PNP tipi transistörün çalışma ilkesi: Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, V_{BB} kaynağının eksi (-) ucu B bölgesini negatif olarak yükler. V_{CC} kaynağının artı (+) ucu E bölgesindeki artı (+) yüklü oyukları yukarı iter. Sıkışan artı (+) yükler B tarafından çekilir. Ancak B bölgesi çok dar olduğundan oyuklar C bölgesine geçerler. V_{CC} 'nin eksi (-) ucu C bölgesindeki oyukları kendine çektiğinden oyuk hareketi süreklilik kazanır. V_{BB} akımı olduğu sürece E'den C'ye oyuk akışı sürer. E'den gelen oyukların yaklaşık % 1-2'lik kısmı V_{BB} tarafından yutulurken, geriye kalan % 98-99'luk oyuk V_{CC} kaynağının eksi (-) ucuna gider.

PNP transistörde elektronlar aşağı giderken (şekil 4.11), oyuklar yukarı doğru gider (şekil 4.12). Bu nedenle pratik anlatımda B'ye uygulanan eksi (-) sinyal E'den C'ye doğru akım geçirir denir.

Görüldüğü üzere NPN ve PNP transistörün çalışma şekli aynıdır. Sadece birinde elektronlar, diğerinde ise oyuklar görev yaparak akım geçişini sağlamaktadır.

Transistör eklemlerinde oluşan gerilim setleri: Şekil 4.13'te görüldüğü gibi P ve N tipi iki yarı iletken birleştirilince, ilk anda birleşim bölgesinde bir elektron-oyuk hareketi başlar. Yani P tipi maddenin sağ tarafındaki oyuklarla N tipi maddenin sol tarafındaki elektronlar birbirini çekerek birleşirler. Bunun sonucunda P-N birleşim bölgesinde elektriksel olarak nötr (ne artı ne de eksi yüklü, yani yüksüz) bölge oluşur. İşte bu nötr bölge bir set (engel) gibi davranarak yarı iletken malzemelerin içinde bulunan diğer oyuk ve elektronların birleşmesini engeller.

Ancak dışarıdan bir enerji (ışık, ısı, elektrik akımı) uygulanacak olursa P-N birleşiminin nötr bölgesi (gerilim setti) yıkılır.



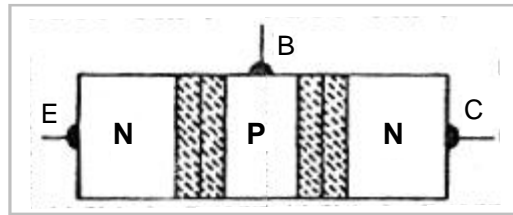
Şekil 4.10: PNP transistörün iç yapısı

Şekil 4.11: PNP transistörde elektronların hareket yönleri

Şekil 4.12: PNP transistörde oyukların hareket yönleri

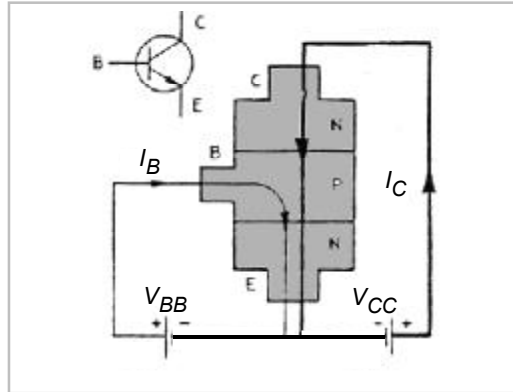
Sonuç olarak, P-N birleşiminin olduğu her elemenda bir gerilim setti söz konusudur.

Bu settin aşılması için elektrik akımı uyguladığımızda eğer eleman germanyumdan yapılmışsa gerilim değeri 0,2 voltu aşınca, silisyumdan yapılmışsa 0,6 - 0,7 voltu aşınca akım geçişi başlar.



Şekil 4.13: Transistörü oluşturan yarı iletkenlerin birleşim yüzeylerindeki gerilim setti

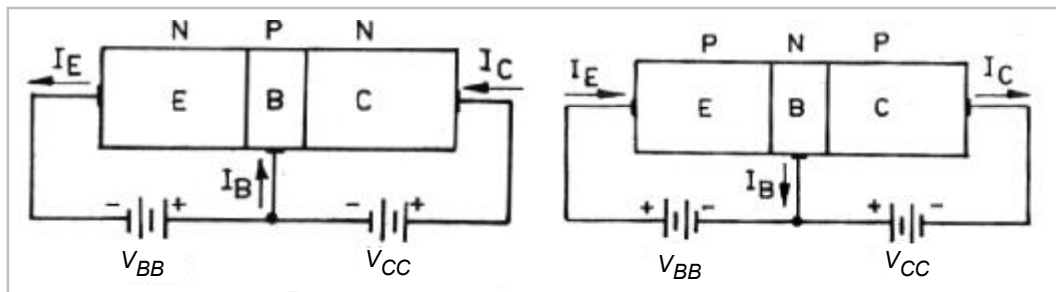
Transistörlerde polarma (E-B-C uçlarına DC uygulama): Elektronik devrelerde kullanılan transistörler doğru polarmalandığında iletme, ters polarmalandığında ise kesime giderler. Bu bakımdan NPN ve PNP transistörlerin hangi polarmada çalıştığı iyice öğrenilmelidir. Şekil 4.14'te NPN transistörlerin çalışması için uygulanması gereken DC gerilimlerin yönleri verilmiştir.



Şekil 4.14: NPN transistörün çalışabilmesi için B-C-E uçlarına DC gerilimin uygulanışı

a. NPN ve PNP transistörlerin doğru polarmalanması: Transistörün beyz ucuna akım uygulanmadığında C-E arasından akım geçişi olmaz. Yani eleman kesimde (*cut-off*) kalır. Transistör germanyumdan yapılmışsa B ucuna uygulanan gerilim 0,2 voltu aşınca, silisyumdan yapılmışsa 0,6-0,7 voltu aşınca C ve E arası iletken olur.

NPN tipi transistörlerin B ucuna şaseye göre artı (+) uygulandığında iletimin olabilmesi için C'ye



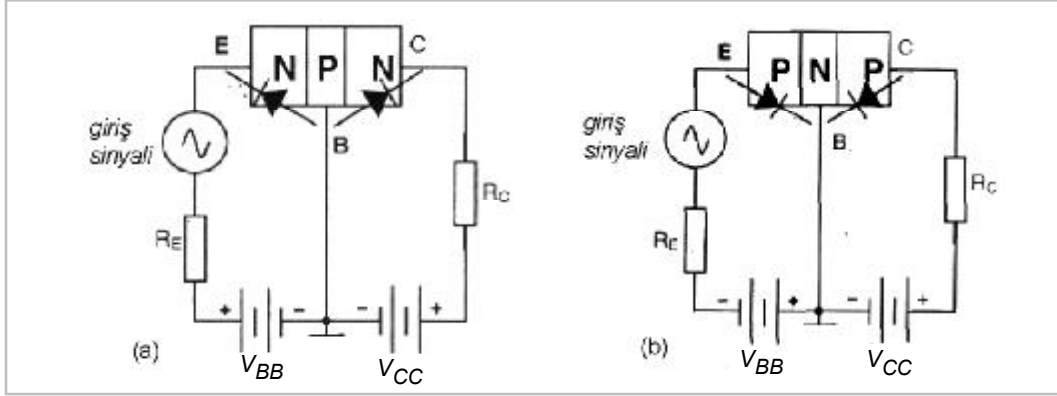
Şekil 4.15: NPN transistörün doğru polarılması

Şekil 4.16: PNP transistörün doğru polarılması

artı (+) ve E'ye eksi (-) uygulanır (şekil 4.15).

PNP transistörlerde B ucuna eksi (-) uygulanınca E'den C'ye akım geçişi olur. Bu sırada E'ye artı (+) ve C'ye (-) verilir (şekil 4.16).

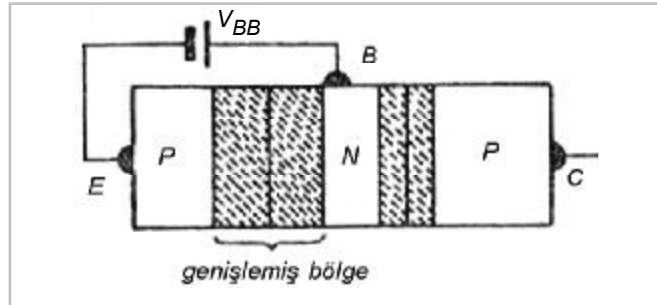
Sonuç olarak, transistörleri aktif yükseltme elemanı olarak kullanabilmek için B-E birleşimi doğru polarmalanırken edilirken B-C eklemi ters polarmalanır. Şekil 4.15 ve şekil 4.16'ya bakınız.



Şekil 4.17: NPN ve PNP transistörlerin ters polarmalı olarak bağlanmasına ilişkin örnek şekiller (Verilen şemalarda transistörlerin B-E ve B-C eklemeleri, anlamayı kolaylaştırmak için diyot şeklinde gösterilmiştir.)

b. NPN ve PNP transistörlerin ters polarmalanması: Transistörlerin beyz-emiter (B-E) uçları doğru, beyz-kolektör (B-C) uçları ters polarmalanırsa eleman çalışır. Şekil 4.17-a ve b'de görüldüğü gibi B-E uçları ve B-C uçları yanlış polarmalanırsa eleman çalışmaz. Hatta elemenda bozulma bile olabilir.

Şöyle ki; B-E arası ters polarmalanırsa beyz-emiter geçiş eklemi şekil 4.18'de görüldüğü gibi genişler ve set gerilimi büyür. Akım geçişi olmaz. B-C uçları ters polarmalı değil de doğru polarmalanırsa transistör yine çalışmaz.



Şekil 4.18: B-E eklemi ters polarmalanmış PNP transistör (Burada B-E uçlarına uygulanan ters yönlü polarma gerilimi transistörün dayanabileceği değerin üzerine çıkarsa B-E eklemi bozulur.)

Transistörlerin sağlamlık testi:

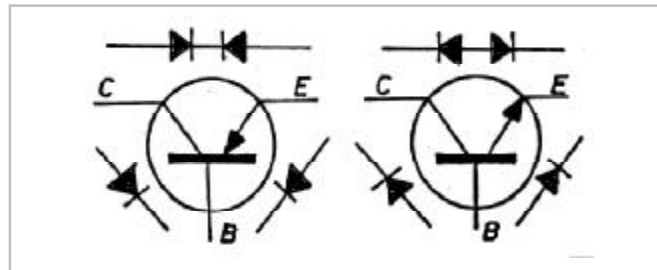
Transistörlerin testi yapılırken şu yöntemler kullanılır:

a. Ohmmetre ile sağlamlık testi:

Sağlamlık testinde alınması gereken değerleri kolayca anımsayabilmek için NPN ve PNP transistörü şekil 4.19'da görüldüğü gibi birbirine ters seri bağlı iki diyoda benzetebiliriz.

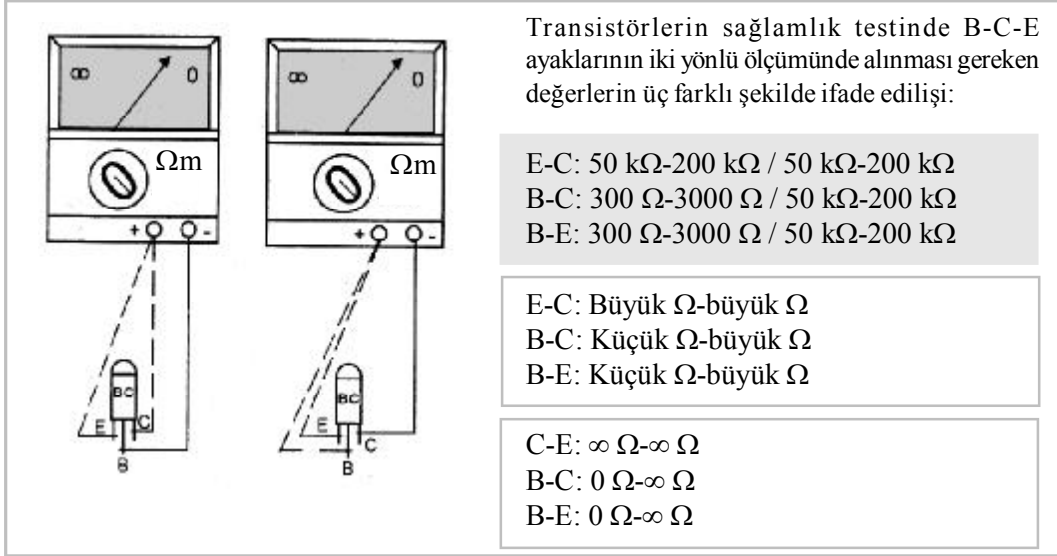
Bu benzetmeden yola çıkarak ohmmetre ile yapılacak 6 ölçümde çizelge 4.1'de verilen değerler alınmalıdır.

Not: Diyotlar birbirine ters bağlanmak sûretiyle transistör elde edilemez.



Şekil 4.19: PNP ve NPN tipi transistörlerin diyot eşdeğerleri

b. Polarma gerilimine bakarak sağlamlık testi: Dijital multimetrelerin (AVOmetre)



Şekil 4.20: Transistörün sağlamlık testinin analog (ibrelili) ohmmetreyle yapılışı

Çizelge 4.1

komütatörü diyot sembolünün bulunduğu yere getirilir. Yapılan ölçümlerde silisyum transistörlerin B-E ve B-C eklemleri üzerinde düşen gerilimler bir yönde yaklaşık 450-650 mV olarak okunur, diğer yönde hiçbir değer okunamazsa (ya da O.L: Açık devre, 1,2 V gibi değerler de görülebilir) eleman sağlam demektir. Ayrıca ölçüm sırasında B-E eşik geriliminin B-C geriliminden biraz büyük olduğu görülür. Bu özellik sayesinde E ve C uçlarını kolayca belirleyebiliriz.

Örnek olarak ölçü aleti komütatörü diyot konumundayken yapılan ölçümlerde,

- ▶ BC547 kodlu transistörde $V_{BE} = 582 \text{ mV}$, $V_{BC} = 576 \text{ mV}$
- ▶ 2N3055 kodlu transistörde $V_{BE} = 455 \text{ mV}$, $V_{BC} = 447 \text{ mV}$ olarak okunmuştur.

Ek bilgi: Bir transistör devreye bağlıken ohmmetre kullanılarak sağlamlık testi yapılacak olursa yanlış sonuçlar okunabilir. Ancak ölçme komütatöründe diyot sembolü bulunan bir ölçü aletiyle eleman sökülmeden sağlamlık testi yapılabilir.

Şöyle ki; ölçü aletinin komütatörü diyot işaretinin bulunduğu konuma getirilir. B-E, B-C ayakları arasında yapılan ölçümlerde P-N birleşim yüzeylerinde düşen gerilimler mV cinsinden (yaklaşık 450-650 mV) okunursa eleman sağlamdır.


Transistörlerin tipinin belirlenmesi: AVOMETRE komütatörü ohm kademesine alınır (x1k ya da x10k konumları) B ucuna artı (+) prob, C ya da E ucuna ise eksi (-) prob değiştirilir. Küçük direnç okunursa (300 Ω-3000 Ω) transistör NPN, büyük direnç okunursa (50 kΩ-200 kΩ) PNP'dir.

Transistörlerin E-C-B uçlarının bulunması: Transistörlerin E-C-B uçlarını bulmada kullanılan yöntemler şunlardır:

a. Metal gövdeli transistörlerde ayakların bulunması: Dış gövdesi metal olan transistörlerin kolektör ucu gövdeye bağlıdır. Ölçü aletinin bir ucu gövdeye değiştirilip diğer uç üç ayağa rastgele değiştirilerek ölçümler yapılır. Her iki yönlü ölçümde de 0 (sıfır) ohmluk direncin okunduğu uç kolektör olarak saptanır. Daha sonra üç ayak kendi arasında ölçülür. Her iki yönlü olarak yapılan ölçümlerde çok yüksek direnç (50 kΩ-200 kΩ) gösteren uçlar bulunduğu kolektör belirlenmiş olduğuna göre diğer uç emiterdir. Geride kalan üçüncü uç ise beyzdir.

b. Kataloglara (data book, hand book) bakarak ayakların bulunması: Transistör

kataloglarında her modelin ayaklarının diziliş şekli vardır. Katalog kullanılarak yapılan uç belirleme hem çok pratik hem de sağlıklıdır. Pratik uygulamalarda kullanılan transistör sayısı onbinlerce olmasına rağmen, radyo, TV, video gibi yaygın olan cihazlarda kullanılan transistör sayısı bir kaç yüzü geçmemektedir.



BC 317	BC 320		$I_{Cmaks}=150$ mA
BC 318	BC 321		$P_{maks}=250$ mW
BC 319	BC 322		
BC 407	BC 417		$P_{maks}=500$ mW
BC 408	BC 418		$I_{Cmaks}=50$ mA
BC 409	BC 419		
BC 547	BC 557		$I_{Cmaks}=50$ mA
BC 548	BC 558		$I_{Cmaks}=50$ mA
BC 549	BC 559		
BC 167	BC 257		$I_{Cmaks}=50$ mA
BC 168	BC 258		$I_{Cmaks}=50$ mA
BC 169	BC 259		

Çizelge 4.2: Transistör ayaklarının kataloga bakılarak belirlenmesi


c. Parmak yöntemiyle ayakların bulunması: Aşağıda verilen üç yöntem kataloglarda özelliği bulunamayan transistörlerin uçlarının bulunmasında kullanılır.

I. Transistör NPN ise parmak yöntemiyle ayakların bulunması: Önce büyük ohm-büyük ohm gösteren uçlar bulunur. Bunlar C ve E, diğer uç ise B'dir. Bundan sonra ohmmetrenin problemleri (siyah ve kırmızı) rastgele E ve C oldukları bilinen uçlara değiştirilir. Baş parmak siyah proba değiştirilerek, işaret parmağı ile B ucuna tetikleme uygulanır. Bu durumda aletin gösterdiği direnç çok azalıyor ise baş parmağın ve siyah probun temas hâlinde olduğu transistör ayağı C'dir.

II. Transistör PNP ise parmak yöntemiyle ayakların bulunması: Yukarıdaki işlemin benzeri yol izlenir. Farklı olan şudur: Bu kez baş parmak kırmızı proba temas eder. İşaret parmağıyla yapılan tetiklemede ohmmetre düşük direnç göstermeye başladığında baş parmağın ve kırmızı probun temas hâlinde olduğu transistör ayağı E'dir.

ç. Gövde üzerindeki işaretlere bakarak ayakların bulunması: Metal gövdeli bazı transistörlerde emiter ucu tırnak olan yere yakın olan ayaaktır. Bunun karşısı kolektör, ortadaki ise beyzdir. Eski tip transistörlerin gövdesinde ise küçük bir kırmızı benek bulunur. Bu benek C'yi gösterir. C'nin karşısındaki uç E, ortadaki uç ise B'dir.

B	2N2222	BC109
E	2N2219	BC178
C	2N2905	2N3053



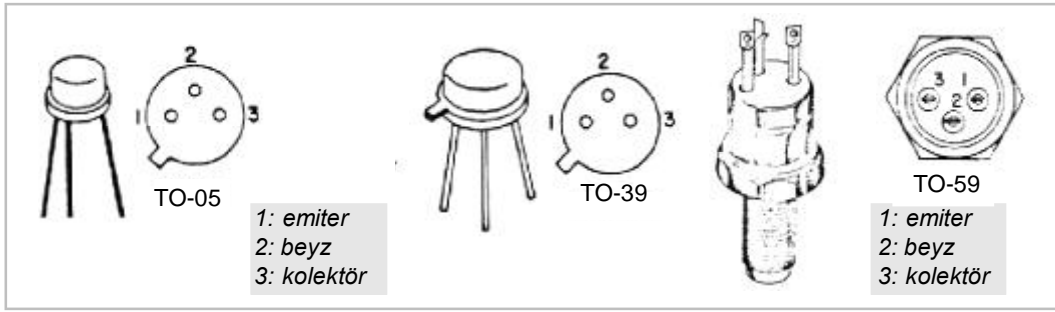
Şekil 4.21: Transistörlerin ayaklarının gövde üzerindeki işaretlere bakılarak bulunmasına ilişkin örnek şekil

d. Dijital multimetre kullanılarak ayakların bulunması: Ölçme komütatöründe diyot sembolü olan AVOMETREyle işlem yapılır. Problemlerle B-E ve B-C arası gerilim ölçümleri yapılır. B-E arası gerilim, B-C arası gerilim değerinden biraz büyük çıkacağından E ve C uçları saptanabilir.

Transistörlerin gövde (kılıf) biçimleri: Az güç harcayan transistörler küçük ve plastik gövdeli, yüksek güç harcayanlar ise metal gövdeli olarak üretilmektedir.

Transistör gövdeleleri, SOT-32, TO-1, TO-3, TO-5, TO-12, TO-17, TO-18, TO-39, TO-46, TO-59, TO-60, TO-63, TO-72, TO-77, TO-92, TO-107, TO-126, TO-202AC, TO220, TO-236 vb. şekilde kodlanmıştır. Şekil 4.22'de gövde şekillerine ilişkin örnekler verilmiştir.

Üretici firmalar, her bir transistörün özellikleri ve uç bağlantılarını belirtmek için bilgi formları hazırlarlar. Bağlantılarda hata yapmamak için bu kataloglara bakmak gerekir. Çünkü aynı paket tipinde değişik ayak sıralamaları söz konusu olabilmektedir.

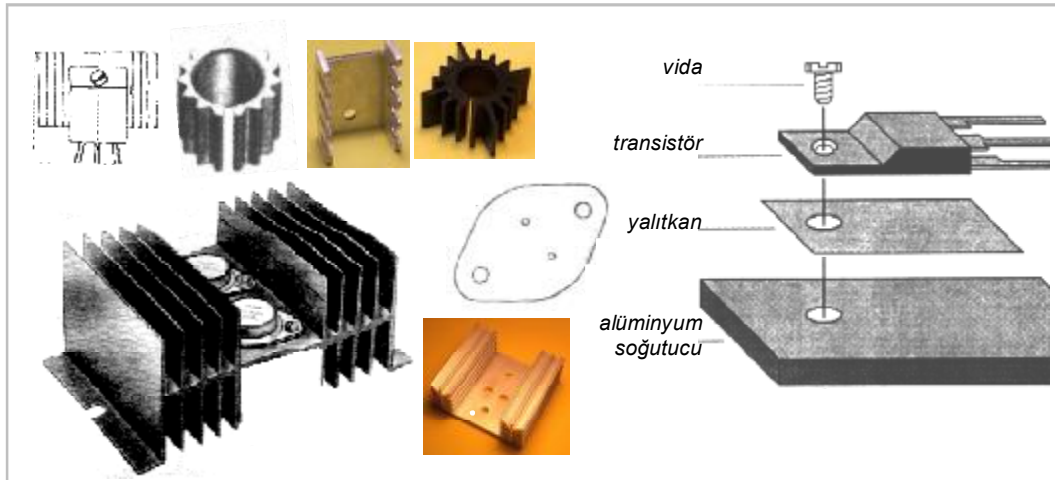


Şekil 4.22: Transistörlerin gövde şekillerine ilişkin örnekler

Transistörlerin soğutulması: Transistörlerin gövdesi, çalışmadan dolayı az ya da çok ısınır. Bu hem transistörün bağlı olduğu devrenin düzgün çalışmasını engeller hem de elemanın kısa sürede tahrip olmasına yol açar.

Aşırı ısınan transistörde bütün akımlar yükselir ve çalışma noktası değişir. Kataloglarda verilen transistör değerleri 25 °C'lık sıcaklık değerinde geçerlidir.

Transistörlerde oluşan ısıyı gidermek için gövde üzerine resim 4.2'de görüldüğü gibi alüminyum alaşımından yapılmış, ısı emiciliği iyi plakalar (*heat sink*) monte edilir.



Resim 4.2: Transistör soğutucuları

Şekil 4.23: Isıyı geçiren ancak akımı geçirmeyen izolator (yalıtkan) örnekleri

Metal gövdeli transistörlerin gövdesi aynı zamanda kolektör ucu olduğundan bu ucun metal soğutucuya elektriksel bakımdan değmemesi için araya şekil 4.23'te görüldüğü gibi, ısıyı geçiren ancak akımı geçirmeyen izolatorler (yalıtkan) konur.

Transistörlerin gövdesindeki ısının çok kolayca soğutucu plakaya geçmesini sağlamak için ise resim 4.3'te verilen krem görünümlü kimyasal macunlar kullanılır.

Herhangi bir devrede, transistör sembolünün etrafında şekil 4.24'te görüldüğü gibi kesik çizgili bir daire varsa soğutucu plakaya ihtiyaç olduğu anlaşılır.



Resim 4.3: Transistörün gövdesinde oluşan ısının soğutucuya geçmesini kolaylaştıran krem görünümlü kimyasal madde

Şekil 4.24: Soğutuculu transistör sembolü

Transistörlerin ayaklarının lehimlenmesi: Lehimleme işleminde iyi kalite lehim kullanılmalı ve işlem çok çabuk yapılmalıdır. Kullanılacak havyanın ucu eğe ya da zımpara ile pastan (küf) temizlenmiş olmalıdır.

Kötü bir lehimleme işçiliğinde soğuk lehim olarak tanımlanan durum ortaya çıkar. Soğuk lehim nedeniyle bir süre sonra devrede temassızlık oluşur. Elektronik cihaz onarımcıları arıza ararken, soğuk lehim oluşmuştur düşüncesiyle şüphelendikleri yerlerin lehimlerini yeniden yaparlar. Özellikle TV'lerde, besleme ve yüksek gerilim trafoları titreştiğinden ve aşırı ısındığından, bunların bulunduğu bölgedeki lehimlerde çatlamlar oluşur. Bu da temassızlık yaparak cihazı arızalandırır.

Eğer arızalı bir elektronik aygıt, gövdesine vurunca ya da elemanların bağlı bulunduğu plaket (emprime) esnetilince çalışıyorsa büyük olasılıkla soğuk lehim söz konusudur ya da baskılı devrenin bakır yolları kırılmıştır.

Transistörlerin harcadığı güç (özü tüketimi): Her transistörün belli bir güç harcama kapasitesi vardır. Buna disipasyon gücü denir. Küçük güçlü transistörlerin harcadığı gücün değeri düşüktür. Büyük güçlü transistörler ise yüksek güç harcarlar. Transistörde harcanan güç ısı şeklinde ortaya çıkar. Isınan transistör ise devrenin çalışmasını olumsuz etkilediğinden ısının dağıtılması için soğutucular kullanılır.

Transistörlerin güce göre sınıflandırılması

I. Küçük güçlü transistörler: 0-1 W arası güç harcarlar.

Örnekler: BC237 (0,3 W), AC128 (1 W)...

II. Orta güçlü transistörler: 1-20 W arası güç harcarlar.

Örnekler: 2N1700 (5 W), BD135 (12,5 W), MJE 240 (15 W)...

III. Yüksek güçlü transistörler: 20 W'ın üzerinde güç harcarlar.

Örnekler: 2N3055 (117 W), 2N1722 (50 W)...

Transistörlerde kazanç: Transistörlerin beyzine uygulanan akıma göre C-E arasından bir akım geçişi olur. İşte bu iki akımın ilişkisine kazanç denir. Şimdi transistör kazançlarını inceleyelim.

a. β (beta) akım kazancı: Transistörler, B ucuna uygulanan akıma (tetikleme sinyali) göre C-E arasından daha büyük bir akım geçirir. İşte bu durum kazanç olarak adlandırılır. Başka bir deyişle, kolektör akımının beyz akımına oranı β olarak ifade edilir. Transistörlerin β akım kazancı kabaca 5-1000 arasında değişir. Beta akım kazancı kataloglarda h_{FE} olarak da gösterilir.

β akım kazancının hesaplanmasında kullanılan denklem:

$\beta = \text{Çıkış devresi akım değişimleri} / \text{Giriş devresi akım değişimleri}$

$\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ ya da,

$\beta = I_C / I_B$ 'dir. Birimi yoktur.

Basitçe açıklarsak, B ucuna 1 mA uygulandığında C-E arasından 250 mA geçirebilen transistörün kazancı 250 olmaktadır.

Örnek: $I_B = 3 \text{ mA}$ $I_C = 900 \text{ mA}$

Çözüm: $\beta = I_C / I_B = 300$

Örnek: Kolektör akımı $I_C = 10 \text{ mA}$, beyz akımı $I_B = 80 \mu\text{A}$ (0,08 mA) olan transistörün beta akım kazancını bulunuz.

Çözüm: $\beta = I_C / I_B = 10 / 0,08 = 125$

Örnek: Beta (β) akım kazancı 100, beyz akımı $50 \mu\text{A}$ olan transistörün kolektör akımını bulunuz.

Çözüm: $I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 50 = 5000 \mu\text{A} = 5 \text{ mA}$

b. α (alfa) akım kazancı: Kolektör akımının emiter akımına oranıdır. Emiter ucundan hem beyz akımı, hem de kolektör akımı geçtiğinden bu akım (I_E) kolektör akımından biraz büyüktür. Denklemi, $\alpha = I_C / I_E$ 'dir. Birimi yoktur. Beyzi şaseye bağlı tip transistörlü yükselteçlerde α akım kazancı 0,85-0,998 arasındadır.

Örnek: $I_B = 1 \text{ mA}$, $I_C = 100 \text{ mA}$, $I_E = ?$, $\alpha = ?$

Çözüm: $I_E = I_B + I_C = 101 \text{ mA}$. $\alpha = I_C / I_E = 100 / 101 = 0,99$

Örnek: Silisyumdan yapılmış transistörün I_C akımı 1 mA , I_B akımı $20 \mu\text{A}$ 'dir. β , I_E ve α 'yı bulunuz.

Çözüm: $\beta = I_C / I_B = 1 / 0,02 = 50$ $I_E = I_B + I_C = 0,02 + 1 = 1,02 \text{ mA}$

$\alpha = I_C / I_E = 1 / 1,02 = 0,98$

Transistör kazançlarının birbirine dönüştürülmesi: Yükselteç hesaplamalarında kazanç değerinin birisi hesaplandıktan sonra diğer sonuçlar aşağıda verilen denklemlerle kolayca bulunabilir. Denklemler tamamen birbirinden türetilmektedir. Ancak bu teorik ispatlar üzerinde durulmayıp denklemler doğrudan verilmiştir.

$$\alpha = \beta / (\beta + 1)$$

$$\beta = \alpha / (1 - \alpha)$$

Örnek: Silisyumdan yapılmış transistörün beta akım kazancı 50, emiter akımı 3 mA 'dir. Kolektör akımını bulunuz.

Çözüm: $\alpha = \beta / (\beta + 1) = 50 / (50 + 1) = 0,98$

$\alpha = I_C / I_E$ denkleminde, I_C çekilerek,

$I_C = \alpha \cdot I_E = 0,98 \cdot 3 = 2,94 \text{ mA}$ olarak bulunur.

Örnek: Alfa (α) akım kazancı 0,95 olan bir transistörün beta (β) akım kazancını bulunuz.

Çözüm: $\beta = \alpha / (1 - \alpha) = 0,95 / (1 - 0,95) = 19$

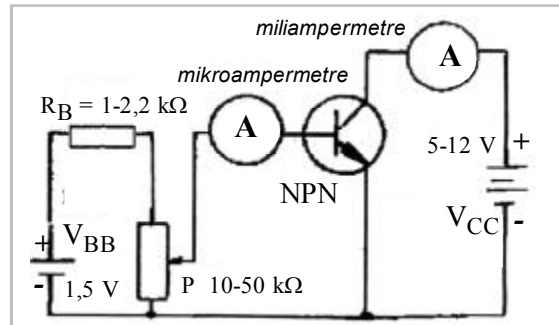
Transistörlerin beta akım kazancının belirlenmesi

a. Devre kurarak kazanç belirleme:

Şekil 4.25'te verilen devrede I_B ve I_C akımları hassas (kaliteli) ampermetreyle ölçülür ve beta akım kazancını bulmada kullanılan denklem ile kazanç belirlenir.

b. Ölçü aletiyle kazanç belirleme:

Çok fonksiyonlu ölçü aletlerinde (multimetre) transistör kazancını ölçme soketleri (yuva, pin) vardır. Transistör ayakları bu soketlere doğru olarak yerleştirilir. Aletin komütatörü h_{FE} konumuna alınır ve kazanç belirlenir.



Şekil 4.25: Transistörün beta (β) akım kazancının devre kurarak belirlenmesi

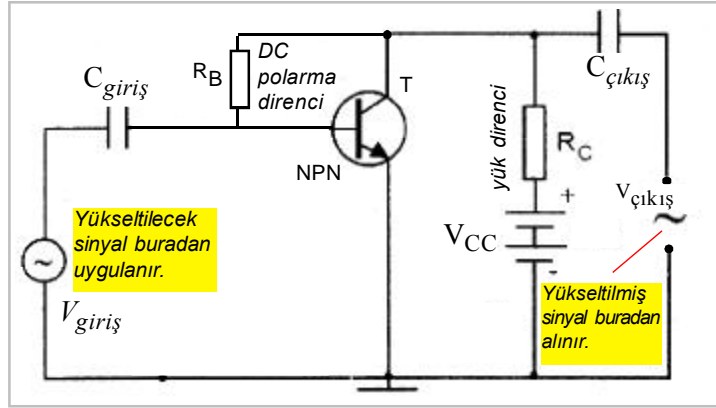
Bazı transistörlerin β akım kazançları şöyledir:

AC188 (PNP)	: 100	BC107 (NPN)	: 110	BC140 (NPN)	: 40
BC160 (PNP)	: 40	BC237 (NPN)	: 110	BC238 (NPN)	: 110
BC308 (PNP)	: 75	BC547 (NPN)	: 110	BC548 (NPN)	: 110
MJ2955 (PNP)	: 5	2N3055 (NPN)	: 20	MJ2501	: 10

B. Transistörlerle yükselteç (amplifikatör, amplifier) yapımı

Transistörlerde beyzden akım geçmezken kolektör akımı da sıfır (0) değerindedir. Beyz akımı arttıkça kolektörden emitere doğru geçen akım da yükselmeye başlar. Bu olaya akım yükseltme katsayısı denir. Yüzeysel temaslı (bipolar) transistörlerde beyz için çok küçük de olsa bir akım

gereklidir. Yani bu elemanlar akım kontrollüdür. Bipolar transistörlerden daha üstün yapıda olan JFET ve MOSFET'lerde ise kontrol ucu olan gate (G), gerilim kumandalı olduğundan bu elemanlar transistörlere oranla çok az güç harcarlar. Bu özellikleri sayesinde kontrol (G) uçları akım çekmez.



Şekil 4.26: NPN transistörlü emiteri şase yükselteç devresi

Bir transistör yükselteç olarak kullanılacağı zaman üç değişik şekilde bağlanabilir. Bunlar:

- I. Emiteri ortak (şase) bağlama,
- II. Beyzi ortak (şase) bağlama,
- III. Kolektörü ortak (şase) bağlamadır.

Ortak sözcüğü transistörün hangi ucunun şaseye bağlı olduğunu belirtir. Her bağlantının özellikleri geniş olarak kitabın 6. bölümünde açıklanmıştır. Transistörlerde yükseltme işlemi en kolay biçimde şekil 4.26'daki emiteri şase bağlantılı devreyle anlatılabilir. Emiteri şase bağlantılı devrede I_B , I_C ve I_E akımları dolaşmaktadır. I_B akımı DC tetikleme akımı olup I_C akımının geçişini sağlamaktadır. I_E akımı ise I_B ve I_C akımlarının toplamıdır.

Şekil 4.26'daki devrede I_B polarlama akımının değeri $I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B$ denklemiyle bulunabilir.

Devrede kullanılan transistör silisyum ise $V_{BE} = 0,6-0,7$ V olarak kabul edilebilir.

Verilen devrenin çıkış bölümünün akım (I_C , I_E), gerilim (V_C , V_{CE}) değerlerini bulmak için kullanılan transistörün beta (β) ya da alfa (α) akım kazancının bilinmesi gerekir.

Beta akım kazancı biliniyorsa:

$\beta = I_C / I_B$ denkleminde I_C çekilerek, $I_C = \beta \cdot I_B$ yazılıp kolektör akımı bulunabilir.

I_C akımının bulunmasıyla R_C direncinde düşen V_{RC} gerilimi ve transistörün C-E uçları arasında düşen V_{CE} gerilimi aşağıda verilen denklemlerle bulunabilir.

$$V_{RC} = I_C \cdot R_C \quad V_{CE} = V_{CC} - V_{RC}$$

Transistörlerin darlington bağlanması:

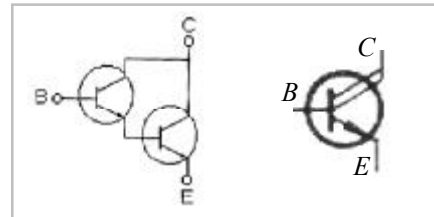
Transistörlerin ard arda bağlanmasıyla daha güçlü, hassas ve yüksek kazançlı transistörler yapılabilir. Şekil 4.27'de iki transistörün darlington bağlantısı görülmektedir.

Darlington bağlı iki transistörün toplam kazancı, $\beta_{toplam} = \beta_1 \cdot \beta_2$ denklemiyle bulunur.

Not: Birinci transistör çok düşük kolektör akımında çalışmak zorunda olacağından bağlantının kazancı $\beta_1 \cdot \beta_2$ değerinden biraz daha küçük olmaktadır. Piyasada darlington bağlı olarak üretilmiş transistörler de vardır.

Örnek: $\beta_1 = 250$, $\beta_2 = 100$ olan iki transistör darlington bağlanmıştır. β_{toplam} nedir? Bulunuz.

Çözüm: $\beta_{toplam} = \beta_1 \cdot \beta_2 = 250 \cdot 100 = 25000$



Şekil 4.27: Transistörlerin darlington bağlanması

Şekil 4.28: Darlington bağlı transistör sembolü

Pratikte kullanılan darlington bağı bazı transistörlerin özellikleri

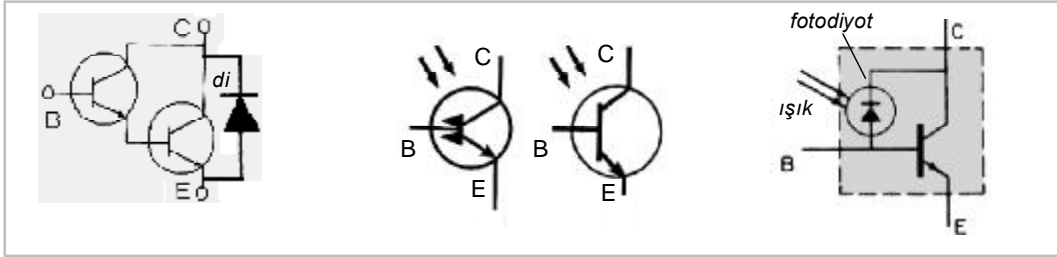
NPN tipi

- ▶ BC875 (60 V / 1 A / 0,8 W / 200 MHz)
- ▶ BD645 (80 V / 8 A / 62,5 W / 7 MHz / C-E uçları arası gövde içinde diyotla korumalı)
- ▶ BD675 (45 V / 4 A / 40 W / 7 MHz / C-E arası gövde içinde diyotla korumalı)
- ▶ BU808 (1400/700 V / 5 A / 50 W)

PNP tipi

- ▶ BD902 (100 V / 8 A / 70 W / 1 MHz / C-E arası gövde içinde diyotla korumalı)
- ▶ MJ2501 (80 V / 10 A / 150 W)

Diyotlu güç transistörleri: Bobinleri ve trafoları beslemede kullanılan güç transistörlerinin bazı modellerinde C-E ayakları arasına gövde içinden paralel olarak şekil 4.29'da görüldüğü gibi diyot bağlanmaktadır. Diyot, bobinlerin oluşturduğu yüksek indüksiyon gerilimlerini kendi üzerlerinden (ters yönde) geçirerek transistörün zarar görmesini (C-E arasının yüksek polarma gerilimi nedeniyle bozulmasını) engeller. Kataloglarda diyotlu tip transistörlerin özellikleri açıklanırken, **di** kısaltması kullanılır.



Şekil 4.29: Diyotlu güç transistörü

Şekil 4.30: Fototransistör sembolleri

Şekil 4.31: Fototransistörün iç yapısı

Fototransistörler: Beyz ucuna ışık düştüğünde C-E arasından akım geçişini sağlayan elemanlardır. Fotodiyotlardan farklı olarak ışıkla üretilen akımı yükseltme yaparlar. Bu özellikleri sayesinde fotodiyotlardan çok daha üstündürler.

Üç yarı iletkenin birleşiminden oluşan fototransistörlerin C-B uçları arasına bağlanmış olan fotodiyoda ışık enerjisi (*foton*) gelebilmesi için beyz ucunun bulunduğu kısma mercek şeklinde cam yerleştirilmiştir. Mercek, ışığın içeriye odaklanarak girmesini sağlamaktadır. Şekil 4.31'de fototransistörlerin iç yapısı verilmiştir.

Fototransistörler iki ya da üç bacaklı olarak üretilir. Üç bacaklı olan modellerde mercek boyanacak olursa eleman normal transistör hâline geçer. Mercek boyanmaz ve beyz ucu da devreye bağlanacak olursa beyze iki etki söz konusu olacağından C-E arasından geçen akımın miktarındaki değişme daha fazla olur. İki bacaklı fototransistörlerde (kullanım kolaylığı bakımından) beyz ucu dışarıya çıkarılmamıştır.

Bu elemanlar TV, video, müzik seti, klima gibi cihazların uzaktan kumanda devrelerinde, gün ışığına duyarlı olarak çeşitli aygıtların ve alarm sistemlerinin çalıştırılmasında vb. kullanılmaktadır.

Fotodiyotların üzerinden geçirebildiği akım mikroamper (μA) düzeyindedir. Fototransistörler ise miliamper düzeyinde bir akım geçişini mümkün kılarlar. Akımın büyük olması başka bir devreyi çalıştırmada (sürmede) kolaylık sağlar.

Fototransistör örnekleri: BP103B, BPW40, SFH309, BPY62-2, BPX99...

BP103B tipi fototransistörün karakteristik özellikleri

Kolektör-emiter gerilimi (V_{CE})	: 35 V
Kolektör akımı (I_C)	: 100 mA
Kolektör-emiter sızıntı akımı (I_{CEO})	: 5 nA



Resim 4.4: Uygulamada kullanılan çeşitli fototransistörler

Şekil 4.32: Darlington fototransistör sembolü

Endüstriyel uygulamalarda fototransistör gibi çalışan fototristör, fototriyak, fotoJFET vb. gibi elemanlar da kullanılmaktadır.

Darlington fototransistörler: Bir fototransistör ile normal transistörün arka arkaya bağlanmasıyla elde edilen devre elemanlarına darlington fototransistör denir. Bu elemanların ışığa karşı duyarlılıkları normal fototransistörlere oranla çok fazladır. Şekil 4.32'de darlington fototransistör sembolü verilmiştir.

C. Transistörlerin elektriksel karakteristikleri

Herhangi bir transistörün özelliklerinin ortaya çıkarılabilmesi için karakteristik ile ilgili deneylerden yararlanılmaktadır. Bu deneyler şunlardır:

a. Statik ve dinamik karakteristik deneyleri: Transistörlerin giriş, çıkış akımları, gerilimleri ve güçleri hakkındaki bilgileri almak için yapılır.

Statik karakteristik deneyleri sadece DC ile çalışma, dinamik karakteristik deneyleri ise DC besleme ve AC giriş sinyali ile çalışma durumundaki özellikleri ortaya koymaktadır.

b. Isıl (termik) karakteristik deneyleri: Isınan bir transistördeki değişimlerin ortaya konması için yapılan deneylerdir. Uygulamada kullanılan transistörlerde ortam sıcaklığının her 8 °C'lık artışında kolektör-emiter arası kaçak akım (beyz tetikleme akımı sıfır iken) yaklaşık iki kat artmaktadır. Örneğin germanyumdan yapılmış bir transistörde 25 °C'lık ortamda kaçak akım $I_{CEO} = 0,3$ mA dolayındadır. Ortam sıcaklığı 33 °C olduğunda ise kaçak akım $I_{CEO} = 0,6$ mA'e yükselmektedir. Görüldüğü üzere transistörün gövde sıcaklığı arttıkça I_{CEO} kaçak akımı da artmaktadır. (I_{CEO} : Beyz akımı 0 A iken C-E arasından geçen akım değeri)

Sıcaklığı artan transistörlerin verebileceği güç azaldığından, devrenin çalışmasındaki denge az ya da çok bozulur. Transistör kataloglarında verilen maksimum dayanma güçleri 25 °C'daki değerlerdir. Bu sıcaklık değeri küçük güçlü transistörlerde ortam sıcaklığını, büyük güçlü transistörlerde ise elemanın gövde sıcaklığını belirtir.

c. Frekans karakteristik deneyleri: Elektronik devrelerin çalışma frekansları farklı farklıdır. Örneğin radyonun devresiyle TV devresinin çalışma frekansları farklı olmaktadır. Elektronik devrelerde kullanılan transistörlerin frekansları yükseldikçe güç kazançları düşmekte, fiyatları ise artmaktadır.

NPN transistörlerde elektrik yükleri elektronlar tarafından taşınırken, PNP transistörlerde oyuklar tarafından taşınır. Elektronlar oyuklara göre biraz daha hızlı hareket edebildiklerinden yüksek frekanslı devrelerde daha çok NPN tip transistörler kullanılmaktadır.

ç. Limit (sınır) karakteristik deneyleri: Günümüzde binlerce çeşitte transistör elektronik sistemlerde kullanılmaktadır. Kullanılan elemanların teknik özellikleri kataloglarda bulunur. Eğer bir transistör aşırı yük altında kalır ya da anormal koşullar altında çalıştırılırsa bozulmaktadır. O

nedenle elemanın sınır (*limit*) değerlerinin üzerine çıkmaktan kaçınılmalıdır. Bozulan bir transistörün aynıısı bulunamaz ise muadili (eşdeğeri, karşılığı) olan eleman seçimi yapılırken limit değerlerinin uygun olup olmadığına dikkat edilmelidir.

Kataloglarda bulunan limit değerleri şunlardır:

Maksimum kolektör gerilimi (V_{Cmax}), maksimum kolektör akımı (I_{Cmax}), maksimum dayanma gücü (P_{max}), maksimum C-B birleşim bölgesi sıcaklığı (T_{jmax}), maksimum C-B gerilimi (V_{CBmax}), maksimum E-B gerilimi (V_{EBmax}), kazanç (β , h_{FE})

Bazı transistörlerin limit karakteristik değerleri şöyledir:

Adı	Tipi	V_{CBmax}	V_{CEmax}	V_{EBmax}	I_{Cmax}	β (h_{FE})
BC140	NPN	80V	40V	7V	1A	40
BC141	NPN	100V	60V	7V	1A	40
BC237	NPN	50V	45V	6V	100 mA	110
BC308	PNP	30V	25V	5V	100 mA	75
BC547	NPN	50V	45V	6V	100 mA	110
2N3055	NPN	100V	60V	7V	15 A	20
BD135	NPN	45V	45V	5V	1A	40
BD136	PNP	45V	45V	5V	1A	40

Transistörlerin yükselteç olarak çalıştırılması durumunda yapılan hesaplamalarda kullanılan dört bölge statik karakteristik eğrileri: Transistörlü yükselteçlerin özelliklerini ve teknik değerlerini tam olarak ortaya koyabilmek için dört adet deney yapılarak dört tane karakteristik eğrisi çıkarılır. Şekil 4.34'te görülen eğrilere kısaca dört bölge karakteristikleri denir.

Dört bölge karakteristik eğrileri üretici firmalar tarafından her transistör için çıkarılıp kataloglarda yayınlanır. Bundan amaç transistörlü devre tasarımcılarının işini kolaylaştırmaktır.

Dört bölge statik karakteristiklerinin iyi bilinmesi yükselteç tasarım ve üretiminde hesaplamaların kolayca yapılabilmesini sağlar.

Yükselteç devrelerinde kullanılan transistörlerin dört bölge karakteristikleri şekil 4.33'te verilen bağlantı şemasıyla bulunabilir.

Transistörlerin dört bölge karakteristik eğrilerinin bölümleri

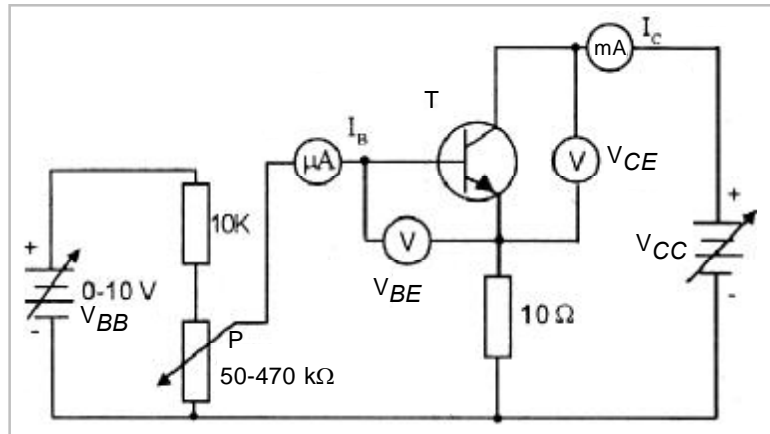
a. I. bölge (çıkış)

karakteristiği:

Kolektör akımı ve kolektör-emiter gerilim ilişkisini, yani, V_{CE} çıkış geriliminin değişimine göre, I_C çıkış akımındaki değişimi gösterir. Sonuçta, $R_{çıkış} = V_{CE}/I_C$ denklemi kullanılarak yükseltecin çıkış direnci (empedansı) saptanır.

Transistörlü yükselteçlerin DC yük doğrusunun

çizimi: Yük doğrusunun çizimi için transistörün kesim ve doyumda olduğu noktalar saptandıktan sonra iki nokta şekil 4.35'te görüldüğü gibi birleştirilir. Birleştirilen iki nokta arasındaki doğruya



Şekil 4.33: Transistörlerin dört bölge karakteristik eğrilerinin çıkarılmasında kullanılan deney bağlantı şeması

DC yük doğrusu denir. Belirlenen değerlere göre transistörün çalışması bu hat üzerinde olur. Yani, I_C 'nin değişimine karşılık gelen V_{CE} değerinin değişimi bu hat üzerinde olur. I_C 'nin değişimine karşılık gelen V_{CE} değerinin değişimi yine bu hat yardımıyla belirlenir.

Transistörün çalışma noktası: Yük doğrusu üzerinde bulunan, transistörün hangi çıkış akımı ve gerilimi ile çalıştığını gösteren noktaya çalışma noktası denir.

İki noktanın bulunuşu şöyledir:

I. I_B akımı sıfır (0) yapılır. Bu durumda I_C akımı da sıfırdır.

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C \text{ den}$$

$I_C = 0$ A iken $V_{CE} = V_{CC}$ olur.

II. R_B 'nin direnç değeri ayarlanarak I_B akımı doyum noktasına getirilir. Bu durumda $V_{CE} = 0$ V ya da sıfıra yakın düzeyde olur. Buna göre denklem yazılırsa:

$$0 = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

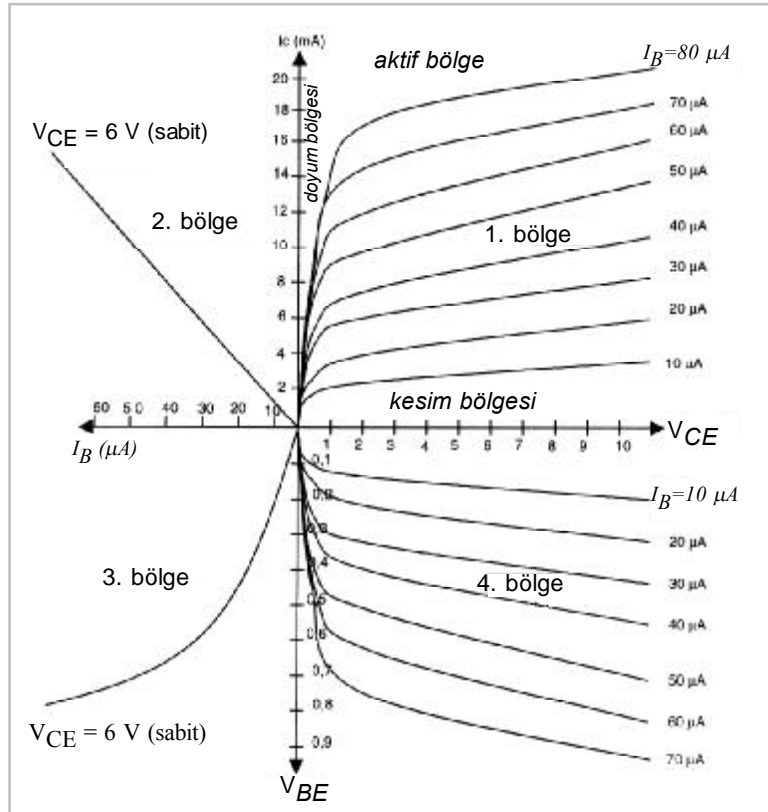
$$I_{C \text{ doyum}} = V_{CC} / R_C \text{ olur.}$$

Ardından, yukarıda hesaplanan iki değer 1. bölge karakteristik eğrileri üzerinde çizilerek yük doğrusu bulunabilir.

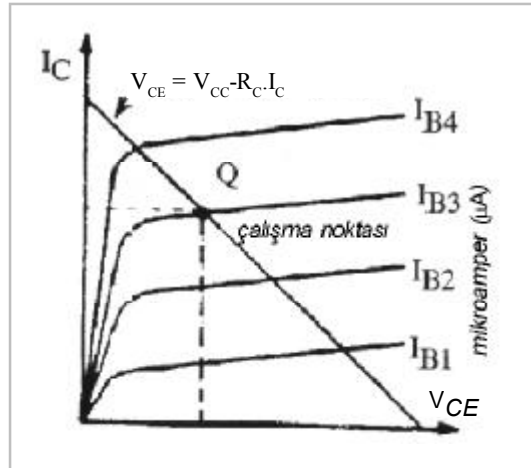
Sonuç olarak, transistörün beyz ucuna uygulanan akıma göre C-E arasından geçen akım (I_C) değişir. Beyz akımı sıfır olduğunda transistörün I_C akımı sıfır olur ve V_{CE} büyür. Çalışma noktası yatay eksene doğru yaklaşır. Beyz akımı artırıldığında I_C akımı artar ve V_{CE} gerilimi azalır. Çalışma noktası dikey eksene doğru yaklaşır.

b. II. bölge karakteristiği: Kolektör akımıyla beyz akımının ilişkisini, yani I_B giriş akımındaki değişime göre, I_C çıkış akımındaki değişimi gösterir.

2. bölge karakteristik eğrisini çıkarmak için deney yapılırken ilk önce V_{CE} uçlarına bağlı olan



Şekil 4.34: Transistörlerin emiteri ortak bağlantılı çalışmasında dört bölge karakteristik eğrileri



Şekil 4.35: Değişik beyz akımlarına göre I_C akımıyla V_{CE} geriliminin değişiminin belirlenmesi ve yük doğrusunun çizimi

V_{CC} kaynağının gerilimi 6 volta ayarlanır. V_{BB} kaynağı ile I_B akımı $10 \mu A$ yapılır I_C akımı okunur. V_{BB} ayarlanarak I_B akımı 20, 30, 40, 50, $60 \mu A$ değerleri için I_C akımı okunup kaydedilir. Ölçümler yapıldıktan sonra alınan rakamlar karakteristik eğrisine aktarılır ve şekil 4.34'teki ikinci bölge eğrisi çıkarılır.

Sonuçta $\beta = I_C/I_B$ kullanılarak yükseltecin β akım kazancı bulunur.

c. III. bölge (giriş) karakteristiği: Beyz-emiter gerilimi, beyz akımı ilişkisini, yani, V_{BE} giriş gerilimindeki değişime göre, I_B giriş akımındaki değişimi gösterir.

Sonuçta, $R_{giriş} = V_{BE}/I_B$ denklemi kullanılarak yükseltecin giriş direnci (empedansı) saptanır.

Alınan değerler ile şekil 4.34'teki grafik çizilerek $V_{BE}-I_B$ karakteristiği elde edilir. Şekil 4.34'teki üçüncü bölge grafiğine bakılacak olursa silisyum transistörün beyzine uygulanan gerilim 0,6-0,7 V olduğunda iletim (I_B akımının artışı) söz konusu olmaktadır.

ç. IV. bölge karakteristiği: V_{BE} giriş gerilimindeki değişime göre, V_{CE} çıkış gerilimindeki değişimi gösteren karakteristiktir.

Şekil 4.34'deki eğrileri çıkarırken V_{BB} ayarlanarak I_B akımı $10 \mu A$ yapılır. Sonra V_{CC} ayarlanarak V_{CE} gerilimi eşit aralıklarla ayarlanıp her V_{CE} değerine karşılık gelen V_{BE} gerilim değerleri çizelgeye yazılır. Aynı işlem çeşitli I_B değerleri için tekrarlanır. Alınan değerlere göre transistörün 4. bölge karakteristik eğrisi çıkarılır.

Transistörlerin çalışma noktaları

a. Kesim (cut off) noktası: Bu durumda beyz (B) ucunda tetikleme yoktur ve C-E arasından akım geçmemektedir. Yani eleman yalıtıktandır.

b. Doyum (saturasyon, saturation) noktası: Transistörün beyzine uygulanan tetikleme akımı maksimum düzeydedir ve C-E arası iletkendir. Transistör, taşıyabileceği en yüksek akımı geçirmektedir.

c. Aktif çalışma noktası: Transistör kesim ile doyum noktaları arasında sürekli olarak değişkenlik gösterecek biçimde çalışmaktadır. Yükselteç devresinde kullanılan bir transistör sürekli olarak aktif bölgede çalışır.

Ç. Transistörlerin çeşitli kullanım alanları

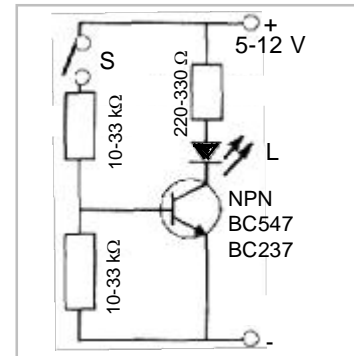
a. Transistörlerin anahtarlama (on-off) elemanı olarak kullanılması: Transistörün kesim (yalıtım) ve doyum (tam iletim) durumunda olması, elemanın anahtarlama yapıcı olarak çalıştırılmasıdır. Aktif bölgede çalışma ise yükselteç devrelerinde geçerlidir.

Anahtarlama elemanı olarak kullanılacak transistörün açma kapama (*on-off*) zamanlarının çok kısa olması gerekir. Özellikle yüksek frekanslı devrelerde, zaman rölelerinde, periyodik çalışan sistemlerde, dijital düzeneklerde açma kapama süreleri çok önemlidir.

Alıcıları mekanik anahtarlarla ve şalterlerle çalıştırıp durdururuz. Yük (R_{out} , R_y , R_L) büyüdükçe yüksek akımlı anahtar (şalter) kullanmak gerekir. Bu ise devrede hem çok yer kaplar hem de maliyeti artırır. İşte bu nedenle uygulamada transistör, tristör, triyak vb. gibi elemanlar kullanılarak küçük bir anahtarla büyük alıcılara kumanda edilebilmektedir.

Büyük akımın geçtiği şalterlerin olumsuz yönleri şunlardır:

- I. Şalter açılıp kapatılırken büyük fiziksel kuvvet gerekir.
- II. Açılıp kapanma esnasında gürültü, kıvılcım, ark (şerare) olur.



Şekil 4.36: Transistörün anahtar olarak çalıştırılması

III. Kontaklar ark nedeniyle belli bir süre sonra geçirgenliğini kaybeder (bozular).

Şekil 4.36'da verilen devrede S mini anahtarıyla L alıcısı (led, lâmba, ısıtıcı, motor vb.) çalıştırılabilir. Şöyle ki; S kapatılınca transistörün beyzine küçük bir akım gider. Bu akım transistörün C-E uçları arasından yüksek değerli bir akım geçmesine neden olur. Bu sayede L alıcısı çalışmaya başlar.

Aslında anahtarlama işlemi sadece alıcı çalıştırmayla sınırlı değildir.

Şöyle ki; bazı devrelerde osilasyonlu (salımlı) sinyaller elde edebilmek için transistörlü aç kapa (on-off) yapıcı devreler kullanılır. Yani transistör C-E arasından geçen akımı sürekli verir keser. Bu işleme de anahtarlama denir.

Transistöre bağlanan yüklerin çeşitleri ve özellikleri: Transistörlü devrelerde alıcı olarak bağlanan yüklerin herbirinin kendine göre özellikleri vardır. Örneğin bir lâmba ile bir rölenin transistör üzerindeki etkileri farklı olmaktadır. Şimdi bu yüklerin etkilerini inceleyelim.

I. Omik özellikli yükler: Devrenin çalışması normaldir. Açma kapama esnasında elektriksel olarak bir lineerlik (doğrusallık) söz konusudur. Yani alıcı üzerine düşen gerilim arttıkça alıcıdan geçen akım artar. Omik alıcının transistör üzerinde herhangi bir yan etkisi söz konusu değildir.

II. İndüktif özellikli (bobinli) yükler: Anahtarla devreye akım uygulandığı anda bobin, transistörün aniden iletken olmasını geciktirir. Bu durum bobinlerin kendine has özelliğinden dolayıdır.

Transistöre uygulanan akım kesildiğinde ise bobin yüksek değerli bir indüksiyon gerilimi üretir. Oluşan bu gerilimin değeri bobinin indüktans değerine (L) bağlıdır. Bu sebeple bobinin yarattığı yüksek indüksiyon geriliminin transistöre zarar vermesini engellemek için bobine paralel olarak diyot, kondansatör ya da VDR bağlanır. (Bobinlerin DC ve AC akımlara karşı davranışları endüstriyel elektronik kitabında açıklanmıştır.)

III. Kapasitif özellikli (kondansatör) yükler: Kapasitif yük, devreye enerji verilince akımın yükselmesine neden olur. Açma esnasında ise bu yük akımı hızla azaltır. Bunu engellemek için kapasitif özellikli yüke paralel olarak uygun değerli bir direnç bağlanır.

b. Transistörlerin ayarlı direnç olarak kullanılması: Büyük güçlü alıcıların akım ayarı yüksek akımlı ve büyük gövdeli reostalarla yapılabilir. Ancak reostalar hem çok yer kaplar, hem de ek bir enerji tüketir. Ancak, pot ve transistör temeli üzerine kurulu devrelerle daha iyi akım kontrolü yapılabilir.

Şekil 4.37'de verilen devrede P'nin değeri değiştirildikçe beyze giden tetikleme akımı değişir ve buna bağlı olarak C'den E'ye geçen akım ayarlanarak L'nin gücü kontrol edilmiş olur.

D. Transistörlerin yükselteç olarak kullanılması

Transistörler kullanılarak teyplerin okuyucu kafası, mikrofon vb. gibi düzeneklerin ürettiği zayıf elektrik sinyalleri güçlendirilebilir. Örneğin mikrofon, ses dalgalarını, içindeki mini bobin sayesinde elektrik sinyallerine çevirir. Bu sinyaller çok küçük değerli olduğundan hoparlörü besleyemez (süremez). İşte bu nedenle araya transistörlü (ya da entegreli) yükselteç devresi konulur.

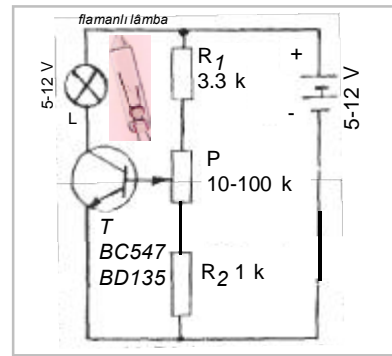
Yükselteç olarak çalıştırılan bir transistörün,

I. Akım kazancı,

II. Gerilim kazancı,

III. Güç kazancı sağlaması istenir.

Transistörlerin yükselteç olarak kullanılmasıyla ilgili geniş bilgi 6. bölümde verilmiştir.



Şekil 4.37: Transistörün ayarlı direnç olarak kullanılması

E. Transistörün çalışma kararlılığını olumsuz yönde etkileyen (transistörü bozan) unsurlar

a. Aşırı yüklenme (limit değerlerin üzerine çıkma): Her transistörün dayanabileceği bir akım, gerilim, frekans değeri vardır. Bunlar kataloglarda verilmektedir. Transistöre taşıyabileceği değerden fazla yüklenme yapılırsa çalışması dengesizleşir. Hatta eleman bozulabilir.

Üretici firmalar değişik frekans bantları (aralıkları) için ayrı ayrı transistörler yaparlar. Yani her transistörün çalışma frekansı farklıdır.

Uygulamada kullanılan transistörler çalışma frekansı bakımından alçak, yüksek ve çok yüksek frekans (mikro dalga) transistörleri olarak sınıflandırılırlar.

Frekans yükseldikçe transistörün güç kazancı düşmektedir. Ayrıca frekans yükseldikçe elemanın ayakları (elektrotları) arası kaçak kapasite artmaktadır. Kaçak kapasite etkisini azaltmak için eleman üretilirken beyz yüzeyi olabildiğince ince yapılıp beyz direnci artırılır. Ayrıca elektrotların (B-E-C) duruş şekli değiştirilir. İlave olarak yüksek frekanslı transistörlere dördüncü bir ayak eklenir ve bu ayak montaj sırasında devrenin şasesine bağlanır.

b. Yüksek sıcaklık: Transistörler ve diğer yarı iletken devre elemanları sıcaklıktan olumsuz etkilenirler. Yani sıcaklık aşırı artınca transistörü oluşturan yarı iletkenlerde kovalent bağların bir kısmı bozulur ve serbest hâle geçen elektron sayısı artar. Bu ise çıkıştan alınan değerlerin değişmesine yol açar. Öte yandan sıcaklık artınca kolektör sızıntı akımı (ICBO, ICEO) yükselir.

Transistörlü devrelerde iki sıcaklıktan söz edilir. Bunlar, dış ve iç sıcaklıktır. Dış sıcaklık devrenin bulunduğu ortamdan kaynaklanır. İç sıcaklık ise elemandan geçen akımın istenmeyen şekilde artmasıyla oluşur.

Germanyum transistörler yaklaşık 85 °C, silisyum transistörler ise yaklaşık 195 °C'tan sonra bozulur. Bu nedenle, taşıdığı akım yüksek olan elemanlar alüminyum alaşımlı soğutuculara bağlanır. Hatta çok hassas olan elemanların üzerinde (bilgisayar işlemcilerinde vb.) fanlı (pervaneli) DC motorlar vardır.

c. Manyetik alanlar: Elektronik devre elemanları dış manyetik alanlardan olumsuz etkilenirler. Özellikle hassas transistör ve entegreler aşırı manyetik alanda yanlış çalışmaya başlarlar. Uygulamada dış manyetik alanların bozucu etkisini yok etmek için Faraday kafesiyle ekranlama (perdeleme) yapılır ve ekranlayıcı olarak kullanılan metal kutunun gövdesi şaseyle (*eksi uç, toprak, gnd.*) irtibatlandırılır.

ç. Transistörleri ters polarma (ters gerilimlerle çalıştırma): Transistörün ayaklarına uygulanan gerilimlerin yönüne çok dikkat edilmelidir. Yanlış bağlama yapılır ve uygulanan gerilimin değeri transistörün dayanabileceği maksimum değerden yüksek olursa eleman tahrip olabilir.

d. Kötü lehim ve kirlenme: Transistörlerin lehimlenmesi düzgün ve çabuk yapılmalıdır. Kalitesiz hava ve lehimle yapılan işlemde soğuk lehim adı verilen kötü temaslı lehim olur. Bu da devrelerin çabuk arızalanmasına yol açar.

Lehimleme işleminden sonra çalışılan yer fırça, tiner, alkol, ispirto vb. temizleyicilerle arıtılmalıdır. Toz, nem, güneş ışığı ve yüksek sıcaklık elektronik devreleri olumsuz etkiler. Çünkü, toz ve nem birleştiği zaman elektronik devrede kısa devreye yol açabilir.

Arızaları azaltmak için aşırı tozlanmış elektronik cihazlar zaman zaman (kirlenme durumuna göre), emici ya da üfleyici kompresör ile temizlenmelidir.

Nemin bir diğer olumsuz etkisi şudur: Televizyonu ya da bilgisayarı soğuk ve nemli dış ortamdan sıcak bir ortama getirdiğiniz zaman hemen çalıştırmayınız. Çünkü dış ortamdaki nem, tüplerin arka kısmındaki cam yüzeyde ince bir su tabakası oluşturur. Cihaz çalıştırılınca tüpe 20.000-25.000 V dolayında bir gerilim uygulandığından elektriksel atlamalar olabilir. Bu ise tüpün ya da hassas entegrelerin arızalanmasına yol açar.

e. Sarsıntı: Elektronik cihazlar (TV, bilgisayar vb.) çalışırken sarsılmamalıdır. Çünkü sarsıntı

lehim bağlantılarının kopmasına, çatlamasına yol açabilir.

F. Transistörlerde çalışma noktasının stabilize edilmesi (dengeli hâle getirilmesi)

Transistörlü devrelerin dengeli bir şekilde uzun süreli olarak çalışabilmesini sağlamak için tasarlanan devrelerin hesaplamaları titizlikle yapılır. Bunun yanında devre üretiminde kaliteli elemanlar kullanılır.

Ülkemizde kalitesiz elemanlar kolayca satılabilmektedir. En basit bir örnekle durumu açıklayacak olursak, çok yaygın kullanılan BC237 adlı transistörün markalı ve markasız olmak üzere iki tipi vardır. Markasız olan BC237 markasının yarı fiyatına satıldığından çok tercih edilmektedir. Hâliyle ucuz ve kalitesiz elemanla yapılan devrenin uzun ömürlü olmayacağı bir gerçektir. O nedenle hassas çalışma istenilen yerlerde kaliteli elemanlar kullanılmalıdır.

Yarı iletkenler sıcaklığa çok duyarlı elemanlardır. 25 °C ortam sıcaklığında çalışacak şekilde tasarlanmış bir elektronik devrede ortam sıcaklığı yükseldiği anda, I_B , I_C , V_{CE} değerleri hemen değişir. Devrede akım, gerilim ve kazancın değişmesi çıkıştan alınan sinyalleri de değiştirir. 6. bölümde transistörlü yükselteçlerin dengeli çalışmasını sağlamak için uygulanacak yöntemler açıklanmıştır.

G. Transistörlerin çeşitli standartlara göre kodlanması

Transistörler çeşitli gövde biçimlerinde ve teknik özelliklerde üretilirler. Yani her transistörün karakteristiği farklıdır. Uygulamada kullanılan transistörlerin gövdelerinde üretici firma kodu, teknik özellik belirten kodlar, ayak adları ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

Transistörlerin kodlanmasında kullanılan standartlar: Transistörlerin kodlanmasında çeşitli standartlar kullanılır. Şimdi bunları inceleyelim.

a. Eski Avrupa standardı: OC, OD ile başlayıp iki ya da üç rakam ile devam eden kodlamadır (OC445 gibi).

O: Elemanın germanyumdan yapıldığını belirtmektedir.

Bu tip kodlu elemanlar eski model cihazlarda karşımıza çıkmaktadır. Nadiren karşılaşıldığı için genişçe anlatılmamıştır.

Örnekler

OA71: Germanyumdan yapılmış düşük güçlü ses frekans transistörü

AF126: Germanyumdan yapılmış düşük güçlü yüksek frekans transistörü

ASZ16: Germanyumdan yapılmış düşük güçlü anahtarlama transistörü. Üçüncü harf **Z** ise, elemanın endüstriyel amaçlı olduğunu belirtir.

b. Yeni Avrupa (Pro Electron) standardı

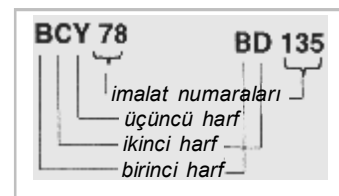
Birinci harf: Elemanın yapımında kullanılan yarı iletkenin cinsini belirtir. **A:** Germanyum, **B:** Silisyum (silikon), **C:** Galyum arsenik, **D:** İndiyum antimuan, **R:** Polikristal (çoklu kristal) yarı iletken

İkinci harf: Elemanın cinsini ve kullanıldığı yeri belirtir.

A: Ses frekans ön yükselteç devrelerinde kullanılır. **C:** AF (alçak frekans, ses frekans), düşük güçlü çıkış devrelerinde kullanılır. **D:** Ses frekans (AF) güç transistörü, **F:** Yüksek frekanslı, güçsüz transistör, **L:** YF (yüksek frekans) güç transistörü, **P:** Işığa duyarlı devre elemanı (fototransistör vb.), **S:** Küçük güçlü anahtarlama transistörü, **U:** Güçlü anahtarlama (switching) transistörü, **Z:** Yüksek güçlü anahtarlama transistörü

Üçüncü harf ve rakamlar

X, Y, Z: Elemanların endüstriyel (profesyonel, yüksek kaliteli) amaçlı olduğunu gösterir. Rakamlar ise diğer üretim bilgilerini verir.



Şekil 4.38: Transistörlerin Avrupa standartlarına göre kodlanması

Örnekler

-AC...: Germanyum, düşük güçlü, alçak frekanslı transistör

-BC...: Silisyum, düşük güçlü, alçak frekanslı transistör

-BD...: Silisyum, orta güçlü, alçak frekanslı transistör

-BF...: Silisyum, düşük güçlü, yüksek frekanslı transistör

-BDX...: Silisyum, orta güçlü, alçak frekanslarda çalışan endüstriyel amaçlı transistör

-BC337: Anahtarlama ve yükselteç (özellikle düşük güçlü çıkış katları) devrelerinde kullanılabilir.

Kolektör-emiter doyum gerilimi (V_{CES}): 50 V, Ters yönlü emiter-beyz gerilimi (V_{EB0}): 5 V, Kolektör akımı (I_C): 800 mA, Maksimum kolektör akımı (I_{Cmaks}): 1 A, Beyz akımı (I_B): 100 mA, Güç harcaması (P_{tot} , $P_{toplama}$): 625 mW, Jonksiyon sıcaklığı (T_j): 150 °C

-BF257: Silisyumdan yapılmış düşük güçlü yüksek frekans transistörü

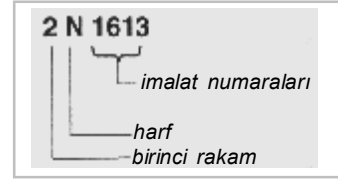
c. ABD (EIA, Amerikan) standardı: 2N ile başlayan kodlara sahip transistörler ABD standartındadır. Örnekler: 2N575, 2N3055 vb.

Diğer ABD kodları: ZN, CK.

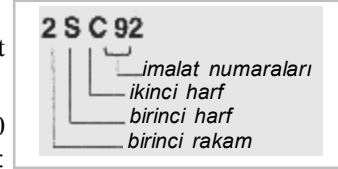
Amerikan standartına göre yapılan kodlamalarda, **1:** Diyot, **2:** Transistör, **3:** FET, **4:** Optokuplör anlamına gelir.

ABD standartlarına göre kodlamalarda birinci harften sonra gelen N harfi elemanın yapımında kullanılan maddenin silisyum olduğunu belirtir. N'den sonra gelen sayılar ise firma tarafından verilen imalat seri numaralarıdır.

Örnek: 2N3055: NPN, Si, I_{Cmax} : 15 A, V_{CBmaks} : 100 V, V_{CEmax} : 60 V, V_{EBmax} : 7 V, T_{Cmax} : 200 °C, ABD standartlarına göre karşılığı: 2N3713, Avrupa standartlarına göre karşılığı: BDX10, Kullanım alanı: Güç transistörü.



Şekil 4.39: Transistörlerin Amerikan standartlarına göre kodlanması



Şekil 4.40: Transistörlerin Japon standartlarına göre kodlanması

ç. Japon standardı: 2S ile başlar. Bazı tiplerde **2S** rumuzu kullanılmadan diğer rumuzlar kullanılır. Örneğin 2SC403, C403 olarak ifade edilebilir.

0: Fotodiyot, **1:** Diyot, **2:** Transistör, tristör, **S:** Yarı iletkenin silisyum olduğunu belirtir.

2S'den sonra gelen harflerin anlamı şöyledir:

A: PNP yüksek frekans transistörü, **B:** PNP alçak frekans transistörü, **C:** NPN yüksek frekans transistörü, **D:** NPN alçak frekans transistörü, **F:** Tristör, **J:** P kanallı JFET, **K:** N kanallı JFET, **M:** Triyak.

Örnek: 2SD386A: **2:** Transistör, **S:** Silisyum, **D:** NPN tipi alçak frekanslı, **386:** EIAJ kuruluşunun verdiği seri numara, **A:** Geliştirilmesine ait imalat numarası

d. Özel kodlu firma standartları: Bazı firmalar taklidi önlemek için özel kodlu transistörler üretmektedir.

Firma kodlarıyla ilgili bilgiler:

MPM, MPQ, HEP, MD, MF, MHQ, MJ, MJC, MJE, MM, MMCF, MMCM, MMCS, MMF, MMT, MP...: *Motorola* kodları

NS: *National* firmasının kodu, TF, XA, XB, XC...: *Siemens* kodları, HJ: *Hitachi* kodu, PL, TM...: *Texas* kodları, TK, TS...: *ITT* kodları, SGS: *Semitron* kodu, GFT: *Te Ka De* kodu, OT: *Lucas* kodu.

Transistör standartları kalite bakımından ikiye ayrılır. Bunlar,

I. Ticarî standartlar: Transistörün kodunun baş tarafında iki harf vardır. İki harfli kodlamaya sahip transistörler yüksek kaliteli değildir. BC237, BC238, BC140, BD135... gibi

II. Endüstriyel (profesyonel) standartlar: Baş tarafı üç harf (X, Y, Z) ile kodlanmıştır. Bunlar

yüksek kalitelidir.

Örnekler

BCX...: Proelektron standardı, silisyum, düşük güçlü, düşük frekanslı, endüstriyel amaçlı transistör
BDX...: Proelektron standardı, silisyum, orta güçlü, alçak frekanslı, endüstriyel amaçlı transistör

Transistör kataloglarında bulunan değerlerin incelenmesi: Kataloglar, üretici firmaların ürettikleri elemanların özelliklerini kullanıcılara aktarmaya yararlar. Katalog bilgilerini üç kısımda inceleyebiliriz:

I. Maksimum gerilim sınırları: Transistörün çalışma sınırlarını belirleyen en önemli özellikler maksimum gerilim sınırlarıdır. Örneğin transistör kesimdeyken C-E gerilimi (V_{CE0}), C-B gerilimi (V_{CB0}), B-E ters polarma gerilimi (V_{EB0}) izin verilen sınırların üzerine çıkmamalıdır.

V_{CE0} : B ucu açıkken, C-E arasına uygulanabilecek en yüksek gerilim değeridir.

V_{CB0} : E ucu açıkken, C-B arasına uygulanabilecek maksimum ters gerilim değeridir.

V_{EB0} : C ucu açıkken, E-B arasına uygulanabilecek maksimum ters gerilim değeridir.

II. Maksimum akım sınırları: Transistörler çektikleri (taşıyabildikleri) maksimum kolektör akımıyla bilinirler. Devre tasarımında çekilecek akım değeri belirlenirken, harcanan güç değeri aşılmayacak biçimde seçim yapılır. Örneğin 2N3904 kodlu transistörde maksimum akım değeri 200 mA'dir.

III. Maksimum güç harcama sınırı: Çalışma sırasında kolektör akımı (I_C) ile C-E geriliminin (V_{CE}) çarpımı transistörde harcanan gücü verir. $P = V_{CE} \cdot I_C$ [W]

Kataloglarda bu değer 25 °C ortam sıcaklığı için verilir. Pratik hesaplamalarda her 1 °C'lık sıcaklık artışı için gücü bir kaç mW azaltmak gerekir. Her 1 °C'lık artışa göre yapılacak azaltma miktarına azaltma faktörü denir. Yüksek sıcaklıkta çalıştırılan bir transistörün gücü azaldığına göre I_C akımının da düşeceği unutulmamalıdır. Yani, 25 °C'ta 1 A taşıyabilen bir transistörün akımı 50-60 °C'lık sıcaklıklarda % 50-75 oranında azalır.

Komplementer (eşlenik, aynı özellikte ancak birbirinin zıttı) transistör örnekleri

<u>NPN</u>	<u>PNP</u>	<u>NPN</u>	<u>PNP</u>	<u>NPN</u>	<u>PNP</u>
BC107	BC177	BC338	BC328	BD135	BD136
BC108	BC178	BC546	BC556	BD137	BD138
BC140	BC160	BC547	BC557	BD139	BD140
BC141	BC161	BC548	BC558	BD175	BD176
BC237	BC307	BC635	BC636	BD201	BD202
BC238	BC308	BCW60	BCW61	BD235	BD236
BC239	BC309	BCX70	BCX71	BD643	BD644
BC337	BC327	BCY58	BCY78	BD679	BD680

Transistör kataloglarında verilen kısaltmaların anlamları

f: Frekans, **f₀:** Test frekansı, **f_b:** Kesim frekansı, **f_T:** Geçiş frekansı, **I_{Cmax} (I_C):** Maksimum kolektör akımı, **V_{CC}:** Transistörlü devreyi beslemede kullanılan DC besleme kaynağı, **V_{CEsat}:** I_B ve belirli bir I_C'de kolektör- emiter doyum gerilimi, **P_{tot}:** Transistörün gücü, **β (h_{fe}):** Kazanç, **I_B:** Beyz akımı, **T_{jmax} (T_j):** Eklem sıcaklığı (jonksiyon bölgesinin dayanabileceği maksimum sıcaklık değeri), **T_{case}:** Kılıf sıcaklığı, **Case:** Şase, **Type:** Tip (NPN ya da PNP).

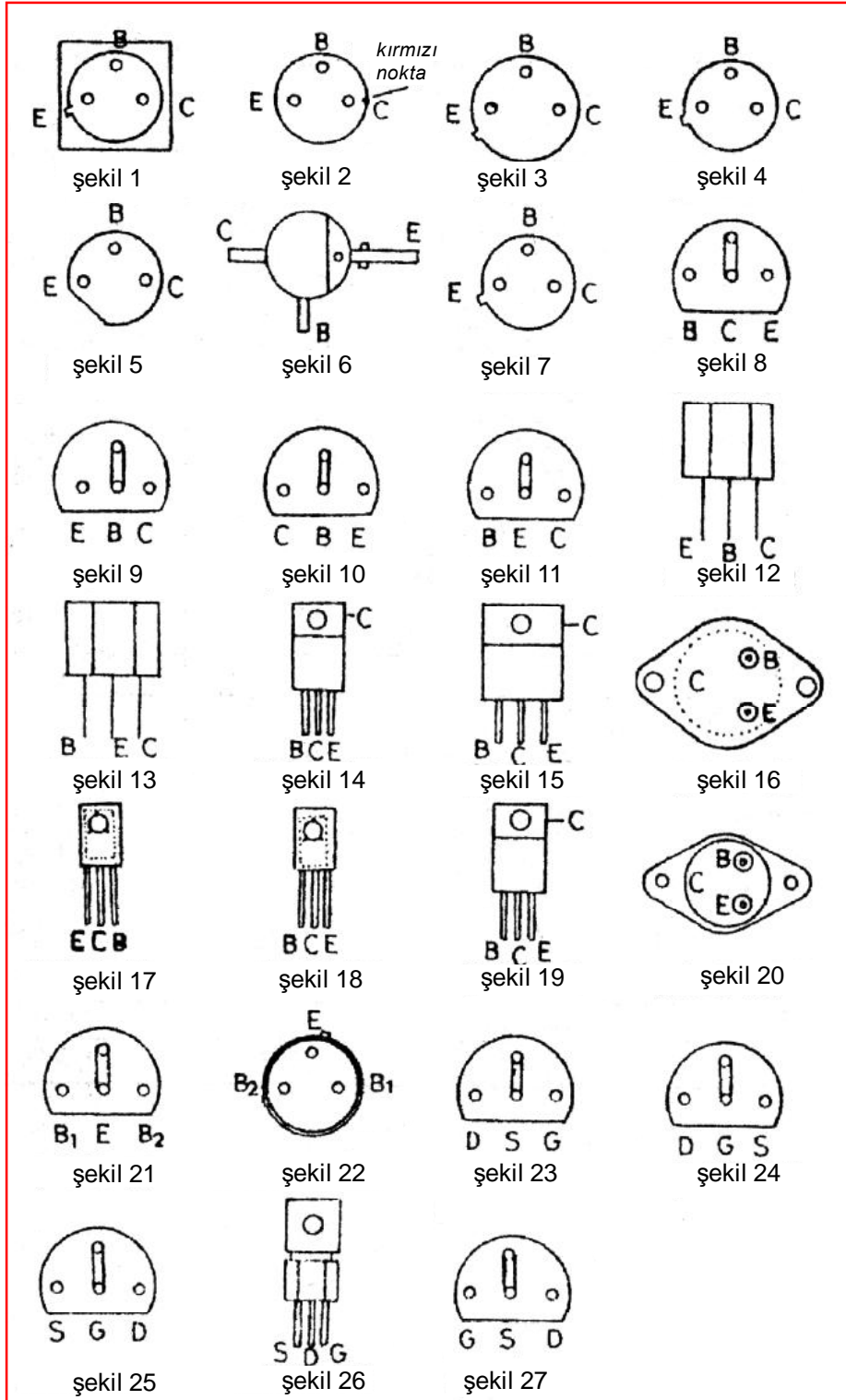
TUN: Herhangi bir NPN transistör.

TUP: Herhangi bir PNP transistör.

TUN			TUP		
BC 107	BC 208	BC 384	BC 157	BC 253	BC 352
BC 108	BC 209	BC 407	BC 158	BC 261	BC 415
BC 109	BC 237	BC 408	BC 177	BC 262	BC 416
BC 147	BC 238	BC 409	BC 178	BC 263	BC 417
BC 148	BC 239	BC 413	BC 204	BC 307	BC 418
BC 149	BC 317	BC 414	BC 205	BC 308	BC 419
BC 171	BC 318	BC 547	BC 206	BC 309	BC 512
BC 172	BC 319	BC 548	BC 212	BC 320	BC 513
BC 173	BC 347	BC 549	BC 213	BC 321	BC 514
BC 182	BC 348	BC 582	BC 214	BC 322	BC 557
BC 183	BC 349	BC 583	BC 251	BC 350	BC 558
BC 184	BC 382	BC 584	BC 252	BC 351	BC 559
BC 207	BC 383				

Çizelge 4.3: TUN ve TUP transistörlere ilişkin örnekler

Yaygın olarak kullanılan bazı transistörlerin özellikleri				
Adı	Yapıldığı madde ve tipi	Kılıf şekli	Özelliği	Karşılıkları (muadilleri)
AC126	GE-PNP	2	32V-0,2A	AC122(5), AC151(2)...
AC127	GE-NPN	2	32V-0,5A-0,34W	AC176(2), AC187(2)...
AC187K	GE-NPN	1	25V-1A-1W	AC176K(1), AC194K(1)...
AC188K	GE-PNP	1	25V-1A-1W	AC128K(1), AC153K...
AD149	GE-PNP	16	50V-3,5A-27,5W	AD166(16), 2N1540(16), 2N2148(16)...
BC107	Si-NPN	4	45V-0,2A-0,3W	BC547(9), BC237(9), BC207(5)...
BC108	Si-NPN	4	20V-0,2A-0,3W	BC238(9), BC548(9), BC208(5)...
BC109	Si-NPN	4	20V-0,2A-0,3W	BC173(9), BC184(9), BC239(9)...
BC140	Si-NPN	3	80V-1A-0,75W	BC301(3), 2N1613(3), 2N1711(3)...
BC141	Si-NPN	3	60V-1A-0,75W	2N1613(3), 2N1711(3)...
BC148	Si-NPN	12	30V-0,2A-0,3W	BC108(4), BC208(5), BC238(9)...
BC149	Si-NPN	12	30V-0,2A-0,3W	BC109(4), BC239(9)...
BC160	Si-PNP	3	40V-1A-0,75W	BC304(3), BC460(3)...
BC161	Si-PNP	3	60V-1A-0,75W	BC303(3), BC461 (3)...
BC168	Si-NPN	8	30V-0,2A-0,3W	BC108(4), BC238(9)...
BC237	Si-NPN	9	50V-0,2A-0,3W	BC547(9), BC582(9), BC107(4), BC171(9)...
BC238	Si-NPN	9	30V-0,2A-0,3W	BC108(4) BC548(9)...
BC239	Si-NPN	9	30V-0,2A-0,3W	BC109(4), BC549(9), BC584(9)...
BC307	Si-PNP	9	50V-0,2A-0,3W	BC557(9), BC177(4)...
BC308	Si-PNP	9	30V-0,2A-0,3A	BC178(4), BC558(9)...
BC327	Si-PNP	9	50V-0,8A-0,625W	BC297(4), BC727(10)...
BC328	Si-PNP	9	30V-0,8A-0,625W	BC298(4), BC728(10)...
BC337	Si-NPN	9	50V-0,8A-0,625W	BC377(4), BC737(10)...
BC546	Si-NPN	9	65V-0,2A-0,5W	BC174(9), BC190(4)...
BC547	Si-NPN	9	45V-0,2A-0,5W	BC107(4), BC171(9), BC237(9), BC382(9)...
BC548	Si-NPN	9	30V-0,2A-0,5W	BC108(4), BC172(9), BC238(9)...
BC549	Si-NPN	9	30V-0,2A-0,5W	BC109(4), BC239(9)...
BC556	Si-PNP	9	65V-0,2A-0,5W	BC256(9), BC448(10)...
BC557	Si-PNP	9	45V-0,2A-0,5W	BC177(4), BC204(5), BC307(9)...
BC558	Si-PNP	9	30V-0,2A-0,5W	BC178(4), BC205(5), BC308(9)...
BC559	Si-PNP	9	30V-0,2A-0,5W	BC309(9), BC206(9)...
BC635	Si-NPN	8	45V-1A-0,8W	BC337(9), BC527(10)...
BD135	Si-NPN	17	45V-1,5A-12,5W	BD226(17), BD233(17)...
BD136	Si-PNP	17	45V-1,5A-12,5W	BD166(17), BD176(17), BD227(17)...
BD139	Si-NPN	17	80V-1,5A-12,5W	BD169(17), BD179(17), BD237(17)...
BD140	Si-PNP	17	80V-1,5A-12,5W	BD170(17), BD180(17), BD238(17)...
BD233	Si-NPN	17	45V-2A-25W	BD175(17), BD375(17), BD437(17)...
BD237	Si-NPN	17	100V-2A-25W	BD179(17), BD379(17), BD441(17)...
BD239	Si-NPN	14	45V-2A-30W	BD241(14), BD243(14), BD575(18)...
BD240	Si-PNP	14	45V-2A-30W	BD242(14), BD244(14), BD576(18)...
BD242	Si-PNP	14	45V-3A-40W	BD244(14), BD576(18), BD586(18)...
BD244	Si-PNP	14	45V-6A-65W	BD596(18), BD606(18)...
BF257	Si-NPN	3	160V-0,1A-0,8W	BF337(3), BF658(3)...
BPW14-C	Si-NPN	7	Fototransisör	-
MJ2500	Si-PNP	16	60V-10A-150W	BDX64(16), BDX66(16)...
MJE3055	Si-NPN	17	70V-10A-90W	BD207(17), BD213(15)...
2N1613	Si-NPN	3	75V-0,5A-0,8W	BC141(3), BC301(3)...
2N1711	Si-NPN	3	75V-0,5A-0,8W	BC141(3), BC301(3)...
2N2219	Si-NPN	3	60V-0,8A-0,8W	BC140(3), BC302(3)...
2N2222	Si-NPN	3	60V-0,8A-0,8W	BC546(9), BC637(8)...
2N3053	Si-NPN	3	60V-0,7A-1W	BC140(3), BC302(3)...
2N3055	Si-NPN	16	100V-15A-117W	BD130(16)...
2SC1384	Si-NPN	8	60V-1A-0,75W	BC337(9), BC337(4)...
2SD970	Si-NPN-darlington	19	120V-8A-50W	-
TIP140	Si-NPN	15	60V-10A-125W	BDX65(16), MJE3000(16)...
TIP3055	Si-NPN	16	100V-15A-90W	BD245(15), BD249C(15)...



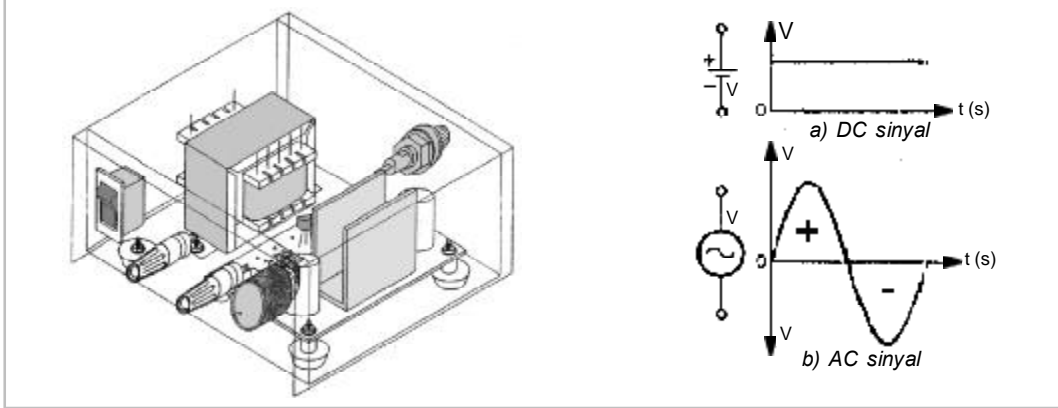
Şekil 4.41: Yaygın olarak kullanılan transistörlerin ayaklarının dizilişi

Bölüm 5: DC (DA) güç kaynakları

Giriş

Elektronik devrelerin bir çoğunun çalışması için tek yönlü olarak dolaşan (DC) akıma gerek vardır. Bu bölümde doğru akım (DC, DA) üreten temel devreler incelenecektir.

Uygulamada DC üreteçlerine doğrultmaç, doğrultucu, adaptör, güç kaynağı, redresör gibi adlar verilmektedir.



Şekil 5.1: Ayarlı çıkışlı DC güç kaynağı devresinin iç yapısı

Şekil 5.2: DC ve AC'nin elektriksel eğrileri

Doğru (DC) ve dalgalı akımın (AC) tanımlanması

a. Doğru akım (DA, DC, direct current): Dinamo, akümülatör, pil, güneş pili (solar cell) gibi düzenekler tarafından üretilir. DC akım şekil 5.2-a'da görüldüğü gibi zamana göre yön ve şiddet değiştirmeden akar. Yani DC akımın frekansı yoktur.

b. Alternatif akım (AA, AC, alternative current): Alternatör adı verilen makineler tarafından üretilen elektrik akımı çeşididir. Bu akım zamana göre sürekli olarak yön ve şiddet değiştirir. Yani alternatörden gelen akım sürekli azalır çoğalır ve akış yönü değişir. Alternatörün ürettiği AC sinyal şekil 5.2-b'de görüldüğü gibi sinüs eğrisi şeklindedir.

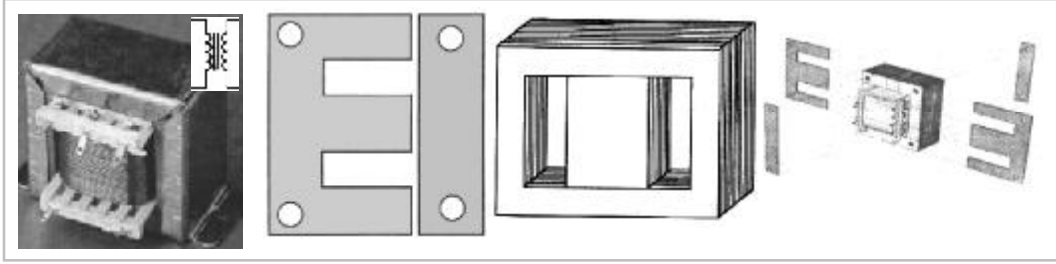
Alternatörün ürettiği akımın zamana göre yön ve şiddet değiştirme sayısına **frekans** denir. Türkiye'de üretilen alternatif akımın frekansı 50 Hz'dir. (Hz, Hertz diye okunur.) Bazı kitaplarda frekans birimi olarak c/s (saykıl/saniye) de kullanılır. Günümüzde elektrik enerjisinin yüzde 90'a yakın bölümü alternatif akım olarak üretilmektedir. Çünkü AC'nin taşınması, yükseltilmesi ve düşürülmesi kolaydır.

A. Transformatör (trafo)

Alternatif (dalgalı) akımı, alçaltmaya ya da yükseltmeye yarayan aygıtlara trafo denir. Bu elemanlar gerilim dönüştürme işlemini yaparken frekansı değiştirmez. Yani girişe uygulanan gerilimin frekansı 50 Hz ise, çıkıştan alınan gerilimin frekansı da 50 Hz olur.

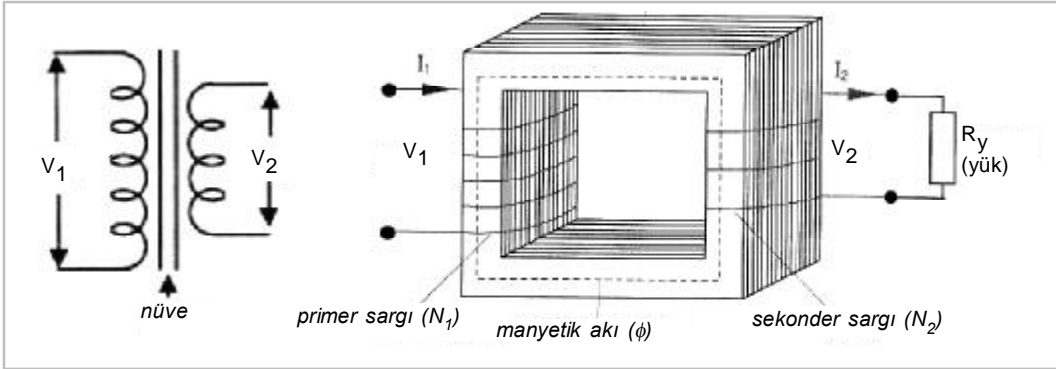
Gerilimi düşürücü trafolarında 220 voltun uygulandığı kısım (primer, birincil sarım), ince kesitli telden çok sarımlı, düşük gerilimin alındığı kısım (sekonder, ikincil sarım) ise kalın kesitli telden az sipirli olarak sarılır.

a. Transformatörün yapısı: Transformatör karşılıklı indüksiyon olayının genel bir uygulamasıdır. Primerde oluşan değişken manyetik alanı sekonder sargısına ulaştıran nüveler, şekil 5.3'te görüldüğü gibi bir yüzü yalıtılmış, % 3-4 oranında silisyum katkısı yapılmış ince (0,35-0,5 mm) çelik saclardan üretilir. Yüksek frekanslı devrelerde kullanılan trafoların nüvesi ise *ferrit* maddesindedir.



Resim 5.1: Transformator

Şekil 5.3: Transformatorlerin primer ve sekonder sargılarının yerleştirildiği ince çelik saclardan yapılmış nüvenin yapısı



Şekil 5.4: Trafonun yapısı

b. Transformatorün çalışma ilkesi: Transformatorde primer ve sekonder sargıları arasında hiç bir fiziksel bağlantı yoktur. Sekonder devresinin çektiği güç, manyetik alan yardımıyla primer devreden çekilir.

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi primer sarımına (N_1) AC gerilim uygulandığında bu sargıların etrafında Φ (fi) manyetik alanı oluşur. Bu alan ince çelik saclardan yapılmış olan nüve üzerinden geçerek N_2 sargılarını keser (iletken içindeki elektronları hareket ettirir) ve V_2 gerilimini oluşturur.

c. Transformator seçimi: Uygulamada çeşitli gerilim ve akım değerlerinde trafolar kullanılır. Kimi trafoların çıkış gerilimi tek kademeli olurken bazıları ise çok çeşitli değerlerde gerilim verebilecek şekilde üretilmektedir.

Eğer, 12 V/1 A çıkış verebilecek bir DC güç kaynağı yapılmak isteniyorsa, bu iş için 10-15 W'lık güce sahip bir trafo seçmek gerekir. Üzerinde 12 V/50 W yazan bir trafonun verebileceği maksimum akım ise, $P = V.I$ olduğuna göre,

$$I = P/V = 50/12 = 4,16 = 4 \text{ A'dir.}$$

ç. Transformatorün sağlamlık testi: Trafo gerilimi düşürücü özellikte ise ohmmetre $\times 1\Omega$, $\times 10\Omega$, $\times 100\Omega$ ya da $\times 1k$ kademesine alınarak yapılan ölçümde primer direnci sekonder direncinden yüksek olmalıdır.

d. Transformatorde dönüştürme oranı: Aşağıda verilen bağıntıların herhangi birisinden yararlanarak trafoların bazı değerleri hesaplanabilir. ($\dot{u} = K = a = n$: Dönüştürme oranını göstermek için kullanılan semboller)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \dot{u} = K = a = n$$

Örnek: $V_1 = 220 \text{ V}$ $N_1 = 1000$ sipir $V_2 = 22 \text{ V}$ $N_2 = ?$

$$\text{Çözüm: } \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{220}{22} \times \frac{1000}{N_2} \quad N_2 = 100 \text{ siper}$$

Not: Trafoların gövdesinde giriş ve çıkış uçları işaretlenmiştir. 220 V yanlışlıkla çıkışa uygulanırsa trafo çok yüksek gerilim üretmeye başlar ve tehlike arz eder. O nedenle bağlantılar titizlikle yapılmalıdır.

Transformatörün yüksek gerilim ve alçak gerilim sargıları şu yöntemlerle belirlenebilir:

I. Sargıların direnci ölçüldüğünde büyük dirençli taraf yüksek gerilim, düşük dirençli taraf düşük gerilim sargısını gösterir.

II. Gözle bakıldığında alt kısımda bulunan ince kesitli sargılar yüksek gerilim, üst kısımda bulunan kalın kesitli sargılar ise düşük gerilim uçlarını belirtir.

e. Arızalı transformatörün onarımı: Trafo, aşırı akım çekildiğinde, sargılar kısa devre olduğunda, fiziksel darbelere maruz kaldığında arızalanabilir. Bozulan bir trafonun yeniden sarılması mümkündür. Elektronik sistemlerde kullanılan trafoların çoğunluğu küçük güçlü olduğundan fiyatları ucuzdur. O nedenle küçük boyutlu trafoların sarımı yapılmayıp yenisiyle değiştirme yoluna gidilir.

Ek bilgi

Transformatörlerin güç değerinin volt-amper (VA) cinsinden verilmesinin nedeni: Elektrik enerjisini tüketen alıcılar üç ayrı özelliktedir: Bunlar, omik, indüktif ve kapasitif.

Omik alıcılar (akkor flamanlı lâmba, ütü, fırın) şebekeden çektikleri akımın tamamını harcarlar. Omik alıcıların harcadığı güce aktif güç denir.

İndüktif alıcılar (balast, bobin, röle, motor) şebekeden çektikleri akımın bir kısmını manyetik alana dönüştürürler. Manyetik alan kuvvet çizgileri ise indüktif alıcının sargılarını keserek (etkileyerek) şebeke gerilimine zıt yönde bir gerilim oluştururlar. Zıt EMK adı verilen bu gerilim ise alıcıdan şebekeye doğru ikinci bir akım akışına neden olur. Üreteç ve indüktif alıcı arasında gidip gelen akımdan dolayı harcanan güce reaktif güç (Q) denir.

Kapasitif alıcılar (kondansatör) şebekeden çektikleri akımla şarj olurlar. Daha sonra çektikleri akımı şebekeye geri verirler.

Bu bilgilerden sonra şu örneği verelim: Üzerinde 100 VA yazan bir trafo eğer omik özellikli bir alıcıyı besleyecekse yük, trafodan 100 W güç alabilir. Eğer adı geçen trafoyla indüktif özellikli bir alıcı beslenecekse, alıcıya reaktif güç de gerekeceğinden 100 VA'lık gücün bir kısmı manyetik alan oluşturmada harcanır. Sonuçta 100 VA gücündeki trafodan 100 W'tan daha az bir aktif güç alınır.

Örnek: Etiketinde $\cos \varphi = 0,6$ yazan bir motorun aktif gücü 1000 W'tır. Bu motorun beslenmesinde kullanılacak trafonun görünür gücü kaç VA olmalıdır?

$$\text{Çözüm: } \cos \varphi = P/S \quad S = P/\cos \varphi = 1000/0,6 = 1666,66 \text{ VA}$$

Sonuç olarak, alıcıların enerjiyi harcama biçimleri farklı olduğundan trafoların bazılarında güç değeri aktif güç cinsinden değil, görünür güç cinsinden verilir.

f. Trafoda manyetik kaçaklar: Trafonun nüvesi yetersiz, saclar küflü, bir yüzeyleri yalıtıksız, sarım işçiliği kötü ise primerde oluşan manyetik alanların bir bölümü devresini hava üzerinden tamamlar. Buna manyetik kaçak denir. İyi kalite trafolarla manyetik kaçak oranı çok az olup, verim yüksektir. Manyetik kaçağın çok olması trafonun yüksüz hâlde (boşta) çalışırken aşırı akım çekmesinden, fazla ısınmasından anlaşılabilir. Yüksek kaliteli devrelerin beslenmesinde manyetik kaçağı çok olan trafolar tercih edilmez. Bu tip işler için, tanınmış ve TSE belgeli markalar kullanılmalıdır. Şekil 5.5'te trafoların primer sarımlarında ortaya çıkan manyetik kaçak gösterilmiştir.

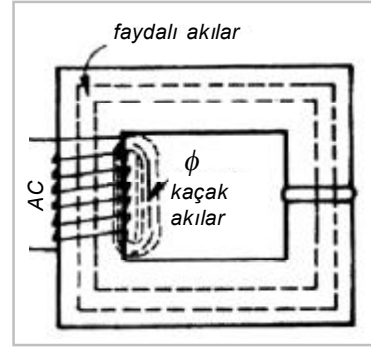
g. Transformatörde kayıplar: Transformatör çektiği enerjinin bir kısmını kendisi harcar. Harcanan enerjiye kayıp denir. Kaliteli bir transformatörde kayıp azdır. Kayıpları dört bölümde inceleyebiliriz:

I. Bakır kayıpları: Transformatörün sargılarında kullanılan iletkenlerin omik direncinden dolayı ortaya çıkar. Bu kayıplar, $P_{iletken} = P_{cu} = I^2.R [W]$ denklemiyle bulunur. Bakır kayıpları ısı şeklinde ortaya çıkar.

II. Histerisiz kayıpları: AC'nin her alternansının yön değiştirmesi anında nüve üzerinde çok az bir mıknatıslık kalır. Bu artık mıknatıs ters yönden gelen akımın oluşturduğu manyetik alana karşı koyarak güç kaybına neden olur. Bu duruma histerisiz kaybı denir.

III. Eddy (fuko) kayıpları: Demir nüveyi kesen manyetik akılar nüve üzerinde akım dolaşmasına neden olur. Dolaşan iç akımlar ana manyetik alanın dolaşımını olumsuz etkiler. Fuko kayıplarını en aza indirmek için kullanılan nüveler ince (0,35-0,5 mm) ve birbirinden yalıtılmış çelik saclardan yapılır.

IV. Manyetik kaçak kayıpları: Kuplaj katsayısının 1'den küçük olması yani primerde oluşan manyetik alanın bir kısmının sekonderi kesmemesi nedeniyle ortaya çıkan kayıplardır. Geçirgenliği yüksek olan silisyum katkılı saclar kullanılarak manyetik kaçaklar azaltılabilmektedir.



Şekil 5.5: Trafolarında manyetik alan kaçaklarının gösterilişi

ğ. Bir fazlı transformatör yapım hesapları
Herhangi bir güçte transformatör sarmak için bir çok hesaplama yapmak gerekir. Şimdi bunları görelim.

Sargıların yerleştirileceği ince çelik saclardan yapılan nüvenin kesitini belirlemede kullanılan denklem:

$$S_{nüve} = S_n = C \cdot \sqrt[3]{S_2} \text{ [cm}^2\text{]}$$

S_2 : Sekonderin görünür gücü (VA cinsinden)

C : Nüve olarak kullanılacak sacın kalitesine göre değeri 0,7-1,5 sayıları arasında değişen katsayı

Manyetik akı (ϕ): $\phi = B \cdot S_n$ [makswell]

B : Manyetik akı yoğunluğu. Tavlanmış sac için $B = 7000-7500 \text{ gauss/cm}^2$. DKP sac için $B = 6000-6500 \text{ gauss/cm}^2$. Sacın tipi bilinmiyorsa, $B = 6000-10.000 \text{ gauss/cm}^2$ alınabilir.

Primer gerilimi: $V_1 = 4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot N_1 \cdot 10^{-8}$ [V]

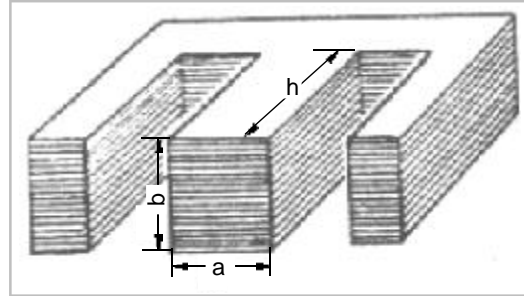
Sekonder gerilimi: $V_2 = 4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot N_2 \cdot 10^{-8}$ [V]

f : Şebeke frekansı, N_1 : Primer sarım sayısı, N_2 : Sekonder sarım sayısı

Primer sarım sayısı: $N_1 = V_1 \cdot 10^8 / 4,44 \cdot f \cdot \phi$ [sipir]

Sekonder sarım sayısı: $N_2 = V_2 \cdot 10^8 / 4,44 \cdot f \cdot \phi$ [sipir]

Primer akımı: $I_1 = S_1 / V_1$ [A]



Şekil 5.6: Trafoda sargıların yerleştirildiği nüvenin kesiti

Sekonder akımı: $I_2 = S_2/V_2$ [A]

Primer iletkeninin kesiti: $S_{1iletken} = I_1/J$ [mm²]

Sekonder iletkeninin kesiti: $S_{2iletken} = I_2/J$ [mm²]

J: Sarımda kullanılacak bakır iletkenin akım yoğunluğu değeri (A/mm²), Trafo hava ile soğutuluyorsa: $J = 2-2,5$ A/mm², yağ ile soğutuluyorsa, $J = 2,3-3,5$ A/mm² alınır.

Primerde kullanılacak iletkenin çapı (d₁): $d_1 = \sqrt[4]{4 \cdot S_{1iletken} / \pi}$ [mm]

Primerde kullanılacak iletkenin çapı (d₂): $d_2 = \sqrt[4]{4 \cdot S_{2iletken} / \pi}$ [mm]

Not: Trafo sarımlarında kullanılan iletkenler çap ölçüsü belirtilerek satılmaktadır.

Dönüştürme oranı (ü=K=a): $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$

Pencere yüksekliği (h): $h = (2-3,5) \cdot a$ olarak alınır.

Örnek: Verilen değerlere göre sarım hesaplarını yapınız.

$S_2 = 100$ VA, $V_1 = 220$ V, $C = 1$, $B = 10\ 000$ gauss, $V_2 = 12$ V, $f = 50$ Hz, $J = 2$ A/mm², $\eta = \% 98$, $e = \% 5$

e: Sekonderin boş ve yüklü çalışmada gerilim farkı yüzdesi

Çözüm

$\eta = S_2/S_1$ olduğuna göre,

$S_1 = S_2/\eta = 100/0,98 = 102,04$ VA

$S_n = C \cdot B \cdot a = 1 \cdot 10\ 000 = 10$ cm²

10 Cm²'lik nüve kesit alanı **a** ve **b** kenarlarının çarpımına eşittir.

Yani, $S_n = a \cdot b$ yazılabilir.

$a = 3$ cm alınır,

$b = S_n/a = 10/3 = 3,33$ cm çıkar.

Kabarma payı gözönüne alınarak bu değer 3,5 cm olarak kabul edilebilir. (Yani üst üste dizilecek olan trafo saclarının yüksekliği 3,5 cm olacaktır.)

Nüve elde etmede kullandığımız sacların kalınlığı 0,5 mm olduğuna göre,

Üst üste konacak sac adedi, $b/0,5 = 35/0,5 = 70$ adet bulunur.

$\phi = B \cdot S_n = 10000 \cdot 10 = 100000$ maxswell

$N_1 = V_1 \cdot 10^8 / 4,44 \cdot f \cdot \phi = 220 \cdot 10^8 / 4,44 \cdot 50 \cdot 100000 = 991$ sipir

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ denkleminde N_2 'yi çekersek, $N_2 = V_2 \cdot N_1 / V_1 = 12 \cdot 991 / 220 = 54$ sipir

Yük bağlanınca "e = % 5" gerilim düşümü göz önüne alınarak V_2 gerilimi % 5 artırılır. Buna göre,

$V_{2gerçek} = 1,05 \cdot V_2 = 1,05 \cdot 12 = 12,6$ V olarak hesaplamalara dâhil edilir.

$I_1 = S_1/V_1 = 102,04/220 = 0,463$ A

$I_2 = S_2/V_{2gerçek} = 100/12,6 = 7,93$ A

$S_{1iletken} = I_1/J = 0,463/2 = 0,231$ mm²

$S_{2iletken} = I_2/J = 7,93/2 = 3,96$ mm²

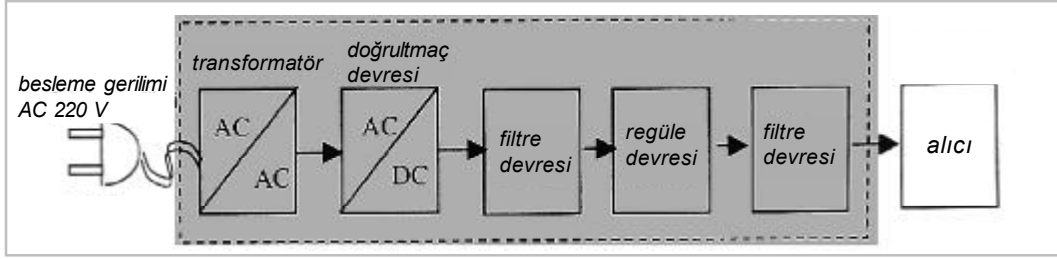
$d_1 = \sqrt[4]{4 \cdot S_{1iletken} / \pi} = \sqrt[4]{4 \cdot 0,231 / 3,14} = 0,54$ mm

Bu değere en yakın bobinaj teli seçilir. Örneğin 0,60 mm

$d_2 = \sqrt[4]{4 \cdot S_{2iletken} / \pi} = \sqrt[4]{4 \cdot 3,96 / 3,14} = 2,24$ mm = 2,30 mm

h = (2-3,5) \cdot a Bu denkleminde katsayıyı 2,5 olarak alalım. Buna göre pencere yüksekliği,

$h = 2,5 \cdot a = 2,5 \cdot 3 = 7,5$ cm bulunur.



Şekil 5.7: AC'yi DC'ye çeviren güç kaynaklarının blok şeması (kapalı şema)

B. AC'yi DC'ye dönüştüren devreler (redresörler)

Elektronik aygıtların çoğunluğu DC ile çalışır. Konutlarda ise 220 voltluk AC gerilim vardır. DC gerilim pil, akü, dinamo gibi araçlardan başka doğrultmaçlarla da elde edilebilir.

AC'yi DC'ye çeviren iyi kalite doğrultmaç devrelerinin blok yapısı şekil 5.7'de görüldüğü gibidir. Blok şemaya bakıldığında iyi kalite güç kaynaklarının, trafo (AC/AC dönüştürücü), doğrultucu (AC/DC dönüştürücü), 1. filtre, regülatör (gerilim sabitleyici) ve 2. filtre devrelerinin birleşiminden oluştuğu görülür.

AC/DC dönüştürme işleminde tek yönlü olarak akım geçiren doğrultmaç diyotları (1N4001, 1N4002, 1N5400 gibi) kullanılır. Diyotlar AC'yi DC'ye çevirebilirler. Ancak bu DC istenilen şekilde tam düzgün değildir.

Filtre devreleri diyotların çıkışındaki salınımlı DC'yi filtre ederek düzgülendirmeye yararlar. Uygulamada filtre devresi olarak kondansatör ve şok bobinleri kullanılır.

Regüle devreleri kararlı ve düzgün bir DC gerilim oluşturur. Uygulamada kullanılan regüleli güç kaynaklarında regüle edici olarak zener diyotlu ya da regülatör entegreli devreler karşımıza çıkar.

Gelişmiş yapıllı güç kaynakları yukarıda kısaca açıklanan bölümlere ek olarak, akım sınırlama, otomatik açma, aşırı gerilim koruması devrelerine de sahiptir. Bu kitap temel elektronik bilgisi vermeyi amaçladığından güç kaynağı devrelerindeki tüm ayrıntılar açıklanmayacaktır.

Doğrultmaç devrelerinin çeşitleri: Uygulamada çeşitli DC güç kaynakları kullanılır. Şimdi bunları inceleyelim.

a. Bir diyotlu yarım dalga doğrultmaç devresi: AC'yi DC'ye çeviren tek diyotlu devredir. Yarım dalga doğrultmaç devresinde çıkış sinyali tam düzgün olmaz.

Bir diyotlu yarım dalga doğrultmaç devresinin çalışmasını anlayabilmek için bazı hatırlatmalar yapmamız gerekiyor. Şöyle ki; bilindiği üzere trafoların çıkışında zamana göre yönü ve şiddeti sürekli olarak değişen dalgalı bir akım vardır. Yani AC sinyalin akış yönü saniyede 100 kez değişmektedir. Trafonun çıkışındaki değişken akım, pozitif ve negatif olmak üzere iki alternanstan meydana gelmiştir. Diyotlar tek yönlü olarak akım geçirdiğinden trafonun çıkışındaki sinyalin yalnızca pozitif alternansları alıcıya ulaşabilmektedir.

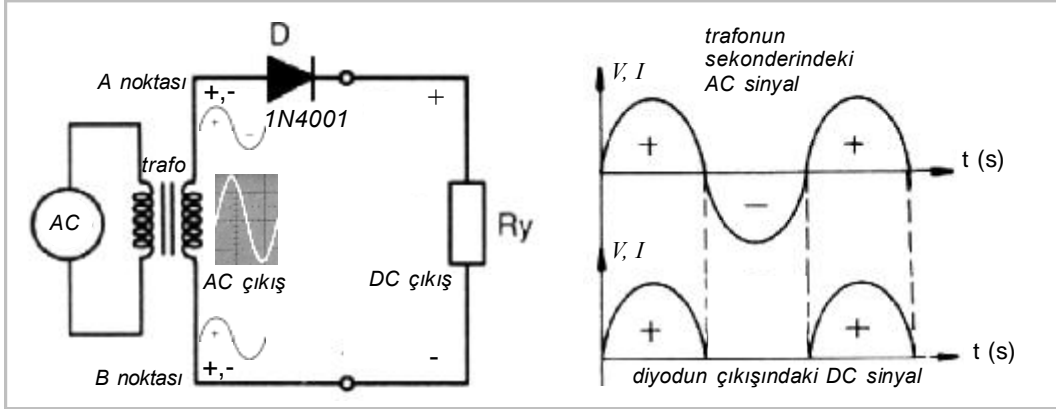
Bu temel bilgilerden hareket ederek yarım dalga doğrultmaç devresinin çalışmasını şu şekilde ifade edebiliriz: Şekil 5.8'de verilen devrede görüldüğü gibi trafonun üst ucundaki (A noktası) sinyalin polaritesi pozitif olduğunda diyottan ve alıcı üzerinden akım geçer.

Trafonun üst ucundaki sinyalin polaritesi negatif olduğunda ise diyot akım geçirmez. (Kesimde kalır.) Sonuçta alıcıdan tek yönlü akım geçişi olur. Alıcıya seri olarak DC akım ölçebilen bir ampermetre bağlanacak olursa ibrenin tek yönlü olarak saptığı görülür.

Yarım dalga doğrultmaçlarda çıkıştan, trafonun verebileceği gerilimin yaklaşık yarısı kadar ($V_{\text{çıkış}} = 0,45 \cdot V_{\text{giriş}}$) bir voltaj alınır. O nedenle bir diyotlu yarım dalga doğrultmaçlar küçük akımlı (50-250 mA) ve fazla hassas olmayan alıcıların (oyuncak, mini radyo, zil vb.) beslenmesinde kullanılır. Yarım dalga



Resim 5.2: Akım ve gerilim ayarlı, laboratuvar tipi güç kaynağı



Şekil 5.8: Yarım dalga doğrultmaç devresi

Şekil 5.9: Yarım dalga doğrultmaç devresinin giriş ve çıkış uçlarındaki elektrik sinyalleri

doğrultmaç devrelerinde çıkıştan alınabilecek akımın değeri ise, $I_{\text{çıkış}} = 0,636 \cdot I_{\text{giriş}}$ olmaktadır. ($I_{\text{giriş}}$: Trafonun sekonder akımıdır.)

b. Tam dalga doğrultma yapan devreler

I. Orta uçlu trafolu tam dalga doğrultmaç devresi: AC'nin her iki alternansının da alıcıdan tek yönlü olarak akıp geçmesini sağlayan devredir. Bu tip devrenin kurulabilmesi için orta uçlu trafoya gerek vardır.

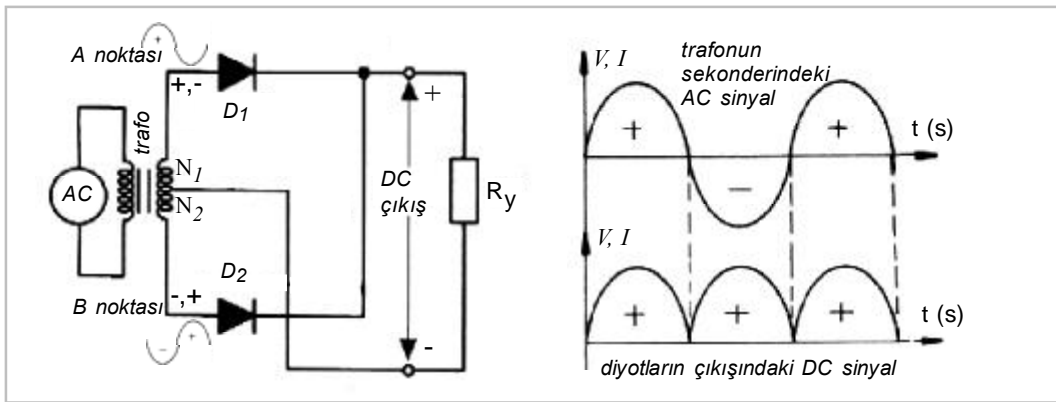
Şekil 5.10'da verilen devrede görüldüğü gibi trafonun üst ucunda (A noktası) pozitif polariteli sinyal oluştuğunda D_1 diyodu ve alıcı üzerinden akım geçişi olur. Trafonun alt ucunda (B noktası) pozitif polariteli sinyal oluştuğunda ise D_2 diyodu ve alıcı üzerinden akım geçişi olur.

Görüldüğü üzere diyotlar sayesinde alıcı üzerinden hep aynı yönlü akım geçmektedir. Ve bu da DC akımdır.

İki diyotlu doğrultmaçlarda çıkıştan alınan DC güç, uygulanan AC gerilimin 0,9'u kadardır. Bunu denklem şeklinde yazacak olursak: $V_{\text{çıkış}} = 0,9 \cdot V_{\text{giriş}}$ olur.

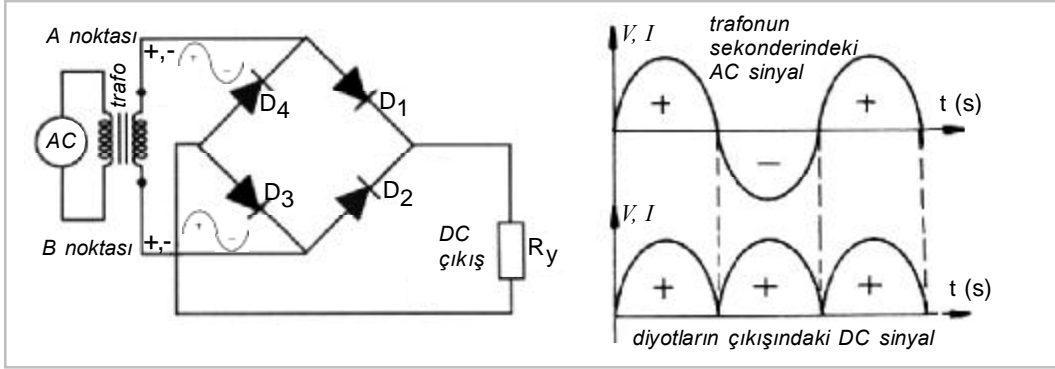
Çıkış akımının değeri ise, $I_{\text{çıkış}} = 0,79 \cdot I_{\text{giriş}}$ 'tir.

Orta uçlu trafolu tam dalga doğrultmaç devresinde D_1 ve D_2 diyotlarından geçen akımlar trafonun orta ucundan devresini tamamlar. Devrenin yapımında kullanılan trafonun sekonder sarımsı üç uçludur. Bu sayede trafonun çıkışında iki adet gerilim oluşmaktadır. Şekil 5.12'de trafonun sekonder sarımının N_1 ve N_2 sargılarından oluştuğu görülmektedir. Bu iki sarımda birbirinin tersi polaritede iki gerilim doğar. Yani trafonun A noktasında oluşan sinyalin polaritesi pozitif iken, B noktasında oluşan sinyalin polaritesi negatif olmaktadır. Trafoda oluşan akımların devresini tamamladığı uç ise orta uç olmaktadır.



Şekil 5.10: Orta uçlu trafolu, iki diyotlu tam dalga doğrultmaç devresi

Şekil 5.11: Orta uçlu trafolu tam dalga doğrultmaç devresinin giriş ve çıkış uçlarındaki elektrik sinyalleri



Şekil 5.12: Köprü tipi tam dalga doğrultmaç devresi

Şekil 5.13: Köprü diyotlu doğrultmaç devresinin giriş ve çıkış uçlarındaki elektrik sinyalleri

II. Köprü tipi tam dalga doğrultmaç devresi: AC'yi en iyi şekilde DC'ye dönüştüren devredir. Her türlü elektronik aygıtın besleme katında karşımıza çıkar.

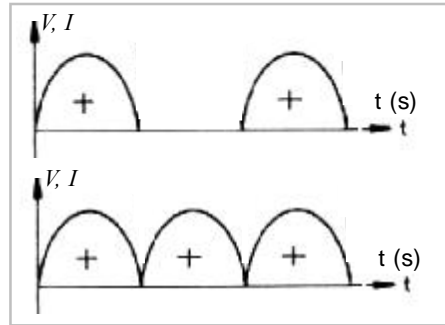
Şekil 5.12'de verilen devrede görüldüğü gibi trafonun sekonder sarımının üst ucunun (A noktası) polaritesi pozitif olduğunda D_1 ve D_3 diyotları iletime geçerek R_y üzerinden akım dolaşır. Trafonun sekonder sarımının alt ucunun (B noktası) polaritesi pozitif olduğunda ise D_2 ve D_4 diyotları iletime geçerek R_y üzerinden akım dolaşır.

Çıkıştan alınan DC gerilim, girişe uygulanan AC gerilimin 0,9'u kadardır.

$V_{\text{çıkış}} = 0,9 \cdot V_{\text{giriş}}$ Devrenin çıkış akımı ise, $I_{\text{çıkış}} = 0,9 \cdot I_{\text{giriş}}$ kadardır.

C. Doğrultmaç devrelerinden alınan DC'yi tam doğru akım hâline getirci süzgeçler (filtreler)

Doğrultmaç devrelerinde trafonun çıkışına bağlanan diyotlarla iki yönlü olarak dolaşan akım tek yönlü hâle getirilir. Ancak diyotlar akımı tam olarak doğrultamazlar. Yani elde edilen DC dalgalıdır (nabazanlıdır, ripple değeri yüksektir, salınımlıdır, değişken doğru akımdır). Bu da alıcıların düzgün çalışmasını engeller. İşte çıkışı tam doğru akım hâline getirebilmek için kondansatör ya da bobinler kullanılarak süzgeç (filtre) devreleri yapılmıştır.



Şekil 5.14: Değişken doğru akım örnekleri

Değişken doğru akım: Zamana göre yönü değişmeyen, ancak değeri değişen akıma değişken doğru akım denir.

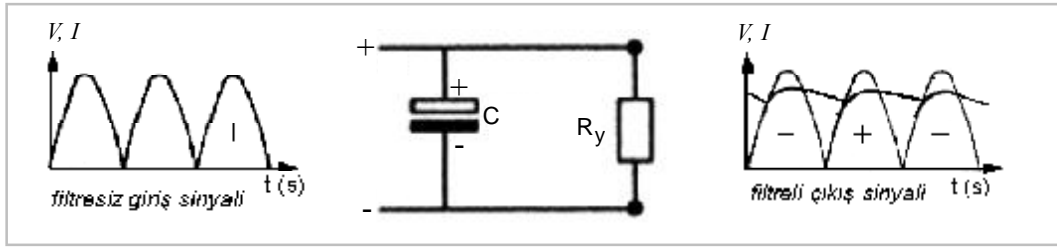
Yarım ve tam dalga doğrultmaçların filtresiz çıkış sinyallerine nabazanlı DC, ondülasyonlu DC gibi adlar da verilir. Şekil 5.14'te değişken doğru akıma ilişkin örneklere yer verilmiştir.

Doğrultmaçlarda kullanılan filtre çeşitleri: DC güç kaynağı devrelerinin çıkış uçlarındaki sinyalleri tam düzgün hâle getirebilmek için çeşitli filtreler kullanılır. Şimdi bu devreleri inceleyelim.

a. Kondansatörlü (C'li) süzgeç: Doğrultmaç devresinin çıkışına paralel bağlı olan kondansatör, çıkış sinyalini filtre ederek düzgünleştirir. Şekil 5.15'te görüldüğü gibi diyottan geçen pozitif alternans maksimum değere doğru yükselirken kondansatör şarj olur. Alternans sıfır (0) değerine doğru inerken ise, C, üzerindeki yükü (akımı) alıcıya (R_y) verir. Dolayısıyla alıcıdan geçen doğru akımın biçimi (şekli) daha düzgün olur. Osilaskopla yapılacak gözlemde bu durum görülebilir.

Filtre olarak kullanılan kondansatörün kapasite değeri büyük olursa çıkıştan alınan DC daha düzgün olur. Doğrultmaç devrelerinde alıcının çektiği akım göz önüne alınarak 470-38.000 μF arası kapasiteye sahip kondansatörler kullanılır.

Pratikte, 1 A çıkış verebilen bir doğrultmaç devresinin çıkışına 1000-2200 μF lık kondansatör



Şekil 5.15: C'li süzgeç

bağlanmaktadır. Yani kullanılacak kondansatörün kapasite değeri alıcının çektiği akıma bağlıdır.

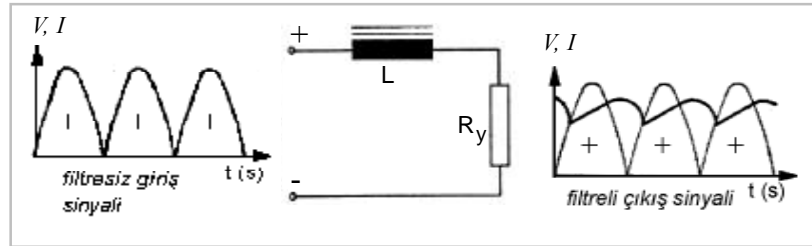
Filtre olarak kullanılan kondansatörün çıkış gerilimini yükseltmesinin nedeni şöyle açıklanabilir: Kondansatörler AC'nin maksimum değerine şarj olurlar. AC'nin maksimum değeri etkin (efektif) değerden % 41 fazla olduğundan, doğrultmacının çıkışındaki DC, girişteki AC gerilimden yaklaşık % 41 oranında daha yüksek olur. Devrenin çıkışına yük bağlanınca gerilimdeki bu yükselme düşer.

Örneğin, 12 volt çıkış verebilen bir trafo kullanılarak tam dalga doğrultmaç devresi yapılırsa, devrenin çıkışına alıcı bağlı değilken yapılan ölçümde voltmetre 16-17 voltluk bir değer gösterir.

Çünkü 12 voltluk AC'nin maksimum değeri $V_{maks} = V_{etkin} \cdot 1,41 = 16,92$ voltur.

b. Bobinli (L'li)

süzgeç: Bobinler, üzerlerinden geçen dalgalı akımların değişmelerine (salınım yapmasına) karşı koyarlar. Şekil 5.16'da görüldüğü gibi diyotların



Şekil 5.16: L'li süzgeç

çıkışına bağlanan bir bobin, dalgalı (titreşimli) olan DC sinyalin azalıp çoğalmasını belli oranda önleyerek çıkışa bağlı olan alıcıdan daha düzgün akımın geçmesini sağlar.

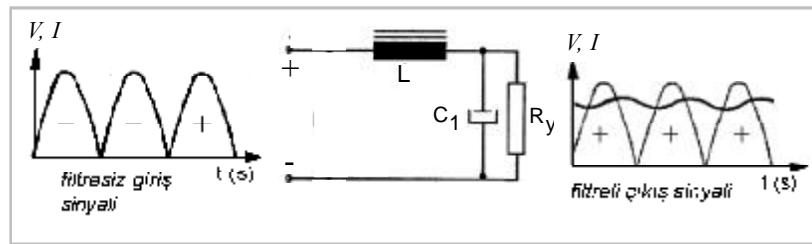
Bobinin filtreleme (süzme) işlemini yapma şekli şöyle açıklanabilir: Bobinlere değişken özellikli akım uygulandığında sargıların etrafında bir manyetik alan oluşur. Bu alan, kendisini oluşturan etkiye (akıma) karşı koyar. Yani yükselen giriş akımını bastırır. Uygulanan akım kesilince ise bobin etrafındaki manyetik alanın aniden sıfır değerine doğru azalması nedeniyle bobinde bir gerilim (EMK) oluşur. Bu EMK şebekenin geriliminde yükseltme etkisi yapar.

Yani, diyodun çıkışında bulunan dalgalı (salınımlı) akım sıfırdan itibaren yükselirken bobin bunu bastırmaya çalışır. Akım tepe değerinden sıfıra doğru inerken ise bobin bir EMK oluşturarak alıcıya giden gerilimi yükseltmeye çalışır.

Süzgeç olarak kullanılan bobinler (şok bobini), ince çelik sacların ya da ferritten yapılmış nüvelerin üzerine sarılmış izoleli iletkenlerden oluşur. Bobinde kullanılan iletkenin kesiti ve sarım sayısı devrenin akımına bağlı olarak değişir.

c. Bobin ve kondansatörlü (L-C) süzgeç:

Bobin ve kondansatör bir arada kullanıldığında çıkıştan alınan DC daha düzgün olur. Filtre devresindeki bobin çıkıştaki titreşim (salınım, ripple) oranını biraz düşürür. Daha sonra kondansatör dolup boşalarak alıcıya

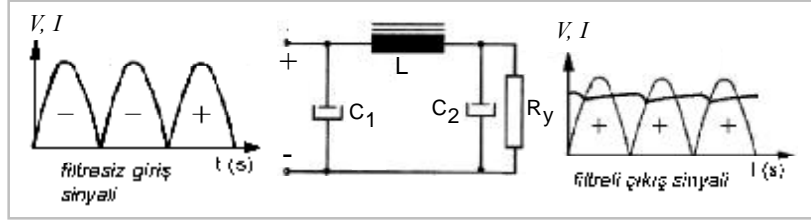


Şekil 5.17: L-C süzgeç

giden akımın çok düzgün hâle gelmesini sağlar.

ç. Kondansatör, bobin, kondansatörlü (CLC, p tipi) süzgeç: En iyi süzgeç devresidir. Hassas yapılı ve kaliteli devrelerin çıkışının filtre edilmesinde kullanılır.

Diyotların çıkışından gelen dalgalı (salınımlı) akım, C-L-C'den oluşan süzgeç devresinden geçerken üç etkiye maruz kalarak düzgün bir akıma dönüşür.



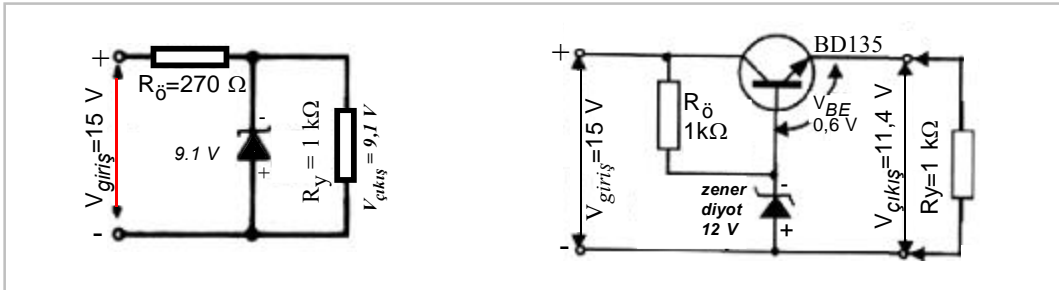
Şekil 5.18: CLC süzgeç

CLC filtrenin çalışma ilkesi şöyle açıklanabilir: Şekil 5.18'de görüldüğü gibi devrenin girişine gelen salınımlı DC, C₁ tarafından biraz düzgünleştirilir. Ardından bobin kendine has özelliğinden dolayı, yükselmek isteyen sinyalleri bastırırken, alçalmak isteyen sinyalleri ise yükseltir. Bobinden sonraki noktada DC özellikli sinyaller oldukça düzelmiş bir hâle gelir. Çıkışta bulunan C₂, sinyallerin filtreleme işlemini bir kez daha yaparak elde edilen DC'nin tam düzgün hâle gelmesini sağlar.

ç. DC güç kaynaklarında kullanılan regüle (regülatör) devreleri

Değişik değerlerde akımlar çeken devrelerden oluşan elektronik cihazlardaki akım değişikliği, aygıtı besleyen güç kaynağının çıkış geriliminde değişiklik yapar. Ancak, güç kaynaklarının çıkış geriliminin sabit kalması istenir. İşte bu sakıncayı gidermek için regüleli güç kaynakları yapılarak değişken akımlara karşı çıkış geriliminin sabit kalması sağlanmaktadır.

Hassas yapıda olan elektronik cihazlara sabit değerli DC sağlamak için çeşitli tiplerde regüle devreleri geliştirilmiştir. Şimdi bunları inceleyelim.



Şekil 5.19: Zener diyotlu basit paralel regülatör devresi

Şekil 5.20: Transistör ve zener diyotlu seri regülatör devresi

a. Zener diyotlu basit paralel regülatör: Şekil 5.19'da verilen basit paralel regülatör devresinde giriş gerilimi 15 V olmasına rağmen çıkış gerilimi 9,1 volt olmaktadır. Devrede kullanılan zener diyot 12 V olursa çıkış 12 V olmaktadır. Yani giriş gerilimi değişse dahi, çıkış hep sabit kalmaktadır.

Devrede zener diyodu aşırı akıma karşı korumak için kullanılan R_ö direncinin değeri:

$$R_{\text{ö}} = (V_{\text{giriş}} - V_{\text{zener diyot}}) / I_{\text{zener}} \text{ [}\Omega\text{]} \text{ denkleminde hesaplanır.}$$

Küçük güçlü regüle devresi hesaplamalarında I_Z akımı 5-10 mA (0,005-0,01 A) arası bir değerde seçilebilir.

b. Transistör ve zener diyotlu seri regülatör: Seri regülatör devreleri NPN ya da PNP transistör kullanılarak yapılabilir.

Şekil 5.20'de verilen devrede kullanılan ön direnç (R_ö) zener diyodu ve transistörün beyzini aşırı akıma karşı korur. Girişe DC uygulanınca zener diyot üzerinde sabit bir gerilim oluşur. Bu gerilim, transistörün beyz ucunu tetikler. Tetiklenen transistör ise ilettime geçerek çıkışa bağlı alıcıyı besler.

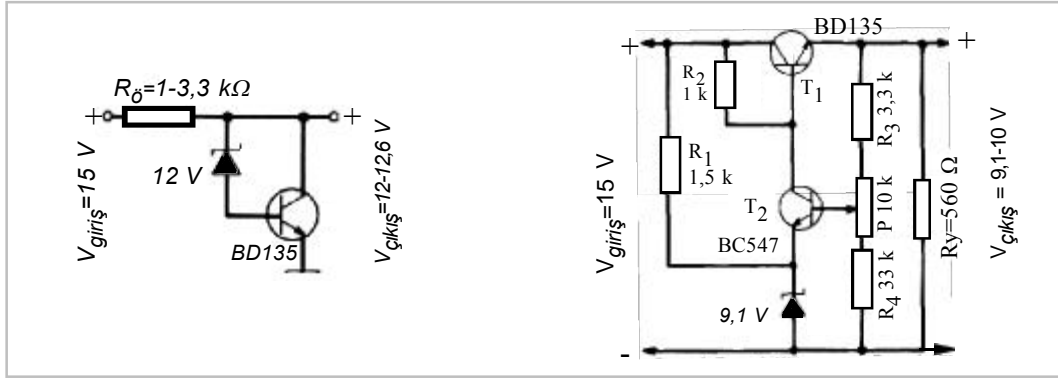
Giriş gerilimi değişse bile zener diyot sayesinde çıkış aynı kalır. Bu tip devrelerde transistör alıcıya seri bağlıdır. Çıkış uçları kısa devre edilirse devreden aşırı akım geçer ve transistör bozulur.

Not: Seri regülatör devresinde 12 voltluk zener diyot kullanıldığında BD135 adlı transistör silisyumdan yapıldığı için çıkış gerilimi 11,4 V olur. 0,6 voltluk gerilim transistörün B-E uçları arasında düşer. Devrede kullanılan transistör germanyum (AC187 vb.) olursa çıkış geriliminin değeri 11,8 V dolayında olur.

Uygulamada kullanılan seri regülatör devrelerinde zener diyota paralel olarak bir kondansatör daha bağlanır. Bu eleman, giriş geriliminde oluşan salınımları en aza indirme görevi yapar.

c. Transistör ve zener diyotlu paralel (şönt) regülatörler: Şekil 5.21'de verilen devreye uygulanan giriş gerilimi yükselince çıkış da yükselir. Bu da alıcıya paralel bağlı olan transistörün beyz ucuna bağlı zener diyodu ilettime sokarak transistörün ilettime geçmesine neden olur. İletken olan transistör artı (+) uçtan eksi (-) uca doğru belli bir akım geçirir. Transistörün şaseye doğru ilave bir akım geçirmesi R_{θ} direncinden geçen akımı artırıcı etki yapar. R_{θ} 'den geçen akımın artması bu elemanın üzerinde düşen gerilimi yükseltir. R_{θ} 'nün üzerinde düşen gerilimin artması çıkışa bağlı olan alıcıda düşen gerilimin azalmasına yol açar. Bu sayede alıcıya yüksek gerilim gitmesi önlenmiş olur.

Paralel regülatör devreleri çıkış gerilimini çok hassas olarak sabit tutamadığından uygulamada pek kullanılmaz.



Şekil 5.21: Transistör ve zener diyotlu şönt regülatör devresi

Şekil 5.22: Hata yükselteçli seri regülatör devresi

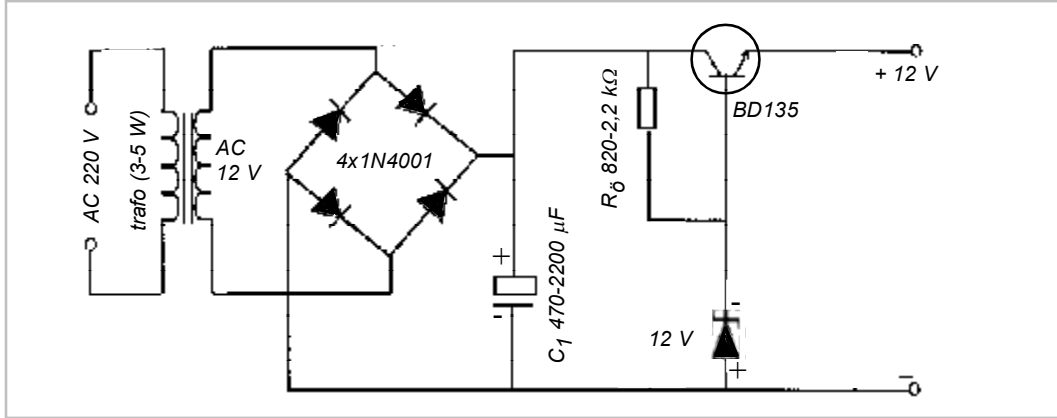
ç. Transistörlü hata yükselteçli seri regülatörler: Şekil 5.22'de görüldüğü üzere T_2 'nin emiterine bağlı olan zener diyot sabit bir gerilim oluşturur. T_1 'in beyzinde ise $V_Z + V_{CE2}$ kadar gerilim oluşur. V_{CE2} gerilimini pot ile değiştirmek mümkündür. Potun orta ucu yukarı doğru kaydırılırsa V_{CE2} azalır ve çıkış gerilimi düşer. Potun orta ucu aşağı doğru kaydırılırsa V_{CE2} büyüyeceğinden çıkış gerilimi de yükselir.

Devrenin giriş gerilimi yükselince pot üzerinden polarma alan T_2 transistörünün iletkenliği de artar. T_2 'nin iletken olması T_1 'in beyzindeki gerilimi ve akımı düşürür. T_1 'in beyz akımının düşmesi ise alıcıya giden akımı azaltır. Alıcının akımının azalması çıkış geriliminin düşmesine yol açar.

Transistörlü, regüleli DC güç kaynaklarıyla ilgili uygulama devreleri

a. 12 V sabit çıkışlı seri regüleli güç kaynağı devresi: Şekil 5.23'te verilen devrede, trafo AC'yi düşürür, diyotlar doğrultur, kondansatör filtre eder, R_{θ} zener diyodu ve transistörün beyz ucunu aşırı akıma karşı korur. Zener diyot sabit bir gerilim oluşturur. Transistör zenerden aldığı sabit polarma gerilimiyle ilettime geçerek alıcıyı besler. Devrede 12 voltluk zener diyot ve silisyum transistör kullanıldığı için çıkış gerilimi 11,4 ile 12 volt arasında olur. 0,6 voltluk gerilim transistörün B-E uçları arasında düşer.

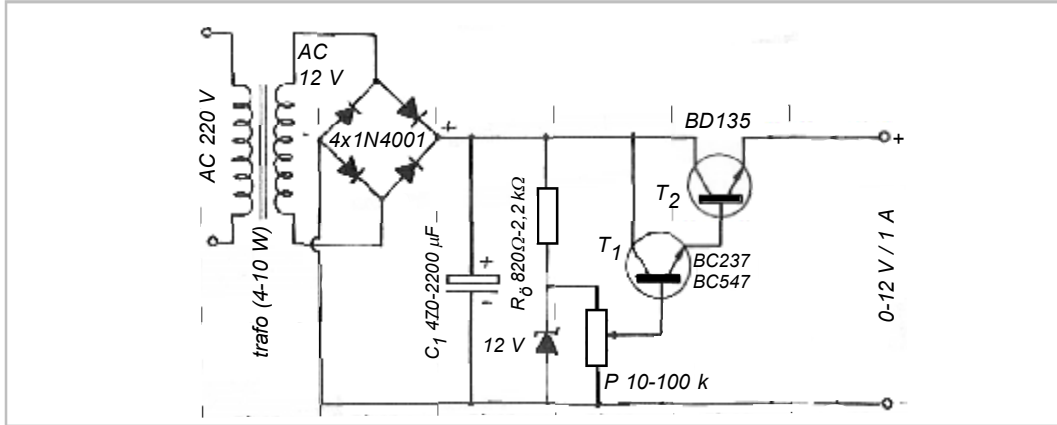
Not: Çıkış uçları kısa devre olursa transistör bozulur.



Şekil 5.23: 12 V sabit çıkışlı güç kaynağı devresi

b. 0-12 V ayarlı çıkışlı, darlington bağlantılı DC güç kaynağı devresi: Şekil 5.24'te görülen devre amatör çalışmalar için çok iyi sonuç vermektedir. Trafo 10 W'lık olursa çıkış akımı 1 ampere yakın olmaktadır.

Devre elemanlarının görevleri şöyledir: Trafo AC'yi düşürür. Diyotlar AC'yi DC'ye çevirir. C1 kondansatörü salınımlı sinyalleri filtre eder. R0 zener diyodu ve T1 transistörün beyzini aşırı akıma karşı korur. Zener 12 voltluk sabit bir gerilim oluşturur. Pot, zener diyottan aldığı 12 voltluk gerilimi bölerek T1 transistörünün beyzine verir. T1 transistörü iletime geçerek T2 transistörünü sürer. T2 iletime geçtiğinde ise alıcıya akım gitmeye başlar.



Şekil 5.24: 0-12 V ayarlı çıkışlı, darlington bağlantılı güç kaynağı devresi

Gerilim regülatör entegreleri: DC güç kaynağı devrelerinde montaj kolaylığı sağlamak için bir çok elektronik devre elemanı (zener diyot, transistör, direnç vb.) bir gövde içinde birleştirilerek DC regülatör entegreleri yapılmıştır.

Güç kaynaklarında şebeke gerilimi transformatör ile düşürülür ve diyotlarla doğrultulur, filtrelerle düzgünleştirilir. Daha sonra regülatör entegreleriyle sabitleştirilerek alıcılar beslenir.

Entegre gerilim regülatörlerinin bazı çeşitleri şunlardır:

a. Pozitif (+) çıkışlı gerilim regülatörleri: Şaseye göre pozitif DC verirler. Uygulamada yaygın olarak kullanılan tipler, 78xx, TDD16xx serisi şeklinde olup 2-24 V arası çıkış veren modelleri yaygındır.

78xx serisi regülatör entegrelerinin çıkış akımları çeşitli değerlerde (100 mA, 500 mA, 1 A, 2 A gibi) olurken, TDD16xx serisi entegrelerin çıkış akımı 500 mA'dir.

Regülatör entegreleri büyük akım taşıyorsa ortaya çıkabilecek ısıyı azaltmak için soğutucu plakalar kullanılmalıdır.

78xx serisi pozitif çıkışlı regülatör entegrelerinin çeşitli tiplerinin özellikleri şöyledir:

*78xx serisi regülatörlerin çıkış akımı 1 A'dir.

Çeşitleri: 7805, 7806, 7808, 7809, 7810, 7812, 7815, 7818, 7824.

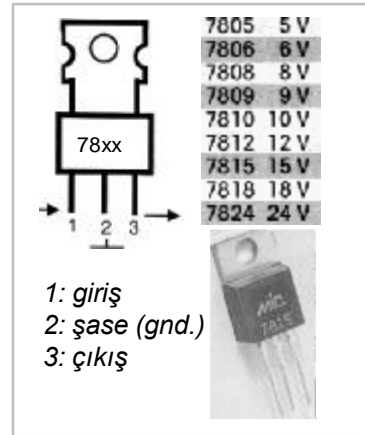
*78Sxx serisi regülatörlerin çıkış akımı 2 A'dir.

Çeşitleri: 78S05, 78S06, 78S08, 78S09, 78S10, 78S12, 78S15, 78S18, 78S24.

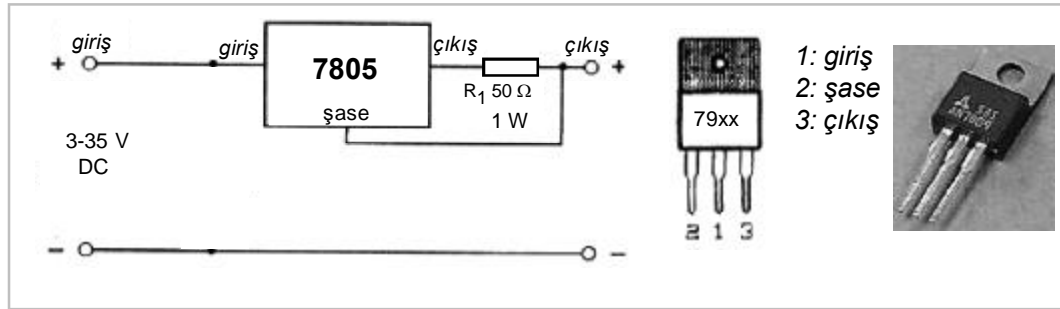
Regülatör entegrelerinin sabit akım kaynağı olarak kullanılışı: 78xx serisi gerilim regülatörleri sabit akım veren eleman olarak da kullanılabilir. Bunu yapabilmek için entegrenin çıkışına seri olarak direnç eklenir. Elemanın şasesi ise eksi uca değil, entegreye seri olarak bağlanan direncin çıkışına bağlanır.

Örneğin 7805 adlı regülatör entegresinin şase ucu 50 Ω'luk seri direnç ile birlikte pozitif çıkışa bağlanacak olursa çıkış akımı, $I_{\text{çıkış}} = V/R = 5/50 = 0,1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$ olur.

Sabit akım çıkışlı devrelerin kullanım alanlarından birisi pil şarj devreleridir.



Şekil 5.25: 78xx serisi pozitif çıkışlı regülatör entegrelerinin ayaklarının dizilişi



Şekil 5.26: Regülatör entegrelerinin sabit akım kaynağı olarak kullanılışı

Şekil 5.27: 79xx serisi negatif çıkışlı regülatör entegrelerinin ayaklarının dizilişi

b. Negatif (-) çıkışlı gerilim regülatörleri: Şaseye göre negatif DC verirler. Yaygın olarak kullanılan çeşitleri: 7905, 7906, 7908, 7909, 7912, 7915, 7918, 7924'tür.

79xx serisi negatif çıkışlı regülatör entegrelerinin çeşitli tiplerinin özellikleri şunlardır:

*79xx serisi regülatörlerin çıkış akımı 1 A.

Çeşitleri: 7905: -5 V, 7906: -6 V, 7908: -8 V, 7912: -12 V, 7918: -18 V, 7924: -24 V sabit çıkış vermektedir.

c. Kademeli çıkış veren regülatör entegreli devreler: Regülatör entegrelerinde şaseye giden uca bağlanan zener diyot, doğrultmaç diyodu ya da dirençlerle devrenin çıkış gerilimi değiştirilebilir.

I. LM317T entegreli, kademeli çıkışlı DC güç kaynağı devresi: Şekil 5.28'de görülen LM317T regülatör entegreli kademeli güç kaynağı devresinde çıkış geriliminin değeri,

$$V_{\text{çıkış}} = V_{\text{ref}}(1 + R_2/R_1) + I_{\text{ADJ}} \cdot R_2 \text{ [V]} \text{ denkleminde bulunabilir.}$$

$$\text{Denklemde: } R_2: R_A \dots R_E \quad V_{\text{ref}} = 1,25 \text{ V} \quad I_{\text{ADJ}} = 50 - 100 \mu\text{A'dir.}$$

ç. Ayarlı çıkış veren regülatör entegreli devreler: Bu tip regülatör entegreleriyle çıkış gerilimi

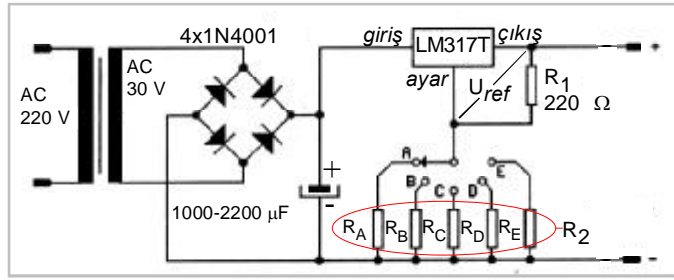
geniş bir sınır içinde ayarlanabilmektedir. Şekil 5.30'da LM317T'li 1,2-37 V ayarlı çıkışlı güç kaynağı devresi verilmiştir.

LM317T kodlu regülatör entegresi 1 A çıkış akımı ve 1,2-37 V arası ayarlı, regüleli çıkış gerilimi verebilmektedir.

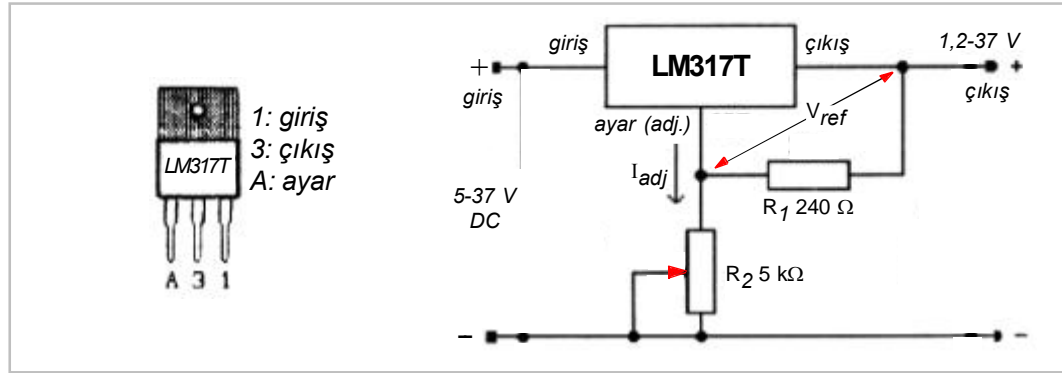
Ayrıca bu regülatör entegresinin içinde kısa devre koruması da vardır. Entegrenin girişine uygulanabilecek gerilimi, 5 - 37 V arasında değişebilir. LM317T regülatör entegresiyle yapılan ayarlı güç kaynağı devresinde çıkış geriliminin değeri,

$$V_{\text{çıkış}} = V_{\text{ref}} \cdot (1 + R_2/R_1) + I_{\text{ADJ}} \cdot R_2 \text{ [V]} \text{ denkleminde bulunabilir.}$$

Denkleminde, $V_{\text{ref}} = 1,25 \text{ V}$, $I_{\text{ADJ}} = 50\text{-}100 \mu\text{A}$ 'dir.



Şekil 5.28: LM317T'li kademeli çıkışlı güç kaynağı devresi



Şekil 5.29: LM317T serisi ayarlı çıkışlı regülatör entegrelerinin ayaklarının dizilişi

Şekil 5.30: LM317T'li ayarlı çıkışlı güç kaynağı devresi

Örnek: $R_1 = 240 \Omega$, $R_2 = 2,4 \text{ k}\Omega$ olduğunda çıkış kaç volt olur?

Çözüm: $V_{\text{çıkış}} = 1,25 \cdot (1 + 2400 / 240) + 0,0001 \cdot 2400 = 13,75 \cdot 0,24 = 13,99 \text{ V}$

Ayarlı çıkış veren regülatör entegrelerinin çeşitli tiplerinin özellikleri şunlardır:

***LM317M:** Çıkış akımı: 500 mA.

***LM317T:** Çıkış akımı: 1 A, Çıkış gerilimi: 1,2-37 V.

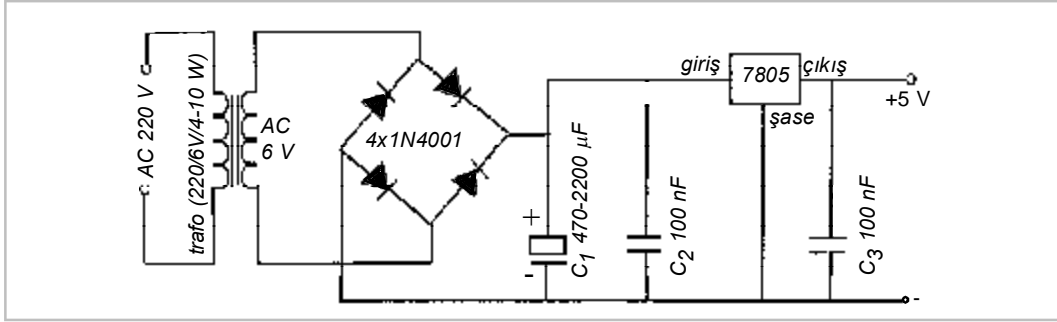
Not: Sabit çıkış vermek üzere yapılmış olan regülatör entegreleri de (78XX, 79XX) ayarlı çıkış veren eleman olarak kullanılabilir.

Regülatör entegreli uygulama devreleri

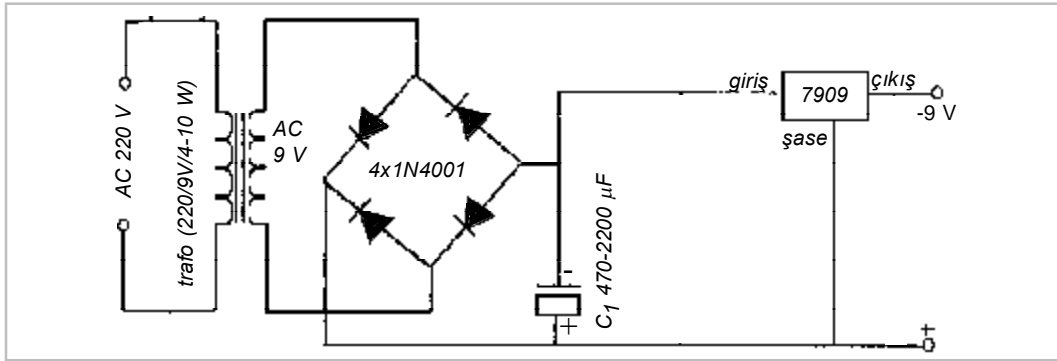
a. 7805 regülatör entegresiyle yapılan 5 V pozitif çıkışlı güç kaynağı: Şekil 5.31'de verilen devrenin çıkış akımı 1 A'dir. Giriş ve çıkışa bağlanmış olan küçük kapasiteli (100 nF) kondansatörler, çıkış gerilimindeki parazitleri (salınım, gerilimde istenmeyen yükselme ve yüksek frekanslı sinyalleri) yok etmeye yarar.

Not: Devrede kullanılan regülatör entegresi değiştirilerek çıkış gerilimi değiştirilebilir. Regülatör entegresi 7812 yapıldığı zaman kullanılan trafonun çıkış gerilimi de 12-14 volt olmalıdır.

b. 7909 regülatör entegreli, 9 V negatif çıkışlı DC güç kaynağı: Şekil 5.32'de verilen devrenin çıkış akımı 1 A, çıkış gerilimi ise -9 voltur.



Şekil 5.31: 7805'li 5 V sabit çıkışlı güç kaynağı



Şekil 5.32: 7909 entegreli -9 V negatif çıkışlı güç kaynağı

D. Gerilim katlayıcılar (çoklayıcılar)

Gerilim katlayıcılar, girişe uygulanan AC sinyali çıkışa katlayarak yansıtan ve bu gerilimi DC'ye dönüştüren devrelerdir. Katlayıcı devrelerinde kullanılan diyot ve kondansatörler ucuz olduğundan ve transformatöre göre az yer kapladığından tercih edilirler. Ancak diyot ve kondansatörlerle yapılan katlayıcıların çıkış akımı azdır. Televizyon, bilgisayar ekranı gibi elektronik aygıtlarda gereken yüksek gerilimi elde etmek için gerilim katlayıcılar kullanılır. Bu aygıtlarda kullanılan katlayıcılar pratikte kaskad olarak adlandırılır.

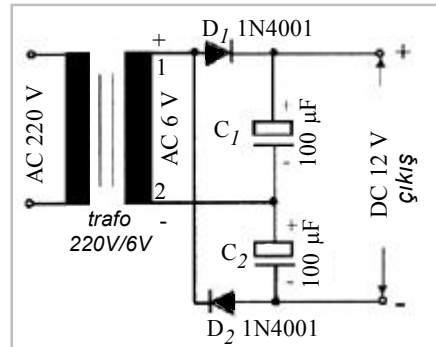
Gerilim katlayıcı çeşitleri şunlardır:

a. Tam dalga gerilim ikileyiciler: Şekil 5.33'te verilen devrede alternatif akımın birinci alternansının polaritesi şemada gösterildiği gibi işaretlenirse, D₁ diyodu doğru polarmalı olduğundan iletme geçerek C₁ kondansatörünü trafonun sekonder sargı geriliminin tepe (maks) değerine şarj eder. D₁ diyodu iletimdeyken, D₂ diyodu ters polarmalı olduğundan kesimde (yalıtımda) kalır.

İkinci alternansta trafonun çıkışındaki polariteler (1-2) yer değiştirir. Bu durumda D₁ diyodu yalıtımda kalırken, D₂ diyodu uygun polaritede olduğundan iletme geçerek C₂ kondansatörünü sekonder geriliminin tepe değerine şarj eder. C₁ kondansatörü sekonder sargının AC geriliminin pozitif alternansıyla, C₂ kondansatörü ise negatif alternans ile şarj olmuş durumdadır.

C₁ ve C₂ kondansatörleri birbirine seri bağlı pil gibi olduklarından, devrenin çıkışında giriş geriliminin iki katı değerinde bir DC gerilim oluşur.

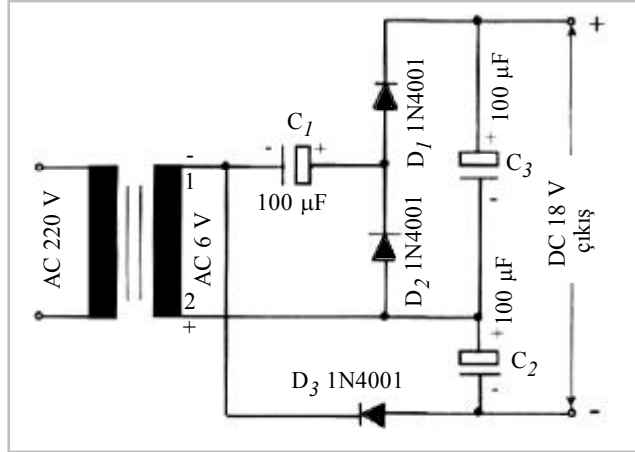
Bu tip devrenin pratik bir kullanımı şu olabilir: Elde var olan AC 6 V çıkışlı bir trafonun gerilimi ikileyici ile DC 12 V yapılabilir. Ancak, gerilim artarken çıkıştan alınabilecek akımın da % 50



Şekil 5.33: Tam dalga gerilim ikileyici

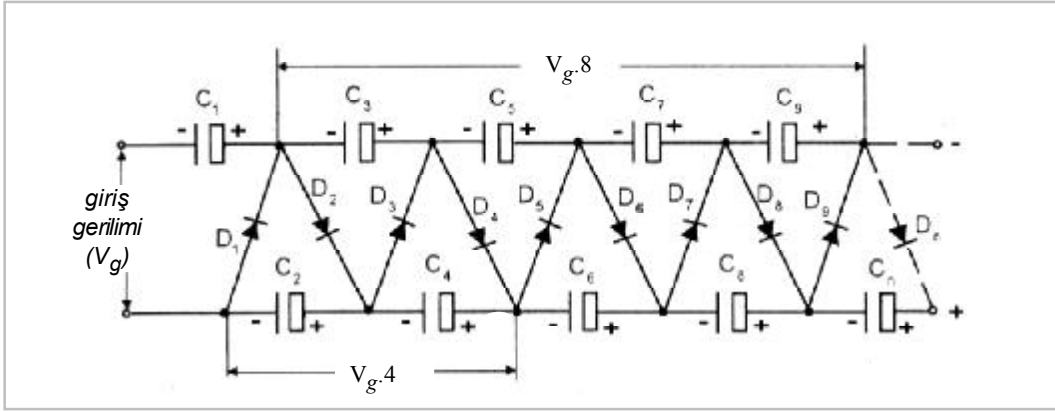
oranında azalacağı unutulmamalıdır.

b. Gerilim üçleyiciler: Devrede sekonder geriliminin birinci alternansının polaritesi şekil 5.34'te gösterildiği gibi işaretlenirse, D₁ diyodu ters polarmalı olduğundan yalıtımda kalırken, D₂ ve D₃ diyotları ilettime geçerek C₁ ve C₂ kondansatörlerini şarj ederler. Sekonder geriliminin ikinci alternansında polariteler (+, -) yer değiştireceğinden, C₁ kondansatörü, sekonder geriliminin bu alternansıyla seri duruma geçer. D₁ diyodu iletimde olacağından, C₃ kondansatörü C₁



Şekil 5.34: Gerilim üçleyici devresi

kondansatörü ve sekonder geriliminin toplamına ($V_{\text{sekonder}} + V_{C1}$) şarj olur. C₂ ve C₃ kondansatörleri seri bağlı iki pil gibidir. C₃'ün üzerindeki gerilim C₂'nin üzerindeki gerilimden iki kat daha yüksek olduğundan çıkışa bağlı alıcı üzerinde giriş geriliminin üç katı büyüklükte DC gerilim görülür.



Şekil 5.35: Gerilim n'leyici devresi

c. Gerilim n'leyiciler: Gerilim katlayıcı devrelerinde kondansatör ve diyot sayısını uygun gerilimli ve uygun kapasiteli olmak koşuluyla ne kadar artırırsak çıkıştan o kadar yüksek gerilim elde edebiliriz.

Bu nedenle çokluğu ifade edebilmek için gerilim n'leyici kavramı kullanılır. Örneğin gerilimi 8 kat yükseltmek istersek devrede uygun gerilimli 8 adet kondansatör ve 8 adet diyot kullanmamız gerekir.

Aslında gerilim n'leyici devreleri gerilim ikileyici devrelerinin arka arkaya bağlanmasıyla oluşturulmaktadır. Şekil 5.35'te verilen şemada C₁ kondansatörü $V_{\text{giriş}}$ gerilimi değerine şarj olurken, bundan sonraki bütün kondansatörler $2 \cdot V_{\text{giriş}}$ değerine şarj olmaktadır.

Devrede C₂, C₄, C₆, C₈ kondansatörlerinde bulunan $2 \cdot V_{\text{giriş}}$ değerindeki voltajlar toplanacak olursa çıkışın $8 \cdot V_{\text{giriş}}$ değerinde olduğu görülür.

Bölüm 6: Transistörlü (BJT'li) yükselteçler

A. Transistörlü (BJT'li) yükselteçleri DC ile polarma yöntemleri

Küçük genlikli (zayıf) elektrik sinyallerini güçlendirmek için kullanılan devrelere **yükselteç** denir. Mikrofon, anten, teyp okuyucu kafası, pikap iğnesi vb.'den gelen zayıf sinyaller transistörlü ya da entegreli yükselteçlerle güçlendirilir. Yükselteç, mikrofon, teyp kafası vb. elemanlardan gelen elektrik sinyallerini büyütüyorsa bu tip devrelere anfi (amplifikatör) adı verilir.

Ses sinyallerini yükselten devreler ön yükselteç, sürücü, güç katı gibi devrelerden oluşur. Ön yükselteç (preamplifikatör) katı mikrofon, teyp kafası gibi elemanlardan gelen mikrovolt ilâ milivolt düzeyindeki zayıf sinyalleri genlik (gerilim) bakımından yükselterek sürücü katına verir. Sürücü katı bu sinyalleri bir miktar daha yükselterek güç katına gönderir.

Bu bölümde, transistörlerle yapılan ses frekans (20 Hz - 20 kHz arası frekanslara sahip sinyaller) yükselteç devrelerinin yapısı, özellikleri ve çalışması hakkında temel bilgiler verilecektir.

Polarma (ön gerilimleme, kutuplama) kavramı: Daha önceki konularda (diyotlar, transistörler) gördüğümüz gibi polarma, yarı iletkenlerden yapılmış devre elemanlarının istenilen noktada çalışması için gereken DC gerilim anlamına gelmektedir.

Örneğin silisyumdan yapılmış 1N4001 kodlu doğrultmaç diyodunun ilettime geçirilebilmesi için en az 0,5-0,7 voltluk polarma geriliminin uygulanması gerekmektedir.

Aynı şekilde yükselteç devrelerinde kullanılan transistörlerin beyz uçları, dirençler kullanılarak DC ile polarmalanır. Devrede kullanılan transistörün polarma akım ve geriliminin değeri devrenin çalışma özelliğine göre değişir.

Transistörlü devrelerde polarma işlemi çeşitli biçimlerde yapılır. Her yöntemin kendine göre özellikleri vardır.

Dengeleme, çalışmaya hazır hâle getirme anlamına gelen polarma işlemi, yükseltecin girişine AC özellikli sinyal uygulanmadan önce DC besleme kullanılarak transistörün istenilen noktada çalıştırılması amacıyla yapılır. Girişe AC özellikli sinyaller uygulanmadan önce yükselteç devresinin çektiği akımlara boşa çalışma, sükunet, *quiescent* akımları adı verilir.

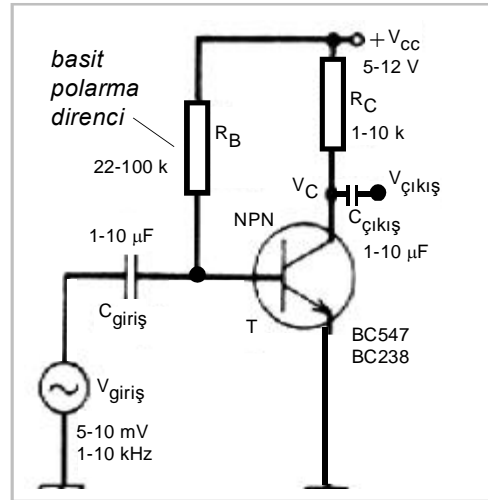
Transistörler sıcaklığa duyarlı bir elemandır. Ortam sıcaklığının aşırı değişimi, transistörün β akım kazancı, V_{BE} gerilimi ve I_C akımının değişmesine neden olur. Yani devrenin dengesi bozulur.

Transistörlü yükselteç devrelerinde DC polarma yöntemleri

a. Basit (sabit, seri) polarma: Uygulanması kolay bir polarma çeşididir. Yükselteçte kullanılan transistörün beyz ucunu beslemede kullanılan R_B direnci V_{CC} kaynağına seri olarak bağlandığından devre seri polarma olarak da adlandırılır.

Basit polarmalı devrenin çalışma noktası sıcaklık artışlarında aşırı derecede değişmektedir. O nedenle basit polarmalı yükselteçler, oda sıcaklığında, düşük kolektör akımı ve gerilimine sahip basit (hassas olmayan, amatör amaçlı) devrelerde kullanılır.

Şekil 6.1'de verilen devrede görüldüğü gibi beyz ucuna bağlanmış olan direnç transistörün girişine DC akım sağlar. R_B üzerinden beyze gelen akımın değerine göre C ucundan E ucuna belli bir akım geçişi olur. Beyze uygulanan akım aynı zamanda transistörün C ucundaki gerilimin (V_C) değişmesini de sağlar. B ucuna DC akım verilmediği zaman ise C-E arası direnç çok yüksek olur. Bundan dolayı



Şekil 6.1: Basit polarmalı yükselteç devresi

devreye uygulanan V_{CC} geriliminin tamamı C-E arasında düşer. Örneğin $V_{CC} = 12\text{ V}$ ise, V_C gerilimi de 12 V olur. Beyz (B) ucuna verilen akım arttıkça C-E arası direnç azalacağından V_C gerilimi düşmeye başlar.

Polarma direncinden (R_B) geçen akım,

$I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B$ denklemiyle bulunur. (Silisyumdan yapılmış transistörlerde $V_{BE} = 0,5-0,7\text{ V}$ olarak kabul edilir.)

Bazı hesaplamalarda V_{BE} değeri küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bu durumda,

$I_B = V_{CC} / R_B$ şeklinde yazılabilir.

Devrede kolektörden geçen akım, $I_C = \beta \cdot I_B$ ile bulunur.

C-E uçları arasında düşen gerilim ise, $V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C$ ile hesaplanır.

Örnek: $V_{CC} = 12\text{ V}$ $R_C = 6\text{ k}\Omega$ $\beta = 200$

a. $I_{C_{max}} = ?$ (Transistör doyum noktasında çalıştığında kolektörden geçen akım)

b. $I_{BO} = ?$ (Giriş AC sinyali uygulanmadan önceki beyz akımı)

c. $R_B = ?$

Çözüm: a. $I_{C_{max}} = V_{CC} / R_C = 12 / 6000 = 0,002\text{ A} = 2\text{ mA}$

$I_{CO} = I_{C_{max}} / 2 = 1\text{ mA}$

Hatırlatma: Yükselteç hesaplarında giriş sinyali yokken transistörün kolektöründeki gerilimin $V_{CC} / 2$ değerinde olması gereklidir.

b. $I_{BO} = I_{CO} / \beta = 1 / 200 = 0,005\text{ mA}$

Transistörün beyz - emiter arası direnç değeri (R_{BE}) yok sayılırsa,

c. $R_B = V_{CC} / I_{BO} = 12 / 0,005 = 2400.000\ \Omega = 2400\text{ k}\Omega$ olur.

Eğer transistörün B-E eklemesinin direncini ihmal etmeyip, V_{BE} gerilim düşümünü $0,6\text{ V}$ olarak kabul edersek:

$R_B = (V_{CC} - V_{BE}) / I_{BO} = (12 - 0,6) / 0,005 = 2280.000\ \Omega = 2280\text{ k}\Omega$ olarak bulunur.

Örnekteki hesaplamaların yapılış şeklini şöyle açıklayabiliriz: Transistörlü yükseltecin çalışabilmesi için girişe hiç sinyal uygulanmazken, transistörün C ayağında $V_{CC} / 2$ kadar bir gerilimin olması gereklidir. Bu gerilimin oluşabilmesi için ise transistörün B ucuna bağlanan R_B ya da kolektöre bağlanan R_C direncinin değeri hesaplamalarla belirlenir. Eğer hesaplamalar yanlış yapıp uygun olmayan dirençler bağlanacak olursa çıkış sinyalleri hatalı (distorsiyonlu) olur.

Verilen örnekte besleme gerilimi 12 V ttir. O hâlde transistörün V_C gerilimi 6 V olmalıdır. Kolektör direnci $R_C = 6\text{ k}\Omega$ olarak seçildiğine göre, transistör tam iletken olduğu anda devreden V_{CC} 'nin geçirebileceği maksimum akım,

$I_{C_{max}} = V_{CC} / R_C$ denklemine göre 2 mA olarak belirlenir.

Devrenin dengeli olabilmesi için V_C geriliminin 6 V olması gerektiğini belirtmiştik. Bu değerden yola çıkarak V_{RC} üzerinde düşen geriliminin de 6 V olacağı anlaşılır.

Giriş sinyali yokken V_C geriliminin 6 V olabilmesi için I_{CO} akımının $I_{CO} = I_{C_{max}} / 2$ denklemine göre 1 mA olması gerektiği ortaya çıkar.

$\beta = I_C / I_B$ olduğuna göre buradan I_B 'nin denklemi yazılırsa,

$I_B = I_C / \beta = I_{CO} / \beta = 1 / 200 = 0,005\text{ mA}$ bulunur.

Devrenin besleme gerilimi 12 V , transistörün beyz akımı $0,005\text{ mA}$ olması gerektiğine göre beyz direnci $R_B = (V_{CC} - V_{BE}) / I_{BO}$ denklemini kullanarak $2280\text{ k}\Omega$ olarak bulunur.

Örnek: Şekil 6.1'de verilen basit polarmalı yükselteç devresinde, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{BE} = 0,7\text{ V}$, $\beta = 80$, $R_C = 5\text{ k}\Omega$ ($5000\ \Omega$), $R_B = 500\text{ k}\Omega$ ($500.000\ \Omega$) olduğuna göre,

a. V_{RB} , b. I_B , c. I_C , ç. V_{RC} , d. V_C değerlerini bulunuz.

Çözüm: a. $V_{CC} = V_{RB} + V_{BE}$ denkleminde V_{RB} çekilirse,

$$V_{RB} = V_{CC} - V_{BE} = 15 - 0,7 = 14,3 \text{ V}$$

$$\text{b. } I_B = V_{RB} / R_B = 14,3 / 500000 = 28,6 \text{ } \mu\text{A}$$

$$\text{c. } I_C = \beta \cdot I_B = 80 \cdot 28,6 = 2,288 \text{ mA}$$

$$\text{ç. } V_{RC} = I_C \cdot R_C = 2,288 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 11,44 \text{ V}$$

$$\text{d. } V_{CC} = V_{RC} + V_C \text{ denkleminde } V_C \text{ çekilirse, } V_C = V_{CC} - V_{RC} = 15 - 11,44 = 3,56 \text{ V bulunur.}$$

b. Transistörün emiter ayağına direnç ve kondansatör bağlı basit polarma (emiteri dengelenmiş polarma): Şekil 6.2'de görüldüğü gibi kolektör akımının kararlılığını sağlamak için emiter ayağına seri bir direnç eklenir. Bu direnç R_E direnci üzerinden gelen DC akımların aşırı artmasına karşı geri besleme yapar. Yani beyz akımının fazla artmasını engeller.

R_E direncine paralel bağlı C_E kondansatörü AC özellikli akımları R_E 'den değil kendi üzerinden geçirerek yükselteç kazancını ve çalışma noktasını sabit tutmaya yarar. C_E 'ye dekuplaj (*by-pass*) kondansatörü adı verilir.

Devre çalışırken kolektör akımı artacak olursa emitere bağlı olan R_E 'nin üzerinde düşen gerilim de artar. Oluşan gerilim otomatik olarak beyzden gelen akımı azaltır. Buna **negatif geri besleme** denir.

Transistörlü yükselteç devrelerinde beyze seri bağlanan kondansatörün ($C_{giriş}$) görevleri

I. Giriş sinyallerinin uygulandığı kısma seri bağlanan kondansatör devrenin çalışmasını sağlayan besleme kaynağının (V_{CC}), yükseltmek istenen sinyalleri veren kaynağın (mikrofon vb.) üzerinden akım geçirmesini engeller.

Şöyle ki; girişe bir mikrofon bağlıysa ve $C_{giriş}$ kullanılmamışsa V_{CC} 'den gelen akım mikrofon üzerinden geçebilir. Bu ise mikrofonun çalışma düzenini bozar.

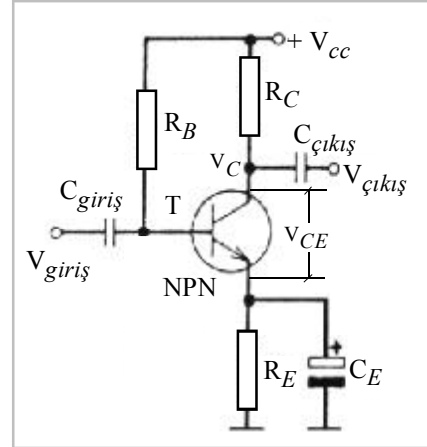
II. Girişten gelen sinyallerin sadece belli bir bölümü yükseltece geçer. Çok düşük frekanslı sinyallere karşı C yüksek direnç göstereceğinden bu sinyaller transistörün beyzine ulaşamaz. Yani beyze bağlanan C'nin görevi şu şekilde de açıklanabilir: C sayesinde DC sinyallerin etkisi bastırılmış olur.

III. Girişe C bağlanmadığı taktirde yükseltilecek sinyalleri üreten elemanın (mikrofon, teyp kafası, sinyal jeneratörü vb.) direnç değeri transistörün B-E uçları arasında bağlı olan polarma direnciyle paralel bağlı durum arz edeceğinden B - E arası direnç değeri düşer. Bu ise devrenin çıkışında $V_{CC}/2$ değerinden daha yüksek bir gerilim oluşmasına yol açar ve çıkış sinyalleri bozulur.

Hatırlatma: Kondansatörler DC akımları üzerlerinden geçirmezler. Sadece dolana kadar akım çekerler. AC akım ise kondansatörden kolayca geçer. AC sinyalin uygulandığı bir kondansatör besleme gerilimine sadece bir miktar direnç gösterir. Bu direnç X_C olarak tanımlanır. X_C 'nin değeri elemana uygulanan sinyalin frekansına bağlı olarak değişir.

Şöyle ki; bir kondansatörün direncini hesaplamada kullanılan denklem, $X_C = 1/2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$ [Ω]'dur. Burada kondansatöre uygulanan akımı DC olarak kabul edersek, DC'nin frekans değeri 0 olduğundan C'nin kapasitif reaktans (X_C) değeri sonsuz ohm çıkar. Öte yandan kondansatöre uygulanan sinyal salınımlı yani frekanslı olduğunda ise X_C değeri azalmaya başlar. Yani sinyalin frekans değeri yükseldikçe denklemde görüleceği üzere X_C değeri azalır.

c. Otomatik (geri beslemeli) polarma: Şekil 6.3'te verilen devrede bulunan R_B direnci beyz polarma akımını ve DC negatif geri beslemeyi sağlar. Yüksek değerli giriş sinyallerinde beyz akımı



Şekil 6.2: Transistörün emiter ayağına R_E direnci ve C_E kondansatörü bağlanmış basit polarmalı yükselteç devresi

ve buna bağlı olarak kolektör akımı artar. Kolektör akımının artması R_C uçlarındaki gerilimi artırırken transistörün C-E uçları arasındaki gerilimin (V_C) düşmesine neden olur. V_C gerilimi düşünce ise B'ye giden DC polarma akımı otomatik olarak azalmış olur.

Giriş sinyali azaldığında I_C akımı azalır, V_C gerilimi yükselir ve beyze giden DC polarma akımı da eski seviyesine doğru artar. Beyz akımının artması kolektör akımını otomatik olarak bir miktar artırır. V_C gerilimi çalışma noktasına yakın bir yere yükselir. Böylece yükselen ve alçalan giriş sinyallerinde devre kararlılığını kendi kendine ayarlar.

Bu polarma yöntemi giriş sinyalinin zayıf olduğu, kazancın sabit tutulmak istendiği basit yükselteç devrelerinde kullanılır.

Otomatik polarmalı yükselteç devresinde hesaplamaların yapılışı şöyledir:

Giriş devresinin denklemi:

$$V_{CC} = (I_B + I_C) \cdot R_C + I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

I_C akımı I_B cinsinden yazılırsa: $V_{CC} = (I_B + \beta \cdot I_B) \cdot R_C + I_B \cdot R_B + V_{BE}$ elde edilir.

Bu denklemden I_B akımı çekilirse:

$$I_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{[R_B + (\beta + 1) \cdot R_C]} \text{ denklemi bulunur.}$$

Örnek: $\beta = 80$, $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$, $I_{CO} = 4 \text{ mA}$, $V_{CC} = 12 \text{ V}$

a. $V_C = ?$ b. $R_C = ?$ c. $I_B = ?$ ç. $R_B = ?$ d. $V_{RC} = ?$

Çözüm

a. $V_C = V_{CC} / 2 = 6 \text{ V}$

b. $R_C = (V_{CC} - V_C) / I_{CO} = (12 - 6) / 0,004 = 1500 \ \Omega$

c. $I_B = I_{CO} / \beta = 4 / 80 = 0,05 \text{ mA}$

ç. $R_B = (V_{CC} - V_{BE}) / I_B = (12 - 0,7) / 0,05 = 226 \ 000 \ \Omega = 226 \text{ k}\Omega$

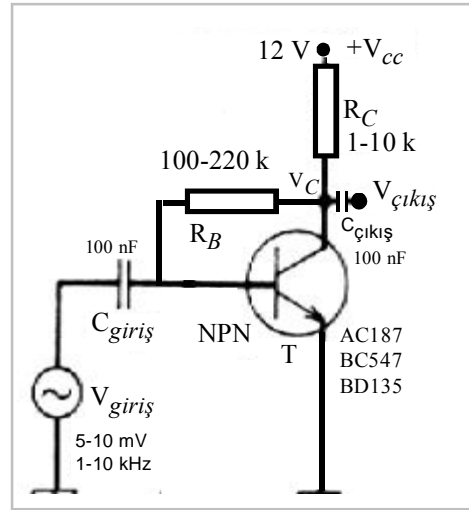
d. $V_{RC} = I_{CO} \cdot R_C = (\beta \cdot I_B) \cdot R_C = (80 \cdot 0,00005) \cdot 1500 = 6 \text{ V}$

ç. İdeal (tam kararlı, birleşik) polarma:

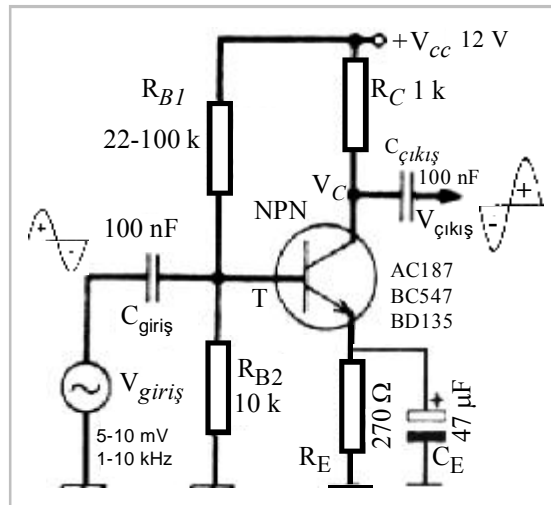
En çok kullanılan polarma biçimidir. Beyz polarması gerilim bölücü iki dirençle sağlanır. Devrede kullanılan R_{B1} 'e polarma direnci, R_{B2} 'ye ise stabilizasyon (kararlılık) direnci denir.

Emiterdeki R_E direncine paralel bağlı C_E kondansatörü dekaplaj (AC özellikli sinyalleri şaseye aktarıcı) görevi yapar.

Şekil 6.4'te görülen devrede kullanılan transistörün sıcaklığı arttığında I_C akımı $\beta \cdot I_B$ değeri kadar artar. I_C 'nin artması R_E 'de düşen gerilimi artırır. R_{B2} üzerinde düşen gerilim sabit olduğundan V_{RE} 'nin artması I_B akımının azalmasına neden olur. Yani R_E üzerinde oluşan V_{RE} gerilimi I_B akımının fazla artmasını engeller. (Bu engellemeye negatif

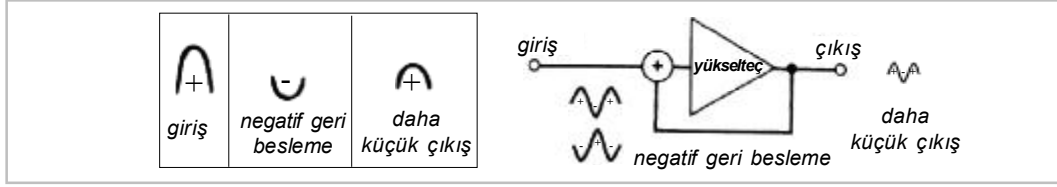


Şekil 6.3: Otomatik polarmalı yükselteç devresi

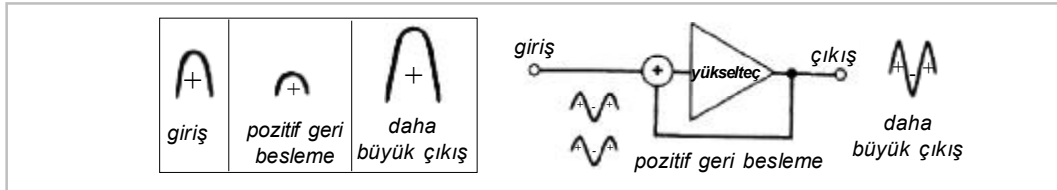


Şekil 6.4: İdeal polarmalı yükselteç devresi

geri besleme denir.) Beyz akımının azalması durumunda ise I_C akımını da $\beta \cdot I_B$ kadar azalır. Böylece devre kararlı hâle gelir.



Şekil 6.5: Transistörlü yükselteçlerde negatif geri besleme



Şekil 6.6: Transistörlü yükselteçlerde pozitif geri besleme

Transistörlü yükselteçlerde geri besleme (feed back): Geri besleme işlemi yükselteçlerin dengeli ve istenilen kazanç değerinde çalışmasını ya da osilatör olarak görev yapmasını sağlamak için uygulanır.

Bir yükselteç devresinin çıkışından alınan sinyalin küçük bir kısmı şekil 6.5'te görüldüğü gibi ters çevrilerek devrenin girişine uygulanırsa, girişe uygulanan sinyal azalır. Dolayısıyla çıkış sinyali de zayıflar. Buna negatif geri besleme denir.

Çıkıştan alınan sinyalin bir kısmı şekil 6.6'da görüldüğü gibi aynı yönlü olarak girişe uygulandığında ise çıkış sinyali daha fazla büyür. Buna ise pozitif geri besleme adı verilir.

Emiteri şase yükselteç devrelerinde transistörün emiter ayağına bağlanan dirençle yapılan geri beslemeye seri ya da negatif geri besleme denir. Şekil 6.2 ve 6.4'e bakınız. Burada kullanılan R_E direnci, I_E ve I_B akımının aşırı yükselmesini engeller.

Şöyle ki; R_E 'den geçen akım büyüdükçe üzerinde düşen V_{RE} gerilimi yükselir. Bu da beyz tetikleme akımının azalmasına yol açar. I_B azalınca I_C de azalır.

Transistörlü yükselteçlerde beyz polarma direncinin üst ucunun, transistörün kolektörüne bağlanmasıyla yapılan geri beslemeye ise paralel geri besleme (ya da otomatik polarma) denir. Şekil 6.3'e bakınız. Bu uygulamada, beyz akımının artması transistörün iletkenliğini artırır. Ardından C-E arası direnç küçülür, C'nin şaseye göre gerilimi (V_C) düşer, ve beyze giden polarma gerilimi azalacağından I_B düşer. I_B akımının düşmesi ise V_C gerilimini yükseltir.

B. Transistörlü yükselteçlerin bağlantı şekillerine göre sınıflandırılması

Transistörler üç değişik biçimde bağlanarak çeşitli özelliklere sahip yükselteçler yapılabilmektedir. Şimdi bu devreleri inceleyelim.

a. Emiteri ortak bağlı (emiteri şase, CE tipi, common emitter) yükselteçler: Uygulamada kullanılan yükselteçlerin yaklaşık % 90'ı emiteri ortak bağlı tiptedir. Bu tip devre oluşturulurken dirençlerin değerleri öyle hesaplanır ki; girişe sinyal gelmezken transistörün kolektör ayağının şaseye göre olan geriliminin (V_C), V_{CC} geriliminin yarısı değerinde ($V_C = V_{CC}/2$) olması sağlanır.

Girişe uygulanan AC özellikli sinyal pozitif ve negatif yönlü olmak üzere iki parçadan oluşur. Şimdi bu sinyallerin nasıl yükseltildiğini inceleyelim.

Şekil 6.4'te görüldüğü gibi pozitif yönlü giriş sinyali beyz ucuna uygulandığında beyz tetiklenme akımı artar. Buna bağlı olarak I_C akımı yükselir. I_C yükselirken V_C gerilimi sıfıra doğru azalır.

Giriş sinyali negatif olduğunda ise I_B akımı azalır. I_B 'nin azalması I_C 'yi de azaltır. I_C azalınca V_C gerilimi maksimum değere doğru yükselir.

Görüldüğü üzere, emiteri şase yükselteçlerde giriş sinyalindeki değişme çıkışta ters yönlü ve genlik bakımından büyümüş olarak karşımıza çıkar. Çıkışa bağlanan hoparlörden geçen akım giriş sinyaline benzediğinden, mikrofondan gelen zayıf ses sinyalleri güçlendirilmiş olur.

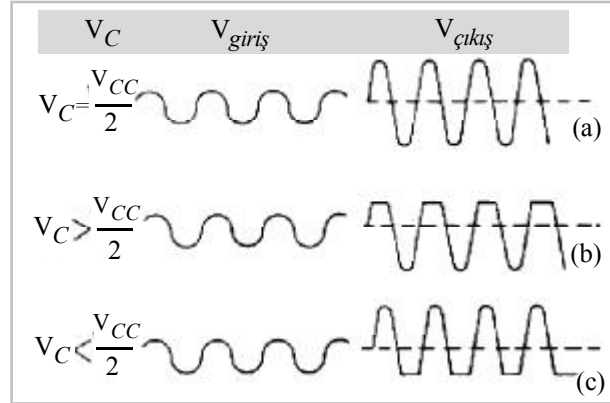
Emiteri şase yükselteçlerde çıkış sinyali girişin tersi olduğundan, bunlara eviren (*inverting*) yükselteç de denir.

Daha özet bir anlatımla, transistörün C ucunda bulunan $V_{CC}/2$ değerindeki gerilim, girişe uygulanan sinyale göre sıfır ile maksimum gerilim arasında değişerek AC özellikli ve güçlenmiş bir sinyal oluşturmaktadır.

Şekil 6.4'te verilen emiteri şase yükselteç devresinde,

I. R_B polarma direnci yanlışlıkla büyük seçilirse beyz polarma akımı azalır ve transistörün kolektör ucunda şaseye göre oluşan gerilim temel kurala uymayarak $V_{CC}/2$ 'den büyük olur. Bu durumda girişe AC sinüsoide benzer bir sinyal uygulandığında negatif yönlü sinyaller tam olarak oluşur ancak pozitif alternansların şekli bozulur. Yani pozitif alternanslarda kırılma olur. Şekil 6.7-b'ye bakınız.

II. R_B polarma direnci yanlışlıkla küçük seçilirse beyz polarma akımı artar ve transistörün kolektör ucunda şaseye göre oluşan gerilim temel kurala uymayarak $V_{CC}/2$ 'den küçük olur. Bu durumda girişe AC sinüsoide benzer bir sinyal uygulandığında pozitif yönlü sinyal tam olarak oluşur ancak negatif alternansların şekli bozulur. Yani negatif alternanslarda kırılma olur. Şekil 6.7-c'ye bakınız.



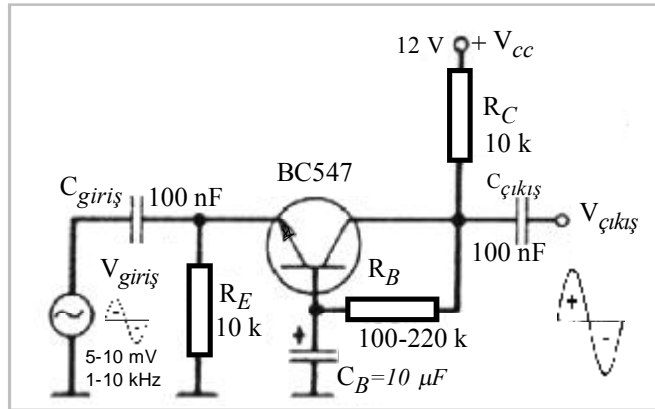
Şekil 6.7: Transistörlü yükselteçlerde V_C geriliminin değerine göre çıkış sinyallerinde ortaya çıkan bozulmalar (distorsiyon)

Emiteri ortak bağlı yükselteçlerin bazı teknik özellikleri

- I.** Giriş empedansları orta (500Ω - 10000Ω) değerdedir.
- II.** Çıkış empedansları büyüktür (10000Ω - 50000Ω).
- III.** Gerilim kazançları yüksektir.
- IV.** Akım kazançları 1'den büyüktür.
- V.** Güç kazançları çok yüksektir.
- VI.** Faz çevirme (evirme, *inverting*) yaparlar. Yani giriş sinyali ile çıkış sinyali arasında 180° 'lik faz farkı vardır.

b. Beyzi ortak (beyzi şase, **CB** tipi, **common base**) bağlı yükselteçler:

Şekil 6.8'de görüldüğü gibi giriş sinyali pozitif olduğunda transistör kesime doğru gider. Transistörün C-E uçları arasındaki direnç arttığından kolektör ucundaki gerilim (sinyal) pozitif yönde yükselir. Giriş sinyali negatif olduğunda transistörün iletkenliği artar. Çıkış sinyali negatif yönde azalır.



Şekil 6.8: NPN transistörlü beyzi şase yükselteç devresi

Beyzi ortak bağlı yükselteçlerin bazı teknik özellikleri

- I.** Giriş empedansları çok küçüktür (200Ω - 500Ω).

II. Çıkış empedansları yüksektir (50 k Ω -1,5 M Ω).

III. Gerilim kazançları yüksektir.

IV. Orta derecede güç kazançları vardır.

V. α akım kazançları 1'den küçüktür.

VI. Üst frekans sınırı yüksektir. O nedenle yüksek frekanslı devrelerde bu tip bağlantı çok kullanılırlar.

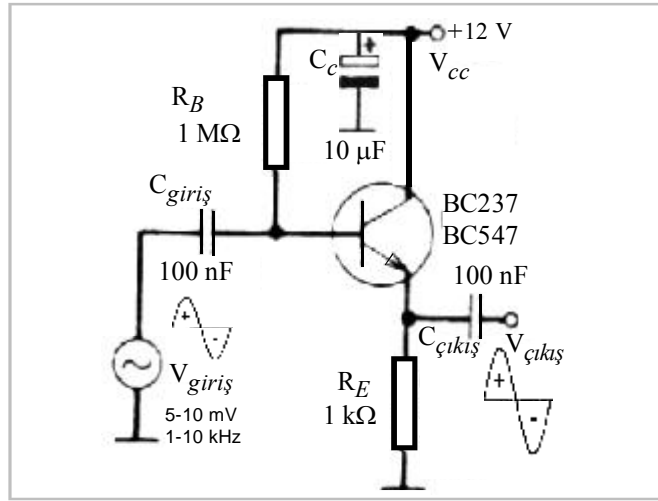
VII. Faz çevirme (evirme) yapmazlar.

c. Kolektörü ortak bağlı (CC tipi, common collector)

yükselteçler: Devrede transistörün kolektör ucu C_C kondansatörü ile AC bakımdan şaseye bağlanmıştır. C_C 'ye dekaplaj ya da by-pass (aşırma) kondansatörü adı verilir.

Şekil 6.9'da verilen kolektörü şase yükselteç devresinde giriş sinyalinin pozitif alternansında I_B akımı artar. I_B akımının artması I_C ve I_E akımlarını yükseltir. R_E üzerinde oluşan gerilim pozitif yönde yükselir.

Giriş sinyalinin negatif alternansında I_B akımı azalır. I_B akımının azalması I_C ve I_E akımlarını düşürür. R_E üzerinde oluşan gerilim negatif yönde düşer. Yükselteçte çıkış sinyali emiterden alındığından bu yükselteçlere emiter izleyici de denir.



Şekil 6.9: NPN transistörlü kolektörü şase yükselteç devresi

Kolektörü ortak bağlı yükselteçlerin bazı teknik özellikleri

I. Giriş empedansları büyüktür (5k Ω -1,5 M Ω).

II. Çıkış empedansları küçüktür (10 Ω -500 Ω).

III. Gerilim kazançları 1'den biraz küçüktür (0,9 dolayında).

IV. Faz çevirme yapmazlar.

V. Yüksek empedanslı çıkışı olan bir devreyi düşük empedans girişi olan bir devreye bağlamak için (yani empedans uygunlaştırıcı olarak) kullanılırlar.

C. Transistörlü yükselteçlerin polarma durumuna göre sınıflandırılması

Transistörlerin bezyine uygulanan polarma akımının değerine göre C'den E'ye geçirdikleri akımın değeri değişmektedir. Polarma akımını ayarlama işlemi ise dirençlerle yapılabilmektedir.

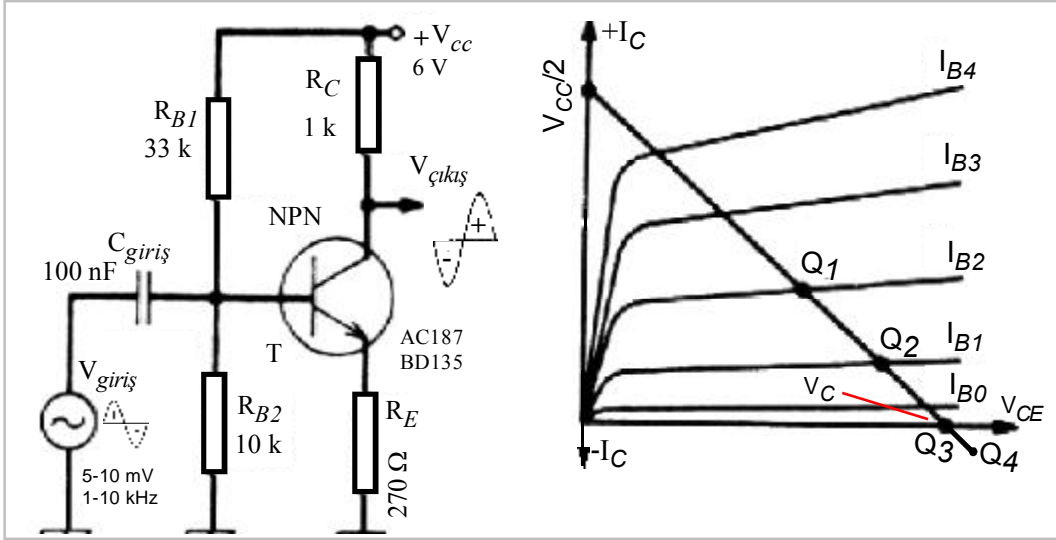
Polarma akımından dolayı ortaya çıkan çalışma şekilleri ve çıkıştan alınan sinyallerin durumu anlatımlarda kolaylık olması bakımından A, AB, B, C şeklinde sınıflandırılmıştır.

1. A sınıfı çalışan yükselteçler: A sınıfı çalıştırılan yükselteçlerde yükseltmek istenen AC özellikli sinyal yokken bile kolektörden emitere bir akım geçişi (I_{CO}) vardır. Yani devrenin A tipi çalışabilmesi için giriş sinyali yokken bile kolektörden belli bir akımın geçirilmesi zorunludur. Bu sayede transistörün kolektör ucundaki gerilimin $V_{CC}/2$ değerinde olması sağlanabilmektedir.

Yükseltecin A sınıfı olarak çalıştırılması esnasında sürekli bir I_C akımının geçmesi verimi düşürücü bir etkidir. Dolayısıyla A sınıfı çalışan yükselteçlerin verimi % 20-25 dolayındadır.

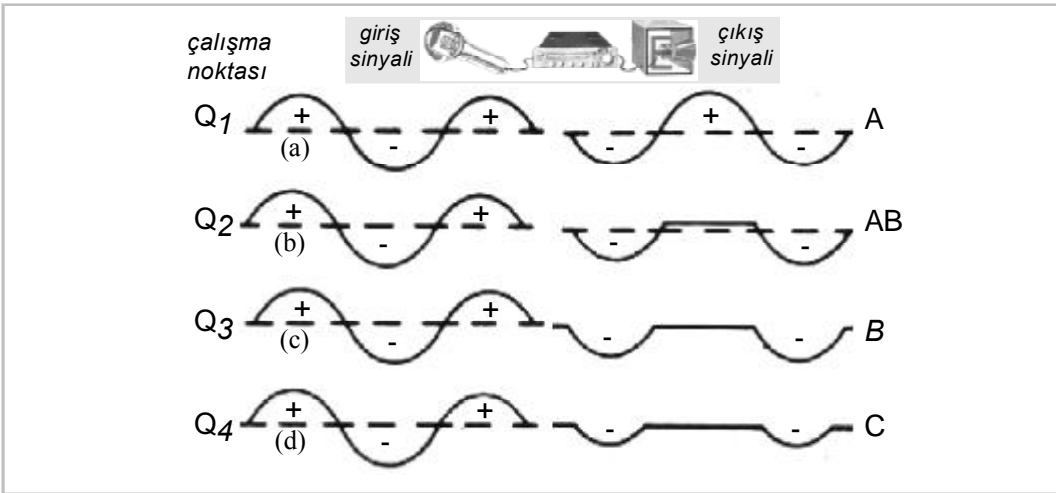
Şekil 6.10'da verilen şema, şekil 6.11 ve 6.12-a'da görüldüğü gibi Q_1 noktasında çalışır. Bu noktada çalışan yükselteçte çıkıştan alınan sinyal, girişe uygulanan sinyalin aynısı olur. O nedenle bu yükselteçlerin iletim açısı 360°'dir.

A tipi çalışan yükselteçler kalitenin fazla önemli olmadığı ve gücün 1-2 W olduğu ön yükselteçlerde (preanfi), sürücü katlarında vb. kullanılır.



Şekil 6.10: A sınıfı çalışan yükselteç devresi

Şekil 6.11: Yükselteçlerin çalışma noktalarının yük doğrusu üzerinde gösterilişi



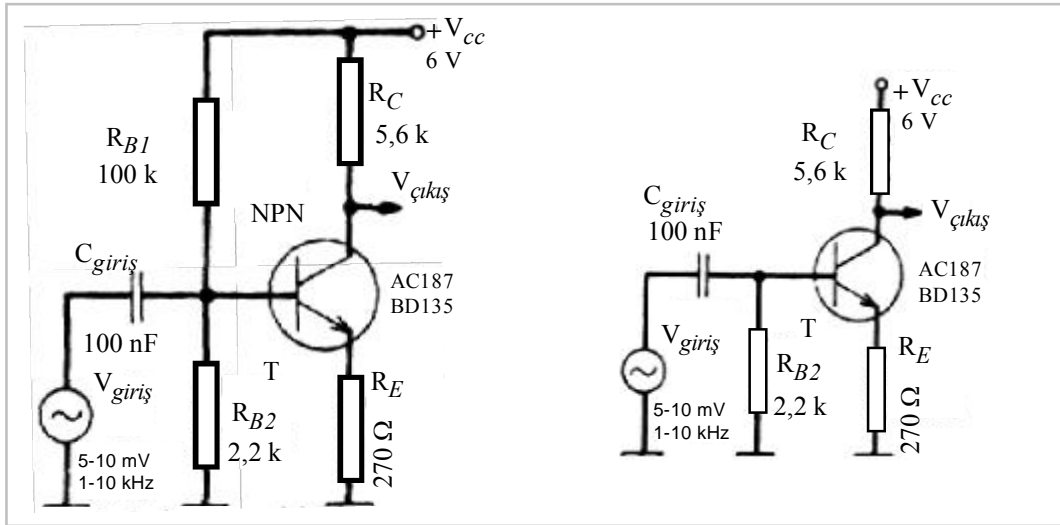
Şekil 6.12: Yükselteçlerin A, AB, B, C sınıfı çalışmalarında çıkıştan alınan sinyallerin biçimleri

b. AB sınıfı çalışan yükselteçler: A ve B tipi yükselteçlerin özelliklerini taşıyan yükselteç çeşididir. Bu tip yükselteçlerde beyzden ve kolektörden geçen akım A tipi çalışmaya göre daha azdır.

Şekil 6.13'te görüldüğü gibi transistörün beyz akımının biraz azaltılıp devrenin çalışma noktası Q_2 noktasına doğru indirilirse (şekil 6.11) yükseltecin çıkışında pozitif alternanslar şekil 6.12-b de görüldüğü gibi tam olarak oluşmaz.

Şekil 6.13'te verilen AB sınıfı yükselteç devresinde, girişten pozitif sinyal geldiğinde yükseltecin kolektöründen belli bir akım geçer ve negatif sinyal oluşur. Girişten negatif sinyal geldiğinde ise kolektörden az bir akım geçişi olur. İşte bu tip çalışmaya AB tipi çalışma denir. AB tipi çalışmada çıkıştan alınan sinyalin açısı $90^\circ - 180^\circ$ arasında değişir.

c. B sınıfı çalışan yükselteçler: B sınıfı çalışmada beyz polarma akımı R_{B1} direnci sökülerek sıfır (0) yapılır. Bundan dolayı transistörün çalışma noktası şekil 6.11'de görüldüğü gibi Q_3 'e gelir. Bu durumda giriş uygulanan sinyalin pozitif alternanslarında kolektörden akım geçer. Negatif giriş alternanslarında ise, kolektörden hiç akım geçmez. Sonuçta çıkışta şekil 6.12-c'de görüldüğü gibi sadece negatif alternanslar oluşur.

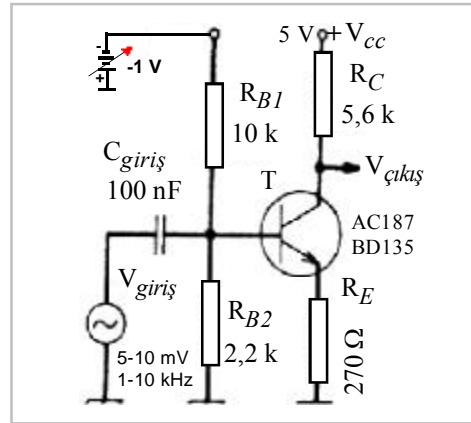


Şekil 6.13: AB sınıfı çalışan yükselteç devresi

Şekil 6.14: B sınıfı çalışan yükselteç devresi

Şekil 6.14'te verilen B tipi yükselteçlerin iletim açısı 180° 'dir. Başka bir deyişle kolektör akımı beyze sinyal uygulanmadığı sürece 0 amperdir. B tipi çalıştırılan devrelerin verimi % 40-60 dolayındadır. AB ve B sınıfı çalışan anfiler, *push-pull* (it-çek) tip yükselteçlerde vb. kullanılır.

ç. C sınıfı çalışan yükselteçler: C sınıfı yükselteç devresinin polarma dirençleri şekil 6.15'te görüldüğü gibi az miktarda ters polarmaya maruz bırakılırsa çalışma noktası şekil 6.11'de görüldüğü gibi Q_4 noktasına kayar. Girişten uygulanan pozitif sinyalin sadece bir bölümünde iletim söz konusu olur. Negatif giriş sinyallerinde ise kolektör akımı sıfırdır. Transistörün iletim açısı 90° ya da daha da az olduğundan elde edilen çıkış sinyali büyük bir distorsiyona (bozulma) uğrar (şekil 6.12-d). İşte bu yüzden C sınıfı yükselteçler ses frekans sinyallerinin yükseltilmesinde değil radyo frekans yükselteçlerinin (verici çıkış katları, tank devresi vb.) yapımında kullanılır.



Şekil 6.15: C sınıfı çalışan yükselteç devresi

Transistörlü yükselteçlerin gerilim ve güç bakımından sınıflandırılarak incelenmesi

a. Giriş sinyalini gerilim bakımından yükselten devreler: Zayıf sinyalleri gerilim bakımından yükselten devrelerdir. Bunu örnekleme yoluyla açıklayacak olursak: 1 mV genlikli AC sinyal, 10 mV'luk bir sinyal haline getirilmişse gerilim açısından yükseltme söz konusudur. Bu tip devreler giriş sinyalini akım bakımında da bir miktar yükseltir. Ancak elde edilen çıkış ile hoparlör vb. gibi alıcıları çalıştırmak mümkün değildir. Yani araya güç yükseltici eklediğimizde alıcıyı çalıştırabiliriz.

Gerilim yükselteçlerinin bazı özellikleri şunlardır:

I. Giriş devresi direnci (empedansı) küçüktür. (200 Ω -2000 Ω) Bu sayede devre küçük gerilimli sinyallerle de çalışabilir.

II. Çıkış direnci (empedansı) ise 10 k Ω -500 k Ω arası değerde olup geniş bir alanı kapsamaktadır.

Özetlersek, gerilim yükselteçleri gerilim kumandalı olarak çalışan devrelerdir ve küçük boyutludur.

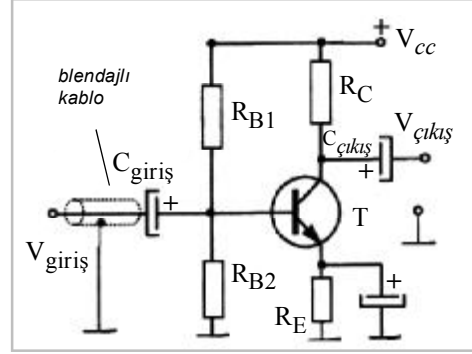
Giriş sinyali mikrofon, teyp okuyucu kafası, pikap kafası, anten gibi kaynaklardan alınır. Adı geçen sinyal üreteçlerinin verdiği zayıf işaretler gerilim yükselteci devresi tarafından büyütüldükten sonra güç yükselteci devresine gönderilir. Güç yükselteci katı ise hoparlörü besler (sürer).

A sınıfı gerilim yükselteçleri giriş sinyalinin dalga formunu (biçimini) bozmadan yükseltecek şekilde polarmalanır. Çalışma noktası yük doğrusunun tam ortasında seçilir. Yani girişte hiç bir sinyal olmasa bile, kolektörden sürekli olarak I_{CO} akımı geçer. A sınıfı çalışan ön yükselteçlerde çok küçük genlikli giriş sinyallerinin yükseltilmesi istenirken, gürültü (parazit, distorsiyon) miktarının da az olması istenir. Ön yükselteçlerde gürültü olursa bu gürültü diğer katlar tarafından da yükseltileceğinden verimli bir devre oluşturulamaz.

Yükselteçleri olumsuz etkileyen gürültü kaynakları

I. Dış manyetik alanların yarattığı gürültüler: Flüoresan lâmba, motor vb. gibi indüktif özellikli alicıların oluşturduğu gürültüler (parazitik sinyaller), ön yükselteç girişine ulaşacak olursa, bunlar ön yükselteç tarafından büyütülür. Sonuçta hoparlörden kulağı rahatsız eden cızırtılar duyulur.

Dış manyetik alanların oluşturduğu gürültüler şekil 6.16'da görüldüğü gibi, girişe bağlanan elemanların irtibatlarının blendajlı (örgülü) kablo ile yapılmasıyla biraz önlenir.



Şekil 6.16: Blendajlı kablo ile gürültülerin (parazit) önlenmesi

II. DC bileşenlerin oluşturduğu gürültüler: DC beyz polarma gerilimi sabit değilse, çıkış sinyalinin genliği sürekli olarak azalır ya da çoğalır. Bu ise çıkış sinyalinin distorsiyonlu olmasına neden olur.

DC bileşenlerin oluşturduğu gürültüler (parazitik sinyaller), besleme ucu ile şase arasına kondansatör bağlanarak giderilir. Kondansatörler AC sinyallere karşı iletken olduğundan DC besleme gerilimine karşı AC özellikli sinyaller kondansatör tarafından şaseye aktarılır.

III. Yüklenmeden dolayı oluşan gürültüler: Ön yükseltece giriş yükü olarak bağlanan mikrofon, teyp kafası, pikap kristali vb. gibi elemanların herbirinin empedansları birbirinden farklıdır. Eğer giriş yükü empedansı ile ön yükseltecin giriş empedansı uygun değilse çıkış sinyalinde distorsiyon (bozulma, şekil değiştirme) olur.

Yüklenmeden dolayı ortaya çıkan gürültüleri yok etmek için giriş yükünün empedansı ile ön yükseltecin giriş empedansının eşit olması sağlanır.

IV. Geri besleme sinyallerinden dolayı oluşan gürültüler: Yükselteçlerde giriş sinyaline bağlı olarak I_B akımı değişir. I_B 'nin değişmesi ise I_C ve I_E akımlarını değiştirir. Yükselteç devresinde transistörün emiter ayağında R_E direnci bağlı ise I_E akımından dolayı R_E üzerinde V_{RE} gerilimi düşer. Beyz akımının geçişini zorlaştıracak yönde olan V_{RE} gerilimi, I_B akımı üzerinde azaltıcı etki yapar. Buna negatif geri besleme adı verilir.

R_E üzerinde oluşan V_{RE} geriliminin I_B akımını azaltması I_C ve I_E akımlarının da azalmasına neden olur.

I_E 'nin azalması R_E üzerinde oluşan V_{RE} geriliminin de azalmasına yol açar. V_{RE} azalınca I_B akımı tekrar eski düzeyine doğru yükselmeye başlar.

Sonuç olarak, R_E direnci üzerinde oluşan V_{RE} gerilimi I_B akımının aşırı derecede değişme göstermesini engelleyici rol üstlenir.

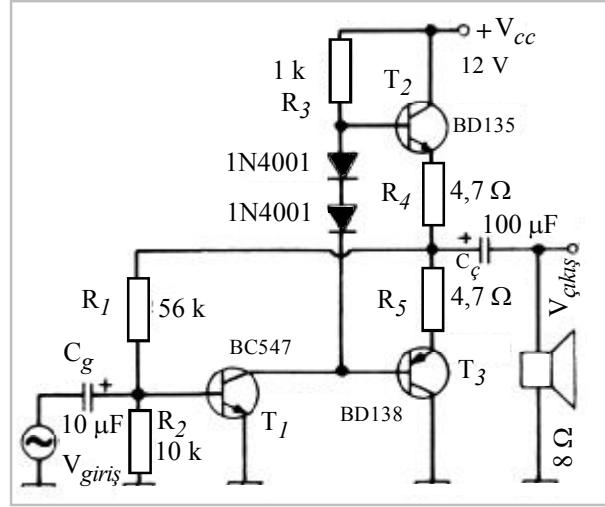
R_E direncinin AC özellikli sinyaller karşısında görev yapmasını engellemek için bu elemana paralel olarak kondansatör bağlanır. Bu sayede, dirence gelen AC özellikli sinyaller kondansatör tarafından şaseye aktarılır. Dirence paralel olarak bağlanan kondansatöre dekaplaj kondansatörü adı verilir.

b. Giriş sinyalini güç bakımından yükselten devreler (güç katları): Girişe uygulanan sinyali

hem gerilim hem de akım bakımından yükselten devrelere güç yükseltici denir. Güç yükselteçleri akım kumandalı olarak çalışan devrelerdir. Yani bunların girişine uygulanan sinyallerin akım değerinin gerilim yükselteçlerinden daha yüksek olması gerekir.

Durumu daha anlaşılır hâle getirecek olursak, gerilim yükseltici 1 mA'lık sinyalle çalışabilirken, güç yükseltici 10 mA'lık giriş akımıyla çalışır.

Yükseltme işlemi yapan transistörler büyük akım taşıdıklarından, çalışma sırasında ısınırlar. Isının dağıtılması için ise soğutucu plakalar kullanılır.



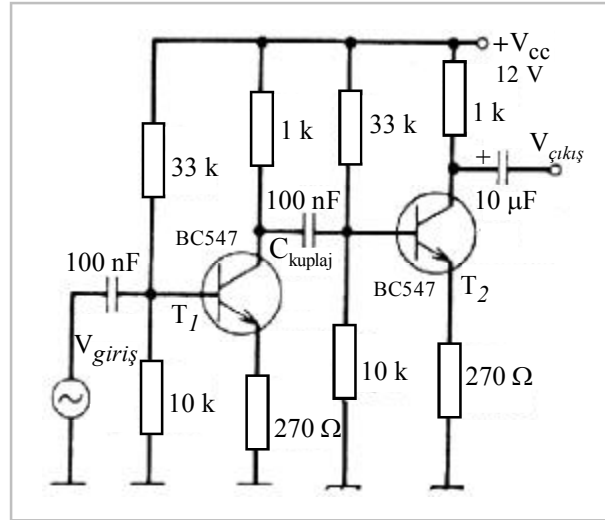
Şekil 6.17: AB tipi çalışan güç yükseltici devresi

AB tipi çalışan güç yükseltici devresi örneği: Şekil 6.17'de verilen yükselteç devresine eklenmiş olan diyotlar sayesinde BD137 transistörünün beyzine uygulanan polarma geriliminde $0,6+0,6 = 1,2$ voltluk yükselme olur. BD137'nin polarma geriliminin yükselmesi bu elemanın beyzinden geçen akımı yükseltir ve T₂ transistörünün C-E uçları arasından geçen akım artar. Bu akımın 4,7 Ω'luk R₅ direncinde oluşturduğu gerilim nedeniyle 56 kΩ'luk direnç üzerinden polarma alan BC237 iletme geçer. BC237 iletme geçince BD138 PNP transistörü (-) polarma olarak sürülür.

Görüldüğü üzere devreye eklenen iki diyot güç transistörlerinin akımlarını artırmaktadır. Yapılan bu işlem, devrenin AB tipi çalışmasını sağlar. Devrenin AB tipinde çalışması distorsiyonları (*cross over*, geçiş bozulması) önler.

Transistörlü yükselteçlerde katlar arası kuplej (bağlantı, bağlaşım) şekilleri: Zayıf sinyaller transistörlü yükselteçler tarafından güçlendirilir. Bir transistörlü yükselteç, sinyalleri yeterince yükseltmezse, ikinci bir devre (kat) ilavesi yapılır. Bu duruma kas kad (arka arkaya) bağlama denir.

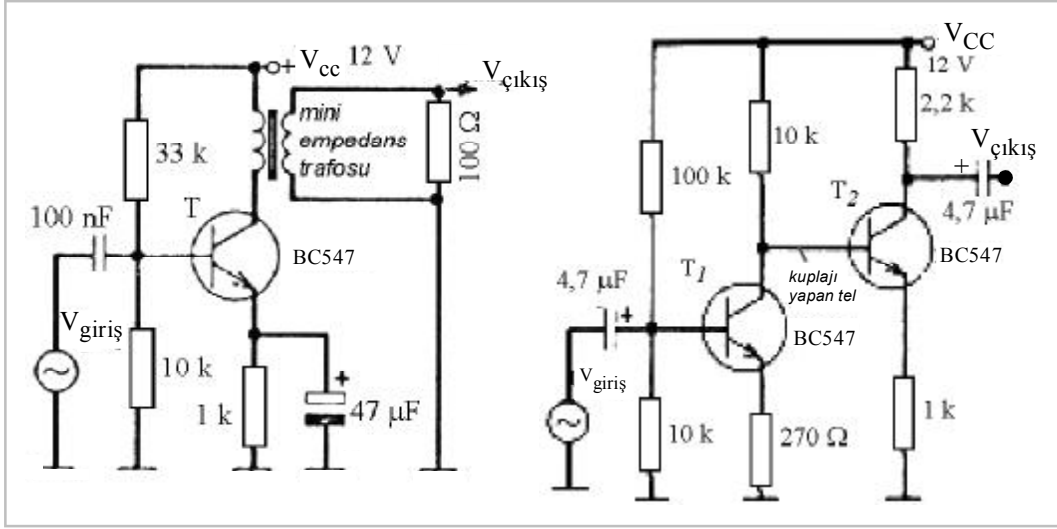
Yükselteç devrelerinde bir katın yükselttiği sinyal diğer kata çeşitli biçimlerde aktarılır. Sinyal aktarma esnasında kullanılan her devrenin kendine göre iyi ve kötü yanları vardır. Şimdi bu bağlama (kuplej, bağlaşım) yöntemlerini inceleyelim.



Şekil 6.18: Direnç-kapasite kuplejli yükselteç devresi

I. Direnç-kapasite (R-C) kuplejli yükselteçler: Şekil 6.18'de verilen yükselteç devresinde katlar arası bağlantı kondansatör (C_{kuplej}) ile sağlanmıştır. C'nin görevi birinci kattaki AC sinyalleri ikinci kata aktarmaktır. R-C kuplejda yükseltme frekansa bağlıdır. Yani frekans değiştiğçe kondansatörün direnç değeri de değiştiğinden geçen sinyallerin miktarı değişir. Öte yandan, katların çalışma noktaları, kondansatör (C) sayesinde birbirinden etkilenmez.

II. Transformatör kuplejli yükselteçler: Şekil 6.19'da verilen yükselteç devresinde katlar arası bağlantı empedans trafosu ile sağlanır. Bu uygulamada trafo her iki katı birbirinden elektriksel olarak ayırır (yalıtır).



Şekil 6.19: Transformatör kuplajlı yükselteç devresi

Şekil 6.20: Direkt kuplajlı yükselteç devresi

Transformatör kuplajlı yükselteçlerin olumsuz yönleri: Bant genişlikleri sınırlıdır. Ses frekanslı devrelerde kullanılan kuplaj trafolarının doyuma girmesi nedeniyle verim düşer. Bunu engellemek için ise yüksek kaliteli kuplaj trafosu gerekir.

Transformatör kuplajlı yükselteçlerin iyi yönleri: Empedansı farklı olan iki devre birbirine bağlanabilir. Yükselteçlerin çalışma noktaları birbirinden etkilenmez.

III. Direkt kuplajlı yükselteçler: Şekil 6.20'de verilen direkt kuplajlı yükselteç devresinde katlar arası bağlantı bir iletken tel parçasıyla yapılır. Bu yöntem R-C kuplaja benzer. Yalnızca arada kuplaj kondansatörü yoktur.

Direkt kuplajlı yükselteçlerin olumsuz yanı: Transistörlerin çalışma noktası birbirine bağlıdır.

Direkt kuplajlı yükselteçlerin olumlu yanı: Kuplaj frekansa bağlı değildir. DC gerilimler de yükseltilebilir.

Transistörlü yükselteçlerin kararlı çalışmasını sağlamada kullanılan yöntemler

I. Emiter ayağına direnç (R_E) bağlayarak kararlılık sağlama: Emiteri şase yükselteç devrelerinde transistörün E ucuna bağlanan direnç, beyz akımının artmasına karşı koyar. Bu işlem şu şekilde olur: I_B akımı artınca I_C akımı da artar. I_B ve I_C akımlarının artması R_E direnci üzerinde düşen gerilimi yükseltir. R_E üzerinde düşen V_{RE} geriliminin yükselmesi I_B akımını azaltıcı etki yapar. I_B 'nin azalması ise I_C 'yi azaltır.

Bu yöntem yükselteçlerde polarma konusunda incelenmiştir. Şekil 6.2 ve 6.4'e bakınız.

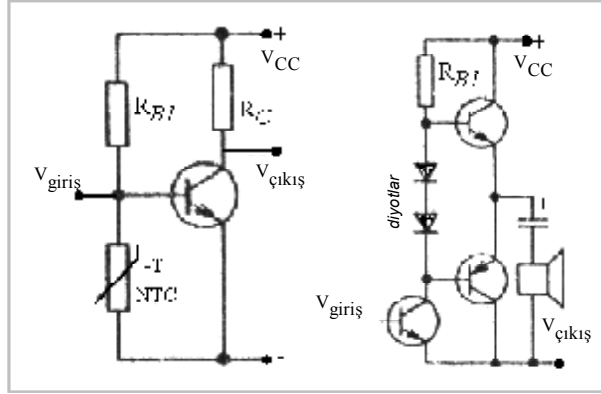
II. Otomatik polarma ile kararlılık sağlama: Emiteri şase yükselteç devresinde beyz akımı kolektör ucundan alınarak otomatik polarma yapılır. Bu yöntemde herhangi bir nedenle I_B akımı yükselirse transistörün iletkenliği artar. Bunun sonucunda ise transistörün C ayağının şaseye göre olan gerilimi düşer. C ucundaki V_C geriliminin düşmesi beyze giden I_B akımını da azaltarak devrenin kararlı hâle geçmesini sağlar. Bu yöntem yükselteçlerde polarma konusunda incelenmiştir. Şekil 6.3'e bakınız.

III. Isıya duyarlı elemanlarla (PTC, NTC) kararlılık sağlama: Yükselteçlerin polarma akımı devresine bağlanan termistörle (NTC) beyz akımının aşırı artması engellenir. Transistör ısınınca NTC ısıdan etkilenir ve şaseye doğru geçirdiği akım artar. Bu ise transistörün beyz polarma akımını

azaltır. Şekil 6.21'ye bakınız.

IV. Diyot ile kararlılık sağlama:

Yükselteçlerdeki güç transistörleri ısınca yakında bulunan diyotlar da ısınır. Diyotların ısınması bu elemanların üzerinde düşen gerilimlerin 0,6-0,7 V seviyelerinden 0,3-0,4 V seviyelerine inmesine yol açar. Polarma gerilimlerinin düşmesi ise beyz ve kolektör akımlarını düşürerek transistörlerden geçen akımları azaltır. Şekil 6.22'ye bakınız.



Şekil 6.21: Yükselteçlerde ısıya duyarlı elemanlarla kararlılığı sağlama

Şekil 6.22: Yükselteçlerde diyot ile kararlılığı sağlama

Darlington bağlantılı yükselteçler:

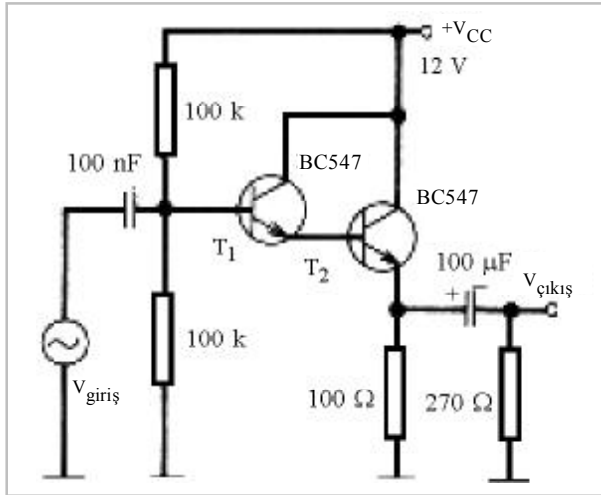
T_1 transistörünün akım kazancı β_1 , T_2 transistörünün kazancı β_2 ise, devrenin toplam akım kazancı $\beta_{toplam} = \beta_1 \cdot \beta_2$ olur.

Örneğin T_1 'in β akım kazancı 50, T_2 'nin β akım kazancı 80 ise, darlington bağlantısının toplam kazancı,

$$\beta_T = \beta_1 \cdot \beta_2 = 4000 \text{ olur.}$$

Görüldüğü gibi iki transistör darlington bağlandıklarında çok büyük akım kazancı söz konusu olur.

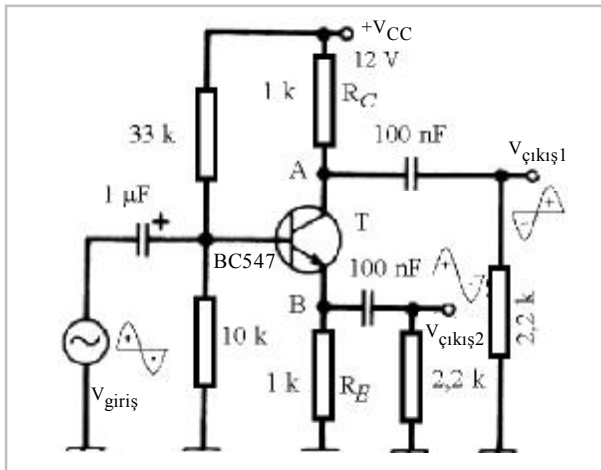
Darlington bağlantılı yükselteçler, akım kazancının büyük ve giriş empedansının yüksek olması istenen yerlerde kullanılır. Şekil 6.23'te darlington bağlantılı yükselteç devresi örneği verilmiştir.



Şekil 6.23: Darlington bağlantılı yükselteç devresi

Faz tersleyici (parafaz, phase inverter) yükselteçler: *Push-pull* (it-çek) ilkesine göre çalışan amplifikatörlerin çıkışından düzgün (distorsiyonsuz) ve en yüksek gücü alabilmek için, devrede kullanılan transistörlerin beyz uçlarına genlikleri eşit, ancak birbirlerinden 180° faz farklı iki sinyal uygulanmalıdır. İşte birbirinden 180° faz farklı sinyaller elde etmek için yapılmış olan yükselteçlere parafaz yükselteçler adı verilmektedir. Uygulamada faz tersleyici devreleri çeşitli biçimlerde üretilmektedir. Şimdi bunların iki çeşidini inceleyelim.

I. Tek transistörlü faz tersleyici yükselteç devresi: Şekil 6.24'te verilen devrede transistörünün emiter ve kolektör uçlarından alınan sinyaller birbirine 180° faz farklıdır.



Şekil 6.24: Tek transistörlü faz tersleyici yükselteç devresi

Devrenin girişine pozitif sinyal uygulandığında transistörün iletkenliği artar ve kolektörün gerilimi

(A noktası) negatif yönde azalır. Öte yandan R_E direncinde oluşan gerilim ise pozitif yönde yükselir. Devrenin girişine negatif sinyal uygulandığında transistör kesime gideceğinden A noktasında pozitif yönde yükselen, B noktasında negatif yönde azalan bir gerilim oluşur.

II. Transformatörlü faz tersleyici yükselteç devresi: Şekil 6.25'te verilen devrede TR_1 , faz tersleyici ara trafosudur. Bu trafo hem faz çevirme hem de kuplaj elemanı olarak görev yapmaktadır. TR_2 ise çıkış trafosudur. Devrede kullanılan TR_1 'in sekonderi orta uçlu olarak sarılmıştır. Sekonder sargının üst ve alt ucunda elde edilen sinyaller birbirine 180° faz farklıdır.

TR_1 trafosunun primer sargısına sürücü kattan sinüsoidal biçimli bir sinyal geldiğini kabul edelim. Bu durumda TR_1 'in sekonderinde zıt polariteli iki sinyal oluşur.

TR_1 'in A noktasında oluşan sinyalin polaritesinin pozitif, B noktasında oluşan sinyalin polaritesinin ise negatif olması durumunda T_1 kesimde kalırken, T_2 iletme geçer.

Sekonder sarımında oluşan gerilimlerin polariteleri değiştiğinde ise T_1 iletme, T_2 kesime gider.

T_1 ve T_2 'nin sırayla iletim kesim olması sayesinde TR_2 trafosunun primerindeki N_1 ve N_2 sarımlarından sırayla zıt yönlü akımlar dolaşır. TR_2 'den geçen akımların sürekli olarak yön değiştirmesi, bu trafonun sekonderinde giriş sinyaline benzer çıkış sinyali oluşturur.

Transformatörlü faz tersleyiciler plaket üzerinde çok yer kaplar. Ayrıca trafoların ses frekanslarına karşı gösterdiği karakteristik kötü olduğundan günümüzde kullanım alanından kalkmıştır. Sadece eski tip devrelerde karşımıza çıkarlar.

Güç yükselteçleri: Girişlerine uygulanan sinyalleri akım bakımından yükselten devrelerdir. Bu devreler anfilerin çıkış katı olarak görev yaparlar. Yükselteçlerin güç katları gözle bakıldığında hemen belli olur. Çünkü, çıkış katında kullanılan transistörler büyük gövdeli ve alüminyum soğutuculudur. Güç yükselteç devrelerine ilişkin iki şema arka sayfada açıklanmıştır.

I. Push - pull (it - çek) ilkesine göre çalışan güç yükselteci: Şekil 6.26'da verilen devrenin girişine sinüsoidal şeklinde bir sinyal uygulandığında, TR_1 trafosunun sekonder sarımının kenar uçlarında birbirinin tersi polaritede iki AC sinyal oluşur.

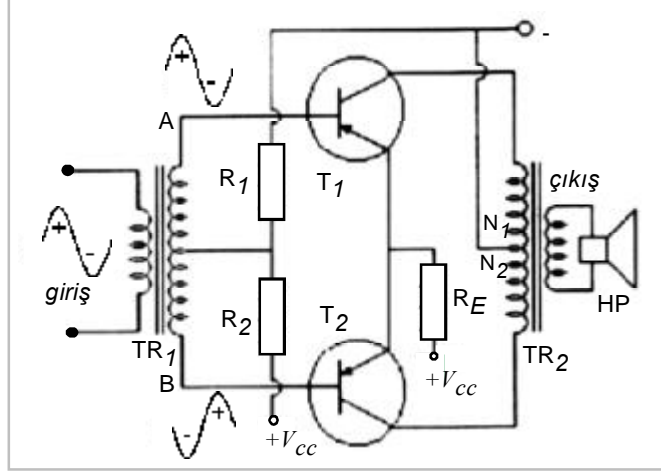
TR_1 trafosunda oluşan gerilimlerin ilk anda şekil 6.26'da gösterilen polaritelerde olduğunu varsayalım. Bu durumda A noktasında pozitif, B noktasında negatif sinyal olacaktır.

A noktasındaki pozitif sinyal T_1 'i sürerek TR_2 'nin primerinin N_1 bobininden değişken akım geçirir. B noktasındaki negatif sinyal ise T_2 'yi kesimde tutar.

T_1 'in, TR_2 trafosunun N_1 sarımından geçirdiği değişken akım N_3 sarımında değişken bir akım oluşturur. A ve B noktalarının polariteleri yön değiştirdiğinde ise T_2 iletme, T_1 kesime gider. T_2 'nin iletme geçmesi TR_2 'nin N_2 bobininden değişken bir akım geçirir. N_2 'den geçen akım N_1 'den geçen akıma göre 180° zıt yönlü olduğundan N_3 sarımında oluşan akım bir öncekinin 180° tersi polaritede olur.

Sonuç olarak, TR_1 trafosu girişine uygulanan sinyal yön değiştirdikçe T_1 ve T_2 transistörlerinin sırayla iletim-kesim olmasını sağlar. Yani bir alternansın yarısını T_1 transistöründen geçen akım, diğer yarısını ise T_2 transistöründen geçen akım oluşturur.

Push-pull tipi güç yükselteç devreleri genellikle ses frekans sinyallerinin yükseltilmesinde kullanılır.



Şekil 6.25: Transformatörlü faz tersleyici yükselteç devresi

Şekil 6.26'da çalışması anlatılan *push-pull* tipi güç yükselteç devresi A sınıfı çalışan bir devredir. A sınıfı çalışan *push-pull* tipi güç yükselteç devrelerinde çıkışta oluşan sinyal bir miktar distorsiyonlu (% 4-5 oranında) olmaktadır. Bunun nedeni, devrede kullanılan transistörlerin beyzlerine gelen sinyalin voltaj değeri 0,6-0,7 V olduktan sonra iletme geçmeleridir.

Bu distorsiyon nedeniyle A sınıfı çalışan *push-pull* tipi yükselteçlerin verimi % 50 dolayında olmaktadır. Çok yüksek değerli çıkış gücü istenilen *push-pull* sistemli yükselteçler ise B sınıfı çalıştırılır. B sınıfı çalışan yükselteçlerin verimi ise yaklaşık % 78 olmaktadır.

II. Simetrik güç yükselteci (ara ve çıkış trafosu olmayan *push-pull* tipi yükselteç): Şekil 6.27'de verilen devrede görüldüğü gibi birbirine simetrik olarak bağlanmış, farklı tipte iki transistörün oluşturduğu yükselteç çeşididir. Devrenin girişine sinüsoidal biçimli bir sinyal uygulandığında, sinyalin pozitif alternansında T_1 iletme geçerken, T_2 kesimde kalır. T_1 'in iletimde olduğu süre boyunca V_{CC1} 'den gelen akım hoparlör üzerinden I_1 akımını dolaştırır.

Giriş sinyalinin polaritesi negatif olduğunda T_2 iletme geçerken, T_1 kesimde kalır. T_2 'in iletimde olduğu süre boyunca V_{CC2} 'den gelen akım hoparlör üzerinden I_2 akımını dolaştırır.

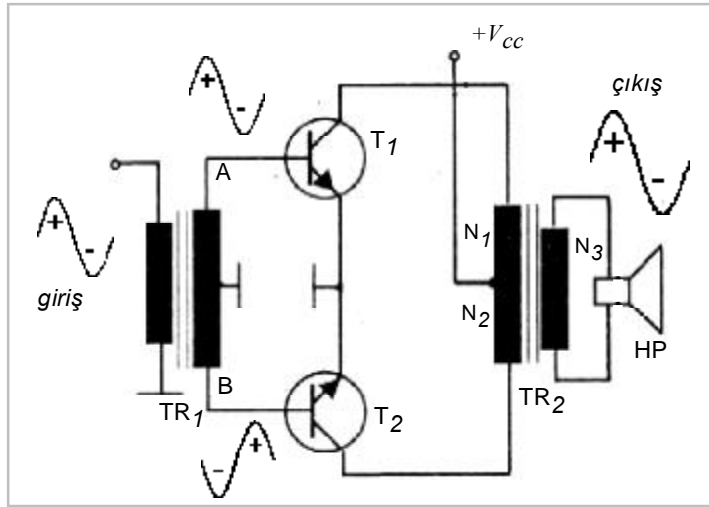
Görüldüğü üzere giriş sinyalinin polaritesi değiştikçe hoparlörü besleyen üreteç de değişmektedir. İşte bu yapı, devrenin simetrik güç yükselteci olarak anılmasına neden olmaktadır.

Yükselteçlerde ses (volume) ton (tını) ve balans (denge) kontrol devreleri

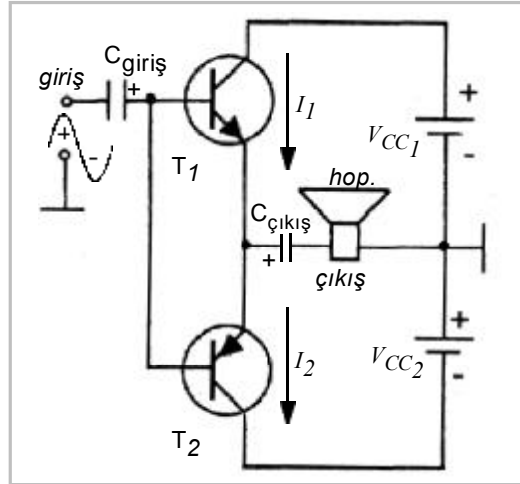
a. Ses (volume) kontrol devresi: Yükseltecin girişine uygulanan sinyalin şiddetinin değiştirilmesiyle ses kontrolü yapılabilir.

Yükselteçlerde yapılan ses kontrolünde mutlaka logaritmik özellikli potansiyometreler kullanılmalıdır.

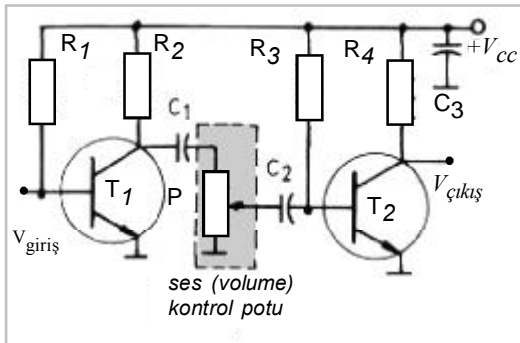
Şekil 6.28'de ses frekans yükselteci devrelerinde ses kontrolünün yapılış yöntemine ilişkin devre örneği verilmiştir.



Şekil 6.26: NPN transistör ve transformatorlü *push-pull* güç yükselteci devresi



Şekil 6.27: Simetrik güç yükselteci devresi



Şekil 6.28: Yükselteçlerde ses kontrolünün yapılışı

b. Ton (tını) kontrol devresi: Yükselteçlerde ton (tını) kontrolünü anlayabilmek için bobin, direnç, kondansatör gibi elemanlar kullanılarak yapılan pasif tip frekans filtrelerinin (sinyal ayırıcıların) çalışma mantığını anlamak gereklidir.

Pasif filtreler, istenmeyen frekansların bastırılması ya da zayıflatılması için kullanılan devrelerdir. Bunlar ekolayzır, mikser, kaliteli hoparlör kolonu, *tweeter* (tivitör) gibi düzeneklerde kullanılır.

Frekans süzme ya da seçme devreleri, pasif filtreler ve aktif filtreler olmak üzere iki kısımda incelenir. Pasif filtrelerin yapısında bobin, direnç ve kondansatörler mevcuttur. Bu elemanlar frekans seçiciliği yaparken, sinyallerin bir miktar zayıflamasına neden olurlar. Aktif filtrelerin yapısında ise ilave olarak yükselteç devreleri mevcuttur. Aktif filtrelerde yükselteç olması nedeniyle kondansatör, bobin ve dirençlerde kaybolan güç telafi edilebilmektedir.

Pasif ses frekans filtrelerinin çeşitleri şunlardır:

I. Alçak frekansları geçirici pasif filtreler (low pass filter): Sadece alçak frekansları geçirirler.

II. Yüksek frekansları geçirici pasif filtreler (high pass filter): Sadece yüksek frekansları geçirirler.

III. Bant (istenilen frekansları) geçirici pasif filtreler: Sadece istenilen frekans aralığındaki sinyalleri geçirip diğerlerini bastırırlar.

IV. Bant durdurucu (istenilen frekansları bastıran) pasif filtreler: Sadece istenilen frekans aralığındaki sinyalleri durdurup diğer sinyallerin tamamını çıkışa aktarırlar.

Basit yapıllı pasif filtre devrelerinin çeşitleri şunlardır:

I. R-C ile yapılan alçak frekansları geçiren pasif filtre: Bu devre sadece alçak frekansları geçirir. Yüksek frekansları şaseye verir. Frekans yükseldikçe kondansatörün kapasitif reaktansı küçülür.

Çünkü, $X_C = 1/2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$ [Ω]'dur. Reaktansın küçülmesi sinyallerin diğer yükselteç katına geçmesini engeller.

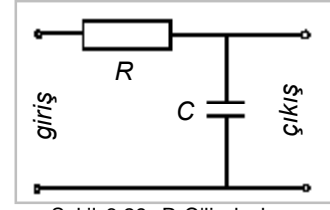
Şekil 6.29'da R-C'li alçak frekansları çıkışa ulaştırın (geçiren) pasif filtre verilmiştir.

II. R-L ile yapılan alçak frekansları geçiren pasif filtre: Bu filtrede kullanılan bobinin indüktif reaktansı $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ denkleminde göre frekans yükseldikçe büyür. Bu nedenle yüksek frekanslı sinyaller bobinden geçemez.

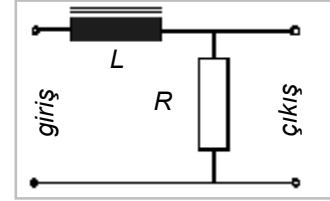
Şekil 6.30'da R-L'li alçak frekansları çıkışa ulaştırın (geçiren) pasif filtre verilmiştir.

III. R-C ile yapılan yüksek frekansları geçiren pasif filtre: Düşük frekanslarda kondansatörün kapasitif reaktansı büyük olduğundan alçak frekanslı sinyaller diğer kata geçemez.

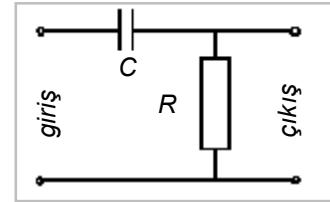
Şekil 6.31'de R-C'li yüksek frekansları çıkışa ulaştırın (geçiren) pasif filtre verilmiştir.



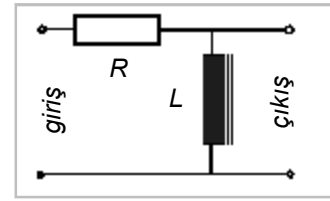
Şekil 6.29: R-C'li alçak frekansları geçiren filtre



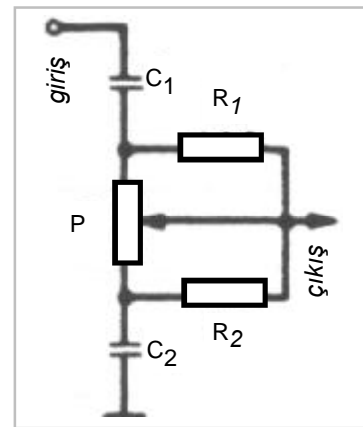
Şekil 6.30: R-L'li alçak frekansları geçiren filtre



Şekil 6.31: R-C'li yüksek frekansları geçiren filtre



Şekil 6.32: R-L'li yüksek frekansları geçiren filtre



Şekil 6.33: Tizlik ayarlayıcı ses frekans filtresi

IV. R-L ile yapılan yüksek frekansları geçiren pasif filtre: Alçak frekanslı sinyallerde bobinin indüktif reaktansı küçük olduğundan sadece yüksek frekanslı işaretler diğer kata geçebilir. Şekil 6.32'de R-L'li yüksek frekansları çıkışa ulaştırın (geçiren) pasif filtre verilmiştir.

Yükselteçlerde kullanılan ton (tını, bas-tiz) kontrol devrelerinin çeşitleri: İnsan kulağı 20 Hz-20 kHz arasındaki frekanslara sahip sesleri algılayabilmektedir. Bu seslerden düşük frekanslı sesler bas, yüksek frekanslı sesler tiz sesleri oluşturur. İyi kalite yükselteçlerde bas ve tiz sesleri istenilen oranda çıkışa aktarabilen filtre devreleri vardır.

I. Tizlik (ses inceltme, *treble*) ayarlayıcı filtre devresi: Yüksek frekanslı elektrik sinyalleri hoparlörden tiz seslerin çıkmasını sağlamaktadır. Şöyle ki; yüksek frekanslı sinyallerde akımın yön değiştirme hızı daha fazla olduğundan, hoparlörün esnek membranı (kon, diyafram) da çok hızlı titreşmektedir. Membran ise havayı hızlı titreştirdiğinden kulak zarımız da buna göre titreşmekte ve biz yüksek frekanslı sinyalleri tiz olarak algılamaktayız.

Tizlik ayarlayıcı basit devrelerin esası R-C filtrelerle yüksek frekansları almak ve düşük frekansları bastırmaktır. Şekil 6.33'te verilen devrede P potunun değeri değiştirildikçe filtrenin direnç değeri değişmekte ve buna bağlı olarak da çıkışa giden sinyallerin frekansı ayarlanmaktadır. P potunun orta ucu yukarı doğru kaydırıldığında çıkışa giden yüksek frekanslı sinyal miktarı artar. P potunun orta ucu aşağıya doğru kaydırıldığında çıkışa giden yüksek frekanslı sinyal miktarı azalır.

II. Bas (ses kalınlaştırma, *bass*) ayarlayıcı filtre devresi:

Alçak frekanslı elektrik sinyalleri hoparlörden bas seslerin çıkmasını sağlamaktadır. Şöyle ki; alçak frekanslı sinyallerde akımın yön değiştirme hızı daha yavaş olduğundan, hoparlörün esnek membranı da az titreşmektedir. Membran havayı yavaş titreştirdiğinden kulak zarımız da buna göre titreşmekte ve biz alçak frekanslı sinyalleri bas olarak algılamaktayız.

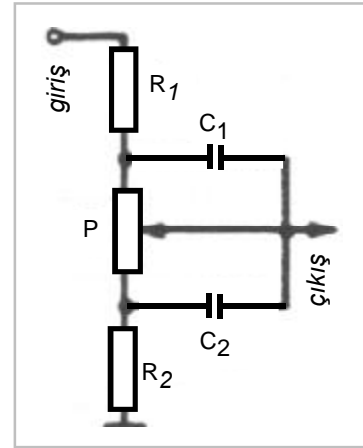
Bas ayarlayıcı basit devrelerin esası da R-C filtrelerdir. Şekil 6.34'te verilen devrede P potunun değeri ile oynanarak elektriksel sinyallerin alçak frekanslı olanlarının çıkışa gitmesi sağlanabilir.

III. Bas-tiz ayarlayıcı filtre devresi: Bu tip devreler, bas ve tiz kontrol devrelerinin birleşiminden oluşur. Uygulamada kullanılan ses sistemlerinde çok değişik tiplerde bas-tiz kontrol devreleri karşımıza çıkmaktadır.

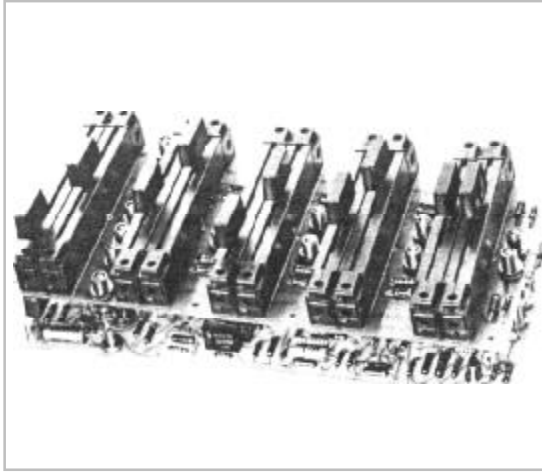
Şekil 6.35'te verilen devrede P_1 ve P_2 potansiyometrelerinin değeri değiştirilerek tiz ve bas sesler istenilen oranda çıkışa aktarılabilir. Devrede kullanılan C_2 kondansatörü küçük kapasiteli olduğundan sadece yüksek frekanslı (tiz) sinyallere karşı düşük direnç gösterir. P_1 potansiyometresinin değeri değiştirildikçe C_2 kondansatörünün geçirdiği sinyallerin çıkışa ulaşma miktarı değişir. P_2 potansiyometresinin değeri değiştirildikçe ise çıkışa giden alçak frekanslı sinyallerin oranı değişmektedir.

c. Ses balans (*balance*, dengeleme) kontrol devreleri: Balans potu bulunduğu konuma göre girişlerden birini şaseleyerek, yani giriş sinyalini eksiye vererek zayıflatır. Bu sayede, *stereo* çıkışlı olan bir radyo/teypte balans kontrol potuyla sağ ya da sol hoparlörden çıkan sesin şiddeti ayarlanabilir. Şekil 6.36'de balans kontrol devresinin yapısına ilişkin basit şema verilmiştir.

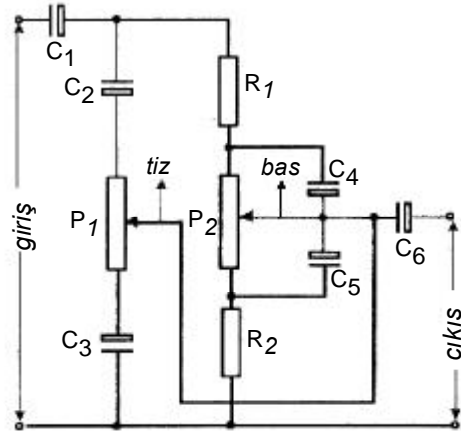
ç. Hi-fi (*high fidelity*) yükselteçler ve düzenleri: Bir ortamdaki sesin aslına uygun olarak kayıt edilmesi, yükseltilmesi ve dinleyiciye ulaştırılmasını sağlayan devrelere *hi-fi* yükselteç denir. Şekil 6.37'de *hi-fi* özellikli yükselteç devresinin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 6.34: Bas ayarlayıcı ses frekans filtresi



Resim 6.1: Bas-tiz ayarlayıcı ekolayzır örneği



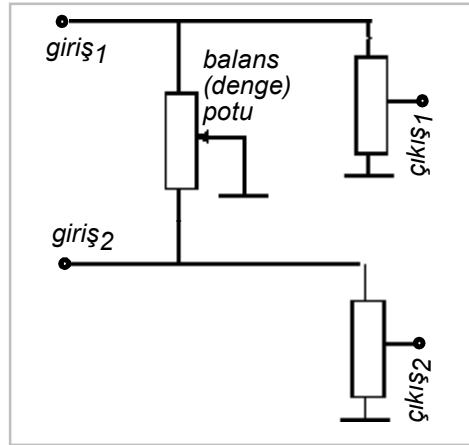
Şekil 6.35: Bas-tiz ayarlama yapabilen ses kontrol devresi

Başka bir deyişle, insan kulağının duyabileceği seslerin tümünü aynı seviyede distorsiyonsuz (parazitsiz) olarak veren devrelere *hi-fi* yükselteç denir.

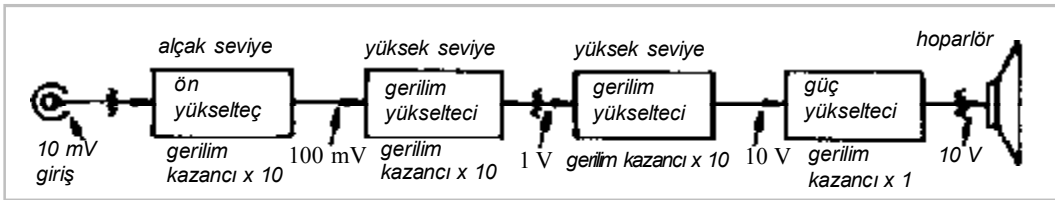
Alman DIN 45500 standardına göre saptanan değerlerle *hi-fi*, insan kulağına gerçeğe en yakın biçimde ses ve müziğin ulaştırılmasına yöneliktir. *Hi-fi* sözcüğü yüksek sadakat anlamına gelir.

Hi-fi yükselteçlerin bazı özellikleri şunlardır:

- I. Gürültü ve vınlama düzeyi çok düşüktür.
- II. Çıkış sinyallerindeki distorsiyon % 1 dolayındadır.
- III. Yükselteç, girişine bağlanacak teyp, radyo, mikrofon gibi araçların özelliğine göre empedans uygunlaştırıcı devrelere sahiptir.
- IV. Anfinin çıkış sinyalini kalınlaştırabilmek ya da inceltebilmek için ekolayzır devreleri vardır.
- V. Bu tip yükselteçler mono, *stereo* ve kuadro olabilmektedir.



Şekil 6.36: Yükselteçlerde balans kontrolünün yapılışı

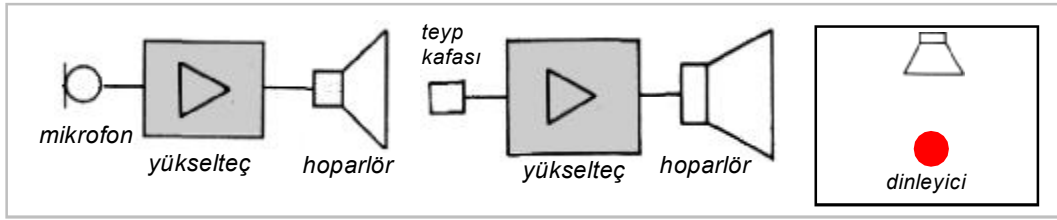


Şekil 6.37: Hi-fi yükselteçlerin blok şeması

d. Yükselteçlerde ses yayın sistemleri: Ses ve müzik yayınları mono (monofonik, tek kanallı), *stereo* (stereofonik, iki kanallı) ya da kuadro (quadrofonik, dört kanallı) olarak yapılabilmektedir. Şimdi bunları inceleyelim.

I. Mono (tek yollu) ses sistemi: Tek yollu yayın yapar. Seste derinlik yoktur. Eski model ya da düşük kaliteli cihazlarda karşımıza çıkar.

Şekil 6.38'de tek mikrofona (*mono*) yayın sistemi, şekil 6.39'da *mono* teybin yapısı ve şekil 6.40'da *mono* seslendirme sisteminin düzeni gösterilmiştir.



Şekil 6.38: Mono yayın sistemi

Şekil 6.39: Mono teybin yapısı

Şekil 6.40: Mono seslendirme sistemi

II. Stereo (steryo, iki yollu) ses sistemi: İki yollu yayın yapar. Ses kalitesi monodan daha iyidir. Kayıt esnasında iki mikrofon kullanılır. *Stereo* ses sistemleri iki *mono* yükseltici birleştirilerek yapılmaktadır.

Uygulamada en çok karşılaşılan ses dağıtım sistemi *stereo* olmaktadır.

Şekil 6.41'de *stereo* ses yayın sistemi ve şekil 6.42'de *stereo* seslendirme düzeni gösterilmiştir.

III. Kuadro (quadro, dört yollu) ses yayın sistemi: Şekil 6.45'te prensip şeması verilen

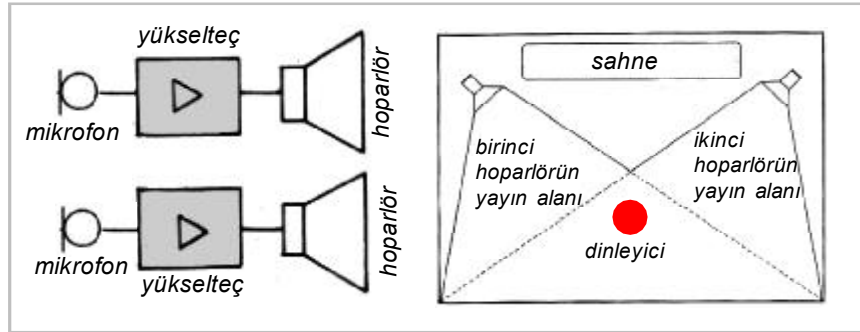
dört yollu yayın yapma sistemi kuadro olarak adlandırılır.

Stereo cihazdan dört kanallı yayın yaptırabilmek için düzenleyici, *stereo*dan kuadroya

dönüştürücü op-amp'li devreler

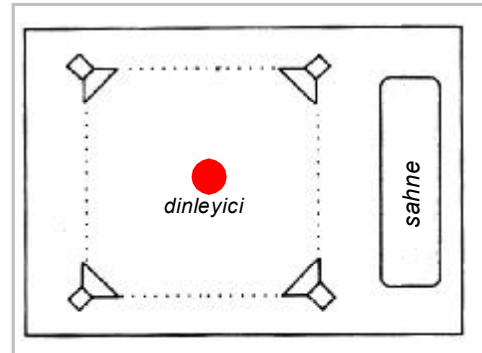
kullanılır. (Örneğin oto radyo teyplerinde dört hoparlörlü yayın sisteminde, iki adet anfi ve kuadroya dönüştürücü devreden yararlanılmaktadır.)

Bu uygulamaya yapay kuadrofonik sistem denilmektedir. Gerçek kuadrofonik sistemde kayıt dört mikrofonla yapılır. Bu yöntem uygulandığında hoparlörler dinleyiciye gerçeğe çok yakın ses verirler. Gerçek kuadrofonik kayıt ve dağıtım sistemleri yüksek kaliteli cihazlarda karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 6.41: Stereo yayın sistemi

Şekil 6.42: Stereo seslendirme sistemi



Şekil 6.43: Kuadro seslendirme sistemi

Transistörlü ve entegreli yükselteçleri verimli kullanabilmek için özen gösterilmesi gereken noktalar şunlardır:

- Hoparlör besleme kabloları en az 0,75 mm², en çok 2,5 mm² kesitinde olmalıdır.
- Hoparlörden çınlama sesleri (akustik geri besleme) duyuluyorsa:
 - Hoparlörlerle mikrofonların karşı karşıya olması önlenmelidir.
 - Hoparlörler belirli yükseklik ve açılarla dinleyiciye yönlendirilmelidir. Yani hoparlörün yaydığı seslerin direkt olarak mikrofonlara ulaşması engellenmelidir.
 - Mikrofonların ses alan kısımlarına süngerden yapılmış boneler mutlaka takılmalıdır.
 - Mikrofon ve hoparlörler birbirinden mümkün olduğu kadar uzak tutulmalıdır.
- Anfinin metal gövdesi çok iyi topraklanmalıdır.
- Kullanılmayan mikrofonlar kapalı (*off*) olmalıdır.

- d.** Hoparlör ve mikrofonlar takılmadan yükselteç çalıştırılmamalıdır.
- e.** Kullanılan hoparlörlerin toplam empedansı ile anfinin çıkış empedansı birbirine eşit ya da yakın düzeyde olmalıdır.
- f.** Yükseltecin elektronik devresinin korunmasında uygun amperajlı sigorta kullanılmalıdır.
- g.** Yükseltecin kolayca soğuması için hava akımı olabilecek biçimde yerleştirme yapılmalıdır. Kapalı mekânlar devre elemanlarının aşırı ısınmasına yol açarak arızaya neden olurlar.
- ğ.** Hoparlörden istenmeyen haricî (dış) sesler (telsiz ya da radyo yayınları) duyuluyorsa:
- h.** Yükselteç besleme fişinin prize giriş uçları ters çevrilmelidir.
- ı.** Hoparlör tesisatı da, ekranlı olarak tanımlanan blendajlı (örgülü, koaksiyel, içiçe yerleşik) kabloyla yapılmalıdır.
- ii.** Yükseltece yapılmış olan topraklama tesisatı gözden geçirilmelidir.

Kaynakça

- **Başaran, İ., E.**, Ses Frekans Tekniği, MEB Yayın Evi, Ankara 1988.
 - **Boylestad, R.**, Nashelsky, L., Elektronik Elemanlar ve Devre Teorisi, MEB Yayın Evi, Ankara 1995.
 - **Conrad Electronic** 1996-2001 yılı ürün katalogları.
 - **Dutar, C.**, Ses Frekans Tekniği, İzmir 1988.
 - **Dutar, C.**, Transistör Esasları-I, İzmir 1988.
 - **ELV Electronic** 1996-2004 yılı ürün katalogları.
 - **Maplin Electronic** 1996-2002 yılı ürün katalogları.
 - **Özdemir, Ali**, Analog Elektronik-II, Özkan Matbaası, Ankara 2004.
 - **Özdemir, Ali**, Atölye-I, Özkan Matbaası, Ankara 2005.
 - **Özdemir, Ali**, Dijital Elektronik, İleri Kumanda Teknikleri ve PLC, Özkan Matbaası, Ankara 2005.
 - **Özdemir, Ali**, Elektrik Bilgisi, MEB Yayın Evi, Ankara 2003.
 - **Özdemir, Ali**, Elektroteknik-I, Özkan Matbaası, Ankara 2005.
 - **Özdemir, Ali**, Endüstriyel Elektronik, Özkan Matbaası, Ankara 2005.
 - **Özdemir, Ali**, Laboratuvar-I, Özkan Matbaası, Ankara 2005.
 - **Parr E. A.**, Endüstriyel Kontrol El Kitabı I-II, MEB Yayın Evi, Ankara 1992.
 - **RS Electronic** 1998-2004 yılı ürün katalogları.
 - **Tübitak Bilim ve Teknik** dergisinin 1987-2002 yılları arasında yayınlanmış sayıları.
- www.conrad-electronic.com, www.siemens.com.tr, www.esem.com.tr, www.elimko.com.tr,
www.philips.com.tr, www.bimel.com.tr, www.elv.de adlı web adresleri.
- **Yüceözsoy, M.**, Yarı İletken Prensipleri, Aselsan yayını 1989.

Transistörlü

Geri beslem
çalışmasını ya c

Bir yükselteç
görüldüğü gibi t
azalır. Dolayısı

Çıkıştan alın
girişe uygulandı
adı verilir.

Emiteri şase y
yapılan geri be
bakınız. Burada

Şöyle ki; R_E '
Bu da beyz tetil

Transistörlü
kolektörüne bağ
otomatik polarn
transistörün ilet
göre gerilimi (U
 I_B akımının düş

Bölüm 7: Mikrofonlar ve hoparlörler

A. Sesin elektriğe çevrilmesi

Elektrik sinyallerini sese ya da ses sinyallerini elektriğe çeviren elemanlara ses transdüseri (dönüştürücüsü) denir.

Yükselteç devrelerinde sesleri algılayıcı olarak mikrofon kullanılır. Yükseltecin çıkışındaki elektrik sinyallerini ses sinyallerine çevirici olarak ise hoparlör kullanılır.

Bu bölümde sesleri algılayan ve yayan elemanlar hakkında bilgi verilecektir.



Şekil 7.1: Ses dalgalarının kulağa gelişi

Sesle ilgili temel kavramlar

I. Ses: Ses, havadaki moleküllerin yönlendirilmiş ve düzenlenmiş titreşimlerinden oluşur. İnsan kulağı 20 Hz-20 kHz'lik titreşimlere sahip ses frekanslarını işitir.

Kulak zarına gelen titreşimler sinirler aracılığıyla beyine ulaştıktan sonra algılanır. Sesin yayılması suya atılan bir cismin oluşturduğu dalgalara benzetilebilir.

II. Ses frekansı: Ses dalgalarının saniyedeki titreşim (salınım) sayısıdır.

III. Genlik: Mikrofon ya da yükselteçten alınan ses sinyallerinin gerilim cinsinden büyüklüğüdür.

Mikrofonlar: Ses sinyallerini (akustik enerji) elektrik sinyallerine çeviren elemanlara mikrofon denir. Bu elemanlar, ses sinyallerini elektrik sinyallerine çeviren transdüserler (*transducer*, transduser) olarak da tanımlanabilir.

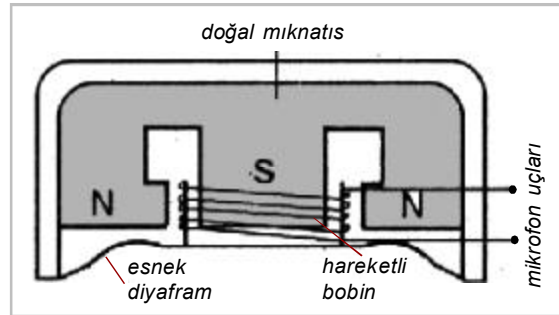
Mikrofonların yapısı, özelliği ve çalışma ilkesi nasıl olursa olsun en önemli elemanları diyafram adı verilen esnek zar kısmıdır. Çünkü hava ortamında ilerleyen ses dalgalarının oluşturduğu basınç ilk önce mikrofonun diyaframını titreştirmektedir. Mikrofon çeşitleri şunlardır:

a. Dinamik (bobinli, manyetik) mikrofonlar: Şekil 7.2'de iç yapısı görülen dinamik mikrofonun diyafram (membran, kon, esnek zar) adı verilen kısmına gelen ses titreşimleri bu elemanın salınım yapmasına neden olur. Titreşen diyafram ise kendisine tutturulmuş olan çok hafif hareketli bobini titreştirir. Silindirik yapıları bir doğal mıknatısın içine yerleştirilmiş olan bobin ise gelen ses dalgalarının frekansında (*AF: Audio frequency, ses frekans, alçak frekans*) elektrik sinyalleri üretir. Üretilen elektrik sinyallerinin değeri son derece küçük olup, 1-10 mV düzeyindedir.

Mikrofonun içindeki mıknatısın yanında bulunan bobinde elektrik akımının doğuşu şu şekilde olmaktadır: Manyetik alan teorilerine göre, N-S mıknatıs kutuplarının yanında bulunan bir bobin sağa sola hareket ettirilirse ya da döndürülürse bobinin içinde bulunan elektronlar manyetik alan tarafından hareket ettirilir. Bu da elektrik akımını doğurur (indükler).

b. Kapasitif (kondansatör) mikrofonlar:

Statik elektriklenme esasına göre çalışan mikrofon tipidir. Şekil 7.3'te görüldüğü gibi, kapasitif mikrofonlarda ses dalgalarının basıncı, ince metal diyaframı etkiler. Diyaframın esnemesiyle kondansatör gibi



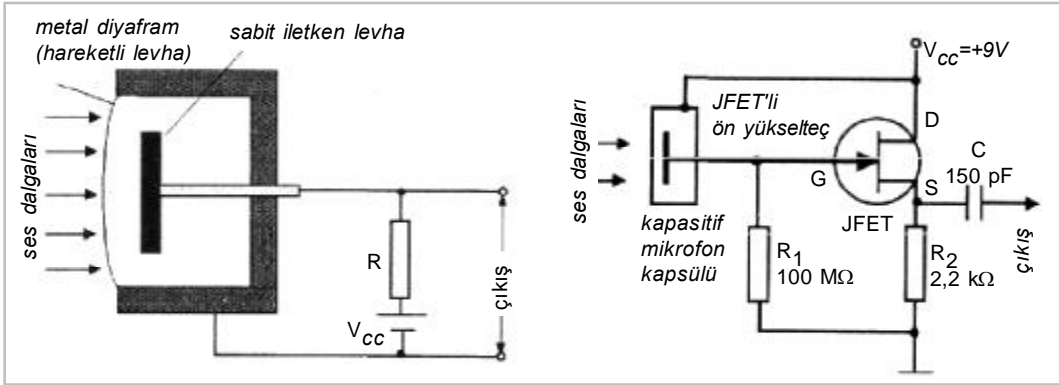
Şekil 7.2: Dinamik mikrofonun iç yapısı



Resim 7.1: Dinamik yapıları mikrofon



Resim 7.2: Kapasitif tip mikrofon örnekleri



Şekil 7.3: Kapasitif tip mikrofonun iç yapısı

Şekil 7.4: Kapasitif tip mikrofonun DC ile beslenmesi ve mikrofon ön yükselteç devresi

çalışan düzeneğin kapasitesi değişir. Bu değişim sesin özelliğine göre çıkışta elektrik sinyalleri oluşturur.

Kapasitif mikrofonların devreye bağlantısı şekil 7.4'te görüldüğü gibi DC beslemeli olarak yapılır. Mikrofonun plakalarına uygulanan DC, modele göre 1,5 - 48 V arasında değişmektedir. (Günümüzde yaygın olarak kullanılan kapasitif mikrofonların DC beslemesinde bir ya da iki adet kalem pil bulunur.)

Mikrofonun içinde bulunan ön yükselteç devresinde kullanılan 100 MΩ değerli R_1 direnci JFET'in DC polarma gerilimini sağlamaktadır.

Bu tip mikrofonlar yüksek kalite istenilen yerlerde kullanılır. Ayrıca hafif ve küçük yapıları olarak üretilebilirler.

Not: JFET, çok küçük sinyallerin yükseltilmesinde kullanılan *alan etkili* transistördür.

Hatırlatma: Kondansatörlerin kapasitesinin artmasına neden olan etkenler şunlardır:

- I. Levhaların boyutunun (yüzey alanının) büyümesi,
- II. Levhaların birbirine yaklaştırılması,
- III. Levhaların arasına konan yalıtkanın (dielektrik) kalitesinin yüksek olmasıdır.

Kapasitif mikrofonların bazı teknik özellikleri

- I. 50-15000 Hz arası frekanslı seslere karşı duyarlıdır.
- II. Distorsiyon (parazit, bozulma) oranları azdır.
- III. Empedansları büyüktür (10-30 MΩ).

c. Şeritli (bantlı) mikrofonlar: Şekil 7.5'te görüldüğü gibi manyetik alan içine yerleştirilmiş ince bir alüminyum ya da kalay levhaya ses sinyalleri çarpınca, manyetik alan içinde hareket eden levhada ses frekanslı akım oluşur.

Şeritli mikrofonların empedansı çok düşük, kaliteleri yüksektir. Sarsıntıdan, rüzgârdan

olumsuz etkilendiklerinden kapalı ortamlarda kullanılırlar.

Ç. Piezoelektrik kristalli mikrofonlar (kristal mikrofonlar): Kuartz (*quartz*), roşel (*rochelle*) tuzu, baryum, turmalin gibi kristal yapılu maddelere basınç uygulandığında üzerlerinde elektrik akımı oluşur. Bu akım, basıncın kuvvetine ve frekansına göre değişir. İşte bu esastan yararlanarak kristal mikrofonlar yapılmıştır.

Kristalli mikrofonlarda, kristal madde şekil 7.6'da görüldüğü gibi çok ince iki metal elektrot arasında yerleştirilmiş ve bir pin (küçük çubuk) ile diyaframa tutturulmuştur. Ses titreşimleri diyaframa titreştirince kristal de titreşmektedir. Kristaldeki titreşim ise AC özellikli sinyallerin oluşmasını sağlamaktadır.

Kristal mikrofonların bazı teknik özellikleri

I. Kaliteleri yüksektir.

II. Hassas yapılıdır.

III. Kristalin ürettiği gerilimin değeri çok küçük olduğundan mikrofonun içine mini bir ön yükselteç (preanfi) monte edilir.

IV. Mikrofonun yapımında kullanılan kristal, nem, sıcaklık ve güneş ışığından uzak tutulmalıdır.

V. Kristal, sarsıntı, düşürme ve çarpmalardan dolayı bozulabileceğinden, bu tip mikrofonların özenle kullanılması gerekir.

Ek bilgi: *Piezo* kelimesinin anlamı sıkıştırıcıdır. Bazı maddelerin sıkıştırılması elektron ve oyuk hareketini çok hızlandırmakta, gelen basıncın şiddetine göre maddede EMK oluşmaktadır. Sıkışmaya bağlı olarak gerilim üreten maddeler sadece mikrofon yapımında değil, kristal hoparlörlerde, basınç ölçerlerde ve benzeri kullanılırlar.

d. Elektret (electret) mikrofonlar: Rondela (halka) biçimindeki ince bir yarı iletken maddenin iki yüzü, üretim aşamasında elektrostatik yöntem kullanılarak artı (+) ve eksi (-) ile yüklenir. Bu elektrik yükü yarı iletkenin maddenin özelliğinden dolayı yıllarca aynı değerde kalır.

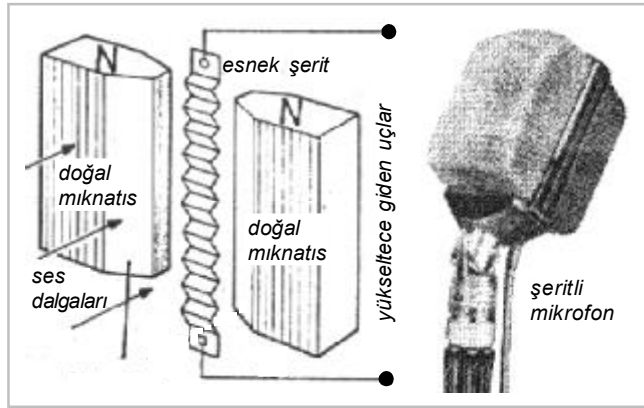
Elektret kapsül, kristal mikrofonlarda olduğu gibi diyaframa bağlanmıştır. Diyafram titreştiğinde, elektret de hareket eder. Bu da kapsülün moleküler yapısını değiştirerek elektrotlar arasında bir gerilim oluşmasını sağlar. Şekil 7.7 ve resim 7.3'te elektret mikrofonların yapısı verilmiştir.

Not: *Elektret* sözcüğü, *elektriklenebilen* anlamına gelmektedir.

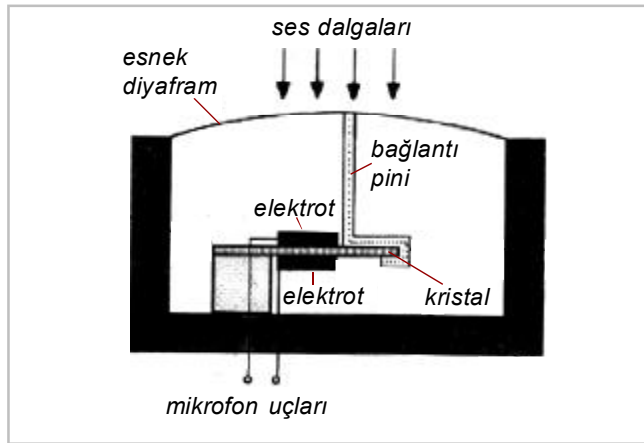
Elektret mikrofonların teknik özellikleri

I. Dirençleri (empedansları) yüksektir.

II. Boyutları küçük olduğundan yaka mikrofonu olarak kullanılmaya uygundur.



Şekil 7.5: Şeritli mikrofonun iç yapısı



Şekil 7.6: Kristal mikrofonun iç yapısı



Şekil 7.7: Elektret mikrofonun iç yapısı

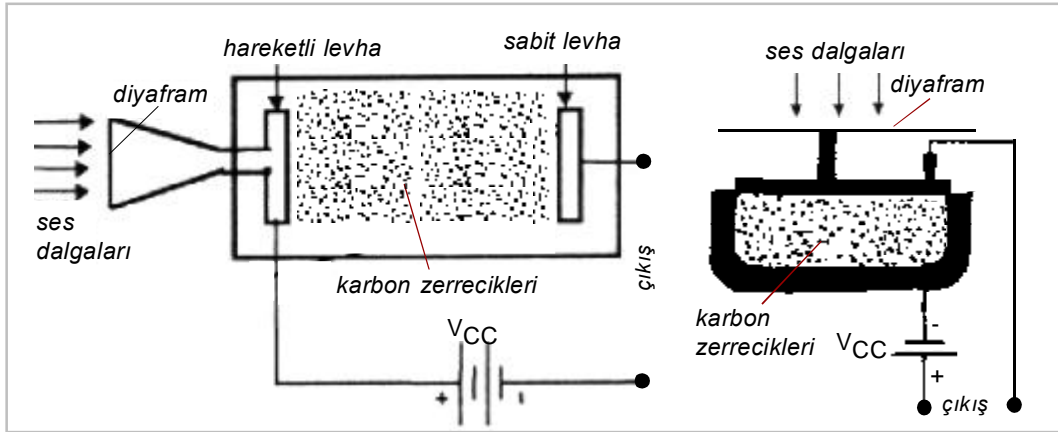


Resim 7.3: Elektret mikrofon örnekleri

III. Hassasiyetleri yüksektir.

IV. İlave bir DC üreteciyle besleme yapmaya gerek duymazlar.

V. Frekans bantları geniştir. Yani alçak ve yüksek frekanslı sinyalleri dengeli olarak algırlarlar.



Şekil 7.8: Karbon tozlu mikrofonun iç yapısı

e. Karbon tozlu mikrofonlar: Karbon tozlu mikrofonlar şekil 7.8'de görüldüğü gibi bir hazne içinde doldurulan karbon tozu zerrecikleri ve esnek diyaframdan oluşmuştur.

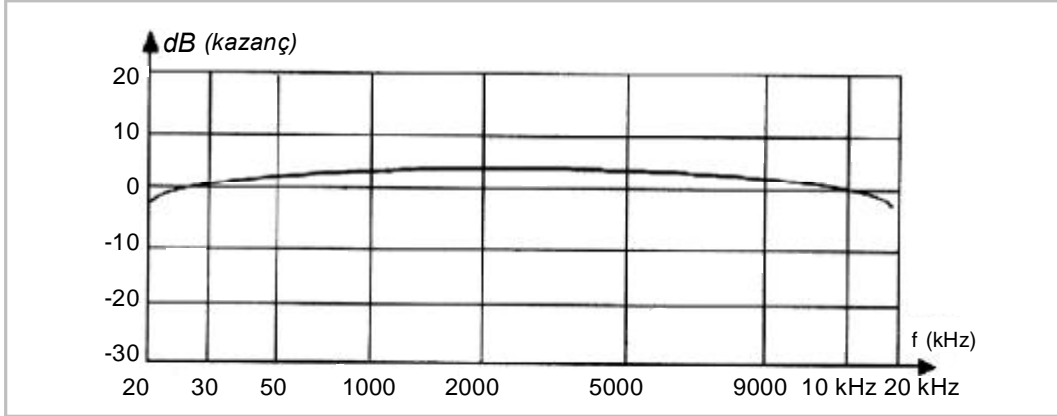
Ses dalgaları alüminyum diyaframa çarpınca bu eleman titreşerek karbon zerreciklerinin sıkışıp gevşemesine yol açar. Tozlar sıkışınca akımın geçiş yolu kılcalacağından direnç azalır. Tozlar gevşeyince ise akımın geçiş yolu uzayacağından direnç yükselir. İşte bu işlem esnasında sesin şiddetine göre karbon tozlarından geçen akım değişken özellik gösterir.

Karbon tozlu mikrofonların çalışabilmesi için bir DC besleme kaynağına gereksinim vardır. Bu tip mikrofonların empedansları 50Ω dolayında olup çok küçüktür. Ayrıca, kömür tozları zamanla özelliğini kaybettiğinden mikrofonun hassasiyeti bozulmaktadır. İşte bu nedenle günümüzde çok kullanılan bir mikrofon tipi olmayıp, eski tip telefonlarda vb. karşımıza çıkmaktadır.

Mikrofonların frekans karakteristiği: Mikrofonların frekans karakteristiği, diyaframa gelen ses sinyallerinin her frekansına aynı oranda tepki vererek düzgün bir çıktı oluşturması anlamına gelmektedir. Bir mikrofonun frekans karakteristiğinin düzgün olması üretim kalitesiyle ilgilidir.

Mikrofon seçiminde empedans, duyarlılık, frekans karakteristiği, yön karakteristiği gibi unsurlar göz önüne alınır.

Empedans, mikrofonların yapımında kullanılan malzemelerin özelliğine göre değişmektedir. Yani dinamik yapı bir mikrofondaki kullanılan bobinin sarım sayısı ve telin kesiti empedansı belirlemektedir.



Şekil 7.9: Dinamik mikrofonların frekans karakteristiği

Mikrofonların duyarlılığı, ses frekanslı gerilimi oluşturmak için uygulanan ses basıncına, çıkış geriliminin genliğine, empedansına göre belirlenir. Müzik yayınlarında yüksek duyarlılıklı mikrofonlar istenirken, konuşma amaçlı düzeneklerde duyarlılık pek önemsenmez. Duyarlılığı yüksek bir mikrofon çevreden gelen seslerin tamamını algıladığından yükselteç çıkışında istenmeyen seslerin oluşmasına neden olabilir.

Mikrofonların frekans karakteristiği, diyaframa gelen ses dalgalarının seviyesi belli bir değerde tutulduğunda, mikrofon çıkışındaki gerilimin frekansa bağlı olarak nasıl değiştiğini gösterir. Kaliteli bir mikrofonda oluşan ses frekanslı gerilim, genlik ve frekans açısından, kendisini oluşturan ses dalgasının özelliklerini aynen taşımalıdır.

İyi bir mikrofonun frekans karakteristiği bütün frekans değerlerinde aynı düzeyde olmalıdır. Ancak uygulamada kullanılan mikrofonlar kalite ve modellerine göre değişik karakteristik sergilerler. İyi kalite mikrofonların frekans karakteristiği de düzgün olmaktadır.

Frekans karakteristiği, ses kaynağının yönüne ve mikrofona uzaklığına bağlı olarak değişir. Stüdyo kayıtlarında, hassas, düzgün bir frekans karakteristiği istenir. Şekil 7.9'da dinamik mikrofonların frekans karakteristiği verilmiştir.

Mikrofonlarda empedans: Frekansa bağlı olarak elektrik akımına gösterilen zorluğa empedans denir. Bir mikrofonun empedans değeri çok önemlidir. Rastgele mikrofon seçimi yapılırsa düşük verim söz konusu olur. Günümüzde yaygın olarak kullanılan mikrofonların empedans değerleri, 300, 600 ve 2000 ohmdur. Bunlardan 600 Ω 'luk dinamik mikrofonlar çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kablosuz (telsiz) mikrofonlar: Telsiz mikrofonlar, mikrofon ve küçük güçlü VHF, UHF ya da FM bandında sinyal gönderebilen mini vericinin bir gövde içinde birleştirilmesiyle yapılmışlardır.

VHF (160-250 MHz) ve UHF (800-960 MHz) bantlarından yayın yaparak çalışan telsiz mikrofonlar profesyonel amaçlı olup çok pahalıdır. (Yaklaşık 300-600 ABD Dolarıdır.) Bunlar, tiyatro, konser ve toplantı salonlarında kullanılırlar.

FM bandından (88-108 MHz) yayın yaparak çalışan telsiz mikrofonlar ise amatör



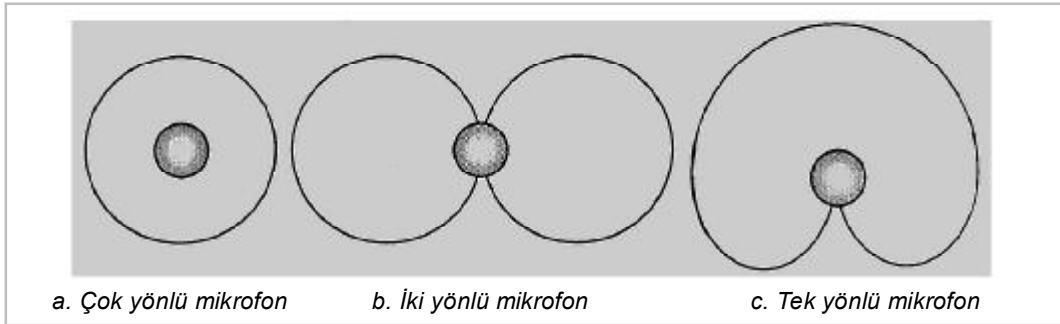
Resim 7.4: Çeşitli telsiz mikrofonlar

amaçlı olup ucuzdur.

Mono ve stereo (steryo) mikrofonlar: Tek kanallı mikrofonlar *monodur* ve ses kaliteleri düşüktür. İyi kalite ses için iki yönlü (*stereo*) mikrofonlar yeğlenir. *Stereo* mikrofonlar iki mono mikrofonun birleşmesinden oluşmuştur.

Mikrofon kabloları: Ses alma sistemlerinde blendajlı (örgülü) mikrofon kabloları kullanılır. Bunlar, dış manyetik etkileri bastırıcı özelliğe sahiptir.

Dinamik mikrofonların sağlamlık testi: Ohmmetreyle ölçüldüğünde bir direnç değeri göstermelidir. Ayrıca ölçüm esnasında bir tıkırtı duyulmalıdır. Kapasitif ya da başka tip mikrofonların sağlamlık testi ise eleman anfiye takılarak yapılabilir.



Şekil 7.10: Mikrofonların alışı diyagramları

Mikrofonların alışı diyagramları (yön karakteristiği): Gelen sesin yönüne göre karakteristiklerinin grafiksel olarak tanımlanmasıdır. Tüm mikrofonların yapılarına göre değişik yönlerden gelen seslere karşı tepkileri farklıdır.

Uygulamada kullanılan mikrofonlar alışı diyagramlarına göre,

I. Çok yönlü (yönsüz), **II.** İki yönlü, **III.** Tek yönlü olmak üzere üç çeşit mikrofon vardır.

Bir yönlü mikrofonlar önden gelen seslere çok duyarlı, diğer yönlerden gelen seslere karşı ise az duyarlıdır. Bu tip mikrofonlar, istenmeyen seslerin alınmaması gereken yerlerde kullanılır.

İki yönlü mikrofonlar karşılıklı olarak iki yöndeki seslere çok duyarlı, diğer yönlerde az duyarlıdır. Bu tip mikrofonlar karşılıklı konuşmanın söz konusu olduğu yerlerde kullanılırlar.

Yönsüz mikrofonlar herhangi bir yönden gelen seslere karşı aynı tepkiyi gösterirler.

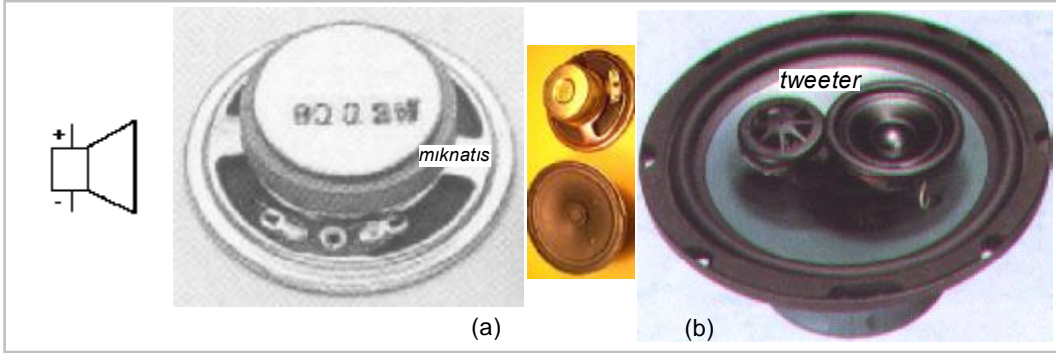
Şekil 7.10'da çok yönlü, iki yönlü ve tek yönlü mikrofonların alışı diyagramları (sesleri alma açıları) verilmiştir.

Mikrofonlarda bulunması gereken özellikler: Mikrofonun ürettiği elektrik sinyallerinin düzgün (distorsiyonsuz) olabilmesi için kalite çok önemlidir. Mikrofon seçilirken nerede kullanılacağı göz önüne alınmalıdır. Aşırı sarsıntı, rüzgâr, nem, çevredeki gürültü vb. gibi etkenlerin mikrofonu ulaşmaması için tek yönlü ve *boneli* (sünger başlıklı) mikrofonlar kullanılmalıdır.

B. Elektrğin sese çevrilmesi

Yükselteç devresinin çıkışından alınan değişken özellikli sinyaller, hoparlör adı verilen devre elemanları aracılığıyla ses sinyallerine dönüştürülebilmektedir. Bu bölümde hoparlörlerin ve kulaklıkların yapısı, çalışması hakkında temel bilgiler verilecektir.

Hoparlörler: Elektriksel sinyalleri insan kulağının duyabileceği ses sinyallerine çeviren elemanlara hoparlör denir. Hoparlör çeşitleri ve özellikleri şöyledir:



Şekil 7.11: Hoparlör sembolü

Resim 7.5: Dinamik hoparlörler

a. Dinamik (hareketli bobinli) hoparlörler:

Resim 7.12'de görüldüğü gibi dinamik hoparlörler, bobin, mıknatıs, kon (diyafram) gibi elemanların birleşiminden oluşmuştur.

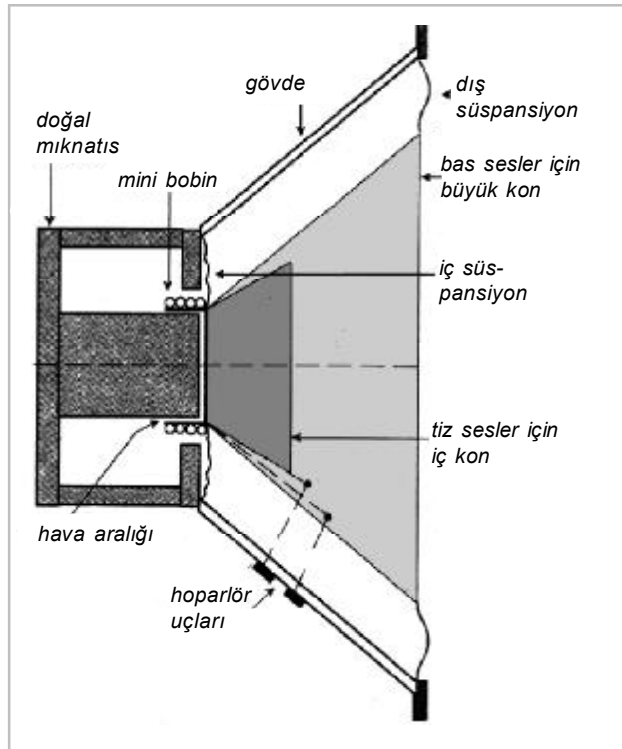
Bu elemanlarda demirden yapılmış bir silindirin ortasına doğal mıknatıs yerleştirilmiştir. Mıknatısla yumuşak demir arasındaki hava aralığına ise hoparlör diyaframının uzantısı üzerine sarılmış bobin konmuştur.

Bobinin sarıldığı diyaframın alt kısmı bir süspansiyon (esnek taşıyıcı) ile gövdeye tutturulmuştur. Bobin, süspansiyonlar sayesinde hava aralığında rahatça hareket edebilmektedir. Hoparlörlerde kon iki tanedir. Geniş çaplı olan dışarıda, küçük çaplı olan ortadadır. Büyük kon kalın (bas) sesleri, küçük kon ise ince (tiz) sesleri oluşturur.

Dinamik yapıli hoparlörlerin çalışma ilkesi şöyledir:

Yükselteçten gelen AC özellikli sinyaller hoparlör içindeki bobinin etrafında değişken bir manyetik alan oluşturur. Bu alan ile sabit mıknatısın alanı birbirini itip çekerek diyaframın titreşimine sebep olur.

Diyaframın ses sinyallerine göre titreşimi havayı titreştirir. Kulak zarı da buna bağlı olarak titreşerek sesleri algılamamızı sağlar.



Şekil 7.12: Dinamik hoparlörlerin yapısı

Tweeter (tivitir)'lı dinamik hoparlörler: Resim 7.5-b'de görüldüğü gibi iki ya da üç hoparlörün bir gövde içinde birleştirilmesiyle üretilmiş elemanlara *tweeter* (tivitir)'lı hoparlör denir. Bu elemanlar az yer kapladığından özellikle oto radyo teyplerinde kullanılmaktadır. Bunlarda, ortadaki küçük hoparlörler tiz sesleri vermektedir. Tiz sesleri veren minik hoparlörlere sadece yüksek frekanslı sinyallerin gitmesini sağlamak için elemana seri olarak 1-10 μF arası kapasite değerlerine sahip elektrolitik kondansatörler kullanılmaktadır.

b. Hava tazyikli (borulu) hoparlörler: Hava tazyikli hoparlörler şekil 7.13'te görüldüğü gibi

dinamik yapılu hoparlöre koni şeklinde bir boru eklenmesiyle yapılmıştır. Boru, sesin daha uzak mesafeye gitmesini sağlamaktadır. Hava tazyikli hoparlörlerin sesleri oluşturan bobin, mıknatıs, diyaframdan meydana gelmiş kısmına **ünit (unit)** adı verilir.

Resim 7.6'da görülen ünitler yaygın olarak 25, 35, 60, 100 W güçlerde üretilirler. Okul, stadyum vb. yerlerin ses düzeneklerinde kullanılan hava tazyikli hoparlörlerin ünitlerindeki ses oluşturan bobinler sökülüp takılabilecek cinstendir.

Ünit içinde bulunan membran adlı kısım (resim 7.7) bobin ve esnek diyaframdan oluşur. Membran arızalandığı zaman yenisiyle değiştirilir.

Ünit içindeki membranın ayrılabilir olması maliyeti düşürücü bir etkidir. Yani hoparlör arızalandığı zaman yalnızca membran değiştirilir.

c. Piezoelektrik (kristal) hoparlörler: Resim 7.8'de yapıları görülen piezoelektrik hoparlörler çizgi biçiminde, birbirine karşı polarize edilmiş, bükülgen piezooksit (kurşun, elmas, titan karışımı) maddeden yapılmışlardır. Şeritlere akım uygulandığında, boyut uzayıp kısalır ve karşdakini itip çeker. Bu titreşim ise esnek membranı hareket ettirerek ses oluşur. Piezoelektrik hoparlörler daha çok yüksek frekanslı seslerin elde edilmesinde (kolonların tivitirlerinde) ve kulaklıklarda kullanılmaktadır.

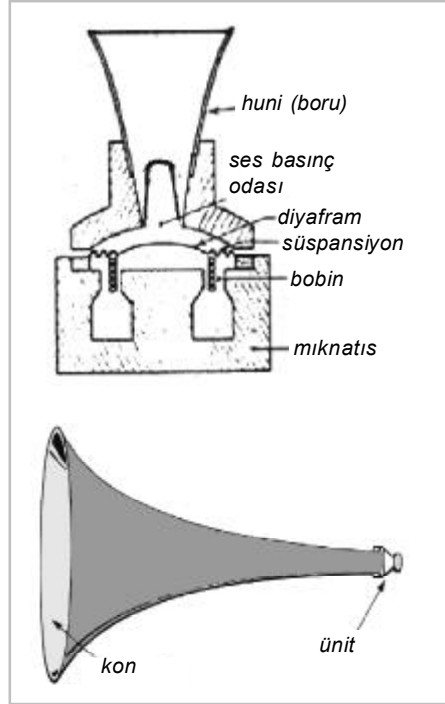
Hoparlör kabinleri (kolonlar): Hoparlörlerden iyi ve yüksek ses alabilmek için uygun malzemenin yapılmış kabinler kullanılır (resim 7.9). Kabin kullanılmadığı zaman hoparlörün ön ve arka kısmına doğru yayılan ses dalgaları birbirini zayıflatıcı etki yapar. Yani havanın titreşimi istenilen doğrultuda olmaz. Bu olaya akustik kısa devre denir. Akustik kısa devre olayında özellikle bas sesler oldukça zayıflar.

Araştırmalara göre en verimli kabin ceviz ya da eşdeğeri ağaçlardan yapılmaktadır. Ancak piyasada yaygın olarak suntadan ya da plastikten üretilmiş kolonlar bulunmaktadır.

Hoparlör kabinlerindeki büyük hoparlörler alçak frekanslı kalın (bas) sesler için kullanılır. Üstteki küçük hoparlörler ise yüksek frekanslı ince (tiz, *treble*) sesleri üretirler.

Anfiden gelen ses sinyallerini birbirinden ayırarak uygun hoparlöre göndermek için pasif ya da aktif (yükselteçli) filtre devreleri kullanılır.

Hoparlörlerin kabinlerinin boyut ölçülerinin hesabı oldukça teknik bir husustur. Amatörler bu konuda fazla zaman kaybetmeden sonuca gitmek istediklerinde, piyasada satılan iyi kalite müzik setlerinin kabin boyutlarını ölçü olarak alabilirler.



Şekil 7.13: Hava tazyikli (borulu) hoparlörlerin yapısı



Resim 7.6: Hava tazyikli hoparlör ünitesi örneği



Resim 7.7: Hava tazyikli hoparlör ünitesine takılan membranlar



Resim 7.8: Piezoelektrik (kristal) hoparlörlerin yapısı ve kristal hoparlör örnekleri



Resim 7.9: Hoparlör kabinleri (kolonlar)

Ek bilgi: Kabinin ses verimi üzerindeki önemini basit bir deneyle anlamak mümkündür. Minik bir hoparlörü önce çıplak olarak çalıştırın ve sesi dinleyin. Daha sonra bu elemanı herhangi bir kabin içine (bardak, kutu ve benzeri) yerleştirip sesi tekrar dinleyin. Hoparlörden çıkan seslerdeki artış net olarak hissedilecektir.

Hoparlör kolonlarında kullanılan pasif filtre (ses frekans ayırıcı) devreleri: Bir hoparlörün ses frekans bandı içindeki bütün frekanslarda aynı şiddette ses vermesi mümkün değildir. O hâlde bir kabin içine bir kaç hoparlörü kendi aralarında seri, paralel bağlamak sùretiyle yerleştirebiliriz. Böylece hem istediğimiz empedans değerini elde ederiz, hem de çeşitli frekanslarda sesler duyarız. Ancak istenilen çıkış empedansının elde edilmesine karşın, böyle bir kabinin uçlarını anfiye bağladığımızda distorsiyonlar duyulur. Çünkü kabin içindeki hoparlörler aynı anda çalışacaklarından, bazı frekanslarda aşırı derecede yüklenme (anfiden çekilen akımın artması) söz konusu olur.

Bu durumu engellemek için resim 7.10'da görülen frekans filtreleri üretilmiştir. Filtrelerin esası bobin ve kondansatörlerin reaktanslarının frekansa göre değişmesidir. Şöyle ki; hoparlöre seri bağlanan bir kondansatör gelen her frekansa ayrı bir reaktans gösterir. Kondansatörlerin reaktans değeri, $X_C = 1/2.\pi.f.C$ ile bulunmaktadır. Buna göre kondansatöre uygulanan elektrik sinyallerinin frekansı yükseldikçe X_C küçülür. $I_C = V/X_C$ olduğuna göre geçen akım artar. Akımın artması ise hoparlörden çıkan sesi yükseltir.

Hoparlöre paralel olarak bir kondansatör bağlandıktan sonra çıkarılan uçlar anfiye bağlanacak



Resim 7.10: Hoparlör kolonlarında kullanılan pasif tip ses frekans filtreleri (sinyal ayırıcılar)

olursa sadece bas sesler duyulmaya başlar.

Filtre olarak hoparlöre seri bağlı bobin kullanılırsa: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ denklemine göre yüksek frekanslarda X_L büyük olacağından, yüksek frekanslı tiz sesler duyulmaz olur.

Filtre olarak hoparlöre paralel bağlı bobin kullanılırsa: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ denklemine göre alçak frekanslarda X_L küçük olacağından, alçak frekanslı bas sesler duyulmaz olur.

Bobin ve kondansatörlerin bu güzel özellikleri sayesinde hem istediğimiz sesleri duyabiliriz hem de anfi çıkışı aşırı yük altında kalmaz.

Kabin içinde bulunan 2 ile 6 arası sayıdaki hoparlöre bağlanan bobin ve kondansatör esaslı filtreler sayesinde, anfiden gelen tiz, medyum, bas özellikli sesler ayrı hoparlörlerden duyulur. Yani filtreler anfinin akımını frekans bakımından böler. Hoparlörlerin hepsi aynı anda akım çekmez. Herbiri kendi algılama sınırları dâhilinde akım çekmeye başlar.

Başka bir deyişle:

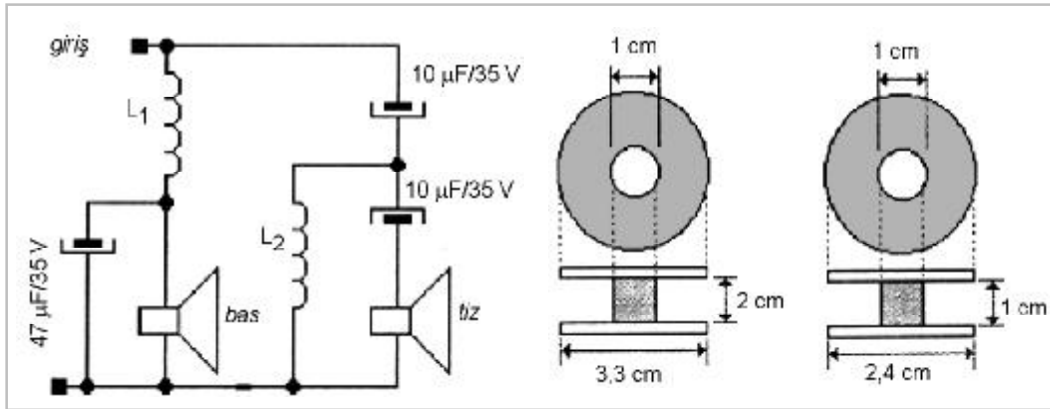
Bas ses yayan hoparlörler: 16 - 600 Hz (düşük frekanslı sesler).

Medyum ses yayan hoparlörler: 400 - 6000 Hz (orta frekanslı sesler).

Tiz ses yayan hoparlörler: 4000 - 16.000 Hz'lik yüksek frekanslı sesleri yayarlar.

16 Hz ile 16.000 Hz arasında değişkenlik gösteren frekanslı sinyalleri algılayabilen kulağımız için ses, kabinler tarafından üçe bölünmüş olarak yayılmaktadır.

Günümüzde her güçte kolon için hoparlör filtresi hazır olarak satıldığından filtre hesaplamaları üzerinde durulmayacaktır. Çünkü hassas ölçme araçlarına sahip olmadan üretilen filtrelerin verimi düşük olmaktadır.



Şekil 7.14: İki yollu hoparlör filtresi

Şekil 7.15: İki yollu hoparlör filtresinde bobin ölçüleri

Hoparlör kabinleri için iki yollu pasif filtre devresi örneği: Şekil 7.14'te verilen basit devre yükselteçten gelen sinyalleri bas ve tiz şeklinde ikiye ayırır. Devre özellikle 40 W'lık, iki yollu kabinler için uygundur.

Filtre devresindeki bobinlerin özellikleri: L_1 : 0,50 mm çapında tel ile 235 sarım L_2 : 0,40 mm çapında tel ile 135 sarımdır.

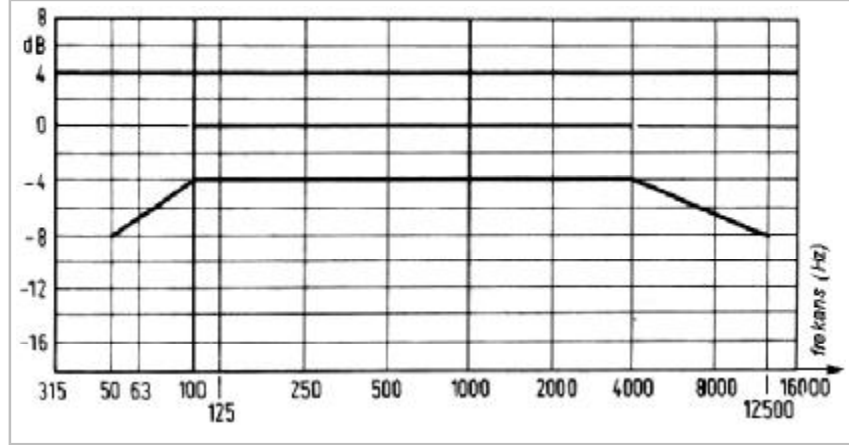
Hoparlör kabloları: Hoparlör besleme devrelerinde en az 2x0,75 mm²'lik çok damarlı kablolar (bitişik kordon, blendajlı kablo vb.) kullanılmalıdır. Kullanılan kablo iki renkli tipte olursa artı (+) ve eksi (-) uç kolayca belirlenebilir. Hoparlörleri beslemede kullanılan kablo blendajlı (örgülü) olursa ses kalitesi çok iyi olur.

Nasıl bir müzik yayın sistemi kurmalıyım sorusu çok karşımıza çıkar. Bu durumda hemen bir yanıt vermek yanlış olur. Çünkü ses tesisatının kurulacağı yerin ölçüleri ve özellikleri çok iyi belirlenmeden yapılacak bir sistem hatalı olabilir. Düğün, spor, konferans salonu gibi mekânlara ses düzeni kurulurken temel prensiplere dikkat edilmediği zaman bir çok problem çıkabilir. (Sesin azlığı, çınlamalar, aşırı ses, seste bozulmalar sık karşılaşılan sorunlardır.) Yüksek güçlü seslendirme düzeneklerinde devre

elemanı seçimi, teknik bilgi ve deneyim gerektirir. O nedenle malzeme alımı yapılırken köklü geçmiş olan firmaların satışını yaptığı kaliteli hoparlör, mikrofon, anfi, kolon donanımları tercih edilmelidir.

Hoparlör karakteristiği ve empedans: Kaliteli bir hoparlörün 40 Hz ile 16000 Hz arasındaki yaygın

bandında ortalama ses düzeyi değişikliği şekil 7.16'daki grafikte görüldüğü gibi çok az olmalıdır. Piyasada satılan her hoparlör, yükselteçten gelen alçak ve yüksek frekanslı elektrik sinyallerini aynı duyarlılıkla algılayarak sese



Şekil 7.16: DIN 45500 normuna göre hoparlör karakteristiği

çeviremez. Bu sakıncayı giderebilmek için 3-4 hoparlörden oluşan kolonlar kullanılır. Kolonlardaki küçük çaplı hoparlörler yüksek frekanslı (tiz) sesleri, büyük çaplı hoparlörler ise alçak frekanslı (bas) sesleri iyi üretir.

Her hoparlör kendisini besleyen anfiye karşı elektriksel bir direnç (empedans) gösterir. Bu empedans değeri yaygın olarak $2 - 80 \Omega$ arasında değişir. Empedans değeri ses sistemlerinde çok önemlidir. Yüksek verim elde etmek için ses frekans sinyali veren cihazın çıkış empedansı ile hoparlör empedansı birbirine eşit olmalıdır. Piyasada $4 - 8 \Omega$ 'luk hoparlörler yaygındır.

Ek bilgi: Hoparlörlerin empedans değeri 400 - 1000 Hz frekanslı akımlar uygulanarak hassas cihazlarla ölçülmektedir. Ohmmetre ile yapılan ölçümde okunan değer empedans değeri değil bobinin omik direnç değeridir. Bir hoparlörün direnci ohmmetre ile ölçüm yapıldığında 12Ω olarak belirlenmişse, empedans değeri $Z = 15 - 16 \Omega$ olarak kabul edilebilir.

Yükseltecin çıkış gücünden daha düşük değerli hoparlör kullanılırsa: Ses kalitesi düşer. Hoparlörden vınlama, zırlıltı duyulur ve eleman bozulabilir.

Yükseltecin çıkış gücünden daha yüksek değerli hoparlör kullanılırsa: Ses az ve kalitesiz çıkar. Yükseltecin elektronik devreleri aşırı ısınarak bozulabilir.

Yükselteç çıkış empedansı hoparlör empedansından büyük olursa: Ses kalın ve gürültülü çıkar.

Yükselteç çıkış empedansı hoparlör empedansından küçük olursa: Ses ince ve az çıkar.

Hoparlörlerde güç: Hoparlörlerin etiketlerinde empedans değerinin yanında güç (W) değeri de belirtilir. Ses sinyali üreten aygıtın (anfi, teyp) gücünden çok küçük güçte hoparlör bağlanırsa, hoparlörler uzun ömürlü olmaz. Bir süre sonra bobin yanar.

Anfi çıkışına çekebileceğinden çok fazla güçte hoparlör bağlanırsa (örneğin walkman'e yüksek güçlü hoparlör bağlama) bu durumda ses çıkış seviyesi çok azalır. Çünkü gücü yetersiz gelen alet, hoparlörün diyaframını istenildiği şekilde titreştiremez. Ayrıca hoparlör *walkman* (volkmen)'i aşırı yük altında bırakacağından çıkış katı ısınmaya başlar. Aşırı ısı ise elektronik devrelerin dengesini

bozup arızaya neden olur.

Uygulamada yaygın olarak kullanılan hoparlörlerin güç değerleri şöyledir: 0,2-0,3-10-15-25-30-40-50-60-70-80-100-120-150-180-200-250-300-400-500-600-800-1000-1200 W...

Hoparlörlerde polarite (artı ve eksi uç): Hoparlör bağlantı terminallerinde artı (+) ve eksi (-) işaretleri karşımıza çıkar. Aynı zamanda ses sinyali üreten cihazların çıkış uçlarında da artı (+) ve eksi (-) işaretleri vardır. Hoparlör bağlanırken bu işaretlere dikkat etmek gerekir.

Bir tek hoparlörün devreye düz ya da ters bağlanmasının pratik olarak hiç bir sakıncası yoktur. Birden fazla hoparlörlü sistemlerde artı (+) ve eksi (-) işaretlerine uyulmadan bağlantı yapılırsa ses verimi düşer.

Şöyle ki; ters bağlantıda iki hoparlöre aynı anda elektrik sinyali gittiğinde diyaframın biri dışarıya doğru havayı titreşirken, öbürü içeri doğru titreşir. Bu da kulağımıza ses titreşimlerini taşıyan havanın titreşiminin dengesiz olmasına neden olarak ses verimini düşürür.

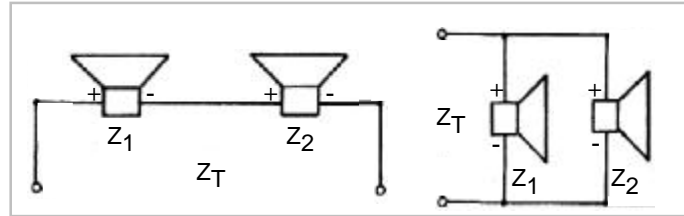
Polaritesi (artı ve eksi ucu) belli olmayan bir hoparlörün uçları basitçe şöyle belirlenir:

1,5-9 voltluk bir pilin uçları hoparlör terminal uçlarına kısa süreli olarak değiştirilir. Diyafram dışarıya doğru titreştiği anda pilin artı (+) ucunun değdiği yer hoparlörün artı (+) ucudur.

Hoparlörlerin seri, paralel, karışık bağlanması ve empedans uygunlaştırma

a. Seri bağlama:

Hoparlörler seri bağlandığında toplam empedans artar. 100 W, 8 Ω 'luk iki hoparlörü seri bağladığımızda 50 W, 16 Ω 'luk bir hoparlör elde ederiz. Seri bağlı hoparlörlerde toplam empedansı bulmada kullanılan denklem, $Z_T = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$ [Ω]'dur.



Şekil 7.17: Hoparlörlerin seri bağlanması

Şekil 7.18: Hoparlörlerin paralel bağlanması

Örnek: Empedans değerleri 8 Ω olan iki hoparlör seri bağlanmıştır. Sistemin toplam empedansını bulunuz.

Çözüm: $Z_T = Z_1 + Z_2 = 8 + 8 = 16 \Omega$

b. Paralel bağlama: Hoparlörler paralel bağlandığında toplam empedans azalır. 100 W, 8 Ω 'luk iki hoparlörü paralel bağladığımızda 200 W, 4 Ω 'luk bir hoparlör elde ederiz.

Paralel bağlantıda toplam empedansın bulunmasında kullanılan denklem:

$$\frac{1}{Z_T} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \quad [\Omega]$$

Örnek: Empedans değerleri 4 Ω olan iki hoparlör paralel bağlanmıştır. Sistemin toplam empedansını bulunuz.

Çözüm: $\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 2 \Omega$

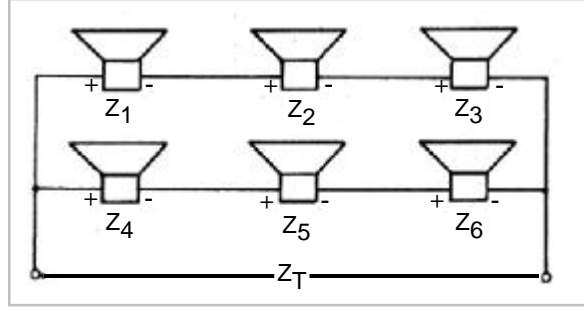
c. Karışık (seri - paralel) bağlama: Çok hoparlörlü ses dağıtım sistemlerinde toplam hoparlör empedansını anfi empedansına eşit hâle getirmek için uygulanan yöntemdir.

Örneğin 3-4 katlı bir yapıda her katdaki hoparlör kendi arasında seri bağlandıktan sonra, seri bağlı gruplar kendi arasında paralel bağlanarak empedans eşitlenebilir.

Şöyle ki; iki katlı bir yapıda her katta 3 adet 8 Ω 'luk seslendirme hoparlörü bulunsun. Birinci ve ikinci katdaki üç hoparlörü kendi arasında seri bağlarsak 24 Ω 'luk iki grup elde ederiz. Sonra bu iki grubu birbirine paralel bağladığımızda sistemin toplam empedansı 12 Ω olur.

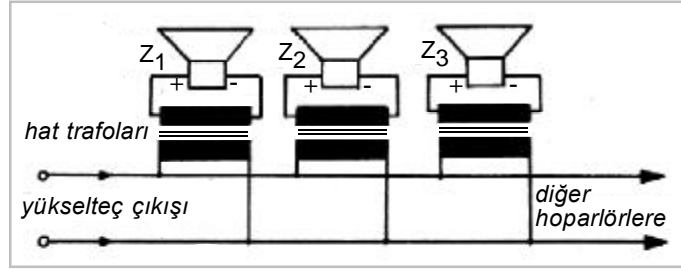
Yükseltecin çıkışının uzak mesafede bulunan hoparlörlere iletilmesi:

Yükselteç ile hoparlörler arasındaki mesafe çok uzun olursa, ses verimi düşer. Yani uzun hat elektriksel sinyallere direnç gösterdiğinden, hoparlöre ulaşan AC özellikli sinyallerin geriliminde düşme olur. İşte bu durum karşısında uzun hatlardan kaynaklanan zayıflama hat trafoları kullanılarak ortadan kaldırılır. Şekil 7.20'de hat trafolarının bağlanışına ilişkin örnek devre verilmiştir.



Şekil 7.19: Hoparlörlerin karışık bağlanması

Hoparlör seçimi: Ses sistemlerinde rastgele hoparlör seçimi yapıldığında maliyeti yüksek arızalar (anfi ya da hoparlör arızaları) karşımıza çıkmaktadır. O nedenle iyice araştırıp incelemeden, kalitesinin ne olduğunu bilinmeden hoparlör alınmamalıdır. Ayrıca ses sisteminin empedans ve güç değerlerine dikkat edilmelidir.



Şekil 7.20: Yükseltecin çıkışından alınan ses sinyallerinin hat trafoları kullanılarak uzak mesafelere iletilmesi

Bu konuda kısaca bilgi verecek olursak: Ses sinyali yayan cihazın gücü belirlenmeli ve buna göre hoparlör kullanılmalıdır. Çok ses çıksın diye fazla hoparlör bağlama yoluna gidilmemelidir. Ülkemizde özellikle oto radyo teyplerinin çıkışına rastgele hoparlör bağlantısı yapılmakta, bu ise sık sık arızalara yol açmaktadır.

Hoparlörlerin sağlamlık testi: Ohmmetre komütatörü $\times 1 \Omega$ konumuna alınarak yapılır. Yapılan ölçümde küçük bir direnç değeri okunmalıdır. Bunun yanında ölçüm esnasında hoparlör bobini, membranı bir miktar titreştirmelidir.



Şekil 7.21: Kulaklık sembolü

Resim 7.11: Mono kulaklık

Resim 7.12: Stereo kulaklıklar

Kulaklıklar: Hoparlörlerin boyutlarının küçültülmesiyle elde edilmiş elemanlardır. Verdikleri ses çok yakından işitilebilir. Bunlar, *mono* ya da *stereo* olarak üretilirler.

Kulaklık çeşitleri şunlardır:

a. Dinamik (bobinli) kulaklıklar: Şekil 7.22'de görüldüğü gibi mini bobin, mıknatıs ve diyaframdan oluşmuş elemandır.

Bu tip kulaklıkta yükselteçten gelen sinyal bobinde manyetik alan oluşturur. Mıknatıs bobini titreştirir, diyafram titreşir ve ses ortaya çıkar.

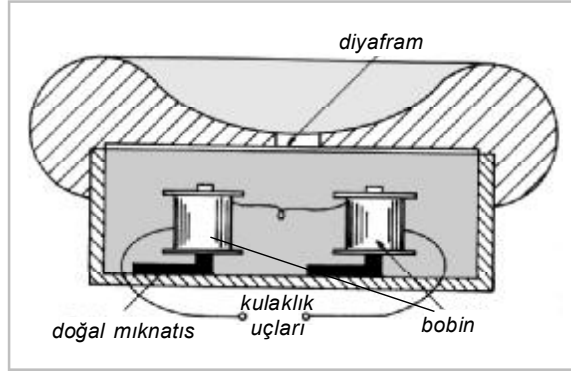
Günümüzde dinamik yapılı kulaklıklar çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

b. Kristal kulaklıklar: Kristal mikrofonun yapısına benzer. Yükselteçten kristale gelen ses sinyali kristali titreştirir. Bu da diyaframı, diyafram da havayı titreştirerek sesi oluşturur.

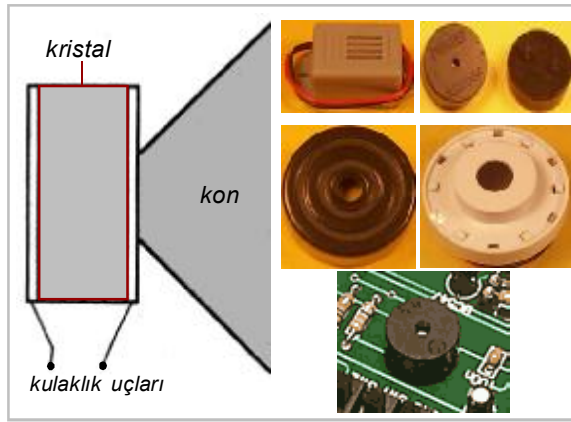
Şekil 7.23'te kristal kulaklığın yapısı basit olarak gösterilmiştir.

Uygulamada kullanılan kulaklıkların empedans değerleri 21, 32, 64 ohmdur. Kulaklık seçimi yapılırken empedans değeri çok önemlidir. Empedans uygun olmazsa ses verimi düşer.

c. Bazırlar (buzzer): Telefon, oyuncak, bilgisayar gibi elektronik devrelerde kullanılan, hoparlöre benzeyen ses üretme cihazıdır. 9-12 V DC gerilimle çalışan modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazırların bazılarının içinde melodi üretme devresi de vardır. Şekil 7.24'te bazı örnekleri verilmiştir.



Şekil 7.22: Dinamik yapılı (bobinli) kulaklıkların yapısı



Şekil 7.23: Kristal kulaklıkların yapısı

Şekil 7.24: Çeşitli bazırlar

Bölüm 8: Ek bilgiler ve devreler

Bazı diyotların elektriksel özellikleri

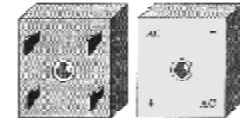
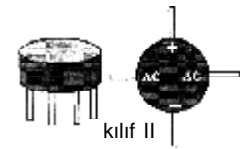
Tip	Gör.Si	Ters gerilim (V)	İleri yön akımı (mA)	Tepe akımı (mA)	Maksimum güç harcaması (mW)	İleri gerilim		Ters akım	
						(V)	(mA)	(μ A)	(V)
AA112	Ge	15	30	200	-	0,22	0,1	22	15
AA116	Ge	20	24	200	-	0,18	0,1	80	20
AA117	Ge	90	50	500	-	0,18	0,1	40	75
AA119	Ge	30	35	200	-	0,23	0,1	35	30
3A127	Si	60	100	200	250	0,97	100	0,02	00
3A147	Si	25	150	500	-	1	50	0,5	25
3AX13	Si	50	48	250	500	1,53	75	0,2	50
1N914	Si	100	75	-	500	1	10	25r	20
1N4148	Si	75	75	500	400	1	10	25r	20
1N4150	Si	50	200	-	-	1	200	0,1	50
1N4151	Si	50	200	2000	500	0,88	50	14r	50
1N4448	Si	75	150	-	500	1	100	25r	20

Bazı diyotların elektriksel özellikleri

Tip	Ters gerilim (V)	İleri yön akımı (A)	Tepe akımı	İleri gerilim (V)	Ters akım	
					(A)	(V)
BY126	650	1	40	1,2	1	-
BY127	1250	1	40	1,2	1	-
1N4001	50	1	50	1,3	1	10
1N4002	100	1	50	1,3	1	10
1N4003	200	1	50	1,3	1	10
1N4004	400	1	50	1,3	1	10
1N4005	600	1	50	1,3	1	10
1N4006	800	1	50	1,3	1	10
1N4007	1000	1	50	1,3	1	10
1N5400	50	3	100	1,1	3	20
1N5401	100	3	100	1,1	3	20
1N5402	200	3	100	1,1	3	20
1N5403	300	3	100	1,1	3	20
1N5404	400	3	100	1,1	3	20
1N5405	500	3	100	1,1	3	20
1N5406	600	3	100	1,1	3	20
1N5407	800	3	100	1,1	3	20
1N5408	1000	3	100	1,1	3	20

Köprü tipi diyotlar

Eleman adı	Özelligi	Kılıf
B20C200	25 V-0,2 A	-II
B40C500	40 V-0,5 A	-II
B40C1500	40 V-1,5 A	-II
B40C2200	40 V-2,2 A	-II
B40C3200	40 V-3,2 A	-II
B40C10000	40 V-10 A	-II
B80C1500	80 V-1,5 A	-II
B80C3000	80 V-3 A	-II
B80C5000	80 V-5 A	-II
B250C1500	250 V-1 A	-II
B250C1500	250 V-1,5 A	-II
B380C1000	380 V-1 A	II
B380C1500	380 V-1,5 A	-II
B200C3000	200 V-3 A	II



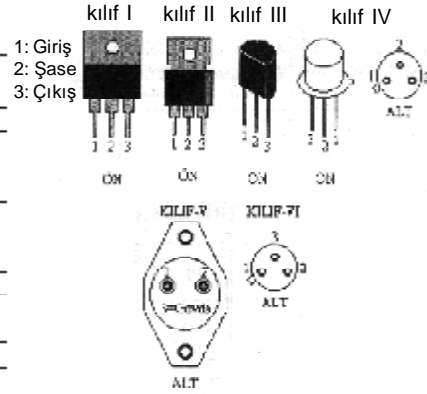
kılıf III

Zener diyotlar

Zener diyotun adı	Zener diyotun gerilimi (V)	Güç (mW)
BZX70	5,2	0,4
BZX71	5,6	0,4
BZX72	7,5	0,4
BZX73	8,2	0,4
BZX74	9,1	0,4
BZX75	10	0,4
BZX76	11	0,4
BZX77	12	0,4
BZX78	13	0,4
BZX79	15	0,4
BZX80	18	0,4
BZY90	4,7	0,38
BZY97	5,1	0,25
BZY98	5,2	0,38
BZY99	5,2	0,38
BZY80	5,8	0,38
BZY81	7,5	0,38
BZY82	8,2	0,38
BZY83	9,1	0,38
BZY84	12	0,38

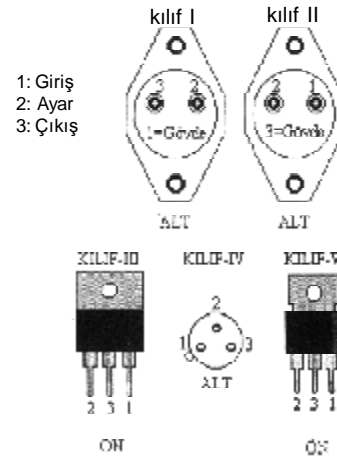
Pozitif çıkışlı regülatör entegreleri

Eleman adı	Çıkış gerilimi (V)								Çıkış akımı (A)	Kılıf	
	5	6	8	10	12	15	20	25			
78	x	x	x	x	x	x	x	x	25	1	I
78M	x	x	x	x	x	x	x	x	35	0,5	I
79	x	x	x	x	x	x	x	x	25	0,1	III, IV
LM100K	x	-	-	-	-	-	-	-	35	1	V
LM102H	-	-	-	-	-	-	-	-	25	0,2	V
LM123K	x	-	-	-	-	-	-	-	35	5	V
LM124K	x	-	-	-	-	-	-	-	25	1	V
LM200K	x	-	-	-	-	-	-	-	35	1	V
LM206H	x	-	-	-	-	-	-	-	35	0,1	V
LM523K	x	-	-	-	-	-	-	-	35	5	V
LM524K	x	-	-	-	-	-	-	-	25	1	V
u34CT	x	-	-	-	-	-	-	-	35	1	I



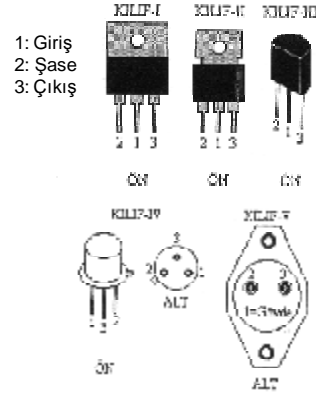
Pozitif çıkışlı ayarlanabilir regülatör entegreleri

Eleman adı	Giriş gerilimi	Çıkış gerilimi	Çıkış akımı	Kılıf
LM196K	20 V	1,25....15 V	10 A	I
LM396K	20 V	1,25....15 V	10 A	I
LM138K	35 V	1,2....32 V	5 A	II
LM338K	35 V	1,2....32 V	5 A	II
LM150K	35 V	1,2....33 V	3 A	II
LM350K	35 V	1,2....33 V	3 A	II
LM350T	35 V	1,2....33 V	3 A	III
LM117K	40 V	1,2....37 V	1,5 A	II
LM317K	40 V	1,2....37 V	1,5 A	II
LM317T	40 V	1,2....37 V	1,5 A	III
LM117H	40 V	1,2....37 V	0,5 A	IV
LM317H	60 V	1,2....57 V	0,5 A	IV
LM317MP	40 V	1,2....37 V	0,5 A	V



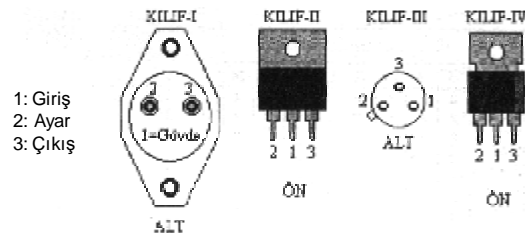
Negatif çıkışlı regülatör entegreleri

Eleman adı	Çıkış gerilimi (V)								Giriş gerilimi (V)	Çıkış akımı (A)	Kılıf
	-5	-6	-8	-9	-12	-15	-18	-24			
79	x	x	x	x	x	x	x	x	-35	1	I
79M	x	x	x	x	x	x	x	x	-35	0,5	II
79L	x	x	x	x	x	x	x	x	-35	0,1	III, IV
LM120K	x	-	-	-	x	x	-	-	-25	1,5	V
LM200K	x	-	-	-	x	x	-	-	-25	1,5	V
LM220MP	x	-	-	-	x	x	-	-	-25	0,5	II
LM120H	x	-	-	-	x	x	-	-	-25	0,2	V
LM320H	x	-	-	-	x	x	-	-	-25	0,2	V
LM320T	x	-	-	-	x	x	-	-	-25	1,5	I
LM145K	x	-	-	-	-	-	-	-	-20	3	V
LM345K	x	-	-	-	-	-	-	-	-20	3	V



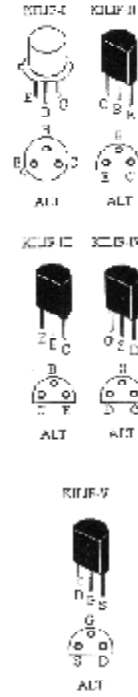
Negatif çıkışlı ayarlanabilir regülatör entegreleri

Eleman adı	Giriş gerilimi	Çıkış gerilimi	Çıkış akımı	Kılıf
LM133K	-35V	-1,2....-32 V	3 A	I
LM333K	-35V	-1,2....-32 V	3 A	I
LM333T	-35V	-1,2....-32 V	3 A	II
LM137K	-40V	-1,2....-37 V	1,5 A	I
LM337K	-40V	-1,2....-37 V	1,5 A	I
LM337T	-40V	-1,2....-37 V	1,5 A	II
LM137H	-40V	-1,2....-37 V	0,5 A	III
LM337H	-40V	-1,2....-37 V	0,5 A	III
LM337MP	-40V	-1,2....-37 V	0,5 A	IV



Düşük güçlü silisyum transistörler

Transistör Numarası	Eleman Tipi	Gerilim (V)	Akım (mA)	Güç (mW)	Frekans (MHz)	Kılıf
3C117	NPN	50	100	300	300	I
3C136	NPN	30	100	300	300	I
3C139	NPN	20	100	300	200	I
3C141	NPN	60	1000	700	<50	I
3C151	PNP	50	1000	700	<50	I
3C177	PNP	50	100	300	130	I
3C237	NPN	50	100	300	250	I
3C238	NPN	20	100	300	250	I
3C256	PNP	34	100	300	130	I
3C307	PNP	50	100	300	130	I
3C317	NPN	50	150	300	160	II
3C327	PNP	50	600	625	100	I
3C337	NPN	50	800	625	100	I
3C546	NPN	30	100	300	300	I
3C547	NPN	50	100	500	300	I
3C549	NPN	30	100	500	300	I
3C550	NPN	50	100	500	300	I
3C556	PNP	30	100	500	150	I
3C557	NPN	50	100	500	150	I
3C558	PNP	30	100	500	150	I
3C550	PNP	50	100	500	150	I
3L256	NPN-EI	-	-	-	1000	IV
3L397	NPN	200	500	625	<0	II
3F497	PNP	200	500	625	50	II
3FT-9B	PNP	400	1000	1000	<25	I
3P170	N-MOSFET	30	500	800	-	V
2N2905	PNP	50	600	800	<200	I
2N2907	PNP	50	600	400		I



A. Uygulamada kullanılan çeşitli transformatörler

1. Besleme transformatörü: Elektrikli ve elektronik yapıllı cihazların beslenmesinde kullanılan trafo çeşididir. Kitabın 5. bölümünde bu eleman hakkında geniş bilgi verilmiştir.

2. İzolasyon (yalıtım) transformatörü: Alternatif akımla yapılan enerji dağıtım sisteminde kablodan tasarruf etmek için canlı ucun birisi toprağa bağlanır. Bu yönteme "işletme topraklaması" denir. Üretcin (alternatör) bir ucunun toprağa irtibatlandırılmış olması diğer uç ile toprak arasında kalan canlıların vücudundan akım dolaşmasına neden olur. Elektriklin canlıları çarpmaması için primer ve sekonder sarım sayıları aynı olan izolasyon trafoları kullanılır. Örneğin eve gelen 220 voltluk gerilim 220 V/220 V özellikli bir trafodan geçirilir ve sekonder uçlarından birisi toprağa bağlanmazsa çarpılma olayı söz konusu olmaz. (Sadece trafonun çıkışının iki ucuna dokunulduğunda çarpılma olur.)

Güvenliğe çok önem verilen ev iş yeri ve bazı makinelerde izolasyon trafosu kullanılır. Bir evde bulunan elektrikli aygıtların toplam gücü belirlenerek bir izolasyon trafosu bağlantısı yapılırsa çarpılma tehlikesi ortadan kaldırılır. Ortalama bir ev için bile 1-3 kW'lık trafoya ihtiyaç duyulur. Bu büyüklükte bir trafonun maliyeti çok yüksek olacağından evlerde izolasyon trafosu kullanımı yok denecek kadar azdır. Ayrıca trafo % 5-10 arası elektriği kendisi harcayacağından enerji tüketim maliyeti yükselecektir.

3. Empedans trafosu: Elektronik devrelerde bir katın empedansını diğer katın empedansına uygun hâle getirmek için kullanılan küçük boyutlu, iki sarımlı trafo çeşididir. Daha çok eski (20-30 yıl önce üretilmiş) devrelerde karşımıza çıkar. Dijital elektroniğin yaygınlaşmasıyla birlikte empedans uygunlaştırma işlemi daha pratik devrelerle gerçekleştirilebilmektedir.

4. Hat transformatörü: Seslendirme tesisatlarında sinyallerin uzak mesafelere iletilmesinde kullanılan trafodur. Anfinin içinde bulunan hat trafosu düşük genlikli sinyalleri büyütüp uzakta bulunan gerilim düşürücü özellikteki hat trafosuna gönderir. Bilindiği gibi elektrik sinyallerinin gerilimi yükseltildiği zaman hattın geçen akım azalır. Akımın azalması hatlarda oluşan gerilim düşümü kayıplarını azaltır.

5. Muayyen frekans transformatörü: Radyo, TV, telsiz gibi cihazların ara frekans (IF) katında kullanılan küçük boyutlu, ferrit nüveli, nüvesi tornavidayla ayarlanabilen trafodur (bobindir).

6. Ototransformatörü (varyak): Tek sargılı, çıkışı ayarlanabilen trafo çeşididir. Bu trafolar pot ya da reostaya benzetilebilir. Çıkıştan alınan gerilim baz modellerde sabit, bazılarında kademeli, bazılarında ise ayarlıdır.

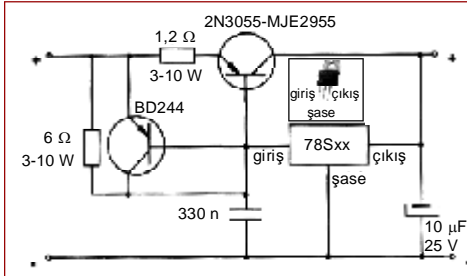
7. Darbe (pals) transformatörü: Özellikle tristör, triyak gibi endüstriyel kontrol amaçlı kullanılan devre elemanlarının tetikleme (G) ucuna çalışma gerilimi farklı bir devreden tetikleme pulsü uygulamak için kullanılan, küçük boyutlu trafodur. Optokuplörlerin yaygınlaşmasıyla uygulama alanından kalkmıştır.

B. Akımı düşük ve orta değerli diyotların elektriksel özellikleri

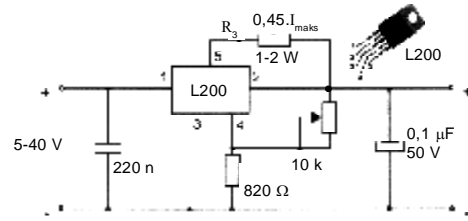
Külçe	Diyotların ortalama tepe akım değerleri															
	1,0	3,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	100	
V (V)	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	1N4008	1N4009	1N4010	1N4011	1N4012	1N4013	1N4014	1N4015	1N4016
20	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	1N4008	1N4009	1N4010	1N4011	1N4012	1N4013	1N4014	1N4015	1N4016
50	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	1N4008	1N4009	1N4010	1N4011	1N4012	1N4013	1N4014	1N4015	1N4016
100	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	1N4008	1N4009	1N4010	1N4011	1N4012	1N4013	1N4014	1N4015	1N4016
200	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	1N4008	1N4009	1N4010	1N4011	1N4012	1N4013	1N4014	1N4015	1N4016
400	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	1N4008	1N4009	1N4010	1N4011	1N4012	1N4013	1N4014	1N4015	1N4016
800	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	1N4008	1N4009	1N4010	1N4011	1N4012	1N4013	1N4014	1N4015	1N4016
300	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	1N4008	1N4009	1N4010	1N4011	1N4012	1N4013	1N4014	1N4015	1N4016
1000	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	1N4008	1N4009	1N4010	1N4011	1N4012	1N4013	1N4014	1N4015	1N4016
I (Amper)	20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
T (°C)	75	75	75	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
T _c (°C)	-	-	-	-	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
T _c (Max. °C)	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175

C. Bazı köprü tipi diyotların elektriksel özellikleri

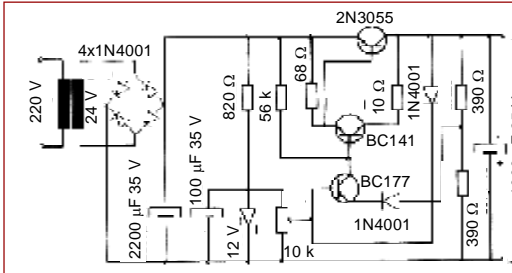
KILIF	Çıkış akımı (amper)								
	1,0	1,0	2,0	4,0	8,0	12	30	35	
V (volt)									
50	MDA926A2	MDA10CA	MDA210	MDA970-1	MDA800	MDA970-1	MDA1200	MDA990-1	MDA990-1
100	MDA926A3	MDA101A	MDA231	MDA970-2	MDA801	MDA970-2	MDA1201	MDA990-2	MDA990-2
200	MDA926A4	MDA102A	MDA232	MDA970-3	MDA802	MDA970-3	MDA1202	MDA990-3	MDA990-3
400	MDA926A6	MDA104A	MDA204	MDA970-5	MDA804	MDA970-5	MDA1204	MDA990-5	MDA990-5
800	MDA926A7	MDA106A	MDA206	-	MDA806	-	MDA1206	MDA990-6	MDA990-6
800	-	MDA108A	MDA208	-	-	-	-	-	MDA990-8
1300	-	MDA110A	MDA210	-	-	-	-	-	MDA990-10
I _l (Amper)	32	45	60	100	300	100	300	300	400
T _l (°C)	75	65	65	25	-	-	-	-	-
T _l (°C)	-	-	-	-	100	55	100	55	55
T _l (°C)	175	150	175	150	175	150	175	175	175



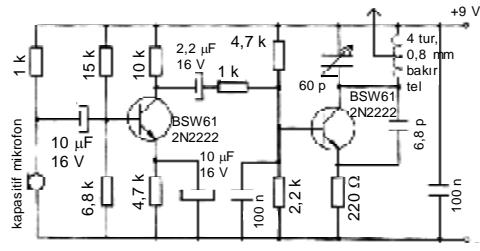
Şekil 8.1: 78Sxx regülâtör entegreli, pozitif çıkışlı, 3 A akım verebilen güç kaynağı devresi



Şekil 8.2: L200 regülâtör entegreli, ayarlı, pozitif çıkışlı, 1,5 A akım verebilen güç kaynağı devresi



Şekil 8.3: 0-24 V ayarlı çıkışlı, regüleli DC güç kaynağı devresi



Şekil 8.4: İki transistörlü FM verici devresi

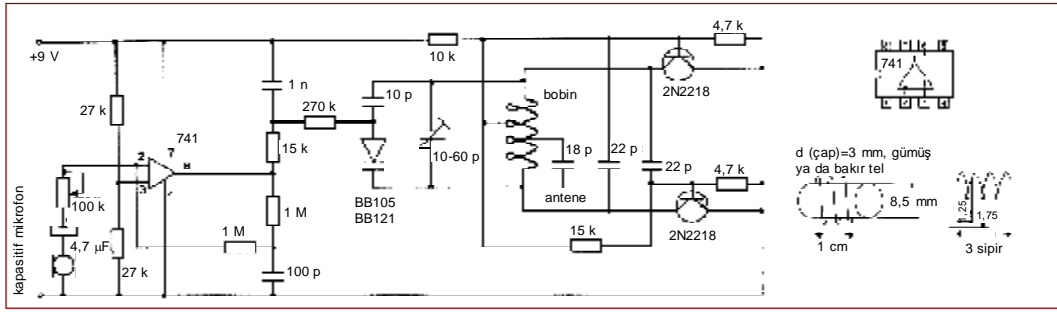
Ç. Çeşitli devreler

1. **78SXX regülâtör entegreli, pozitif çıkışlı, 3 amper akım verebilen güç kaynağı devresi:** Şekil 8.1'de verilen devrede kullanılan regülâtör entegresi 78S05, 78S08, 78S12, 78S15, 78S24 olabilir.

2. **L200 regülâtör entegreli, ayarlı, pozitif çıkışlı, kısa devre korumalı, 1,5 amper akım verebilen güç kaynağı devresi:** Şekil 8.2'de verilen devrede kullanılan L200 adlı regülâtör entegreli DC güç kaynağı devresi 2,85-30 V arasında ayarlı çıkış gerilimi verebilir. Devrenin girişi ise DC 5-40 V arasında olabilir. Çıkış akımını sınırlamayı sağlayan R₃'ün değeri çıkıştan alınmak istenen maksimum akım değerinin 0,45 ile çarpılmasıyla bulunur.

3. **0-24 V ayarlı çıkışlı, regüleli DC güç kaynağı devresi:** Şekil 8.3'te verilen devre girişine uygulanan 24 volt 1 amperlik DC gerilimi 0-24 V ayarlı hâle getirir.

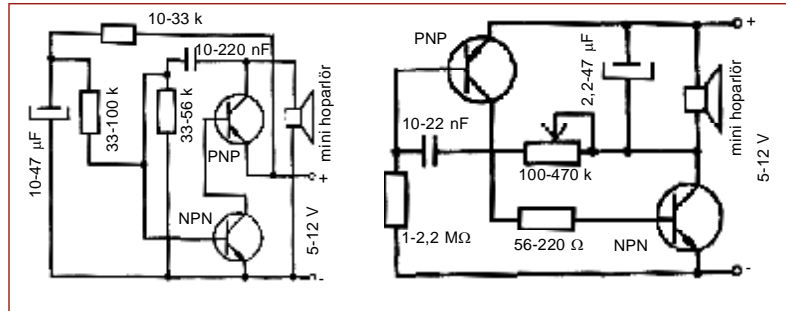
4. **İki transistörlü FM verici devresi:** Şekil 8.4'te verilen devre kapalı alanda 100-200 metreye, açık alanda ise 1 km'ye yayın yapabilir. Devrede kullanılan bobin tükenmez kalem çapında, 0,80 mm kalınlıktaki telden 4 sipir sarımlıdır.



Şekil 8.5: 741 op-amp'li FM verici devresi

6. 741 op-amp'li FM verici devresi: Şekil 8.5'te verilen devre ile 1 km'lik mesafeye net olarak yayın yapılabilir.

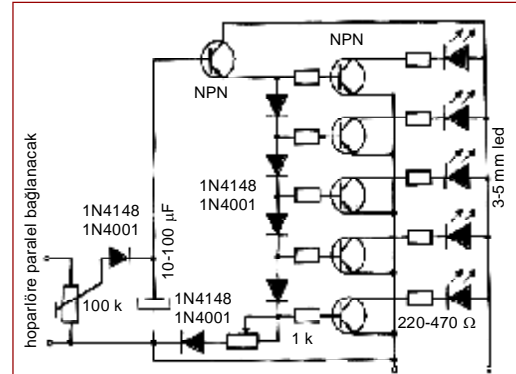
7. İki transistörlü siren (osilatör) devreleri: Şekil 8.6 ve şekil 8.7'de verilen devreler kullanılan direnç ve kondansatörlerin değerine bağlı olarak salınımlı sinyal üretir. Salınımlı sinyal hoparlöre uygulanırsa siren sesi alınır.



Şekil 8.6: İki transistörlü siren (osilatör) devresi-I

Şekil 8.7: İki transistörlü siren (osilatör) devresi-II

8. Transistörlü vu-metre devresi: Şekil 8.8'de verilen devre girişe gelen sesin elektriksel şiddetine göre ledleri çalıştırır. Devrenin giriş uçları anfinin çıkışına bağlanan hoparlöre paralel olarak bağlanmalıdır.



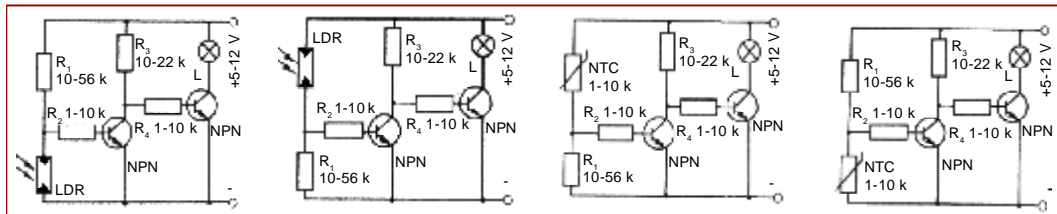
Şekil 8.8: Transistörlü vu-metre devresi

9. Kaskad bağlı iki transistör ve LDR'li aydınlıkta çalışan devre: Şekil 8.9'da verilen devrede ortam aydınlıkken LDR üzerinde gerilim oluşmaz ve T_1 kesimde kalır. T_1 kesimdeyken bu elemanın C ucundaki gerilim yüksek olacağından T_2 iletime geçer ve lâmba yanar.

10. Kaskad bağlı iki transistör ve LDR'li karanlıkta çalışan devre: Şekil 8.10'da verilen devrede ortam karanlıkken LDR üzerinden akım geçmez ve R_1 üzerinde gerilim oluşmaz, T_1 kesimde kalır. T_1 kesimdeyken bu elemanın C ucundaki gerilim yüksek olacağından T_2 iletime geçer ve lâmba yanar.

11. Kaskad bağlı iki transistör ve NTC'li soğukta çalışan devre: Şekil 8.11'de verilen devrede ortam soğukken NTC üzerinden akım geçmez ve R_1 üzerinde gerilim oluşmaz, T_1 kesimde kalır. T_1 kesimdeyken bu elemanın C ucundaki gerilim yüksek olacağından T_2 iletime geçer ve lâmba yanar.

12. Kaskad bağlı iki transistör ve NTC'li sıcakta çalışan devre: Şekil 8.12'de verilen devrede ortam sıcakken NTC üzerinden akım geçer, T_1 kesimde kalır. T_1 kesimdeyken bu elemanın C ucundaki gerilim yüksek olacağından T_2 iletime geçer ve lâmba yanar.



Şekil 8.9: Kaskad bağlı iki transistör ve LDR'li aydınlıkta çalışan devre

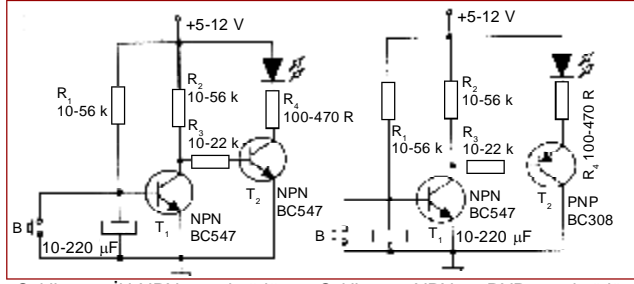
Şekil 8.10: Kaskad bağlı iki transistör ve LDR'li karanlıkta çalışan devre

Şekil 8.11: Kaskad bağlı iki transistör ve NTC'li soğukta çalışan devre

Şekil 8.12: Kaskad bağlı iki transistör ve NTC'li sıcakta çalışan devre

13. İki NPN transistörlü turn-off tipi zamanlayıcı devresi: Şekil 8.13'te verilen devreye DC uygulandığında C dolmaya başlar. C dolunca T_1 iletime geçer. T_1 'in C noktasının gerilimi düşeceğinden T_2 kesime gider ve led söner. B butonuna basıldığında C boşalır ve devre resetlenir (ilk hâline, başa döner).

14. İki NPN transistörlü turn-off tipi zamanlayıcı devresi: Şekil 8.14'te verilen devreye DC uygulandığında C dolmaya başlar. C dolunca T_1 iletime geçer. T_1 'in iletime geçmesi PNP tipi T_2 transistörünün B ucuna eksi (-) gelmesini sağlar ve bu eleman iletime geçerek ledin yanmasını sağlar. B butonuna basıldığında C boşalır ve devre resetlenir (ilk hâline, başa döner).



Şekil 8.13: İki NPN transistörlü turn-off tipi zamanlayıcı devresi

Şekil 8.14: NPN ve PNP transistörlü turn-on tipi zamanlayıcı devresi

Sözlük

A
akım: İletkenden saniyede geçen elektrik yükü miktarı.
ampermetre: Akım ölçen aygıt.
amplifikatör: Yükselteç.
analog: Örneksel, sürekliliği değişen sinyal.
anma değeri: Herhangi bir elektronik devre elemanının, yük, akım, gerilim gibi çalışma değerlerine ilişkin sınır değerleri. *Nominal değer.*
anot: Artı uç.
azınlık taşıyıcı: N tipi maddede oyuklara, P tipi maddede elektronlara verilen ad.
B
base (beyz): Taban, giriş.
bipolar: Akım taşıyıcıların P ve N gibi iki ayrı tipte yarı iletkenlerden geçmesi.
bobin: İletkenlerin yan yana ya da üst üste sarılmasıyla elde edilen eleman.
boşaltılmış (fakirleşmiş, depletion) bölge: P-N birleşim yüzeyinde elektron, oyuk birleşmesi ya da ters polarlama sonucu oluşan nötr bölge.
bridge rectifier: Köprü diyot.
C
calibration: Ayar.
capacity: Kondansatör, kapasite.
cermet: Ceramik (seramik) ve metal sözcüklerinin birleşiminden oluşmuş kelime.
coil: Bobin.
collector: Toplayıcı, kolektör.
cone (kon): Diyafram, membran.
cut-off: Kesim.
Ç
çalışma noktası: Transistörlü yükselteçlerde beyz akımına göre değişen özellik.
çoğunluk taşıyıcı: N tipi maddede elektronlara, P tipi maddede oyuklara verilen ad.
D
darlington bağlantı: İki transistörün akım kazancını artırmak için arka arkaya bağlanması.
dielektrik: Yalıtkan, iletken olmayan.
diyot: İki yarı iletkenin birleşiminden oluşmuş eleman.
display: Gösterge.
distorsiyon: Bozulma, bir dalga biçiminde ortaya çıkan istenmeyen durum.
diyafram: Membran, kon, esnek zar.
doğrultmaç diyodu: AC sinyalleri DC sinyallere çeviren eleman.
doyum (saturation): Bir elektronik devre elemanının çıkış akımının, uygulanan gerilimden bağımsız olarak sabit bir düzeye

ulaşması.

E
emiter: Yayıcı, gönderici.
empedans: Bobinin AC'ye gösterdiği direnç. Empedans, elemana uygulanan sinyalin frekansına göre değişir.
F
filtre: AC özellikli sinyalleri düzelter, istenilen frekansları geçirmeye ya da bastırmaya yarayan eleman.
frekans: AC özellikli sinyallerin saniyedeki yön değiştirme sayısı.
G
gain: Kazanç. Yükseltecin çıkış gücü ya da geriliminin, giriş gücü ya da gerilimine oranı. Bu oran genellikle dB (desibel) cinsinden ya da oran olarak ifade edilir.
genlik: Sinyallerin büyüklüğü.
geri besleme (feed back): Yükselteçlerin çıkışından alınan sinyallerin bir kısmının girişe uygulanması. Bu işlem pozitif ve negatif geri besleme olarak uygulanabilir.
H
heat sink: Soğutucu.
hoparlör: Elektrik sinyallerini ses sinyallerine çeviren eleman.
I - İ
input: Giriş.
J
jonksiyon (junction): Birleşim.
K
kademeli direnç: Bir gövde içine konmuş çeşitli sayıdaki dirençten oluşmuş eleman.
kapasite: Kondansatör, sığa.
katot: Eksi uç.
kondansatör: Elektrik yüklerini depolayan eleman.
kuadro: Dört yollu ses yayın sistemi.
L
led: Işık yayan diyot.
lineer: Doğrusal.
load: Yük.
M
manuel: Elle kumanda.
membran: İnce, esnek zar tabakası.
mikrofon: Ses sinyallerini elektrik sinyallerine çeviren eleman.
mono: Tek yollu ses yayın sistemi.
multimetre: Akım, gerilim, direnç, ısı, frekans vb. ölçebilen çok işlevli araç.
N
negatif: Eksi, şase, toprak.
NTC: Isındıkça direnci azalanan eleman.
N tipi yarı iletken: Eksi yüklü yarı iletken. Elektron yönünden zengin karışım.
O
off: Devrenin akımsız (açık) durumu.
omik yük: Direnç.
on: Devrenin akımlı (kapalı) durumu.
open circuit: Açık devre.
output: Çıkış.

P
peak to peak value (p-p): Tepeden tepeye değer.
periyodik: Belli aralıklarla tekrarlanan.
periyot: Bir sayıklın oluşması için geçen süre.
phase: Faz. Bir sinyalin başka bir referansa göre kaymasını gösteren açı.
polarma: Kutuplama, uyarma, tetikleme.
potansiyometre: Direnç değeri elle ayarlanan eleman.
P tipi yarı iletken: Artı yüklü yarı iletken. Oyuk yönünden zengin karışım.
power amplifier: Güç yükselteci.
power: Güç.
preamplifikatör: Ön yükselteç.
PTC: Isındıkça direnci yükselen eleman.
R
reosta: Yüksek güçlü ayarlı direnç.
resistance (rezistans): Direnç.
S
sabit direnç: Direnç değeri değiştirilemeyen eleman.
saturation: Doyma, doyum.
sipir: Bobinin sarım sayısı.
SMD: Surface mounted device, yüzeye monte edilen eleman.
stabilizasyon: Kararlılık.
stereo: İki kanal. İki yollu yayın sistemi.
stereo potansiyometre: İki adet potansiyometrenin bir gövde içinde birleştirilmesiyle elde edilmiş ayarlı direnç.
switch (sivici): Anahtar.
T
temperature: Sıcaklık.
ters polarlama: Besleme kaynağının uçlarının devre elemanına ters olarak uygulanması.
tone: Ton, sesin özelliği.
transistör: Üç yarı iletkenin birleşiminden oluşmuş devre elemanı.
turn-off: Devreyi açma.
turn-on: Devreyi kapama.
tweeter: Tiz ses hoparlörü.
U
ultra: Çok yüksek.
V
valans elektron: Atomların en dış yörüngesinde bulunan ve küçük bir enerji uygulanması hâlinde kolayca koparak serbest hâle geçen elektron.
W
watt: Güç birimi.
wattmetre: Güç ölçmede kullanılan alet.
Y
yalıtkan: Elektrik akımını geçirmeyen madde.
yarı iletken: Son yörüngesinde dört elektron bulunduran madde (silisyum, germanyum).
Z
zener diyot: Gerilim sabitleyici diyot.
zener noktası: Zener diyodun ters polarlama altında çalışırken iletime geçtiği nokta.

Uygulamada yaygın olarak kullanılan elektronik devre elemanlarının değerleri

1/4W metal film ve karbon dirençler: 1-1,2-1,8-2,2-2,7-3,3-3,9-4,7-5,6-6,8-8,2-10-12-15-18-22-27-33-39-47-56-68-82-100-120-180-220-270-330-390-470-560-680-820-1 k-1,2 k-1,5 k-1,8 k-2,2 k-2,7 k-3,3k-3,9 k-4,7 k-5,6 k-6,8 k-8,2 k-10 k-12k-15k-18k-22k-27k-33k-39k-47k-56k-68k-82k-100k-120k-150k-180k-220k-270k-330k-390k-470k-560k-680k-820k-1M-1,2M-1,5M-1,8M-2,2M-2,7M-3,3M-3,9M-4,7M-5,6M-6,8M-8,2M-10M.

1/2W metal film ve karbon dirençler: 1-1,2-1,5-1,8-2,2-2,7-3,3-3,9-4,7-5,6-6,8-8,2-10-12-15-18-22-27-33-39-47-56-68-82-100-120-150-180-220-270-330-390-470-560-680-820-1k-1,2k-1,5k-1,8k-2,2k-2,7k-3,3k-3,9k-4,7k-5,6k-6,8k-8,2k-10k-12k-15k-18k-22k-27k-33k-39k-47k-56k-68k-82k-100k-120k-150k-180k-220k-270k-330k-390k-470k-560k-680k-820k-1M-1,2M-1,5M-1,8M-2,2M-2,7M-3,3M-3,9M-4,7M-5,6M-6,8M-8,2M-10M.

1 W metal film ve karbon dirençler: 10-12-15-18-22-27-33-39-47-56-68-82-100-120-150-180-220-270-330-390-470-560-680-820-1k-1,2k-1,5k-1,8k-2,2k-2,7k-3,3k-3,9k-4,7k-5,6k-6,8k-8,2k-10k-12k-15k-18k-22k-27k-33k-39k-47k-56k-68k-82k-100k-120k-150k-180k-220k-270k-330k-390k-470k-560k-680k-820k-1M.

5 W metal film ve karbon dirençler: 1-1,2-1,5-1,8-2,2-2,7-3,3-3,9-4,7-5,6-6,8-8,2-10-12-15-18-22-27-33-39-47-56-68-82-100-120-150-180-220-270-330-390-470-560-680-820-1k.

Entegre tipi dirençler: 100 ohm, 4 dirençli, 5 ayaklı-150 ohm, 4 dirençli, 5 ayaklı-220 ohm, 4 dirençli, 5 ayaklı-330 ohm, 4 dirençli, 5 ayaklı-470 ohm, 4 dirençli, 5 ayaklı-1 k, 4 dirençli, 5 ayaklı-2,2k,4 dirençli, 5 ayaklı-3,3 k, 4 dirençli, 5 ayaklı-4,7 k, 4 dirençli, 5 ayaklı-10k, 4 dirençli, 5 ayaklı-15k, 4 dirençli, 5 ayaklı-22 k, 4 dirençli, 5 ayaklı-33 k, 4 dirençli, 5 ayaklı-47 k, 4 dirençli, 5 ayaklı-100k, 4 dirençli, 5 ayaklı-150 k, 4 dirençli, 5 ayaklı-220 k, 4 dirençli, 5 ayaklı-330k, 4 dirençli, 5 ayaklı-100 ohm , 9 dirençli, 9 ayaklı-220 ohm , 9 dirençli, 10 ayaklı-330ohm , 9 dirençli, 10 ayaklı-470ohm , 9 dirençli, 10 ayaklı-1 kohm, 9 dirençli, 10 ayaklı-2,2kohm, 9 dirençli, 10 ayaklı-4,7kohm, 9 dirençli, 10 ayaklı-10kohm, 9 dirençli, 10 ayaklı-47kohm, 9 dirençli, 10 ayaklı-100kohm, 9 dirençli, 10 ayaklı.

1/2W minyatür potansiyometreler (yatay): 100R-500R-1k-1,5k-10k-20k-30k-50k-100k-300k-470k-2M

1/2W minyatür potansiyometreler (dikey): 100R-500R-1k-1,5k-2k-5k-10k-20k-30k-50k-100k-300k-470k-2M.

1/2W doğrusal (lineer) potansiyometre: 1k-5k-10k-20-50-100k-250k-470k.

1/2 W yatay tip cermet potansiyometreler: 500R-1k-5k-10k-20k-25k-50k-100k-500k.

1/2 W dikey tip cermet potansiyometreler: 500R-1k-5k-10k-20k-25k-50k-100k-500k.

1/2W lineer potlar: 1k-5k-10k-20k-50k-100k-250k-470k.

Seramik kondansatörler: 1pF 50 V-1,2pF 50 V-1,5pF 50 V-1,8pF 50 V-2,2pF 50 V-2,7pF 50 V-3,3pF 50 V-3,9pF 50 V-4,7pF 50 V-5,6pF 50 V-6,8pF 50 V-8,2pF 50 V-10pF 50 V-12pF 50 V-15pF 50 V-18pF 50 V-22pF 50 V-27pF 50 V-33pF 50 V-39pF 50 V-47pF 50 V-56pF 50 V-68pF 50 V-82pF 50 V-100pF 50 V-120pF 50 V-150pF 50 V-180pF 50 V-220pF 50 V-270pF 50 V-330pF 50 V-390pF 50 V-470pF 50 V-560pF 50 V-680pF 50 V-820pF 50 V-0,001µF 50 V-0,002µF 50 V-0,003µF 50 V-0,004µF 50 V-0,005µF 50 V-0,006µF 50 V-0,008µF 50 V-0,01µF 50 V-0,02µF 50 V-0,047µF 50 V-0,1µF 50 V-0,15µF 50 V-0,22µF 50 V-0,33µF 50 V-0,47µF 50 V-0,68µF 50 V-1µF 50 V-100pF 50 V-100pF 1kV-100pF 2kV-100pF 4kV-150pF 400 V-150pF 2kV-150pF 4kV-220pF 500 V-220pF 1kV-220pF 2kV-470pF 500 V-470pF 1k V-470pF 2kV-470pF 3kV-680pF 3kV-820pF 2kV-1000pF 500 V-1000pF 1kV-1000pF 2kV-1000pF 3kV- 1200pF 2kV-1500pF 2kV-1800pF 2kV-2200pF 1kV-2200pF 3kV-4700pF 1kV-4700pF 3kV-0,01µF 500 V-0,01µF 1k V.

Monolitik seramik kondansatörler: 10pF 50 V-15pF 50 V-22pF 50 V-33pF 50 V-47pF 50 V-56pF 50 V-68pF 50 V-100pF 50 V-150pF 50 V-220pF 50 V-330pF 50 V-470pF 50 V-560pF 50 V-680pF 50 V- 1000pF 50 V-1500pF 50 V-2200pF 50 V-3300pF 50 V-4700pF 50 V-5600pF 50 V-6800pF 50 V-0,01µF 50 V-0,015µF 50 V-0,015µF 50 V-0,022µF 50 V-0,033µF 50 V-0,047µF 50 V-0,10µF 50 V-0,15µF 50 V-0,22µF 50 V-0,33µF 50 V-0,47µF 50 V-1,0µF 50 V-2,2µF 50 V.

Elektrolitik kondansatörler: 1µF 50 V-2,2µF 50 V-3,3µF 50 V-4,7µF 50 V-10µF 16 V-10µF 35 V-10µF 50 V-22µF 50 V-33µF 50 V-47µF 10 V-47µF 16 V-47µF 25 V-47µF 50 V-100µF 16 V-100µF 25 V-100µF 50 V-220µF 10 V-220µF-220µF 50 V-330µF 25 V-470µF 16 V-470µF 25 V-470µF 50 V-1000µF 16 V-1000µF 25 V-1000µF 50 V-2200µF 16 V-2200µF 25 V-3300µF 25 V-4700µF 25 V-0,001µF 100 V-0,0012µF 100 V-0,0015µF 100 V-0,0018µF 100 V-0,002µF 100 V-0,0022µF 100 V-0,0027µF 100 V-0,0033µF 100 V-0,0039µF 100 V-0,0047µF 100 V-0,0056µF 100 V-0,0068µF 100 V-0,0082µF 100 V-0,01µF 100 V-0,012µF 100 V-0,015µF 100 V-0,018µF 100 V-0,022µF 100 V-0,027µF 100 V-0,033µF 100 V-0,039µF 100 V-

0,047µF 100 V-0,056µF 100 V-0,068µF 100 V-0,082µF 100 V-0,1µF 100 V-0,12µF 100 V-0,15µF 100 V-0,18µF 100 V-0,22µF 100 V-0,27µF 100 V-0,330µF 100 V-0,39µF 100 V-0,47µF 100 V-0,56µF 100 V-0,68µF 100 V-0,82µF 100 V-1µF 100 V-1,5µF 100 V-2,2µF 100 V-0,001µF 250 V-0,001µF 400 V-0,001µF 630 V-0,0015µF-250 V-0,0015µF 400 V-0,0022µF 250 V-0,0022µF 400 V-0,0033µF 250 V-0,0033µF 400 V-0,0047µF 250 V-0,0047µF 400 V-0,0068µF 250 V-0,0068µF 400 V-0,01µF 250 V-0,01µF 400 V-0,01µF 630 V-0,022µF 250 V-0,022µF 400 V-0,033µF 250 V-0,033µF 400 V-0,047µF 250 V-0,047µF 400 V-0,1µF 250 V-0,1µF 400 V-0,1µF 630 V.

Tantalyum kondansatörler: 0,1µF 35 V-0,22µF 35 V-0,33µF 35 V-0,47µF 35 V-1µF 35 V-2,2µF 16 V-2,2µF 35 V-3,3µF 35 V-4,7µF 16 V-4,7µF 35 V-6,8µF 35 V-10µF 16 V-10µF 35 V-22µF 6,3 V-22µF 16 V-22µF 25 V-33µF 25 V-47µF 16 V-47µF 25 V.

Trimer kondansatörler: 4-34 pF-6-70 pF-8,5-10 pF-8,5-120 pF.

Schottky diyotlar: 1N5817-1N5818-1N5819-1N5820-1N5821-1N5822.

Hızlı geri alma (düzleme) diyotları: FR101 50 V 1A-FR102 100 V 1A-FR103 200 V 1A-FR104 400 V-FR105 600 V 1A-FR106 800 V 1A-FR107 1000 V 1A-FR301 50 V 3A-FR302 100 V 3A-FR303 200 V 3A-FR304 400 V 3A-FR307 1000 V 3A.

W serisi köprü diyotlar: W02M 200 V 1A-W04M 400 V 1A-W06M 600 V 1A-W08M 800 V 1A-W10M 1000 V 1A-2W02M 200 V 2A-2W04M 400 V 2A-2W06M 600 V 2A-2W08M 800 V 2A-2W10M 1000 V 2A.

DF serisi köprü diyotlar: DF01M 100 V 1A-DF02M 200 V 1A-DF04M 400 V 1A-DF06M 600 V 1A.

BR serisi köprü diyotlar: BR81 100 V 8A-BR82 200 V 8A-BR84 400 V 8A-BR86 600 V 8A-BR88 800 V 8A-BR10 1000 V 8A.

MB serisi köprü diyotlar: MB151 100 V 15A-MB152 200 V 15A-MB154 400 V 15A-MB156 600 V 15A-MB158 800 V 15A-MB1510 1000 V 15A-MB251 100 V 25A-MB252 200 V 25A-MB254 400 V 25A-MB256 600 V 25A-MB258 800 V 25A-1000 V 25A-MB351 100 V 35A-MB352 200 V 35A-MB354 400 V 35A-MB356 600 V 35A-MB358 800 V 35A-MB3510 1000 V 35A.

400mW zener diyotlar: 1N746 3,3 V-1N747 3,6 V-1N748 3,9 V-1N750 4,7 V-1N751 5,1 V-1N752 5,6 V-1N753 6,2 V-1N754 6,8 V-1N755 7,5 V-1N756 8,2 V-1N757 9,1 V-1N758 10 V-1N962 11 V-1N963 12 V-1N964 13 V-1N965 15 V-1N966 16 V-1N967 18 V-1N968 20 V-1N969 22 V-1N970 24 V-1N971 27 V-1N972 30 V-1N973 33 V.

1W zener diyotlar: 1N4728 3,3 V-1N4729 3,6 V-1N4730 3,9 V-1N4732 4,7 V-1N4733 5,1 V-1N4734 5,6 V-1N4735 6,2 V-1N4736 6,8 V-1N4737 7,5 V-1N4738 8,2 V-1N4739 9,1 V 1W-1N4740 10 V 1W-1N4741 11 V-1N4742 12 V-1N4743 13 V-1N4744 15 V-1N4745 16 V-1N4746 18 V-1N4747 20 V-1N4748 22 V-1N4749 24 V-1N4750 27 V-1N4751 30 V-1N4752 33 V.

5W zener diyotlar: 1N5335B 3,9 V-1N5337B 4,7 V-1N5338B 5,1 V-1N5339B 5,6 V-1N5341B 6,2 V-1N5342B 6,8 V-1N5343B 7,5 V-1N5344B 8,2 V-1N5346B 9,1 V-1N5347B 10 V-1N5348B 11 V-1N5349B 12 V-1N5350B 13 V-1N5351B 14 V-1N5352B 15 V-1N5353B 16 V-1N5354B 17 V-1N5355B 18 V-1N5357B 20 V-1N5358B 22 V-1N5359B 24 V-1N5361B 27 V-1N5363B 30 V-1N5364B 33 V-1N5365B 36 V-1N5366B 39 V-1N5368B 47 V-1N5369B 51 V-1N5370B 56 V-1N5373B 68 V-1N5374B 75 V-1N5375B 82 V-1N5377B 91 V-1N5378B 100 V-1N5379B 110 V-1N5380B 120 V-1N5383B 150 V.

Enfranj ledler: IRD300-IRD500-TLN100-TLN110.

7 parçalı led göstergeler (display'ler): 7SEG1RCA anodu şase-7SEG1RCC katodu şase- 7SEG2RCA anodu şase-7SEG2RCC katodu şase-7SEG4RCC dört digit katodu şase-7SEGSRCAL anodu şase-7SEGSRCAEL anodu şase.

Optokuplörler: 4N25-4N26-4N27-4N28-4N29-4N30-4N31-4N32-4N33-4N35-4N36-4N37-4N38-4N39-4N40-4N45-4N50-6N135-6N136-6N137-6N138-6N139-MOC3010 triyaklı-MOC3020 triyaklı-MOC3021 triyaklı-MOC3022 triyaklı-MOC3063 triyaklı.

Röleler: SPST 5 V 0,5A-SPST 12 V 0,5A-DPDT 3 V 1A-DPDT 5 V 1A-DPDT 12 V 1A-DPDT 24 V 1A-DPDT 5 V 2A-DPDT 12 V 2A-DPDT 24 V 2A-DPDT 48 V 2A-4PDT 5 V-4PDT 12 V 2A-SPDT 6 V 5A-SPDT 9 V 5A-SPDT 12 V 5A-SPDT 24 V 5A-SPDT 6 V 10A-SPDT 9 V 10A-SPDT 12 V 10A-SPDT 24 V 10A

DPDT 12 VDC 10A-DPDT 24 VDC 10A-DPDT 48 VDC 10A-DPDT 110 VAC 10A-DPDT 220 VAC 10A-DPDT 12 VDC 5A-DPDT 24 VDC 5A-DPDT 110 VAC 5A-DPDT 230 VAC 5A-DPDT 12 VDC 10A-DPDT 24 VDC 10A-DPDT 110 VAC 10A-DPDT 230 VAC 10A-4PDT 12 VDC 10A-4PDT 24 VDC 10A-4PDT 110 VAC 10A-4PDT 230 VAC 10A.

Yarı iletken (SSR) röleler: SPST 4-32 V 3A-SPST 3-32 V 10A-SPST 3-32 V 25A-SPST 3-32 V 40A.

