

TRANSİSTÖRLER

Analog Elektronik

Prof. Dr. Ali Fuat Boz



Öğrenme Hedefleri

Bu konuyu çalıştıktan sonra:

-  Elektroniğin temelini teşkil eden üç uçlu devre elemanı transistörü tanıyacaksınız,
-  Transistörün kullanım alanları ve özelliklerini bileceksiniz,
-  Transistörlerin yapısı ve çalışma prensiplerini kavrayacaksınız.

İçindekiler

TRANSİSTÖRLER

- Giriş
- Bipolar Jonksiyon (İki Polarmalı Yüzey Birleşmeli) Transistörler (BJT)
- PNP Transistörün Çalışması
- Transistörlerde Yükseltme İşleminin Gerçekleştirilmesi
- Ortak Kollektörlü Devre
- Ortak Emiterli Devre
- Transistörün Çalışma Kararlılığını Etkileyen Faktörler

Transistörler

İki N tipi yarıiletken madde arasına bir P tipi yarıiletken madde veya iki P tipi yarıiletken madde arasına bir N tipi yarıiletken madde yerleştirmek suretiyle oluşturulan üç uçlu elemana transistör denir.

Transistörler bir devrede üç amaç için kullanılabilirler.

Bu amaçlar yükseltme, akım kontrolü ve anahtarlama dır.

Transistörler

Transistörler yapım tekniğine göre;

- a. Nokta temaslı transistörler,
- b. Yüzey birleşmeli transistörler olarak iki grupta toplanabilir.

Diyotlarda olduğu gibi günümüzde kullanılan transistörler yüzey birleşmeli olarak yapılmaktadır.

Yüzey birleşmeli transistörler; transistörün yapımında kullanılan maddelerin sayısı ve yapım tekniğine göre;

- a. Bipolar transistörler (BJT),
- b. Foto transistörler, Unijonksiyon transistörler (UJT),
- c. Alan etkili transistörler (FET),
- d. Metal oksit yarıiletken alan etkili transistörler (MOSFET) diye gruplandırılabilir.



Bipolar Jonksiyon (İki Polarmalı Yüzey birleşmeli) Transistörler (BJT)

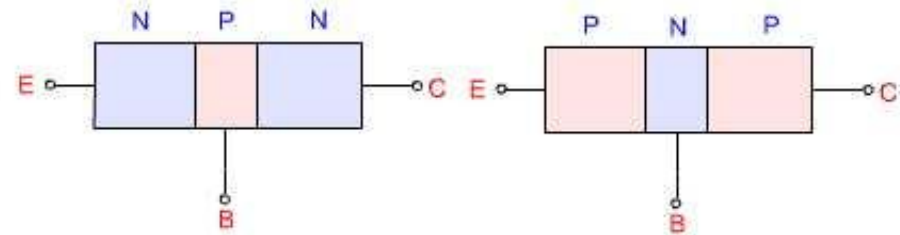
Transistörler NPN ve PNP olmak üzere iki tipte üretilirler. Transistörlerin genel yapısı, sembolü ve sadece sağlamlık testinde kullanılan eşdeğer devresi Şekil 4.1 de gösterilmiştir.

Şekilde E sembolü ile gösterilen Emiter(Yayıcı) bacağı,

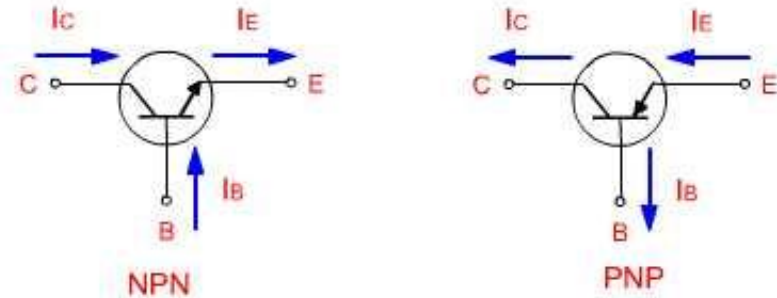
B sembolü ile gösterilen Beyz(Taban) bacağı,

C sembolü ile gösterilen Kollektör (Toplayıcı) bacağı belirtmektedir.

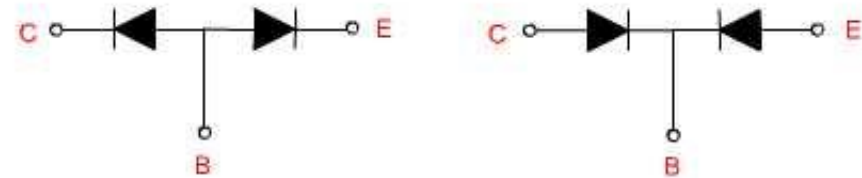
Transistör sembolünde bulunan emiter bacağındaki ok, emiter akımının yönünü gösterir. Dolayısı ile NPN transistörde emiter akımı transistörden dışa doğru akarken, PNP transistörde emiter akımı dışarıdan transistöre doğru akmaktadır.



a)Yapısı



b)Sembolik gösterimi



c)Eşdeğer gösterimi

Şekil 4.1: Transistör Sembolü, Yapısı, Eşdeğeri

Bipolar Jonksiyon Transistörün Çalışması

Transistörün çalıştırılabilmesi için bacaklarına DC bir gerilimin uygulanması gerekir. Bu gerilim bacakların yapıldığı maddeye göre değişir. Transistör bacakları (veya birleşim yüzeyleri) arasına uygulayacağımız bu DC gerilim transistörün hangi çalışma modunda çalışacağını belirler. Buna göre BJT'lerde üç tip çalışma durumu vardır. Bunlar transistörün doyumda, kesimde veya aktif bölgede çalıştırılmasıdır. İleriki derslerde transistör karakteristik eğrisi üzerinde bu çalışma bölgeleri gösterilecektir. Bu bölgelerden kesim bölgesi transistörün kesimde olduğunu yani üzerinden hemen hemen hiç akım akmadığını belirtir. Bunu bir elektrik anahtarının açık konumu olarak değerlendirebiliriz. Bu konumda çalıştırabilmek için transistörün beyz-emiter(B-E) ve beyz-kollektör(B-C) arası ters yönde polarmalandırılmalıdır.

Bipolar Jonksiyon Transistörün Çalışması

Doyum bölgesi ise transistörün taşıyabileceği veya verebileceği en büyük akım değerlerine ulaşıldığını ve bundan sonra giriş ne kadar artarsa artsın çıkış akımının artmayacağı sonucunu bildirir. İdealde bu transistörün kollektör-emiter(C-E) arasının kısa devre olduğu sonucunu verir, bu da bir elektrik anahtarının kapanması gibi düşünülebilir. Transistörü doyum bölgesinde çalıştırabilmek için, beyz-emiter(B-E) arası ve beyz-kollektör(B-C) arası doğru yani ileri yönde polarmalandırılmalıdır.

Aktif bölgede çalışan transistör ise girişindeki sinyali belli bir oranla yükseltiyor demektir, yani aktif bir yükseltme söz konusudur. Bu bölgede çalıştırabilmek için, beyz-emiter(B-E) arası ileri yani doğru yönde, beyz-kollektör(B-C) arası ise ters yönde polarmalandırılmalıdır. Bu bölgede çalışacak şekilde dizayn edilen transistör devresine yükselteç devresi denir.

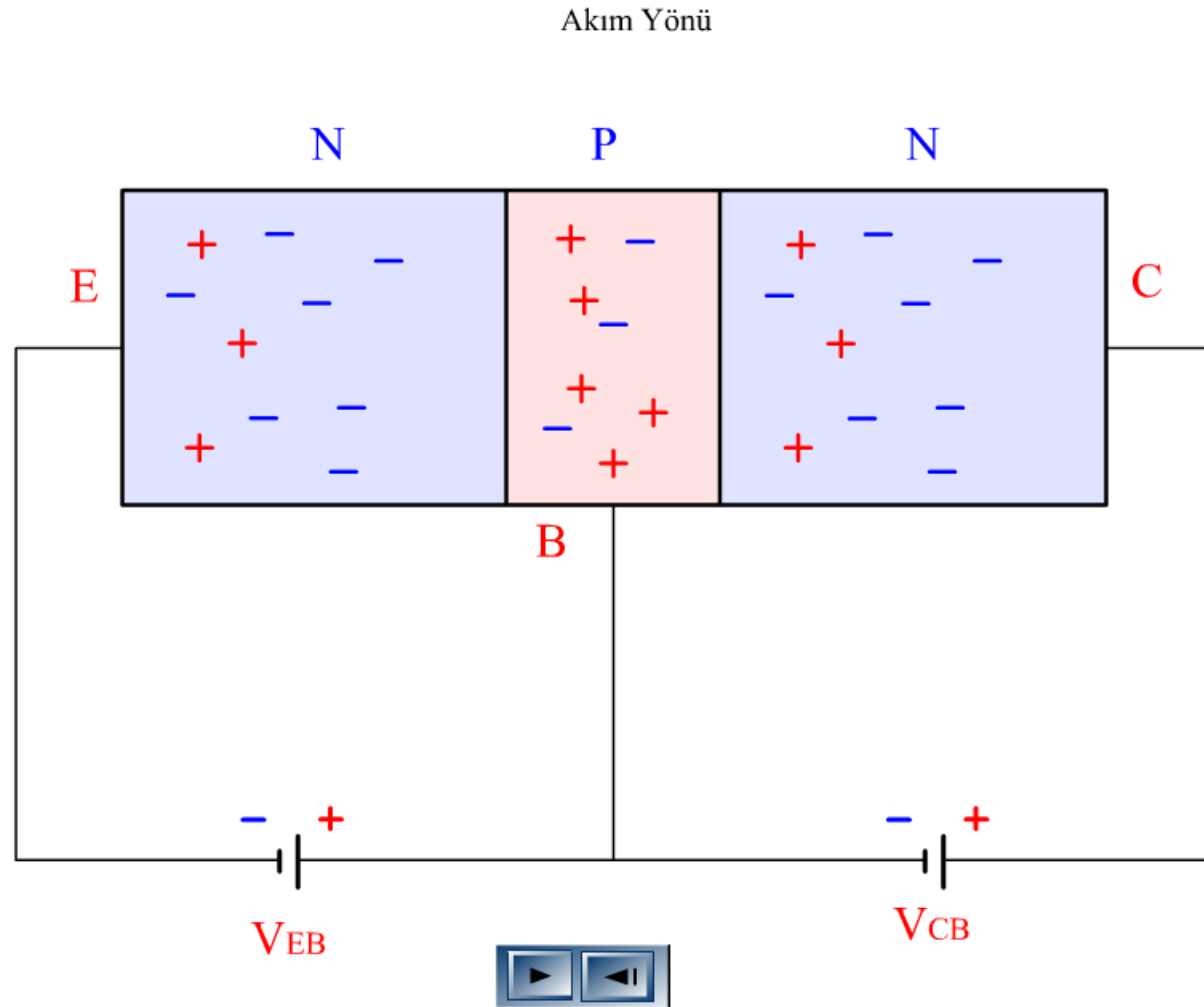
NPN Transistörün Yükselteç Olarak Çalışması

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 deki animasyonlarda NPN ve PNP transistörlerin yükselteç olarak kullanılabilmesi için gerekli olan gerilim bağlantısı gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus doğru polarma geriliminin ters polarma geriliminden küçük olması gerekliliğidir. Bunun sebebi ise elektronların transistörün yapıldığı malzemeye göre kollektör tarafından çekilebilmesi veya itilerek karşıdaki maddeye geçirilebilmesidir ($V_{EB} < V_{CB}$).

NPN tipi transistörün yükselteç olarak çalıştırılabilmesi için Emiter-Beyz arası doğru polarmalandırılır. Bunun anlamı emiter bacağına gerilim kaynağının - , beyz bacağına ise gerilim kaynağının + kutbunun bağlanması gerektiğidir. Transistörün Kollektör -Beyz arası ise ters polarmalandırılır. Yani kollektöre gerilim kaynağının + , beyzine ise - kutbu bağlanmalıdır. Transistörün yükselteç olarak çalışabilmesi için gerekli olan diğer şart da, kollektör-beyz geriliminin, emiter-beyz geriliminden daha büyük olması gerektiğidir ($V_{EB} < V_{CB}$).



NPN Transistörün Yükselteç Olarak Çalışması



Şekil 4.2: NPN Transistör Animasyonu

NPN Transistörün Yükselteç Olarak Çalışması

Şekil 4.2'deki animasyondan da görülebileceği üzer beyz-emiter arası doğru yönde polarize edildiğinden, emiterden beyze doğru büyük bir elektron akışı meydana gelir. Bu elektronlar emiterden çıkıp beyz katmanına ulaştığında, önlerine iki yol çıkar. Bunlardan birincisi beyze bağlı kaynağın + ucu, diğeri ise kollektöre bağlı kaynağın + ucudur. Kollektörde bulunan bu pozitif gerilim beyzde bulunan gerilime göre daha pozitif(daha büyük) olduğundan, elektronların büyük bölümü(yaklaşık %99 gibi bir oranı) beyz yerine kollektör ucuna doğru hareket ederler. Buna bağlı olarak ta elektron akışının tersi yönünde yani kollektörden emitere doğru büyük bir akım akmaya başlar. Diğer taraftan emiterden gelen elektronların %1 lik gibi küçük bir bölümü de, beyze bağlı kaynağın pozitif ucu tarafından çekilerek, beyzden emitere doğru küçük bir akımın akmasına neden olurlar. Böylece beyz gerilimi tarafından miktarı belirlenen elektronlar, emiterden beyze doğru gelirken bunların çoğu kollektöre geçerek kollektör akımını oluştururlar. Yani aslında beyz akımı ile kollektör akımı kontrol edilmiş olur.

NPN Transistörün Yükselteç Olarak Çalışması

Emiter ucu bir elektron kaynağı gibi davranmakta ve elektron yaymaktadır, bu yüzden bu uca İngilizce yayıcı anlamına gelen emiter denmektedir. Diğer taraftan kollektör ise yayılan bu elektronların büyük bir bölümünü kendine doğru çektiği için İngilizce toplayıcı anlamına gelen kollektör ismi ile anılmaktadır. Beyz ise bu iki uca taban teşkil etmekte ve bu yüzden taban(Base) ismi ile adlandırılmaktadır.

Kirchoff'un akım kanununu transistöre uygularsak, yani transistörü bir düğüm noktası olarak kabul edip, giren akımlarla çıkan akımları eşitlersek,

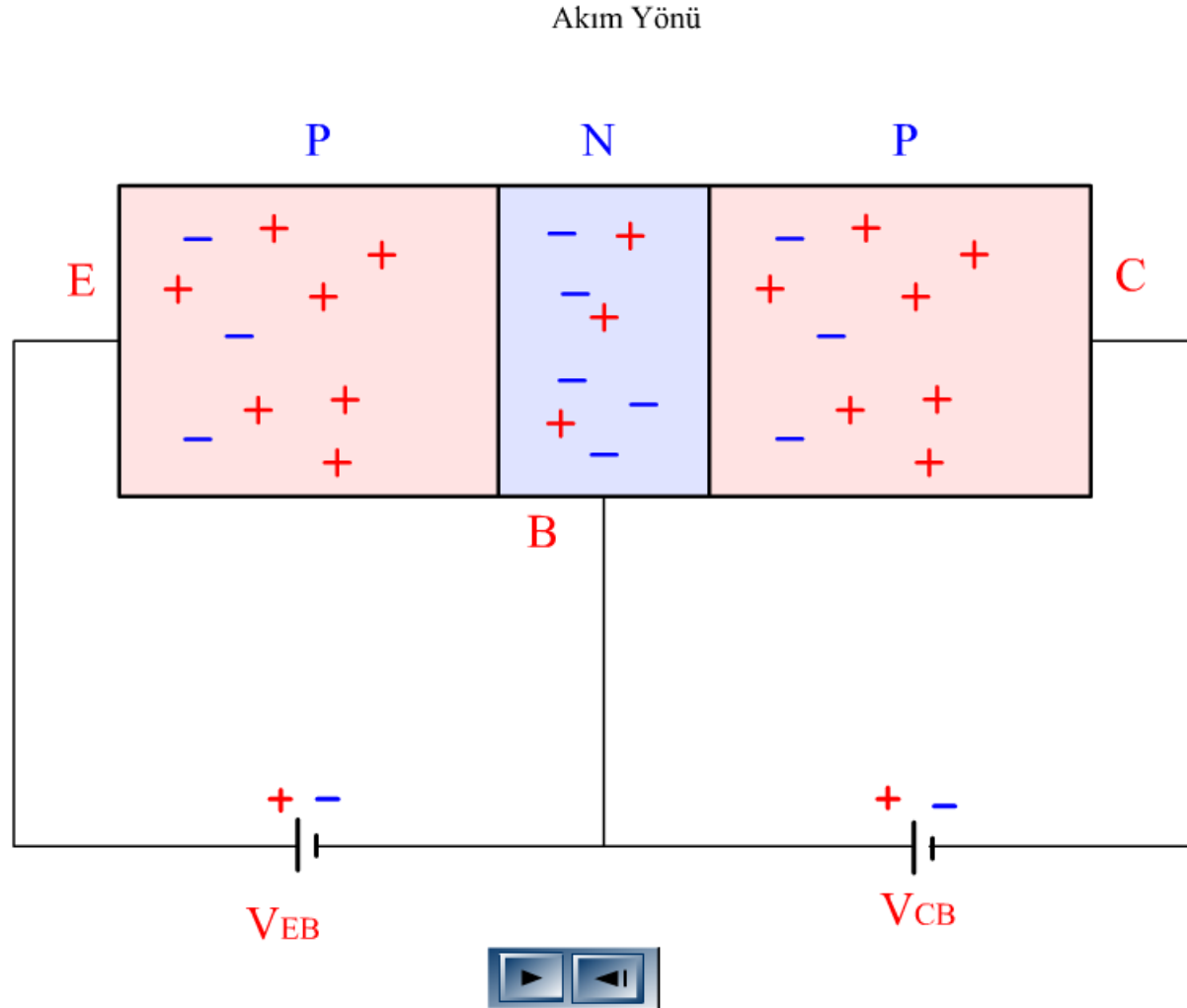
$$\mathbf{I_E = I_B + I_C}$$

formülünü elde ederiz. Bu formül bundan sonra çok sık kullanacağımız ve transistörler için vazgeçilmez olan bir eşitliktir. Formülden de görüldüğü gibi emiter akımı, beyz ve kollektör akımlarının toplamına eşittir.

PNP Transistörün Yükselteç Olarak Çalışması

Şekil 4.3 deki animasyonda PNP transistörün yükselteç olarak çalıştırılabilmesi için gerekli olan gerilim bağlantısı gösterilmiştir. Yine NPN transistörde olduğu gibi Emiter-Beyz arası doğru(emiter bacağına gerilim kaynağının +, beyz bacağına ise - kutbu bağlanarak), kollektör -beyz arası ise ters(transistörün kollektörüne gerilim kaynağının - kutbu, beyzine ise + kutbu bağlanarak) polarmalandırılır. Yine PNP transistörün de yükselteç olarak çalışabilmesi için kollektör-beyz geriliminin, emiter-beyz geriliminden büyük olması gerektiği unutulmamalıdır($V_{EB} < V_{CB}$).

PNP Transistörün Yükselteç Olarak Çalışması



Şekil 4.3: PNP Transistör Animasyonu

PNP Transistörün Yükselteç Olarak Çalışması

PNP transistörün çalışması NPN ile hemen hemen aynı özelliktedir. Buradaki fark NPN transistörde akım taşıyıcı olarak negatif yüklü elektronlar kullanılırken, PNP transistörde pozitif yüklü oyuklar kullanılmasıdır. Dolayısı ile yine emiter oyuk kaynağı gibi davranmakta, beyze doğru gelen bu oyukların büyük bir bölümü beyze göre daha negatif olan kollektöre doğru hareket etmekte ve böylece büyük bir kollektör akımının yanı sıra, küçük bir beyz akımının oluşmasına da neden olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus PNP transistörden akan akımların yönlerinin, NPN transistördekiler ile ters yönlü olduğudur. Bu anlatılanlar animasyon ile daha rahat görülerek kavranabilir.

Kirchoff'un akım kanunu uygulanırsa, aynen NPN transistörde olduğu gibi

$$I_E = I_B + I_C$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik her iki tip transistör için de geçerlidir.

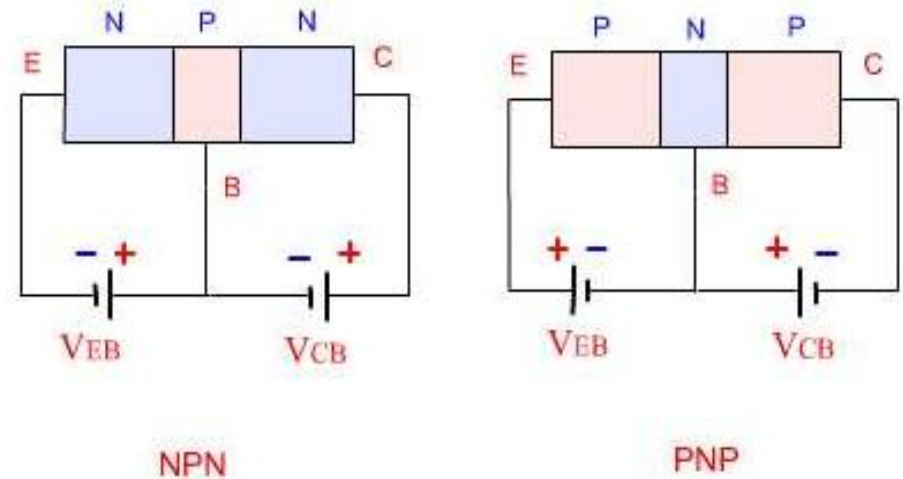
Transistörlerde Yükseltme İşleminin Gerçekleşmesi

Bir transistör devreye üç farklı şekilde bağlanabilir. Bu bağlantı şekilleri; emiteri ortak, beyzi ortak ve kollektörü ortak bağlantı olarak isimlendirilir.

1)Ortak Beyzli Devre

Bir transistörün emiter ucu giriş, kollektör ucu çıkış ve beyz ucu da hem giriş hem de çıkışta ortak olan şase olarak kullanılıyorsa bu tür devrelere ortak beyzli devreler denir. Şekil 4.4 te ortak beyzli NPN ve PNP transistörlerin yapısal gösterimi verilmiştir.

Ortak beyzli devreler genellikle akım kontrolü gerektiren yerlerde kullanılırlar. Transistörün beyzine uygulanan gerilimle, kollektörden emitere akan akım kontrol edilir. Bu kontrol sırasında girişten çıkışa ne kadarlık bir akımın transfer edileceğini alfa değeri belirler. Bu alfa değeri genellikle 0,9 ile 0,998 arasında değişmektedir. Alfa değeri ayrıca yaklaşık olarak yandaki formülden de bulunabilir.



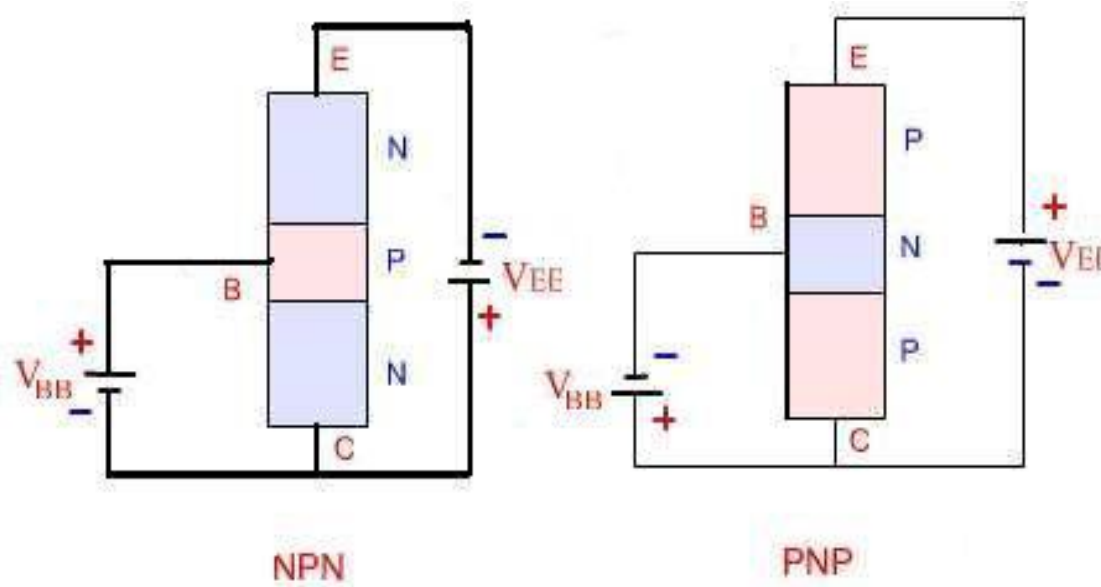
Şekil 4.4: Ortak Beyzli Devre Bağlantıları

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \bigg|_{V_{CB}=\text{Sabit}} \Rightarrow \alpha \cong \frac{I_C}{I_E}$$

Transistörlerde Yükseltme İşleminin Gerçekleşmesi

2)Ortak Kollektörlü Devre

Transistör bağlantı şekillerinden bir diğeri, ortak kollektörlü devredir(Şekil 4.5). Bu tür devrelerde transistörün beyz ucu giriş, emiter ucu ise çıkıştır. Bu tür devrelerin en önemli özelliği empedans uygunlaştırma işlemini yapmasıdır, yani iki ayrı devre arasına bağlanarak bir devrenin çıkışının, diğer devrenin girişine uygun hale getirilmesine yardımcı olmasıdır. Bu devrelerin giriş direnci yüksek, çıkış direnci düşüktür. Ortak beyzli devrede ise bu durum tam tersidir.

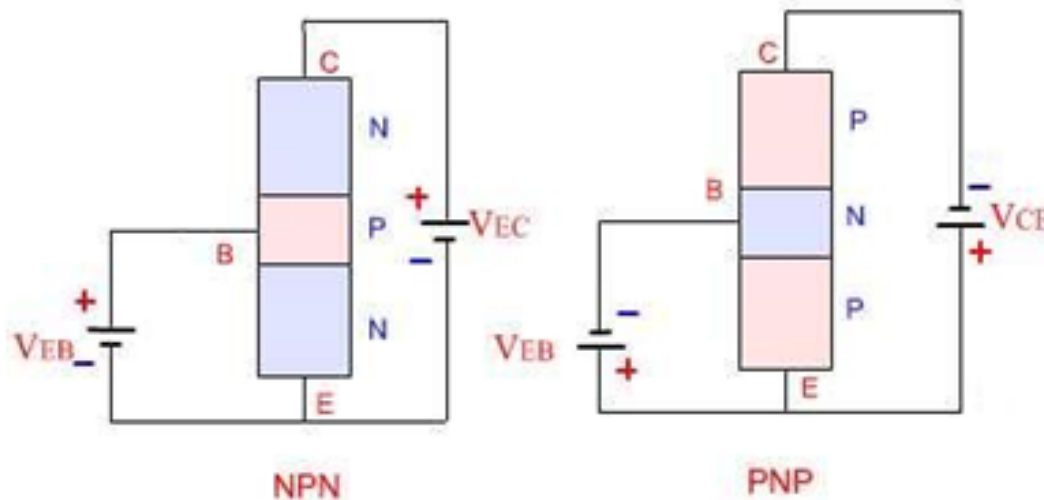


Şekil 4.5: Ortak Kollektörlü Devre

Transistörlerde Yükseltme İşleminin Gerçekleşmesi

3) Ortak Emiterli Devre

Eğer bir transistörde giriş ile çıkış transistörün emiter bacağına şase(ortak) olarak kullanıyorsa bu tür devrelere ortak emiterli devreler denir. Ortak emiterli devrenin giriş direnci düşük, çıkış direnci ise yüksektir. Ortak emiterli bir transistörün bağlantı şekli Şekil 4.6 da gösterilmiştir.



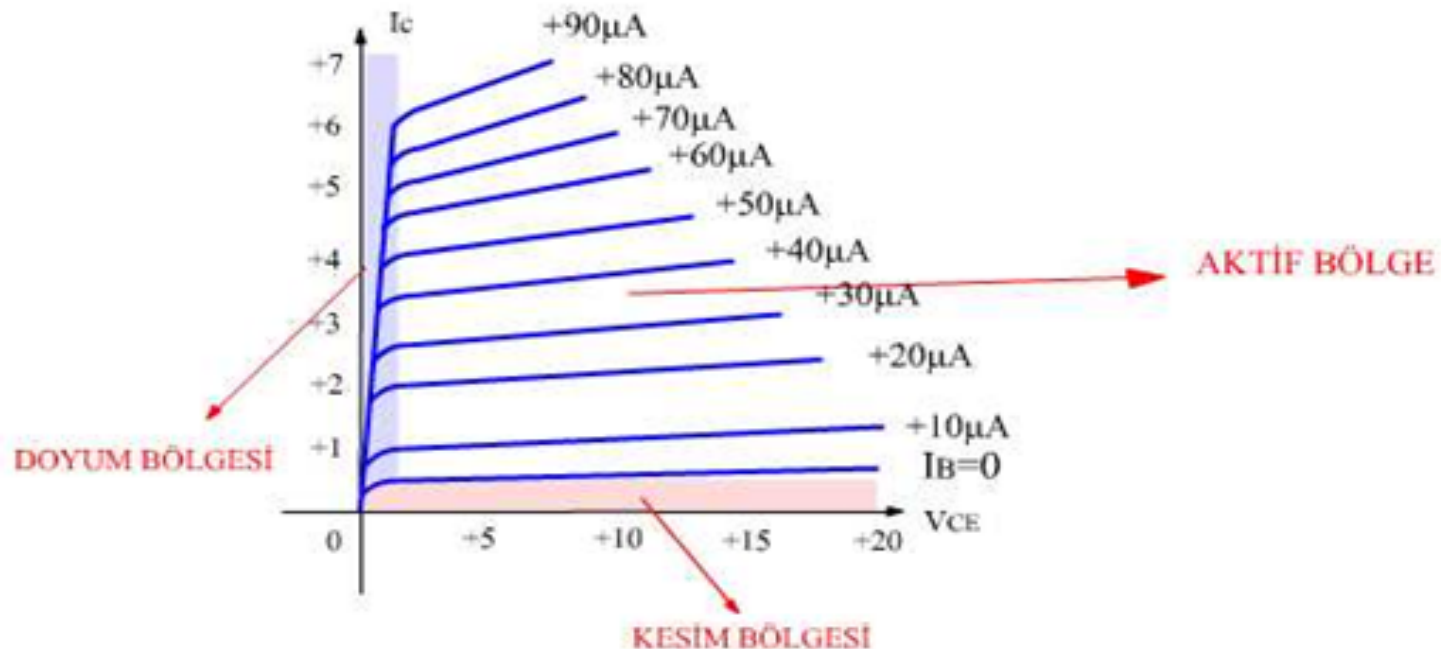
Şekil 4.6: Ortak Emiterli Devre

Ortak emiterli devreler genellikle yükseltme amaçlı olarak kullanılırlar. Bu devrelerde yükseltme oranını, yani giriş akımının(bu durumda I_B) çıkışta ne kadar yükseltileceğini(bu durumda çıkış akımı I_C), beta katsayısı belirler. Bu katsayının formülü aşağıdaki gibidir:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \Rightarrow \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Transistörlerde Yükseltme İşleminin Gerçekleşmesi

Şekil 4.7 'de ortak emiterli devrenin kollektör karakteristik grafiği görülmektedir. Bu karakteristik grafiğini dikkatle incelediğimizde şu sonuca varırız. Transistörün I_c akımı maksimum seviyeye ulaştığında V_{CE} gerilimimiz 0 değerine yaklaşır, bu durumda transistör doyuma gider. Eğer V_{CE} gerilimi maksimum değere ulaşırsa bu durumda I_c değerimiz 0 değerine yaklaşır ve transistör kesime gider. Transistörün kesime gittiği durumda kollektör emiter arasından hiç akım akmaz. Bu da transistörün açık anahtar konumuna geçmesi demektir. Transistör bir devrede anahtarlama elemanı olarak kullanılıyorsa bu durumda transistör yalnız kesim ve doyum bölgelerinde çalıştırılıyordur. Bunun haricindeki bölge aktif bölgedir ve yükseltme işlemi transistör bu bölgede çalışırken gerçekleşir.



Şekil 4.7: Ortak Emiterli Transistör Devresinin Kollektör Karakteristiği

Transistörlerin Çalışma Karakteristiğini Etkileyen Faktörler

Bir transistörün kararlı çalışabilmesi için öncelikle çalışma şartının sağlanması gerekir. Yani, beyz-emiter arası doğru, beyz-kollektör arası ters polarmalandırılmalıdır.

Transistör için hazırlanan kataloglarda verilen bilgilere mutlaka uymak gerekir. Bu kataloglarda transistörün çalışabileceği; akım sınır değerleri, gerilim sınır değerleri, çalışma sıcaklık bandı ve çalışma frekans bandı belirtilmiştir. Bu verilere uyulmadığı takdirde transistörün kararlı çalışması beklenemez.

Transistörlerin Çalışma Karakteristiğini Etkileyen Faktörler

Aşağıda sırası ile bir transistörün kararlı çalışmasını etkileyen faktörler açıklanmıştır:

1) Sıcaklık

Sıcaklık, transistörün çalışma kararlılığını etkileyen en önemli faktördür. Bilindiği gibi bir maddede, son yörüngesi dolu olmayan atomlar komşu atomlardan alış veriş yaparak kendilerini dengelerler. Komşu atomlar arası irtibatı sağlayan bağlar "kovalent bağlar" olarak daha önceden tanımlanmıştı. Eğer böyle bir madde ısıtılacak olursa, kovalent bağlar ısı karşısında zayıflayacağı için elektronları açığa çıkarmak daha kolay olacaktır.

Isı karşısında diyot ve transistör yapısında kullanılan PN maddelerindeki elektronlar arası bağ gevşeyeceği için daha az gerilimle daha çok akım akacaktır. Akımın artması neticesinde ısı daha da artacaktır. Isı akımı, akım ısıyı sürekli artırarak birbirlerini pozitif yönde etkileyeceklerdir. Bu durum neticesinde akım, verilen sınır değerlerini aşacak ve eleman ısıdan bozulacak ya da kararsız çalışacaktır.

Diyot ve transistörde iki tür ısı vardır:

- a. Dış ısı,
- b. İç ısı.

Dış ısı ortamdan kaynaklanır. İç ısı ise ortam ısısının ve gerilim sınır değerlerinin artması neticesinde akım sınır değerlerinin zorlanması ile oluşur.

Transistörlerin Çalışma Karakteristiğini Etkileyen Faktörler

2) Frekans

İmalatçılar değişik frekans bantları için ayrı ayrı transistör üretirler. Transistörler çalışma frekansları açısından aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- a. Alçak frekans transistörleri,
- b. Yüksek frekans transistörleri,
- c. Mikrodalga frekans transistörleri.

Frekans yükseldikçe transistörün güç kazancı düşmektedir. Ayrıca frekans yükseldikçe transistör elektrotları arasındaki kaçak kapasite artmaktadır. Bu kaçak kapasite etkisini azaltmak için transistör imal edilirken beyz yüzeyi olabildiğince ince yapıp beyz direnci arttırılır. Ayrıca elektrotların (beyz-emiter-kollektör) duruş şekli değişir ve yüksek frekanslarda transistöre dördüncü bir uç eklenir. Bu uç, transistör gövdesine bağlı şase ucudur.

Transistörlerde elektrotların birbirlerine paralel olarak durması özellikle yüksek frekanslarda, elektrotlar arasında dielektriği hava olan kondansatörler oluşturur. Elektrotlar birbirlerine paralel değil de, gövdeden birbirlerine dik olarak bağlanırlarsa birbirlerinden uzaklaşacakları için dielektrik direnci artacak ve kapasite etkisi azalacaktır. İlave edilen şase ucu, elektrotlar arası kapasite oluşumu ile ortaya çıkabilecek olan kaçak ve bozucu akımları topraklayacaktır.



Transistörlerin Çalışma Karakteristiğini Etkileyen Faktörler

3)Aşırı Gerilim ve Akımlar

Herhangi bir nedenle transistör çalışma gerilimleri artarsa, bu gerilim artışı akım artışına neden olacağı için transistör bünyesinde ısı oluşacak ve bu ısı nedeniyle transistör çalışma kararlılığını yitirecektir.

4)Çevre Etkileri

Transistörlü devrenin bulunduğu ortamın, transistör çalışma kararlılığına etkisi vardır. Çevrenin aşırı nemli ve elektriksel magnetik alan etkisinde olması gibi nedenler transistörün çalışmasını etkiler.

Çevrenin tozlu (özellikle metal ve karbon tozları) olması zamanla elektrotlar arası düşük direnç yoluna neden olacağı için kaçak akımlar oluşur.

Nemin fazla oluşu da, elektrotlar arası düşük direnç yoluna neden olacağı için kaçak akımlara sebebiyet verir. Özellikle yüksek gerilimli devrelerde tozlanma ile birlikte nem de varsa, bu durum kısa devreye sebep olacağı için arızalar oluşabilecektir. Kısacası nem, zamanla transistör bünyesine ve kullanıldığı devreye etki ederek oksitlenme yoluyla, transistör ve devrenin kullanılmaz hale gelmesine neden olur.

Çevrenin elektriksel magnetik alan içinde olması, transistör girişinde parazitik işaretlere neden olur. Bu parazitik işaretler, sanki transistöre uygulanmış giriş işareti gibi hareket ederek, transistörün normal çalışmasını engellerler.