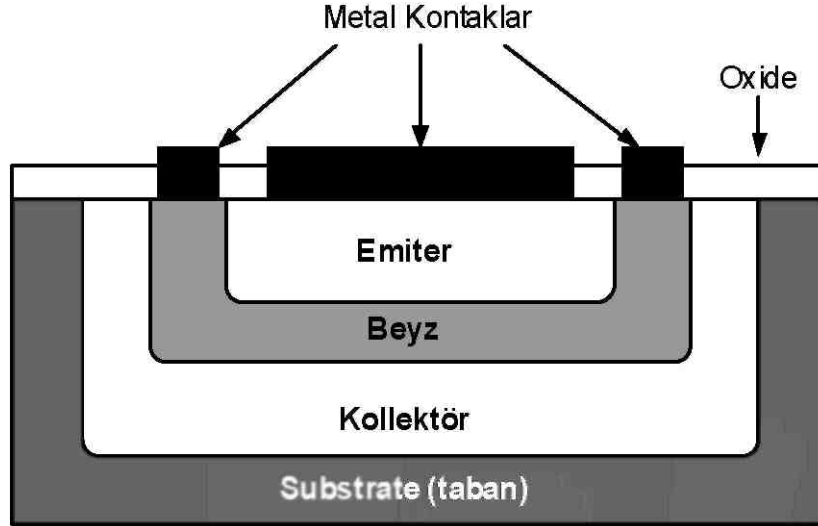


## TRANSİSTÖRÜN YAPISI (BJT)

Transistörler, katı-hal devre elemanlarıdır. Genelde transistör yapımında silisyum ve germanyum kullanılmaktadır. Bu dokümanımızda bipolar Jonksiyon transistörlerin temel yapısı incelenecektir. BJT'lerin yanında diğer transistörler ise FET, MOSFET, UJT... gibi transistörlerdir . Ayrıca Bipolar Transistörler NPN ve PNP olmak üzere iki temel yapıda üretilirler

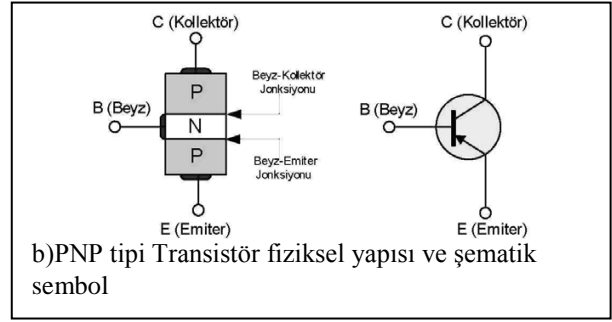
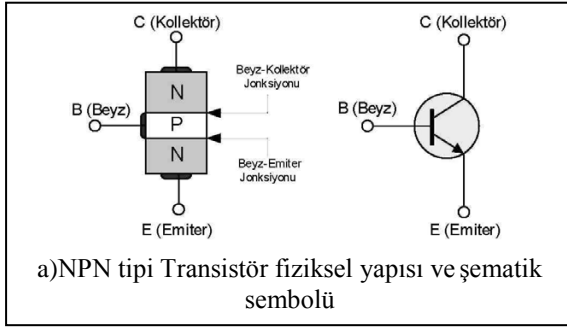
Bipolar Jonksiyon Transistör (BJT) elektronik endüstrisinin en temel yarıiletken devre elemanlarından biridir. BJT, çift kutuplu yüzey birleşimli transistör olarak adlandırılır. BJT içinde hem çoğunluk taşıyıcıları, hem de azınlık taşıyıcıları görev yapar. Bundan dolayı bipolar (çift kutuplu) sözcüğü kullanılır. Transistörün temel yapısı şekil-1.1'de gösterilmiştir.



Şekil-1.1 Bipolar Jonksiyon transistörün yapısı

BJT transistörler katkılandırılmış Si ve B tipi malzeme kullanılarak üretilir. BJT transistörlerin NPN ve PNP olmak üzere başlıca iki tipi vardır. NPN transistörde 2 adet N tipi yarıiletken madde arasına 1 adet P tipi yarıiletken katkılanarak oluşturulur. PNP tipi transistörde ise, 2 adet P tipi yarıiletken madde arasına 1 adet N tipi yarıiletken katkılanarak oluşturulur. Bu bakımdan transistör 3 adet katmandan meydana gelir.

Transistörün içerisinde bulunan bu 3 katman ise sırasıyla Emiter (Emitter), Beyz (Base) ve Kollektör (Collector) olarak adlandırılır. Bu yapılar genelde E, B ve C harfleri ile sembolize edilirler. Şekil-1.2'de NPN tipi ve PNP tipi transistörün fiziksel yapısı ve şematik sembolleri verilmiştir.

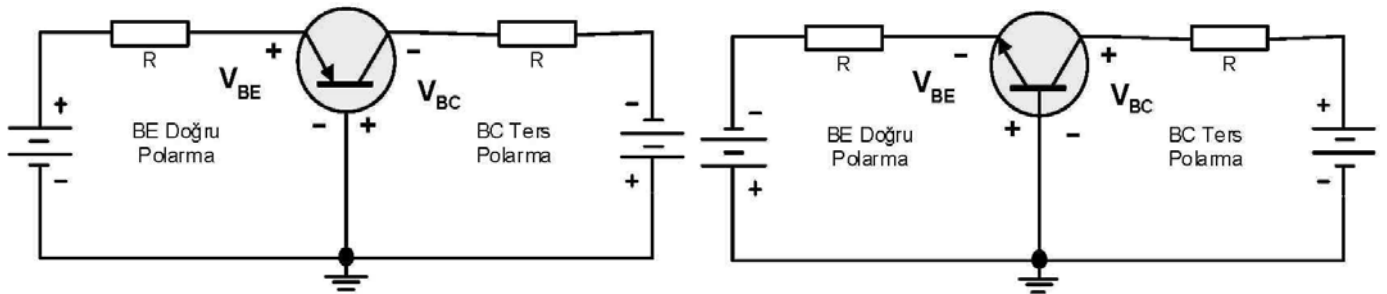


Şekil-1.2 NPN ve PNP tipi transistörlerin fiziksel yapısı ve şematik sembolleri

## TRANSİSTÖRÜN ÇALIŞMA İLKELERİ

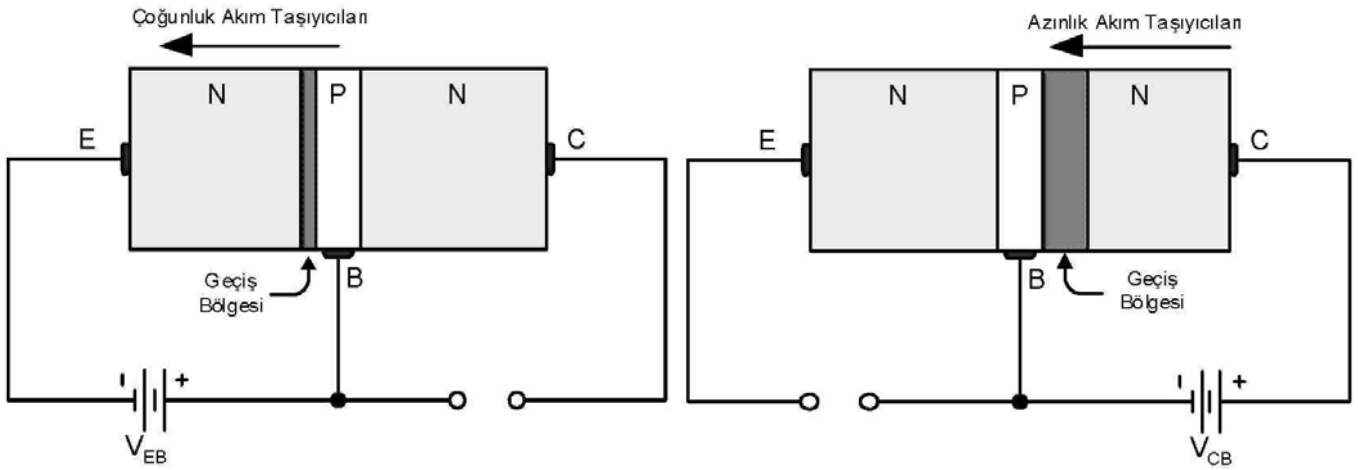
Bipolar transistörler genelde iki şekilde kullanılırlar. Bu iki kullanım ise sırasıyla yükselteç (amplifier) ve anahtardır. Transistör, her iki çalışma modunda harici dc besleme gerilimlerine gereksinim duyar.

Transistörler genellikle çalışma bölgelerine göre sınıflandıracak olursak ,bu çalışma bölgeleri; kesim, doyum ve aktif bölgedir. Transistör, kesim ve doyum bölgelerinde bir anahtar işlevi görür. Özellikle sayısal sistemlerin tasarımında transistörün bu özelliğinden yararlanır ve anahtar olarak kullanılır. Transistörün çok yaygın olarak kullanılan bir diğer özelliği ise yükselteç olarak kullanılmasıdır. Yükselteç olarak kullanılacak bir transistör aktif bölgede çalıştırılır.



Şekil-1.3 NPN ve PNP transistörlerin polarmalandırılması

Yükselteç olarak kullanılan bir transistörde; Beyz-emiter jonksiyonları doğru, beyz-kollektör jonksiyonları ise ters polarmaya tabi tutulur. Bu durum şekil-1.4'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil-1.4 NPN tipi transistör jonksiyonlarının doğru ve ters polarmadaki davranış

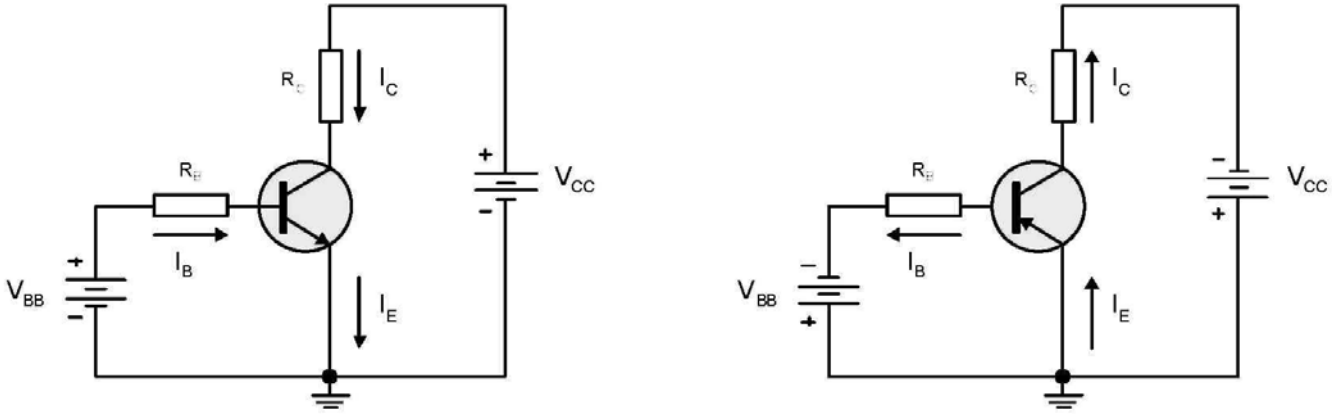
### Transistörler hakkında bilinmesi gerek 3 kural ;

- Transistörün çalışabilmesi için; beyz-emiter jonksiyonu doğru yönde, beyz-kollektör jonksiyonu ise ters yönde polarmalandırılmalıdır. Bu çalışma biçimine transistörün aktif bölgede çalışması denir.
- Beyz akımı olmadan, emiter-kollektör jonksiyonlarından akım akmaz. Transistör kesimdedir. Farklı bir ifadeyle; beyz akımı küçük olmasına rağmen transistörün çalışması için çok önemlidir.
- PN jonksiyonlarının karakteristikleri transistörün çalışmasını belirler. Örneğin; transistör,  $V_{be}$  olarak tanımlanan beyz-emiter jonksiyonuna doğru yönde bir başlangıç gerilimi uygulanmasına gereksinim duyar. Bu gerilimin değeri silisyum transistörlerde 0.7V, germanyum transistörlerde ise 0.3V civarındadır.

## TRANSİSTÖR BETA AKIM KAZANCI

Transistörle yapılan her türlü tasarım ve çalışmada dikkat edilmesi gereken ilk konu, transistörün dc polarma gerilimleri ve akımlarıdır. Transistörlerin dc analizlerinde kullanılacak en önemli parametre ise  $\beta_{DC}$  (dc akım kazancı) olarak tanımlanır.

Transistörlerin çalışması için gerekli ilk şart, dc polarma gerilimlerinin uygun şekilde bağlanmasıdır. Şekil-1.5’de NPN ve PNP tipi transistörler için gerekli polarma bağlantıları verilmiştir. Transistörün beyz-emiter jonksiyonuna  $V_{BB}$  kaynağı ile doğru polarma uygulanmıştır. Beyz-kollektör jonksiyonuna ise  $V_{CC}$  kaynağı ile ters polarma uygulanmıştır.



Şekil-1.5 NPN ve PNP transistörlerin polarmalandırılması

- **DC Beta ( $\beta_{DC}$ )**

$\beta$  akım kazancı, ortak emiter bağlantıda akım kazancı olarak da adlandırılır. Bir transistör için  $\beta$  akım kazancı, kollektör akımının beyz akımına oranıyla belirlenir.

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

$\beta$  akım kazancı bir transistör için tipik olarak 20–200 arasında olabilir. Bununla birlikte  $\beta$  değeri 1000 civarında olan özel tip transistörlerde vardır.  $\beta$  akım kazancı kimi kaynaklarda veya üretici kataloglarında  $h_{FE}$  olarak da tanımlanır.

$$\beta = h_{FE}$$

Kollektör akımını yukarıdaki eşitlikten;

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

olarak tanımlayabiliriz. Transistörde emiter akımı;  $I_E = I_C + I_B$  idi. Bu ifadeyi yeniden düzenlersek;

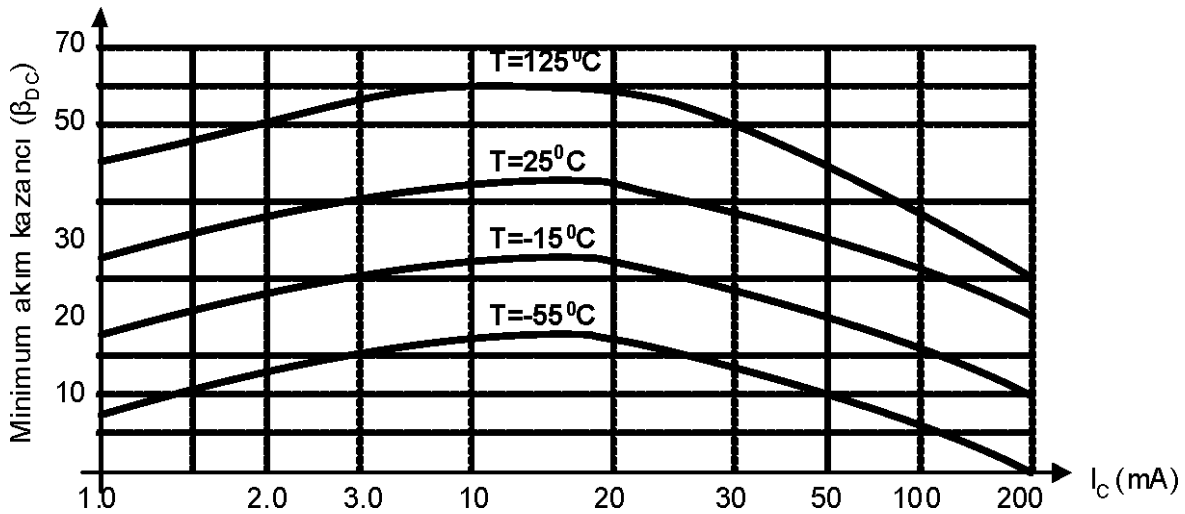
$$I_E = \beta \cdot I_B + I_B$$

$$I_E = I_B(1 + \beta)$$

değeri elde edilir.

### BETA AKIM KAZANCININ SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

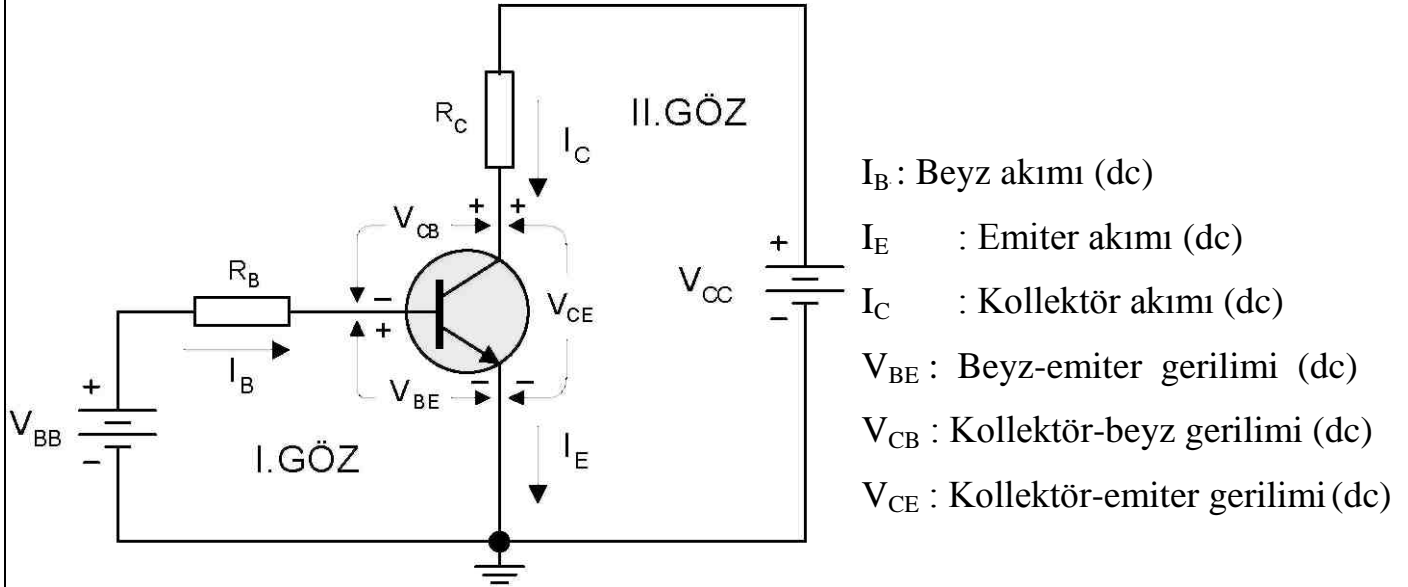
Transistörlerde  $\beta$  akım kazancı, gerçekte sabit bir değer değildir. Değeri bir miktar transistörün çalışma ısısına bağlıdır. Transistörün sahip olduğu akım kazancının sıcaklığa bağlı olarak değişimi şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil-1.6 Sıcaklık ve kollektör akımındaki değişime bağlı olarak  $\beta_{DC}$ 'nin değişimi

## TRANSİSTÖRÜN AKIM VE GERİLİM İLİŞKİSİ

Bir transistör devresinde akım ve gerilim birbirine bağlıdır. Transistörün her bir jonksiyonundan geçen akımlar ve jonksiyonlar arasında oluşan gerilimler şekil-1.7 üzerinde gösterilmiş ve adlandırılmıştır.



Şekil-1.7 Transistörde akım ve gerilimler

Transistörün beyz-emiter jonksiyonu  $V_{BB}$  gerilim kaynağı ile doğru yönde polarmalanmıştır. Beyz-kollektör jonksiyonu ise  $V_{CC}$  gerilim kaynağı ile ters yönde polarmalanmıştır. Beyz-emiter jonksiyonu doğru yönde polarmalandığında tıpkı ileri yönde polarmalanmış bir diyot gibi davranır ve üzerinde yaklaşık olarak 0.7V gerilim düşümü oluşur.

$$V_{BE} \approx 0.7V$$

Devrede I.göz için K.G.K yazılırsa;

$$V_{BB} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

olur. Buradan beyz akımı çekilirse;

$$V_{BB} - V_{BE} = I_B \cdot R_B$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

olarak bulunur. Buradan kollektör ve emiter akımlarını bulabiliriz.

$$I_C = \beta \cdot I_B , I_E = I_C + I_B$$

$R_C$  direnci üzerine düşen gerilim;

$$V_{RC} = I_C \cdot R_C$$

olur.

Transistörün emiter-kollektör gerilimini bulmak için devredeki II.Göz'den yararlanılır. II.Göz için K.G.K yazılırsa;

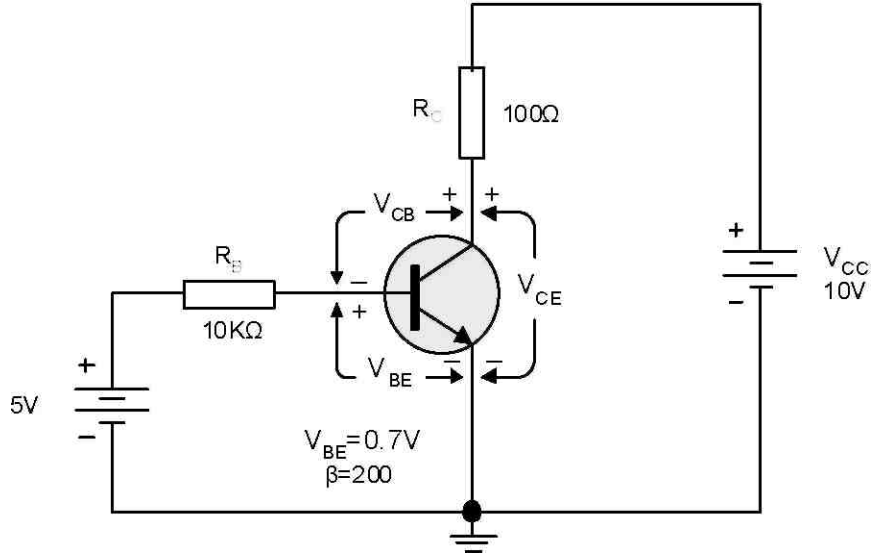
$$V_{CC} = (I_C \cdot R_C) + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C \cdot R_C)$$

olarak bulunur.

**Örnek:** Yanda verilen devrede; transistörü n polarma akım ve gerilimlerini bulunuz?

$$I_B = ?, I_C = ?, I_E = ?, V_{BE} = ?, V_{CE} = ?, V_{CB} = ?$$



**Çözüm:**

$$V_{BB} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

*β >> 1 den durumu olduğundan denklemimizde I<sub>E</sub> dikkate alınmamıştır*

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5V - 0.7V}{10K} = 430 \mu A$$

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = (200 \cdot 430 \mu A) = 86 mA$$

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \Rightarrow \alpha = \frac{200}{1 + 200} = 0.99$$

$$V_{CC} = (I_C \cdot R_C) + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C \cdot R_C) = 12V - (86 mA \cdot 100 \Omega) = 3.4 V$$



$V_{CB}$  gerilimini bulmak için çevre denklemlerinden yararlanılır.

$$V_{CC} = (I_C \cdot R_C) + V_{CB} + V_{BE}$$

$$V_{CB} = V_{CC} - (I_C \cdot R_C) - V_{BE}$$

$$V_{CB} = 12 - (86mA \cdot 100\Omega) - 0.7V = 2.7V$$

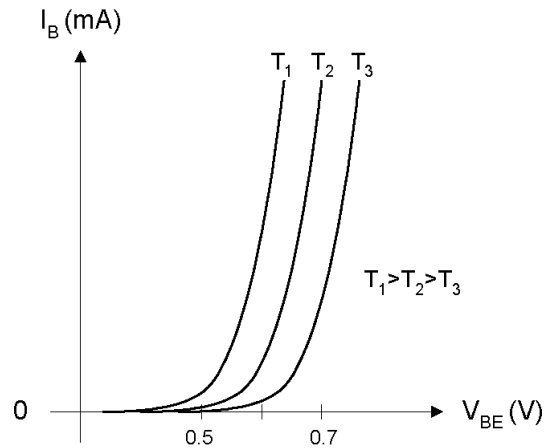
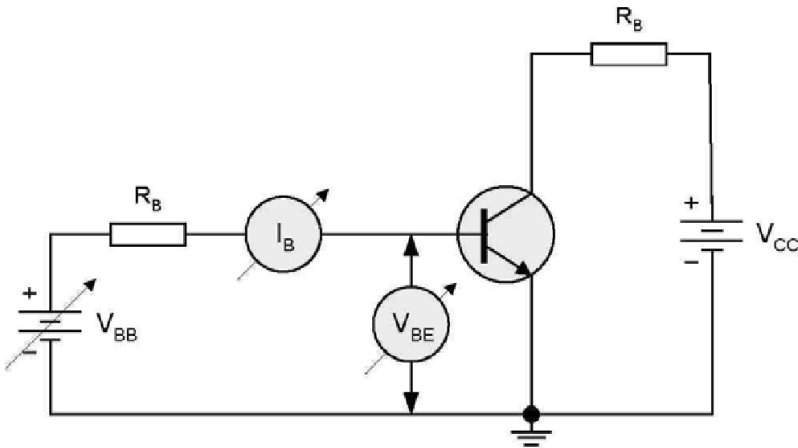
### TRANSİSTÖRÜN GİRİŞ KARAKTERİSTİĞİ

Karakteristik eğri, herhangi bir elektriksel elemanda akım-gerilim ilişkisini gösterir. Transistör; giriş ve çıkış için iki ayrı karakteristik eğriye sahiptir. Transistörün giriş karakteristiği beyz-emiter gerilimi ile beyz akımı arasındaki ilişkiyi verir. Transistörün giriş karakteristiğini çıkarmak için şekil-1.8'deki bağlantıdan yararlanılır.

Transistörün giriş karakteristiklerini elde etmek için, kollektör-emiter gerilim ( $V_{CE}$ ) parametre olarak alınır ve bu gerilime göre beyz akımı ( $I_B$ ) değiştirilir. Beyz akımındaki bu değişimin beyz-emiter gerilimine ( $V_{BE}$ ) etkisi ölçülür.

Grafikten de görüldüğü gibi transistörün giriş karakteristiği normal bir diyot karakteristiği ile benzerlik gösterir.  $V_{BE}$  gerilimi 0.5V'un altında olduğu sürece beyz akımı ihmal edilecek derecede küçüktür. Uygulamalarda aksi belirtilmedikçe transistörün ilettime başladığı andaki beyz-emiter gerilimi  $V_{BE}=0.7V$  olarak kabul edilir.

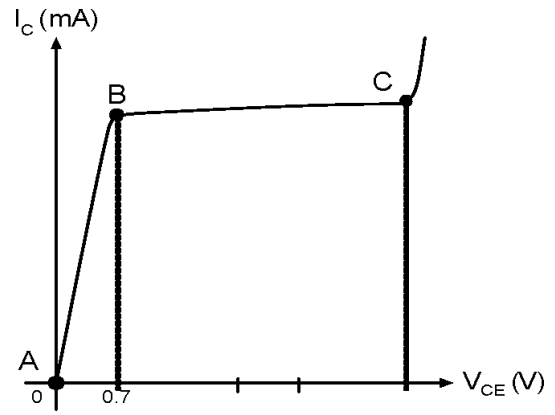
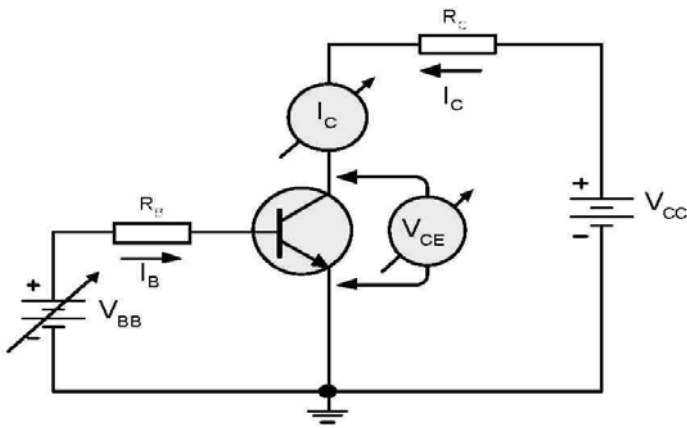
Beyz-emiter ( $V_{BE}$ ) gerilimi, sıcaklıktan bir miktar etkilenir. Örneğin her  $1^{\circ}C$ 'lik sıcaklık artımında  $V_{BE}$  gerilimi yaklaşık 2.3 mV civarında azalır.



Şekil-1.8 Transistörün giriş karakteristiğinin çıkarılması ve giriş karakteristiği

### TRANSİSTÖRÜN ÇIKIŞ KARAKTERİSTİĞİ

Transistörlerde çıkış, genellikle kollektör-emiter uçları arasından alınır. Bu nedenle transistörün çıkış karakteristiği; beyz akımındaki ( $I_B$ )B değişime bağlı olarak, kollektör akımı ( $I_C$ ) ve kollektör-emiter ( $V_{CE}$ ) gerilimindeki değişimi verir. Transistörün çıkış karakteristiğini elde etmek için gerekli devre düzeneği ve transistörün çıkış karakteristik eğrileri şekil-1.9'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

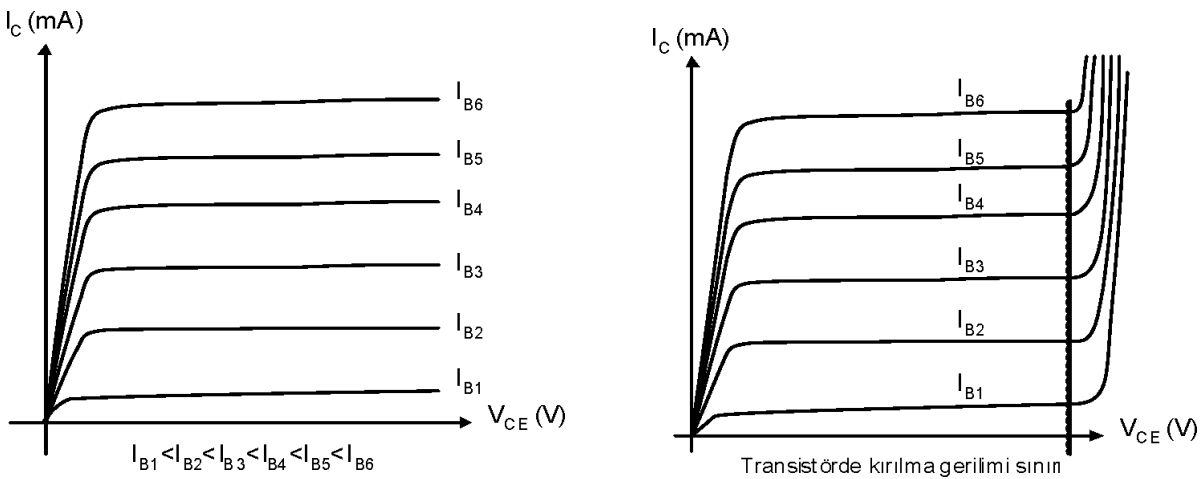


Şekil-1.9 Transistörün çıkış karakteristiklerinin çıkarılması ve çıkış karakteristikleri

Devredeki  $V_{BB}$  kaynağı beyz akımını ayarlama için kullanılır. Bu kaynağın oluşturduğu beyz akımı değerine bağlı olarak transistörün kollektör akımı değişecektir. Karakteristik çıkarmak için farklı  $I_B$  ve  $I_C$  değerleri için  $V_{CE}$  gerilimleri ölçülür ve kaydedilir. Başlangıçta  $V_{CC}=0$ ,  $I_C=0$  ve  $V_{CE}=0$  iken  $V_{BB}$ 'nin belirli bir  $I_B$  değeri vermek üzere ayarlandığını kabul edelim.  $V_{CC}$  geriliminin artırılmasıyla birlikte  $I_C$  akımı dolayısıyla  $V_{CE}$  artacaktır. Bu durum şekil-4.11'deki karakteristik üzerinde gösterilmiştir (A-B noktaları arası).  $V_{CE}$  gerilimi B noktasına ulaşana kadar beyz, kolektörden daha yüksek potansiyeldedir ve B-C jonksiyonu

doğru yönde polarmalanmıştır. Bu nedenle gerilim artışı ile birlikte kollektör akımında artmaktadır.  $V_{CE}$  gerilimi B noktasına ulaştığında değerı yaklaşık olarak 0.7V civarındadır. Bu anda beyz- kollektör jonksiyonu ters yönde polarmalanmaya başlar. Kollektör akımı  $I_C = \beta \cdot I_B$  ilişkisi ile gösterilen maksimum değerine ulaşır. Bu noktadan sonra  $V_{CE}$  gerilimine karşılık  $I_C$  değerı hemen hemen sabit kalmaya başlar. Bu durum karakteristikte B ve C noktaları arasında görülmektedir. Gerçekte ise artan  $V_{CE}$  gerilimi ile beyz-kollektör jonksiyonu fakirleşmiş bölgenin büyümesi nedeniyle kollektör akımında az miktarda artmaktadır.

Üretici firmalar her bir transistörün giriş ve çıkış karakteristik eğrilerini kataloglarında kullanıycıya sunarlar. Şekil-1.10'de farklı beyz akımlarında transistörün çıkış karakteristik eğrileri verilmiştir. Transistörlerle yapılan devre tasarımılarında üretici firmanın verdiği karakteristik eğrilerden yararlanılır.



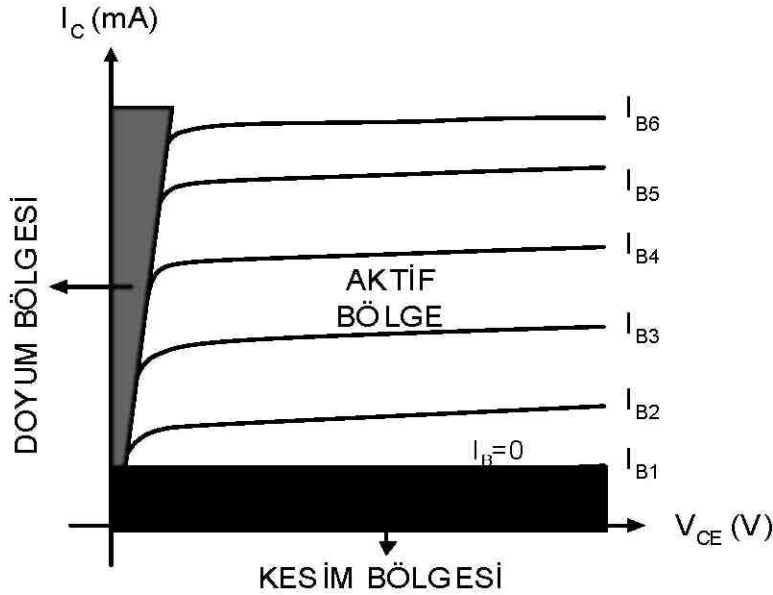
Şekil-1.10 Transistörün  $I_C$ - $V_{CE}$  karakteristikleri ve kırılma gerilimi

Transistöre uygulanan  $V_{CE}$  gerilimi önemlidir. Bu gerilim değerı belirli limitler dahilindedir. Bu gerilim belirlenen limit değerı aştığında transistörde kırılma olayı meydana gelerek bozulmaya neden olur. Bu durum Şekil-1.10'da gösterilmiştir. Kırılma gerilim değerleri üretilen her bir transistör tipi için üretici kataloglarında verilir.

### TRANSİSTÖRDE ÇALIŞMA BÖLGELERİ

Transistörlerde başlıca 3 çalışma bölgesi vardır. Bu bölgeler; aktif bölge, kesim (cut-off) bölgesi ve doyum (saturation) bölgesi olarak adlandırılır. Transistörün alışma bölgeleri Şekil-

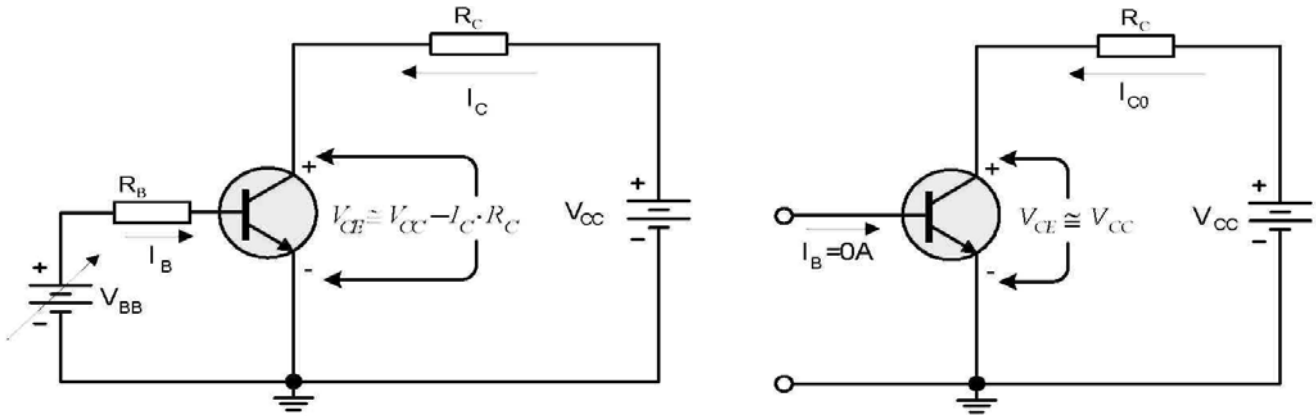
1.10’da transistörün çıkış karakteristikleri üzerinde gösterilmiştir. Bu bölgeleri kısaca inceleyelim.



Şekil-1.10 Transistörlerde çalışma bölgeleri

**Aktif Bölge:** Transistörün aktif bölgesi; beyz akımının sıfırdan büyük ( $I_B > 0$ ) ve kollektör-emiter geriliminin  $0V$ 'dan büyük ( $V_{CE} > 0V$ ) olduğu bölgedir. Transistör aktif bölgede çalışabilmesi için beyz-emiter jonksiyonu doğru, kollektör-beyz jonksiyonu ise ters yönde polarmalanır. Bu bölgede transistörün çıkış akımı öncelikle beyz akımına, küçük bir miktarda  $V_{CE}$  gerilimine bağlıdır. Doğrusal yükselteç tasarımı ve uygulamalarında transistör genellikle bu bölgede çalıştırılır.

**Kesim Bölgesi:** Transistörün kesim bölgesinde nasıl çalıştığı şekil-1.11.a yardımıyla açıklanacaktır. Şekilde görüldüğü gibi transistörün beyz akımı  $I_B = 0$  olduğunda, beyz-emiter gerilimi de  $V_{BE} = 0V$  olacağı için devrede kollektör akımı ( $I_C$ ) oluşmayacaktır. Bu durumda transistör kesimdedir. Kollektör-emiter jonksiyonları çok yüksek bir direnç değeri gösterir ve akım akmasına izin vermez. Transistörün kollektör-emiter gerilimi  $V_{CE}$ , besleme gerilimi  $V_{CC}$  değerine eşit olur. Kollektörden sadece  $I_{C0}$  ile belirtilen çok küçük bir akım akar. Bu akıma “sızıntı akımı” denir. Sızıntı akımı pek çok uygulamada ihmal edilebilir.



a) Transistörün kesim bölgesinde çalışması b) Transistörün doyum bölgesinde çalışması

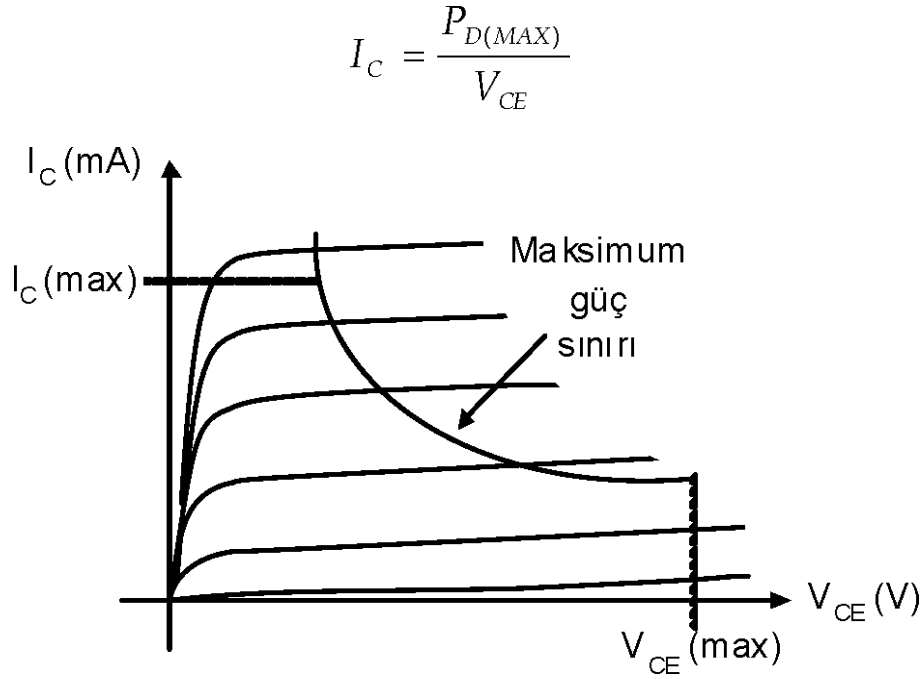
Şekil-1.11.a ve b Transistörün kesim ve doyum bölgesinde çalışması

**Doyum Bölgesi:** Transistörün doyum (saturation) bölgesinde çalışma şekil-1.11.b yardımıyla açıklanacaktır. Transistöre uygulanan beyz akımı artırıldığında kollektör akımında artacaktır. Bu işlemin sonucunda transistörün  $V_{CE}$  gerilimi azalacaktır. Çünkü  $I_C$  akımının artması ile  $R_C$  yük direnci üzerindeki gerilim düşümü artacaktır.

Kollektör-emiter gerilimi doyum değerine ulaştığında ( $V_{CE(doy)}$ ) beyz-emiter jonksiyonu doğru yönde polarmalanacaktır. Sonuçta  $I_B$  değeri daha fazla yükselse bile  $I_C$  akımı daha fazla artmayacaktır. Bu durumda transistördeki  $I_C = \beta \cdot I_B$  eşitliği doğruluğunu kaybedecektir. Doyum bölgesinde çalışan bir transistörün kolektör-emiter gerilimi  $V_{CE}$  yaklaşık 0V civarındadır. Bu değer genellikle  $V_{CE(doy)} = 0V$  olarak ifade edilir.

### Transistörde Maksimum Güç Sınırı

Her bir transistör tipinin çalışma alanını belirleyen bir takım sınır (maksimum) değerler vardır. Bu değerler standart transistör kataloglarında verilir. Transistörle yapılan tasarımlarda bu değerlere uyulmalıdır. Kataloglarda verilen tipik maksimum sınır değerlerini; kollektör-beyz gerilimi ( $V_{CB(max)}$ ), emiter-beyz gerilimi ( $V_{BE(max)}$ ), kollektör-emiter gerilimi ( $V_{CE(max)}$ ), kollektör akımı ( $I_{C(max)}$ ) ve maksimum güç harcaması ( $P_{D(max)}$ ) olarak sayabiliriz. Şekil-1.12’de tipik bir çıkış karakteristiği üzerinde maksimum değerler gösterilmiştir. Transistörlerde güç harcaması; kollektör-emiter gerilimi ( $V_{CE}$ ) ve kollektör akımına ( $I_C$ ) bağlıdır. Aşağıdaki gibi formüle edilir.



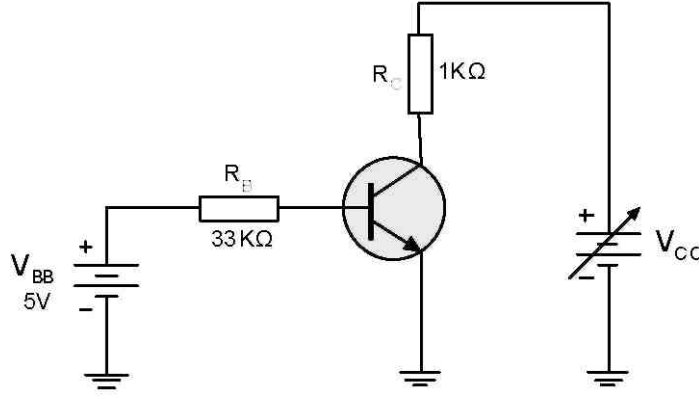
Şekil-1.12 Transistörde maksimum sınır değerler ve güç sınırı

**Örnek:** Aktif bölgede çalışan bir transistörün  $V_{CE}$  gerilimi 8V ölçülmüştür. Transistörün maksimum güç harcama sınırı 300mW verildiğine göre, kollektör akımının maksimum değeri ne olmalıdır. Hesaplayınız?

$$I_C = \frac{P_{D(max)}}{V_{CE}} = \frac{300mW}{8V} = 37.5mA$$

**Çözüm:**

**Örnek:** Şekildeki devrede transistörün maksimum sınır değerleri verilmiştir. Transistörün zarar görmeden çalıştırılabileceği maksimum  $V_{CC}$  gerilimi değeri ne olmalıdır? Hesaplayınız?



$$\begin{aligned} P_{D(MAX)} &= 1W \\ V_{CE(MAX)} &= 20V \\ I_{C(MAX)} &= 100mA \\ \beta_{DC} &= 150 \end{aligned}$$

**Çözüm:** Transistörün  $V_{CE}$  gerilimi değerini belirleyen faktörler;  $V_{CC}$ ,  $I_C$  ve  $I_B$  değerleridir. İlk etapta devredeki  $I_B$  değerini belirleyelim.

$$V_{BB} = I_B \cdot R_B + V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \Rightarrow I_B = \frac{5V - 0.7V}{33K\Omega} = 130\mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_C = 150 \cdot 130\mu A \Rightarrow 19.5mA$$

$V_{CE}$  geriliminin 20V olmasını sağlayan  $I_C$  akımının değeri,  $I_{C(max)}$  değerinden küçüktür.  $I_C$  akımını belirleyen bir diğer faktör ise  $V_{CC}$  gerilimidir. Bu gerilimin olması gereken değerini bulalım.

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE}$$

$$V_{CC} = 19.5mA \cdot 1K\Omega + 20V$$

$$V_{CC} = 39.5V$$

Buradan transistörün maksimum güç şartlarında çalışabilmesi için  $V_{CC}$  geriliminin alabileceği değeri belirledik. Şimdi transistörde harcanabilecek maksimum gücü bulalım.

$$P_D = V_{CE(MAX)} \cdot I_C \rightarrow P_D = 20 V \cdot 19.5 mA \rightarrow P_D = 390 mW$$

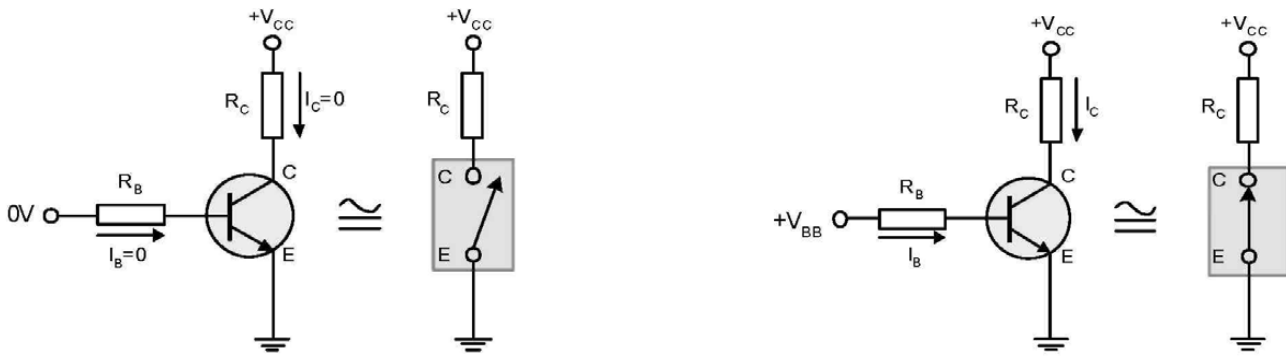
Transistörde harcanabilecek toplam güç, 390 mW bulunmuştur. Bu değer transistörün sınır güç değerinden (1W) küçüktür. 39.5V'luk  $V_{CC}$  besleme geriliminde güvenli bir çalışma ortamı sağlanmıştır.

### TRANSİSTÖRÜN ANAHTAR OLARAK ÇALIŞMASI

Transistörlerin en popüler uygulama alanlarına örnek olarak yükselteç ve anahtarlama devrelerini verebiliriz. Transistörün elektronik anahtar olarak kullanılmasında kesim ve doyum bölgelerinde çalışmasından yararlanır.

İdeal bir anahtar, açık olduğunda direnci sonsuzdur. Üzerinden akım akmasına izin vermez. Kapalı konuma alındığında ise direnci sıfırdır ve üzerinde gerilim düşümü olmaz. Ayrıca anahtar bir durumdan, diğer duruma zaman kaybı olmadan geçebilmelidir. Transistörle gerçekleştirilen elektronik anahtar, ideal bir anahtar değildir. Fakat transistör küçük bir güç kaybı ile anahtar olarak çalışabilir.

Transistörün bir anahtar olarak nasıl kullanıldığı şekil-1.12'de verilmiştir. Şekil-1.12.a'da görüldüğü gibi transistörün beyz-emiter jonksiyonu ters yönde polarmalanmıştır. Dolayısıyla transistörün kesimdedir. Kollektör-emiter arası ideal olarak açık devredir. Transistör bu durumda açık bir anahtar olarak davranır.



a) Transistör kesimde -Anahtar AÇIK

b) Transistör doyumda -Anahtar KAPALI

Şekil-1.12.a ve b Transistörün anahtar olarak çalışması



Şekil-1.12.b’de ise transistörün beyz-emiter jonksiyonu doğru yönde polarmalanmıştır. Bu devrede beyz akımı yeterli derecede büyük seçilirse transistör doyum bölgesinde çalışacaktır. Kollektör akımı maksimum olacak ve transistörün kollektör-emiter arası ideal olarak kısa devre olacaktır. Transistör bu durumda kapalı bir anahtar gibi davranır.

**Transistör kesimdeyken;**

Beyz-emiter jonksiyonu iletim yönünde polarmalanmamıştır. Dolayısıyla transistörün kollektör-emiter gerilimi;

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

değerine eşittir. Bu değer aynı zamanda transistörün çıkış gerilimidir. Transistör kesimdeyken  $I_C = 0$  olduğunu biliyoruz. Çünkü transistörün kollektör-emiter arası açık devredir. Bu durumda;

$$V_{CE(KESİM)} = V_{CC}$$

olur. Bu gerilim, transistörün kollektör-emiter arasında görülebilecek maksimum değerdir ve yaklaşık olarak transistörün besleme gerilimi  $V_{CC}$  değerine eşittir.

**Transistör doyumdayken;**

Kollektör akımı maksimum değerine ulaşmaktadır. Kollektör-emiter gerilimi ise ideal olarak düşünülürse  $V_{CE} = 0$  V olmaktadır. Bu durumda transistörün kollektör akımı;

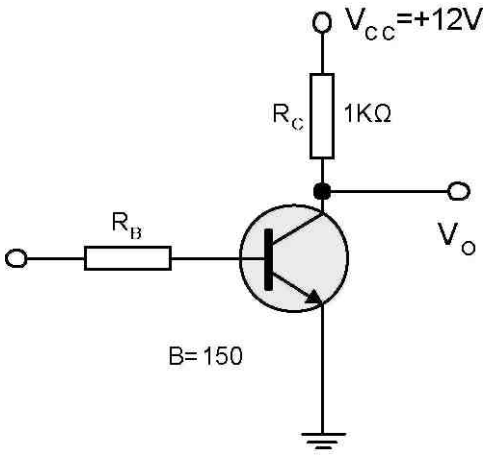
$$V_{CC} = V_{CE(DOYUM)} + I_C \cdot R_C$$

$$I_{C(DOYUM)} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

değerine eşit olur. Bu değerden hareketle transistörü doyumda tutacak beyz akımının minimum değeri belirlenebilir.

$$I_{B(\min)} = \frac{I_C}{\beta}$$

**Örnek:** Şekilde ki devrede transistör anahtarlama amacı ile kullanılmaktadır.



- $V_B = 0 \text{ V}$  olduğunda  $V_O$  değerini bulunuz?
- Transistörü doyumda tutacak minimum beyz akımını bulunuz?
- $V_B = 6 \text{ V}$  olduğunda transistörü doyumda tutacak  $R_B$  değerini bulunuz?

**Çözüm:**

a)  $V_B = 0 \text{ V}$  olduğunda transistör kesimdedir. Kollektör akımı  $I_C = 0 \text{ A}$  olur. Dolayısıyla transistörün  $V_O$  gerilimi;

$$V_O = V_{CE} = V_{CC} = +12 \text{ V}$$

b) Transistör doyumda olduğunda;  $V_{CE(\text{DOYUM})} = 0 \text{ V}$  olacaktır. Buradan  $I_C$  akımını bulalım.

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE}$$

$$I_{C(DOYUM)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12V}{1K} = 12mA$$

olacaktır. Buradan transistörü doyumda tutacak beyz akımının minimum değerini buluruz.

$$I_{B(MIN)} = \frac{I_{C(DOYUM)}}{\beta} = \frac{12mA}{150} = 80\mu A$$

Bulunan bu değer; transistörü doyumda tutmak için gereken beyz akımının minimum değeridir. Beyz akımının bu değerden daha fazla olması kollektör akımını artırmayacaktır.

c) Transistörü doyuma ulaştıracak beyz akımını belirleyen devre elamanı  $R_B$  direncidir. Bu direncin olası değerini bulalım. Transistör iletme girdiğinde, beyz-emiter gerilimi  $V_{BE}=0.7V$  olacaktır. Dolayısıyla devreden  $R_B$  değerini bulabiliriz.

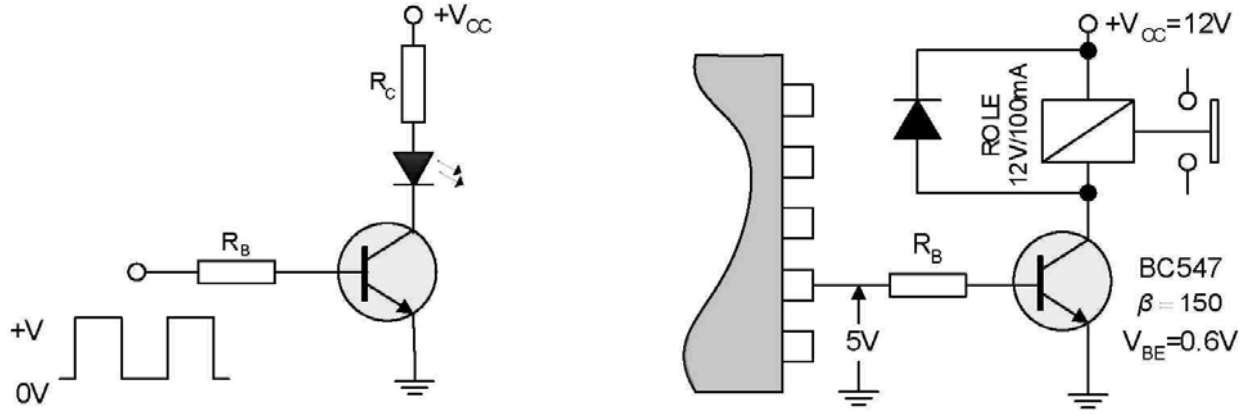
$$V_B = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

$$R_B = \frac{V_B - V_{BE}}{I_B} = \frac{6V - 0.7V}{80\mu A} = 66.2K\Omega$$

olarak bulunur.

### Transistörlü anahtar uygulaması

Pek çok endüstriyel uygulamada veya sayısal tasarımda tümdevrelerin çıkışından alınan işaretlerin kuvvetlendirilmesi istenir. Örneğin şekil-4.15'a da tümdevre çıkışından alınan bir kare dalga işaretin bir led'i yakıp söndürmesi için gerekli devre düzeneği verilmiştir. Giriş işareti; 0V olduğunda transistör kesimdedir, LED yanmayacaktır. Giriş işareti +V değerine ulaştığında ise transistör iletme geçerek LED yanacaktır.



a) Transistörün anahtar olarak çalışması      b) Transistörle role kontrol

Şekil-4.15.a ve b Transistörün anahtar olarak kullanılması

Şekil-4.15.b’de ise bir tümdevre çıkışından alınan işaretin kuvvetlendirilerek bir röleyi, dolayısıyla role kontaklarına bağlı bir yükü kontrol etmesi gösterilmiştir.

**Örnek:** Şekil-4-15.b’de verilen devrede tümdevre çıkışı +5V olduğunda rolenin kontaklarını çekmesi istenmektedir. Tümdevre çıkışının izin verdiği akım miktarı 10mA’dır. R<sub>B</sub> direncinin değeri ne olmalıdır? Hesaplayınız?

**Çözüm:** Rolenin kontaklarını çekebilmesi için gerekli minimum akım değeri 100mA’dır. Dolayısıyla transistörün kolektöründen akacak I<sub>C</sub> akımı değeri 100mA’dır. Buradan I<sub>B</sub> akımının olması gereken değerini bulabiliriz.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{100mA}{150} = 0.6mA$$

Bulunan bu değer; transistörü doyumda tutmak için gereken beyz akımının minimum değeridir. Şimdi bu akımı akıtacak R<sub>B</sub> değerini bulalım. Devreden;

$$+5V = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

$$R_B = \frac{V_B - V_{BE}}{I_B} = \frac{5V - 0.6V}{0.6mA} = 7.3K\Omega$$

## TRANSİSTÖRÜN YÜKSELTEÇ OLARAK ÇALIŞMASI

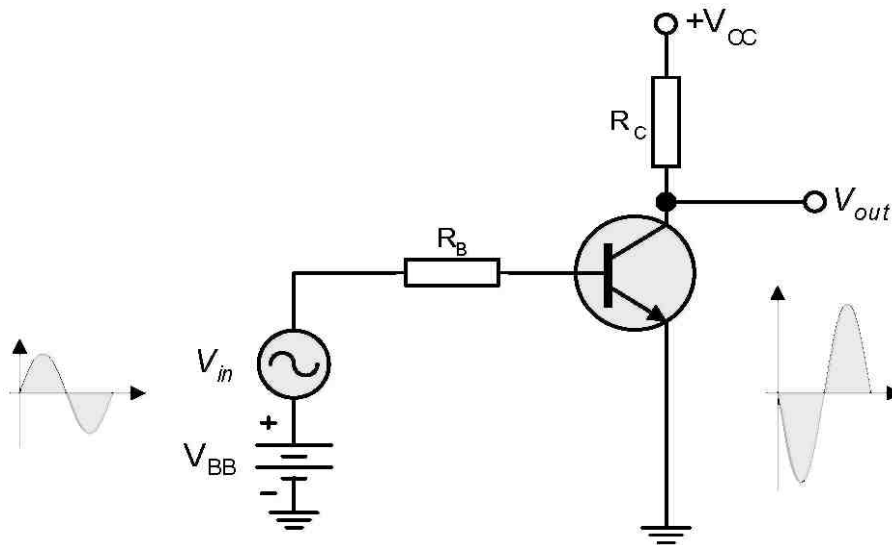
Transistörlerin çok popüler bir diğer uygulama alanı ise yükselteç (amplifier) devresi tasarımıdır. Yükseltme (amplifikasyon) işlemi, transistöre uvsulanan her hangi bir işaretin genliğinin veya gücünün doğrusal olarak kuvvetlendirilmesi (yükseltilmesi) işlemidir. Yükselteç olarak tasarlanacak transistör, genellikle aktif bölgede çalıştırılır. Bu bölümde

Transistörün en temel uygulama alanlarından biri de yükselteç (amplifier) devresi tasarımıdır. Temel bir yükselteç devresinin işlevi, girişine uygulanan işareti yükselterek (kuvvetlendirerek) çıkışına aktarmasıdır.

Transistörlü temel bir yükselteç devresi şekil-1.13’de verilmiştir. Devrede kullanılan dc kaynaklar transistörün aktif bölgede çalışmasını sağlamak içindir. Devre girişine uygulanan ac işaret ( $V_{in}$ ) ise yükseltme işlemine tabi tutulacaktır.

Transistörlü yükselteç devresinde; devrenin yükselteç olarak çalışabilmesi için dc besleme (polarma) gerilimlerine gereksinim vardır. Dolayısıyla transistörlü yükselteç devreleri genel olarak iki aşamada incelenilirler. Bu aşamalar;

- Transistörlü yükselteç devrelerinin dc analizi
- Transistörlü yükselteç devrelerinin ac analizi



Şekil-1.13 Transistörlü yükselteç devresi

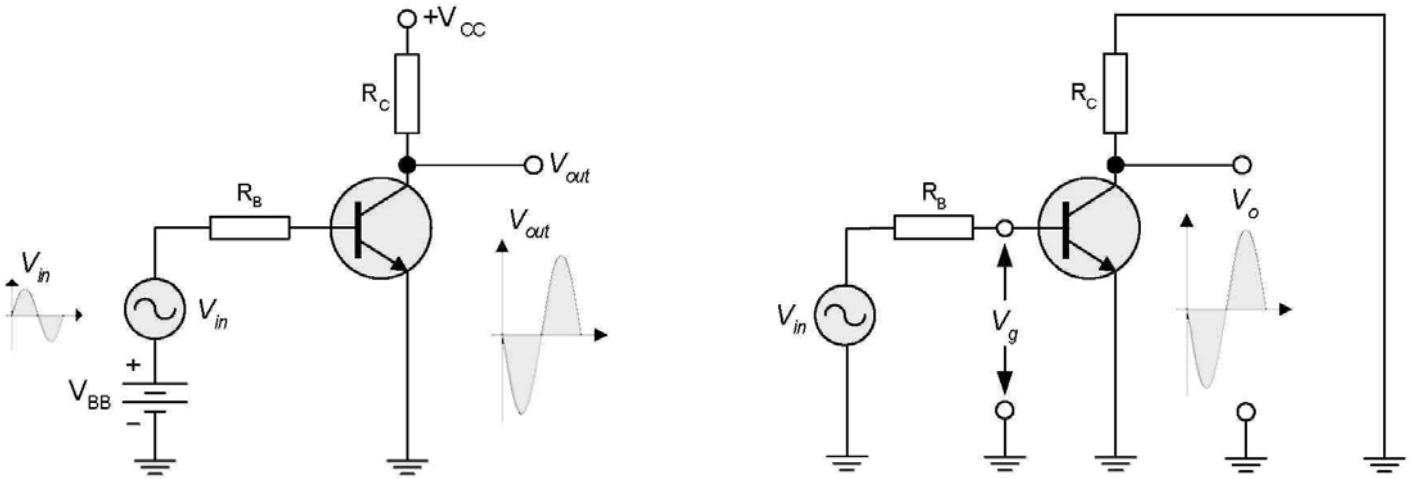
### DC Analiz

İyi bir yükselteç tasarımı için transistörün özelliklerine uygun dc polarma akım ve gerilimleri seçilmelidir. Dolayısıyla yükselteç tasarımında yapılması gereken ilk adım transistörlü yükselteç devresinin dc analizidir. Analiz işleminde transistörün çalışma bölgesi belirlenir. Bu bölge için uygun akım ve gerilimler hesaplanır. Sonuçta; transistörlü yükselteç devresi ac çalışmaya hazır hale getirilir.

Transistörlü yükselteç devrelerinin dc analizinde eşdeğer devrelerden yararlanır. Transistörlü yükselteç devrelerinin dc analizi ilerideki bölümlerde tüm ayrıntıları ile incelenecektir.

### AC Analiz

Transistörlü yükselteç tasarımında ikinci evre, tasarlanan veya tasarlanacak yükselteç devresinin ac analizidir. Yükselteç devresinin ac analizini yapılırken eşdeğer devrelerden yararlanır. Şekil-1.14'a da transistörlü temel bir yükselteç devresi verilmiştir. Aynı devrenin ac eşdeğeri devresi ise şekil-1.14.b'de görülmektedir.



a) Transistörlü yükselteç devresi

b) Transistörlü yükselteç devresinin ac eşdeğeri

Şekil-1.14.a ve b Transistörlü temel yükselteç devresi ve ac eşdeğeri

Transistörlü bir yükselteç devresinin ac eşdeğer devresi çizilirken, dc kaynaklar kısa devre yapılır. Yükselteç devresi doğal olarak girişinden uygulanan ac işareti yükselterek çıkışına aktaracaktır. Dolayısıyla bir kazanç söz konusudur.



Yükseltecin temel amacında bu kazancı sağlamaktır. Bir yükselteç devresi; girişinden uygulanan işaretin genliğini, akımını veya gücünü yükseltebilir. Dolayısıyla bir akım, gerilim veya güç kazancı söz konusudur.

Yükselteçlerde kazanç ifadesi A ile sembolize edilir. Gerilim kazancı için  $A_V$ , Akım kazancı için  $A_I$  ve güç kazancı için  $A_P$  sembolleri kullanılır.

Örneğin şekil-1.14'de görülen yükselteç devresinin gerilim kazancı  $A_V$ ;

$$A_V = \frac{V_0}{V_g}$$

Transistörlü yükselteçler, belirtildiği gibi elektronik biliminin en önemli konularından birisidir. Bu nedenle transistörlü yükselteçlerin analizi ve tasarımı bu kitabın ilerleyen bölümlerinde ayrıntılı olarak incelenecektir. Bu bölümde sizlere kısa ön bilgiler sunulmuştur.

HAZIRLAYAN  
ADİL TEOMAN KURT

ÜN VAN  
AR-GE MÜHENDİSİ

TARİH  
21.03.2018