

# Elektronik

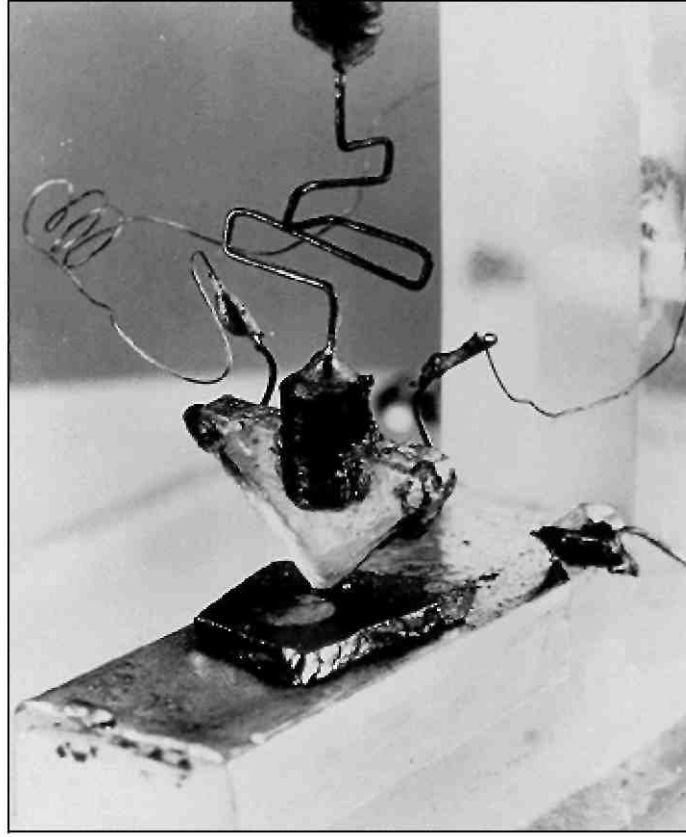
## Ders Notları

### 5

Derleyen: Dr. Tayfun Demirtürk

E-mail: [tdemirturk@pau.edu.tr](mailto:tdemirturk@pau.edu.tr)

## BİPOLAR JONKSİYON TRANSİSTÖR



*Üretilen ilk yarıiletken transistör ve bulan bilim adamları*

### **Konular:**

- Transistörün Yapısı
- Transistörün Çalışması
- Transistör Karakteristikleri ve parametreleri
- Transistörün anahtar olarak çalışması
- Transistörün Yükselteç olarak çalışması
- Transistörlerde kılıf tipleri

Elektronik bilimi, 1904–1947 yılları arasında elektron lambalarının kullanımıyla gelişip önem kazandı. İlk diyot lamba 1904 yılında J.A. Fleming tarafından yapıldı. 1906 yılında Lee De Forest, diyot lambaya üçüncü elektrodu ilave ederek Triyot lambayı geliştirdi. İzleyen yıllarda elektron lambalarındaki gelişmelere paralel olarak ilk radyo ve televizyon üretildi.

1931–1940 yılları katı maddeler elektroniği hakkında daha ziyade teorik çalışmalar devri olmuştur. Bu sahada isimleri en çok duyulanlar, L. Brillouin, A. H. Wilson, J. C. Slater, F. Seitz ve W. Schottky'dir.

23 Haziran 1947 tarihinde elektronik endüstrisi gelişme yolunda en büyük adımı attı. Bu tarihte Bell laboratuvarlarında Walter H. Brattain ve John Bardeen tarafından nokta temaslı ilk transistör tanıtıldı. Yükselteç olarak başarıyla denendi. Bulunan bu yeni elemanın elektron lambalarına göre birçok üstünlüğü vardı.

İmal edilen ilk transistör, nokta temaslı transistördü ve gücü miliwatt seviyesindeydi. Sadece alçak frekanslarda kullanılabilirdi. Bu transistörün esası, germanyum bir parça üzerine iki madeni ucun çok yakın şekilde bağlanmasından ibaretti. Kolay tahrip olması ve fazla dip gürültüsü olması sebebiyle çok tutulmamıştır.

1949'da William Shockley tarafından geliştirilen "Jonksiyon Transistör" ise 1953'ten itibaren elektroniğin çeşitli alanlarında deneysel maksatlarla, 1956'dan itibaren ise her alanda seri olarak kullanılmaya başlanmıştır. Zamanla daha pek çok transistör çeşidi bulunarak hizmete sunulmuştur.

Günümüzde transistörler mikron teknolojisi ile üretilebilir hale gelmiş ve tüm-devrelerin (entegre=chip= $I_c$ 's) içinde kullanılmaya başlanmıştır. Kullandığımız bilgisayarların işlemcileri modeline göre 3 ila 100 milyon adet transistör içerebilmektedir.

Transistör, bir grup elektronik devre elemanına verilen temel addır. Transistörler yapılan ve işlevlerine bağlı olarak kendi aralarında gruplara ayrılırlar. BJT (Bipolar Jonksiyon Transistör), FET, MOSFET, UJT v.b gibi... Elektronik endüstrisinde her bir transistör tipi kendi adı ile anılır. FET, UJT, MOSFET... gibi. Genel olarak transistör denilince akla BJT'ler gelir. Bu

bölümde bipolar jonksiyon transistörlerin genel yapısını, özelliklerini ve çalışmasını inceleyeceğiz.



Çeşitli tip transistörlerin görünüşleri

## TRANSİSTÖRÜN YAPISI

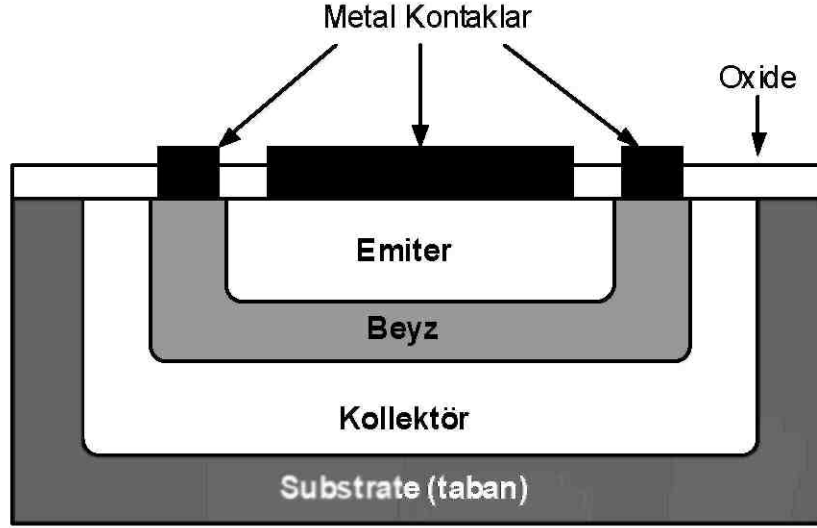
Transistörler, katı-hal "solid-state" devre elemanlarıdır. Transistör yapımında silisyum, germanyum ya da uygun yarıiletken karışımlar kullanılmaktadır. Bu bölümde; Bipolar Jonksiyon transistörlerin temel yapısını inceleyeceğiz. Transistör sözcüğü akla ilk olarak BJT'leri getirir. Diğer transistörler adları ile anılırlar. FET, MOSFET, UJT... gibi. Bipolar Transistörler NPN ve PNP olmak üzere iki temel yapıda üretilirler

Bu bölümü bitirdiğinizde; aşağıda belirtilen konular hakkında ayrıntılı bilgilere sahip olacaksınız.

- NPN ve PNP transistörlerin temel yapısı
- NPN ve PNP tipi transistörlerin şematik gösterimi
- Bipolar Transistörlerin temel çalışma prensipleri

Bipolar Jonksiyon Transistör (BJT) elektronik endüstrisinin en temel yarıiletken devre elemanlarından biridir. BJT; anlam olarak "Çift kutuplu yüzey birleşimli transistör" ifadesini ortaya çıkarır. BJT içinde hem çoğunluk taşıyıcıları, hem de azınlık taşıyıcıları görev yapar. Bundan dolayı bipolar (çift kutuplu) sözcüğü kullanılır. Transistör ilk icat edildiğinde yarı iletken maddeler birbirlerine nokta temaslı olarak monte edilirdi. Bu nedenle onlara "Nokta Temaslı Transistör" denirdi. Günümüzde transistörler yapım itibari ile bir tost görünümündedir. Transistör imalatında kullanılan yarı iletkenler, birbirlerine yüzey birleşimli olarak üretilmektedir. Bu nedenle "Bipolar Jonksiyon Transistör" olarak adlandırılırlar. Transistörün

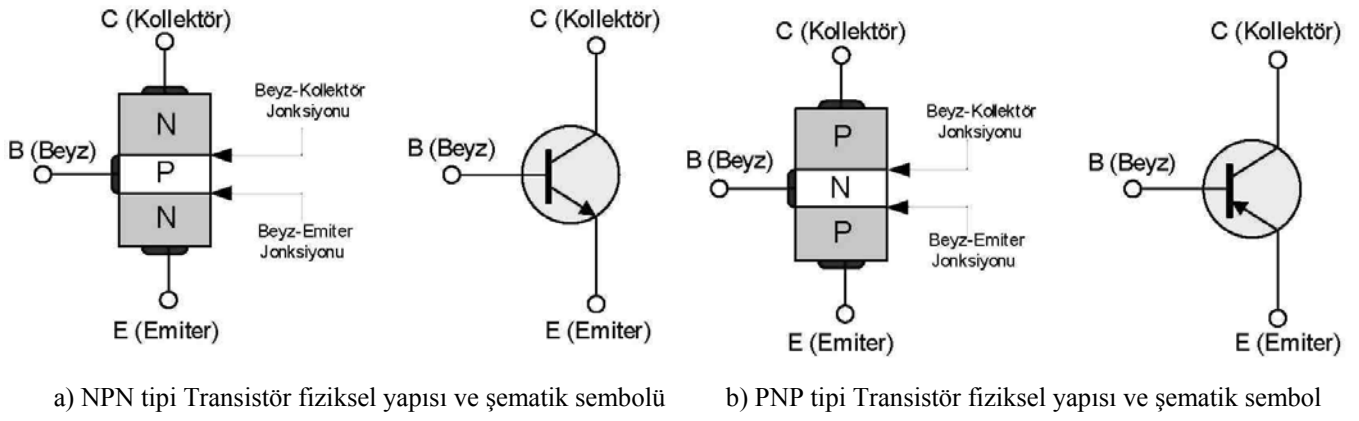
temel yapısı şekil-4.1’de gösterilmiştir.



Şekil-4.1 Bipolar Jonksiyon transistörün yapısı

BJT transistörler katkılandırılmış P ve N tipi malzeme kullanılarak üretilir. NPN ve PNP olmak üzere başlıca iki tipi vardır. NPN transistörde 2 adet N tipi yarıiletken madde arasına 1 adet P tipi yarıiletken madde konur. PNP tipi transistörde ise, 2 adet P tipi yarıiletken madde arasına 1 adet N tipi yarıiletken madde konur. Dolayısıyla transistör 3 adet katmana veya terminale sahiptir diyebiliriz.

Transistörün her bir terminale işlevlerinden ötürü; Emiter (Emitter), Beyz (Base) ve Kollektör (Collector) adları verilir. Bu terminaller; genelde E, B ve C harfleri ile sembolize edilirler. Şekil-4.2’de NPN tipi ve PNP tipi transistörün fiziksel yapısı ve şematik sembolleri verilmiştir. Fiziksel yapıdan da görüldüğü gibi transistörün iki jonksiyonu vardır. Bunlardan beyz-emiter arasındaki bölge “beyz-emiter jonksiyonu”, beyz-kollektör arasındaki bölge ise “beyz-kollektör jonksiyonu” olarak adlandırılır. Transistörlerde beyz bölgesi; kollektör ve Emiter bölgelerine göre daha az katkılandırılır. Ayrıca beyz bölgesi; kollektör ve Emiter bölgesine nazaran çok daha dar tutulur.



Şekil-4.2 NPN ve PNP tipi transistörlerin fiziksel yapısı ve şematik sembolleri

## TRANSİSTÖRÜN ÇALIŞMA İLKELERİ

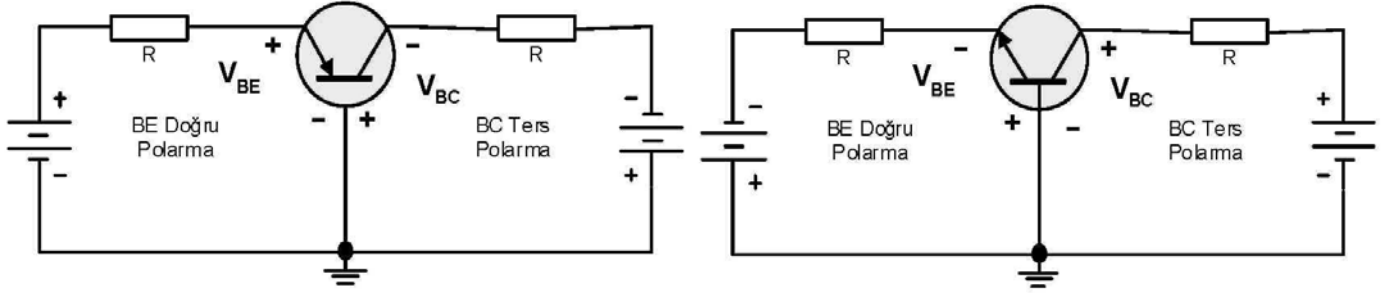
Bipolar transistörlerin genelde iki çalışma modu vardır. Yükselteç (amplifier) ve anahtar olarak. Transistör, her iki çalışma modunda harici dc besleme gerilimlerine gereksinim duyar. Bu bölümde NPN tipi transistörün çalışma ilkeleri analiz edilecektir. PNP tipi transistörün çalışma ilkeleri, NPN ile benzerlik gösterir. PNP tipi transistörde dc besleme gerilimi ve akımlarının yönleri terstir. Bu nedenle sadece NPN tipi transistörlerin çalışması incelenecektir. Bu bölümü bitirdiğinizde; aşağıda belirtilen konular hakkında ayrıntılı bilgilere sahip olacaksınız.

- Transistörlerin doğru ve ters yönde polarmalandırılması
- Transistörlerde polarma gerilimlerinin bağlantı yönleri
- Transistörlerde oluşan akım ve gerilim ilişkileri
- Transistörde beyz, emiter ve kolektör akımları arasındaki ilişkiler

Transistörler genellikle çalışma bölgelerine göre sınıflandırılarak incelenebilir. Transistörün çalışma bölgeleri; kesim, doyum ve aktif bölge olarak adlandırılır. 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.

Yükselteç olarak çalıştırılacak bir transistörün PN jonksiyonları uygun şekilde polarmalandırılmalıdır.

Şekil-4.3’de NPN ve PNP tipi transistörlerin yükselteç olarak çalıştırılması için gerekli polarma gerilimleri ve bu gerilimlerin polariteleri verilmiştir. NPN tipi bir transistörde; beyz-emiter jonksiyonu doğru yönde, beyz-kollektör jonksiyonu ise ters yönde polarmalanır. Her iki transistöründe çalışma ilkeleri aynıdır. Sadece polarma gerilimi ve akımlarının yönleri terstir. Bu nedenle bu bölüm boyunca NPN tipi bir Transistörün çalışmasını analiz edeceğiz.

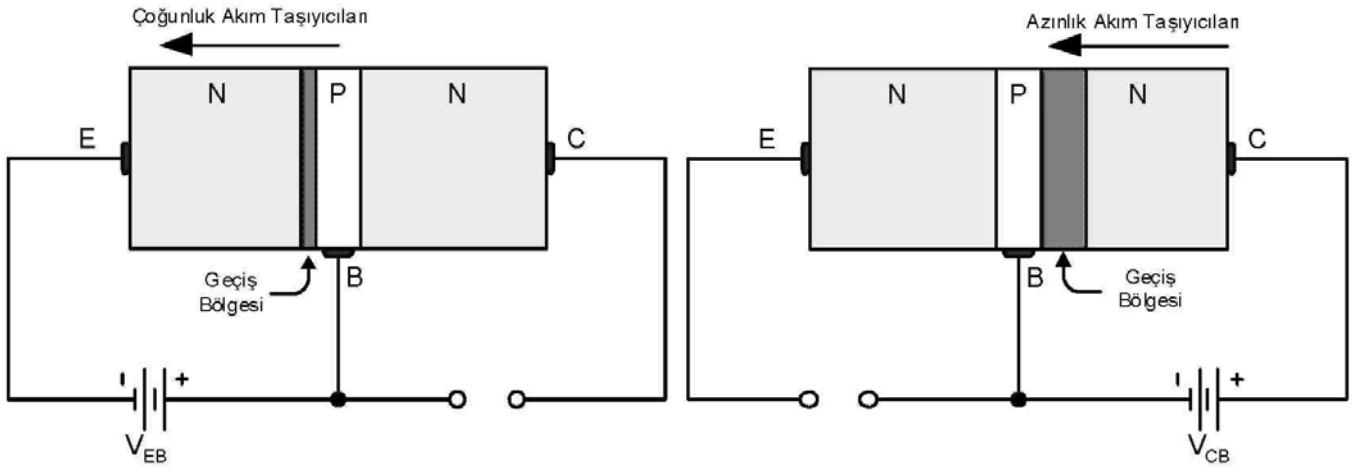


Şekil-4.3 NPN ve PNP transistörlerin polarlamaları

Transistörün yükselteç olarak çalışması şekil-4.4’de verilen bağlantılar dikkate alınarak anlatılacaktır. NPN tipi bir transistörde beyz terminaline, emitere göre daha pozitif bir gerilim uygulandığında doğru polarma yapılmıştır. Bu polarma etkisiyle geçiş bölgesi daralmaktadır. Bu durumda P tipi maddedeki (beyz) çoğunluk akım taşıyıcıları, N tipi maddeye (emiter) geçmektedirler.

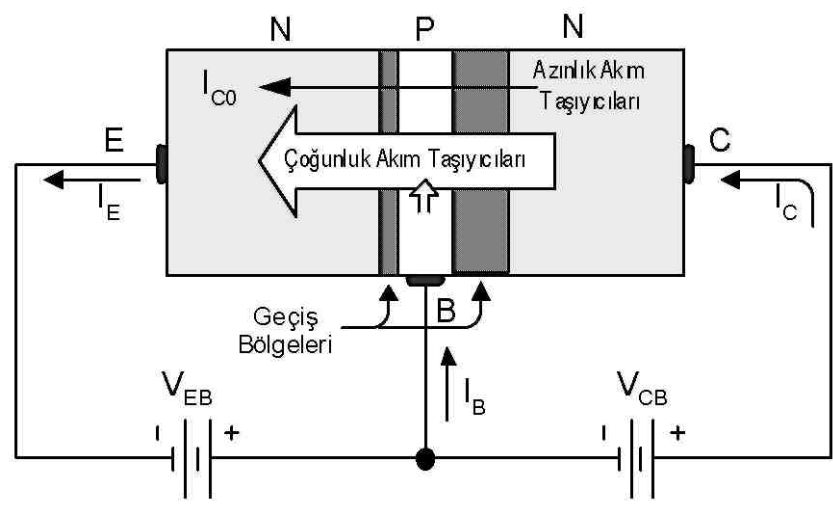
Emiter-beyz polarmasını iptal edip, beyz-kollektör arasına ters polarma uygulayalım. Bu durumda çoğunluk akım taşıyıcıları sıfırlanacaktır. Çünkü geçiş bölgesinin kalınlığı artacaktır. (Diyodun ters polarmadaki davranışını hatırlayın). Azınlık taşıyıcıları, beyz-kollektör jonksiyonundan  $V_{CB}$  kaynağına doğru akacaktır.

Özet olarak yükselteç olarak çalıştırılacak bir transistörde; Beyz-emiter jonksiyonları doğru, beyz-kollektör jonksiyonları ise ters polarmaya tabi tutulur diyebiliriz. Bu durum şekil-4.4’de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil-4.4 NPN tipi transistör jonksiyonlarının doğru ve ters polarmadaki davranışları

Transistörün nasıl çalıştığını anlamak amacıyla yukarıda iki kademede anlatılan olayları birleştirelim. Şekil-4.5’de NPN tipi bir transistöre polarizasyon gerilimleri birlikte uygulanmıştır. Transistörde oluşan çoğunluk ve azınlık akım taşıyıcıları ise şekil üzerinde gösterilmiştir. Transistörün hangi jonksiyonlarına doğru, hangilerine ters polarizasyon uygulandığını şekil üzerindeki geçiş bölgelerinin kalınlığına bakarak anlayabilirsiniz.



Şekil-4.5 NPN tipi transistörde çoğunluk ve azınlık akım taşıyıcılarının akışı

Doğru yönde polarizasyon emiter-beyz jonksiyonu, çok sayıda çoğunluk taşıyıcısının P tipi malzemeye (beyze) ulaşmasını sağlar. Beyz bölgesinde toplanan taşıyıcılar nereye gidecektir.  $I_B$  akımına katkıda mı bulunacaklardır yoksa N tipi malzemeye mi geçeceklerdir. Beyz bölgesinin (P tipi malzeme) iletkenliği düşüktür ve çok incedir. Bu nedenle; az sayıda taşıyıcı yüksek dirence sahip bu yolu izleyerek beyz ucuna ulaşacaktır. Dolayısıyla beyz akımı, emiter ve kolektör akımlarına kıyasla çok küçüktür.



Şekil-4.5’de gösterildiği gibi çoğunluk taşıyıcılarının çok büyük bir bölümü, ters polarmalı kolektör-beyz jonksiyonu üzerinden difüzyon yoluyla kolektör ucuna bağlı N-tipi malzemeye geçecektir. Çoğunluk taşıyıcılarının ters polarmalı jonksiyon üzerinden kolaylıkla geçmelerinin nedeni, N-tipi maddede (emiterde) bulunan oyuklardır. Bu durumda akım miktarı artacaktır. Sonuç kısaca özetlenecek olursa; emiterden enjekte edilen elektronların küçük bir miktarı ile beyz akımı oluşmaktadır. Elektronların geri kalan büyük bir kısmı ile kolektör akımı oluşmaktadır. Buradan hareketle; emiterden enjekte edilen elektronların miktarı, beyz ve kolektöre doğru akan elektronların toplamı kadar olduğu söylenebilir. Transistör akımları arasındaki ilişki aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$I_E = I_C + I_B$$

Kısaca, kolektör akımının miktarı beyz akımının miktarı ile doğru orantılıdır ve kolektöre uygulanan gerilimden bağımsızdır. Çünkü kolektör ancak beyzin toplayabildiği taşıyıcıları alabilmektedir. Emiterden gelen taşıyıcıların yaklaşık %99’u kolektöre geçerken geriye kalan çok küçük bir kısmı beyze akar.

#### **Bir transistörün çalışması için gerekli şartları kısaca özetleyelim.**

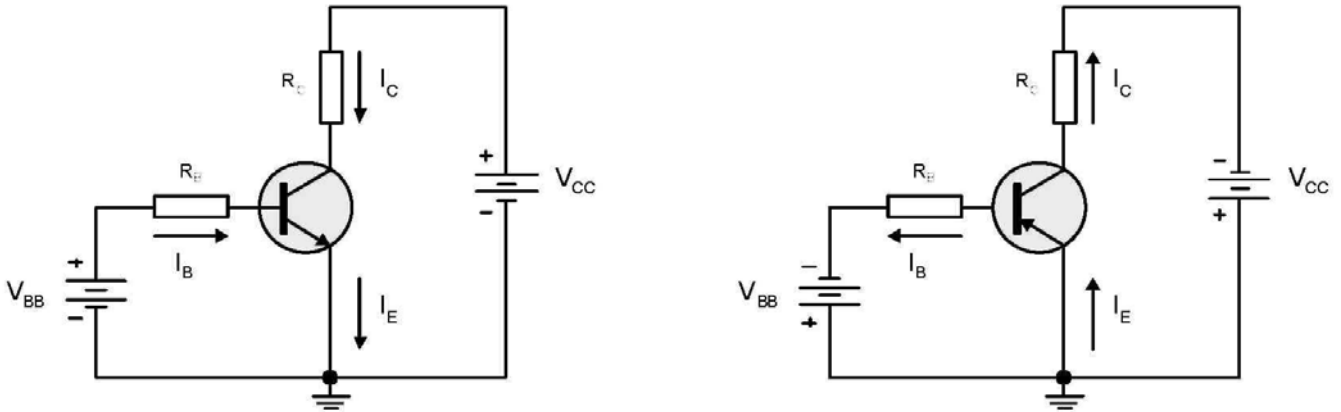
- Transistörün çalışabilmesi için; beyz-emiter jonksiyonu doğru yönde, beyz-kolektör jonksiyonu ise ters yönde polarmalandırılmalıdır. Bu çalışma biçimine transistörün aktif bölgede çalışması denir.
- Beyz akımı olmadan, emiter-kolektör jonksiyonlarından akım akmaz. Transistör kesimdedir. Farklı bir 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 PARAMETRELERİ VE KARAKTERİSTİKLERİ

Transistörle yapılan her türlü tasarım ve çalışmada dikkat edilmesi gereken ilk konu, transistörün dc polarlama gerilimleri ve akımlarıdır. Transistörlerin dc analizlerinde kullanılacak iki önemli parametre vardır. Bu parametreler;  $\beta_{DC}$  (dc akım kazancı) ve  $\alpha_{DC}$  olarak tanımlanır. Bu bölümü bitirdiğinizde; aşağıda belirtilen konular hakkında ayrıntılı bilgilere sahip olacaksınız.

- Transistörde dc beta ( $\beta_{DC}$ ) parametrelerinin tanıtımı
- Transistörde dc alfa ( $\alpha_{DC}$ ) parametrelerinin tanıtımı
- $\beta_{DC}$  ve  $\alpha_{DC}$  parametrelerinin karşılaştırılmaları ve matematiksel analizleri
- Transistör devrelerinde akım-gerilim ilişkileri
- Temel transistör devrelerinin dc analizleri
- Transistörlerin şematik gösterimi

Transistörlerin çalışması için gerekli ilk şart, dc polarlama gerilimlerinin uygun şekilde bağlanmasıdır. Şekil-4.6'da NPN ve PNP tipi transistörler için gerekli polarlama bağlantıları verilmiştir. Transistörün beyz-emiter jonksiyonuna  $V_{BB}$  kaynağı ile doğru polarlama uygulanmıştır. Beyz-kollektör jonksiyonuna ise  $V_{CC}$  kaynağı ile ters polarlama uygulanmıştır.



Şekil-4.7 NPN ve PNP transistörlerin polarlamaları

Bir transistörün analizi yapılırken iki önemli parametresi vardır. Bunlar;  $\beta_{DC}$  akım kazancı ve  $\alpha_{DC}$  akım kazancıdır. Bu parametreleri inceleyelim.

## DC Beta ( $\beta_{DC}$ ) ve DC Alfa ( $\alpha_{DC}$ )

$\beta$  akım kazancı, ortak emiter bağlantıda akım kazancı olarak da adlandırılır. Ortak emiter bağlantı kavramı ileride açıklanacaktır. 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. Ortak beyzli bağlantıda akım kazancı olarak bilinen  $\alpha$  değeri; kollektör akımının emiter akımına oranı olarak tanımlanır.

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

Emiter akımının kollektör akımından biraz daha büyük olduğu belirtilmişti. Dolayısıyla transistörlerde  $\alpha$  akım kazancı 1'den küçüktür.  $\alpha$  akım kazancının tipik değeri 0.95–0.99 arasındadır. Emiter akımı;  $I_E = I_C + I_B$  değerine eşitti. Bu eşitlikte eşitliğin her iki tarafı  $I_C$ 'ye bölünürse;

$$\frac{I_E}{I_C} = \frac{I_C}{I_C} + \frac{I_B}{I_C} \Rightarrow \frac{I_E}{I_C} = 1 + \frac{I_B}{I_C}$$

$\alpha_{DC} = I_C/I_E$  ve  $\beta_{DC} = I_C/I_B$  olduğundan, yukarıdaki formüle yerleştirilirse

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$$

değeri elde edilir. Buradan her iki akım kazancı arasındaki ilişki;

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

olarak belirlenir. Bir transistörde  $\alpha$  akım kazancı değeri yaklaşık olarak sabit kabul edilir.

Ancak  $\alpha$  akım kazancı değerinde çok küçük bir değişimin,  $\beta$  akım kazancı değerinde çok büyük miktarlarda değişime neden olacağı yukarıdaki formülden görülmektedir.

Transistörlerde  $\beta$  akım kazancı, gerçekte sabit bir değer değildir. Değeri bir miktar transistörün çalışma ısısına bağlıdır.

**Örnek:** Bir transistörün  $\beta$  akım kazancı değeri 200'dür. Beyz akımının  $75\mu A$  olması durumunda, kollektör akımı, emiter akımı ve  $\alpha$  akım kazancı değerlerini bulunuz.

**Çözüm:**

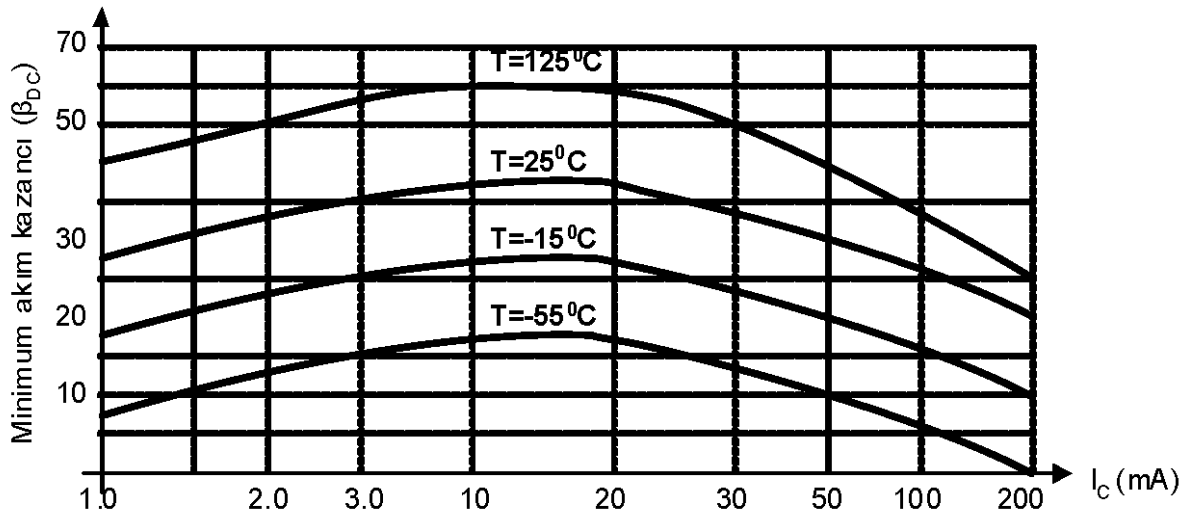
$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = (200 \cdot 75\mu A) = 150mA$$

$$I_E = I_C + I_B = (1 + \beta) \cdot I_B = (1 + 200) \cdot 75\mu A = 150.75mA$$

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

Transistörlerde  $\beta_{DC}$  akım kazancı sabit değildir. Değeri bir miktar kollektör akımı ve sıcaklık değişimi ile orantılıdır. Transistör üreticileri kataloglarında belirli bir  $I_C$  değeri ve sıcaklık altında oluşan ortalama  $\beta_{DC}$  değerini verirler. Çoğu uygulamalarda transistörün  $I_C$  değeri ve jonksiyon sıcaklığı sabit tutulsa dahi  $\beta_{DC}$  değeri değişebilir. Bu nedenle; üreticiler ürettikleri her bir transistör tipi için,  $\beta_{DC}$  akım kazancının minimum ve maksimum değerlerini verirler. Şekil-4.8'de sıcaklık ve kollektör akımındaki değişime bağlı olarak  $\beta_{DC}$  akım kazancındaki değişim örneklenmiştir.

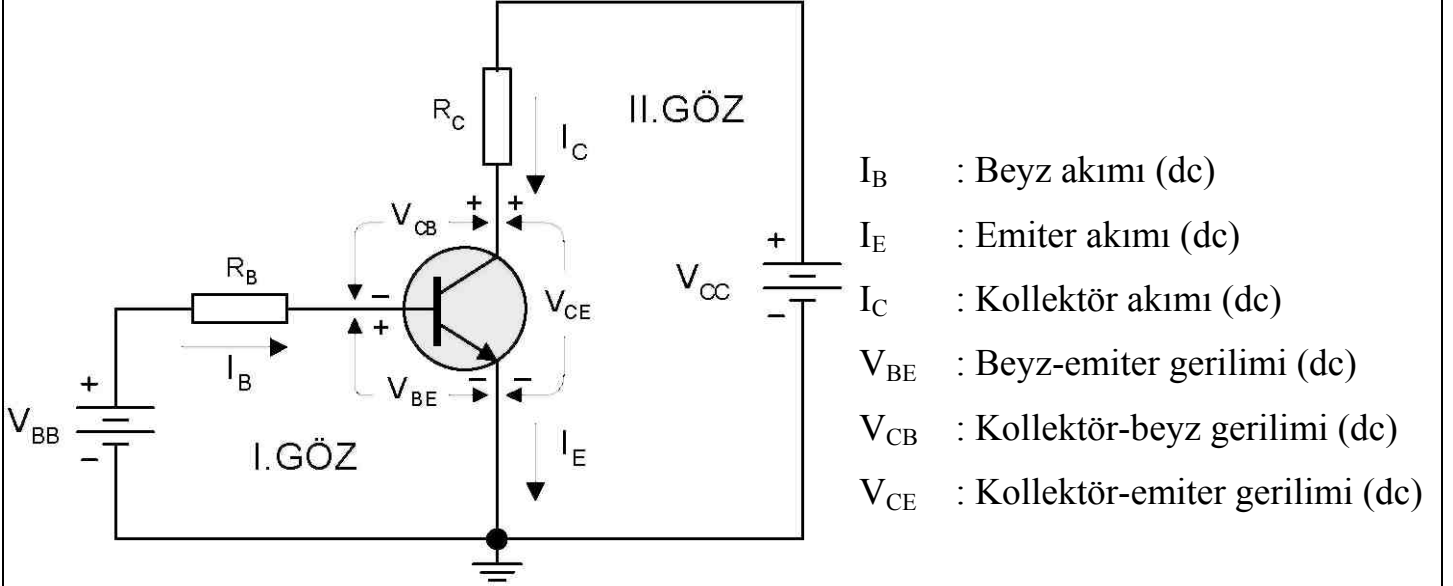
Transistörle yapılan devre tasarımlarında  $\beta_{DC}$  değerindeki değişimler dikkate alınarak  $\beta$  değerinden bağımsız uygulama devreleri geliştirilmiştir.



Şekil-4.8 Sıcaklık ve kollektör akımındaki değişime bağlı olarak  $\beta_{DC}$ 'nin değişimi

## Transistörde Akım ve Gerilim İlişkileri

Bir transistör devresinde akım ve gerilimler arasında belirli ilişkiler vardır. Transistörün her bir terminalinde ve terminalleri arasında oluşan gerilim ve akımlar birbirinden bağımsız değildir. Transistörün her bir jonksiyonundan geçen akımlar ve jonksiyonlar arasında oluşan gerilimler şekil-4.9 üzerinde gösterilmiş ve adlandırılmıştır.



Şekil-4.9 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.

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

$R_C$  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;

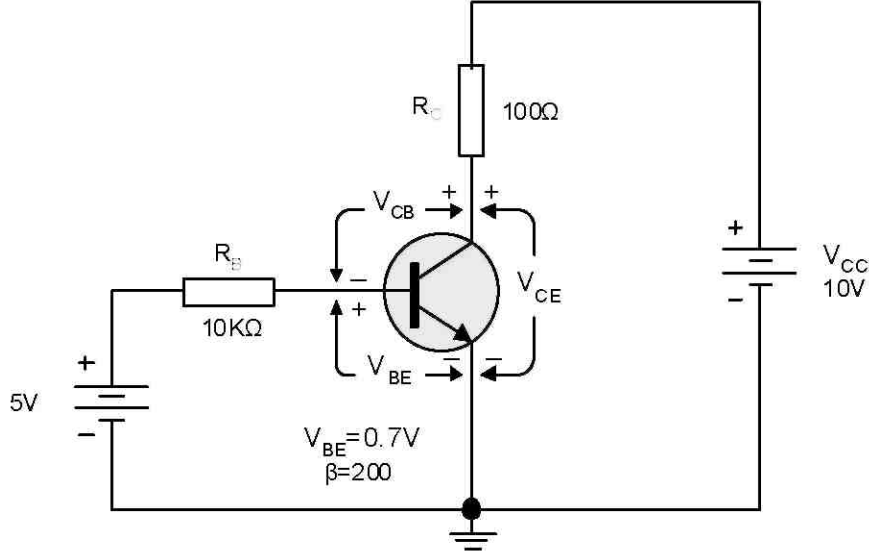
$$V_{CC} = (I_C \cdot R_C) + V_{CE}$$

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

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:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



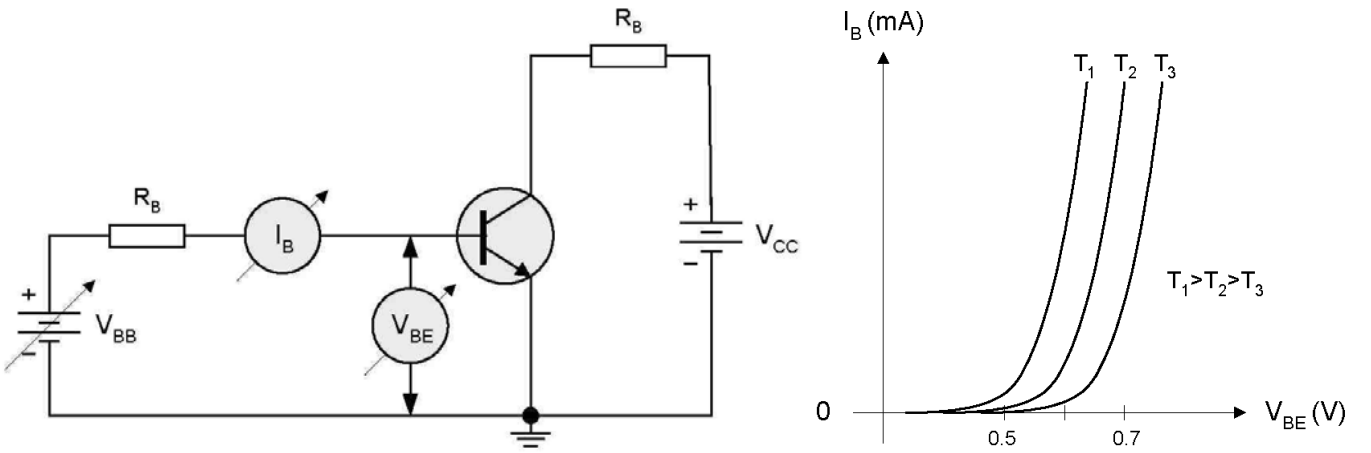
## Transistörün Giriş Karakteristiği

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-4.10'daki bağlantıdan yararlanır.

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 iletme 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.

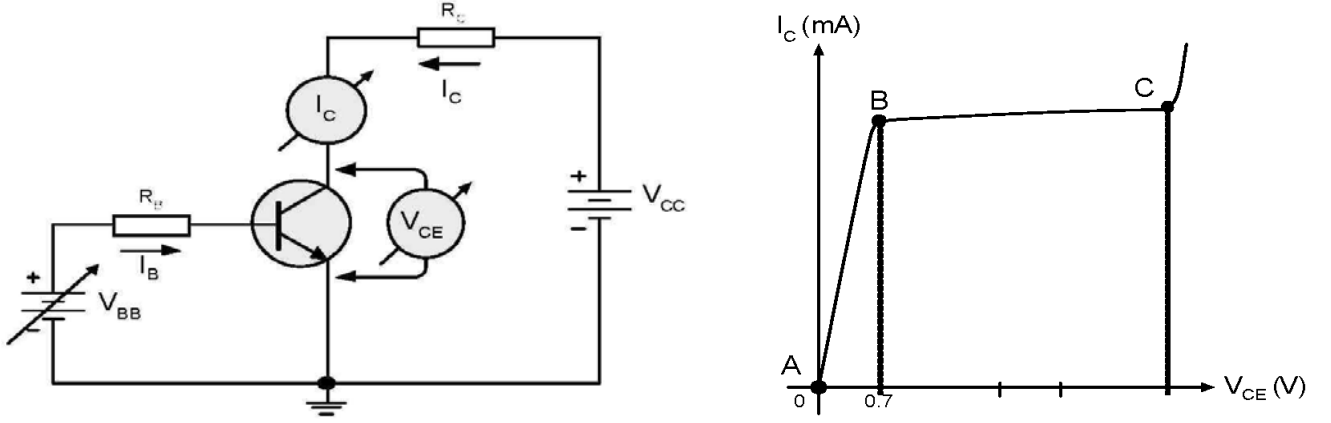


Şekil-4.10 Transistörün giriş karakteristiğinin çıkarılması ve giriş karakteristiği

## Transistörün Çıkış Karakteristiği

Transistörlerde çıkış, genellikle kollektör-emiter uçları arasından alınır. Bu nedenle transistörün çıkış karakteristiği; beyz akımındaki ( $I_B$ ) değişime bağlı olarak, kollektör akımı ( $I_C$ ) ve kollektör-emiter ( $V_{CE}$ ) gerilimindeki değişimi verir. Transistörün çıkış karakteristiğini elde

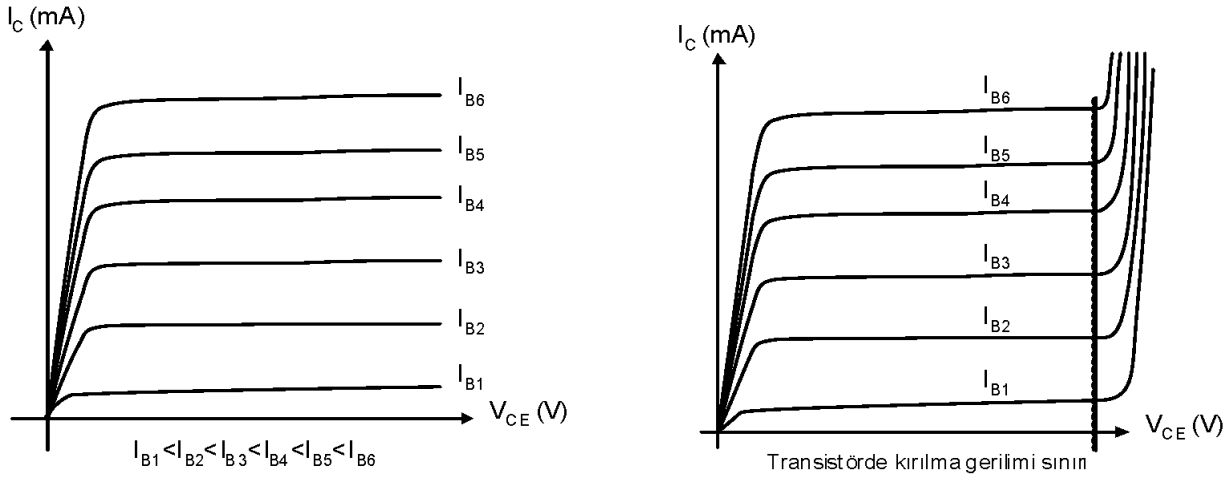
etmek için gerekli devre düzeneği ve transistörün çıkış karakteristik eğrileri şekil-4.11’de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil-4.11 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 kolektör 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 polarlanmıştır. Bu nedenle gerilim artışı ile birlikte kolektör akımında artmaktadır.  $V_{CE}$  gerilimi B noktasına ulaştığında değeri yaklaşık olarak 0.7V civarındadır. Bu anda beyz-kolektör jonksiyonu ters yönde polarlanmaya başlar. Kolektör akımı  $I_C=\beta \cdot I_B$  ilişkisi ile gösterilen maksimum değerine ulaşır. Bu noktadan sonra  $V_{CE}$  gerilimine karşılık  $I_C$  değeri hemen hemen sabit kalmaya başlar. Bu durum karakteristikte B ve C noktaları arasında görülmektedir. Gerçekte ise artan  $V_{CE}$  gerilimi ile beyz-kolektör jonksiyonu fakirleşmiş bölgenin büyümesi nedeniyle kolektör akımında az miktarda artmaktadır.

Üretici firmalar her bir transistörün giriş ve çıkış karakteristik eğrilerini kataloglarında kullanıcıya sunarlar. Şekil-4.12'de farklı beyz akımlarında transistörün çıkış karakteristik eğrileri verilmiştir. Transistörlerle yapılan devre tasarımlarında üretici firmanın verdiği karakteristik eğrilerden yararlanır.

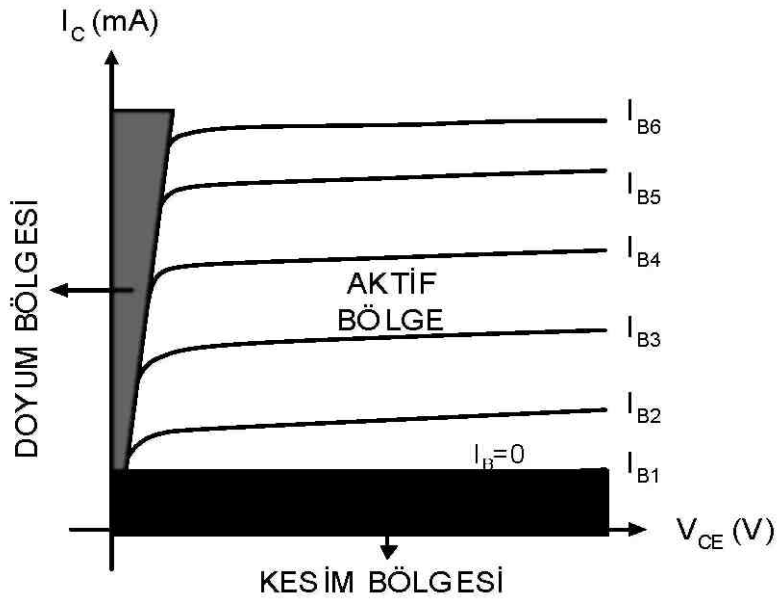


Şekil-4.12 Transistörün  $I_C$ - $V_{CE}$  karakteristikleri ve kırılma gerilimi

Transistöre uygulanan  $V_{CE}$  gerilimi önemlidir. Bu gerilim değeri belirli limitler dahilindedir. Bu gerilim belirlenen limit değeri aştığında transistörde kırılma (avalanche) olayı meydana gelerek bozulmaya neden olur. Bu durum şekil-4.12’de gösterilmiştir. Kırılma gerilim değerleri üretilen her bir transistör tipi için üretici kataloglarında verilir.

### Transistörde Çalışma Bölgeleri

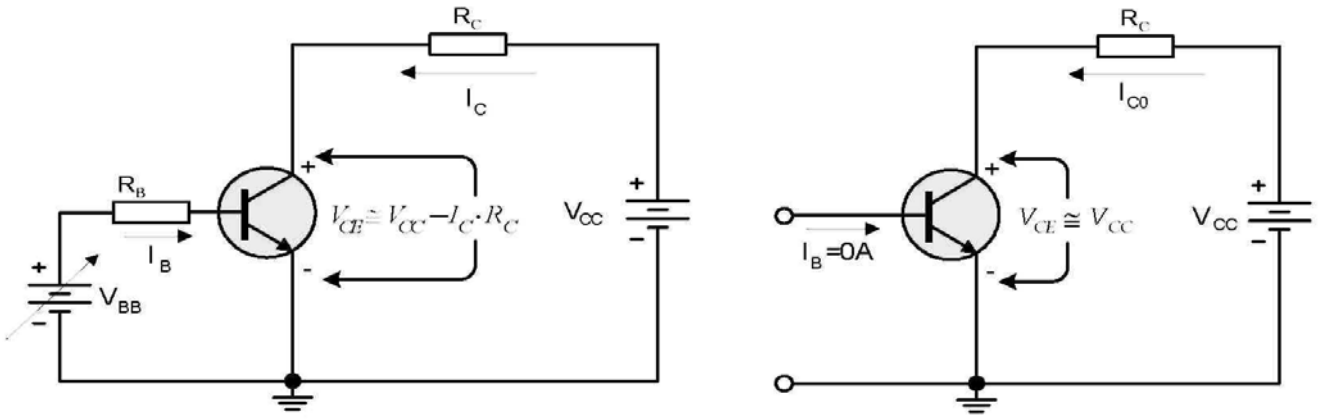
Transistörlerde başlıca 3 çalışma bölgesi vardır. Bu bölgeler; aktif bölge, kesim (kat-off) bölgesi ve doyum (saturation) bölgesi olarak adlandırılır. Transistörün çalışma bölgeleri şekil-4.13’de transistörün çıkış karakteristikleri üzerinde gösterilmiştir. Bu bölgeleri kısaca inceleyelim.



Şekil-4.13 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. Transistörün aktif bölgede nasıl çalıştığı, transistörün çalışması bölümünde ayrıntılı olarak incelenmişti. Doğrusal yükselteç tasarımı ve uygulamalarında transistör genellikle bu bölgede çalıştırılır.

**Kesim Bölgesi:** Transistörün kesim bölgesinde nasıl çalıştığı şekil-4.13.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-4.13.a ve b Transistörün kesim ve doyum bölgesinde çalışması

**Doyum Bölgesi:** Transistörün doyum (saturation) bölgesinde çalışma şekil-4.3.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.

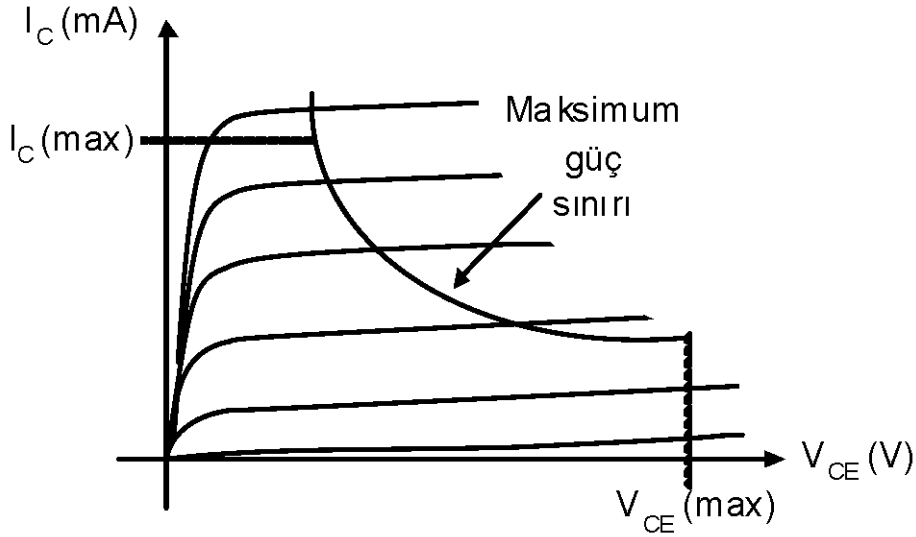
Kollektör-emiter gerilimi doyum değerine ulaştığında ( $V_{CE(doy)}$ ) beyz-emiter jonksiyonu doğru

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; kolektör-beyz gerilimi ( $V_{CB(max)}$ ), emiter-beyz gerilimi ( $V_{BE(max)}$ ), kolektör-emiter gerilimi ( $V_{CE(max)}$ ), kolektör akımı ( $I_{C(max)}$ ) ve maksimum güç harcaması ( $P_{D(max)}$ ) olarak sayabiliriz. Şekil-4.14'de tipik bir çıkış karakteristiği üzerinde maksimum değerler gösterilmiştir. Transistörlerde güç harcaması; kolektör-emiter gerilimi ( $V_{CE}$ ) ve kolektör akımına ( $I_C$ ) bağlıdır. Aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$I_C = \frac{P_{D(MAX)}}{V_{CE}}$$



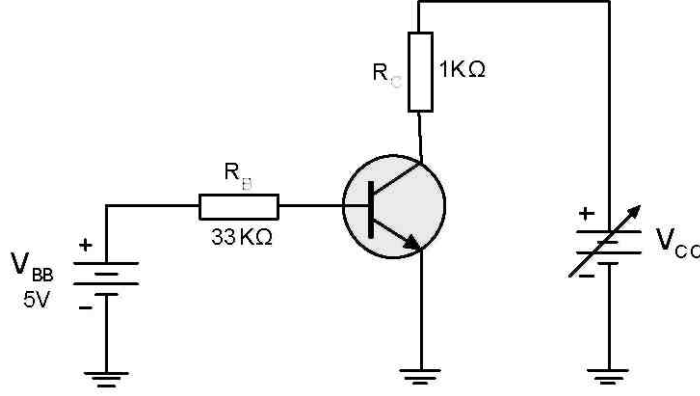
Şekil-4.14 Transistörde maksimum sınır değerler ve güç sınırı

**Örnek:** Aktif bölgede çalışan bir transistörün  $V_{CE}$  gerilimi 8V ölçülmüştür. Transistörün maksimum güç harcaması sınırı 300mW verildiğine göre, kolektör 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.

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

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.

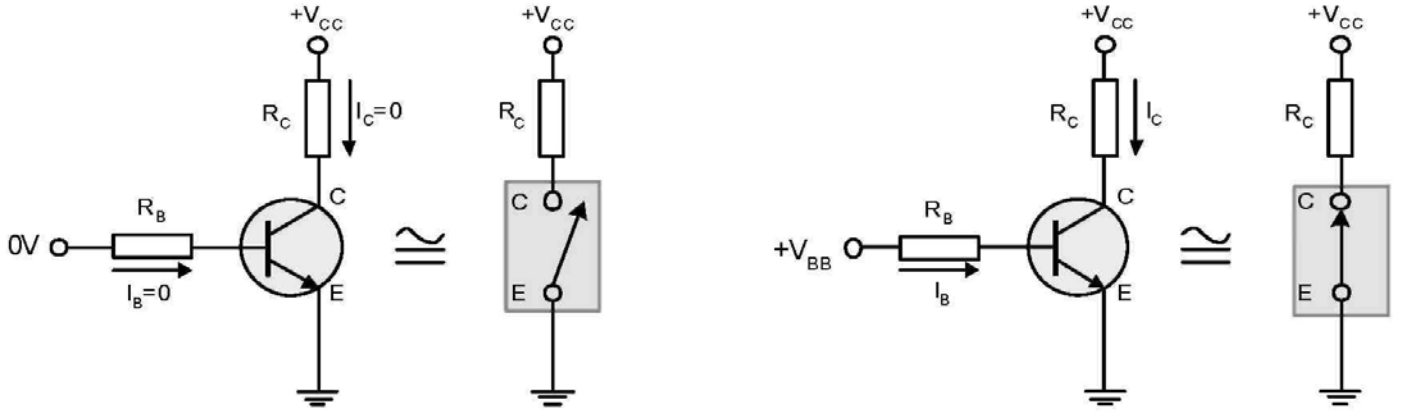
## **TRANSİSTÖRÜN ANAHTAR OLARAK ÇALIŞMASI**

Transistörlerin en popüler uygulama alanlarına örnek olarak yükselteç ve anahtarlama devrelerini verebiliriz. Transistörün elektronik anahtar olarak kullanılmasında kesim ve doyum bölgelerinde çalışmasından yararlanır. Bu bölümü bitirdiğinizde; aşağıda belirtilen konular hakkında ayrıntılı bilgilere sahip olacaksınız.

- Transistörde kesim (cut off) ve doyum (saturation) bölgeleri
- Transistörün kesim bölgesindeki özellikleri
- Transistörün doyum bölgesindeki özellikleri

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-4.14'de verilmiştir. Şekil-4.14.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-4.14.a ve b Transistörün anahtar olarak çalışması

Şekil-4.14.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;

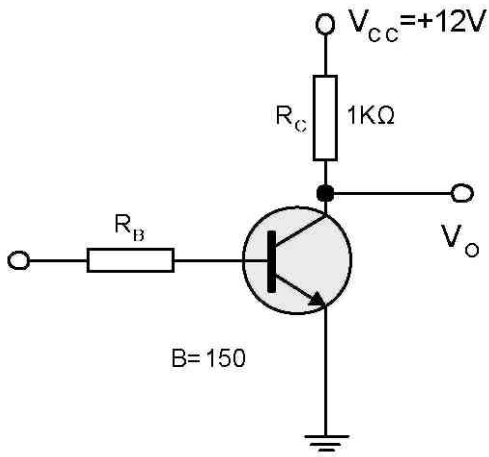
$$V_{CC} = V_{CE(DOYUM)} + I_C \cdot R_C$$

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

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.



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

### Çözüm:

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

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

b) Transistör doyumda olduğunda;  $V_{CE(DOYUM)} = 0$  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.

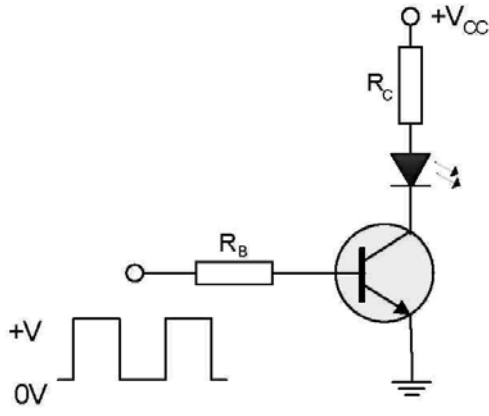
$$V_B = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

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

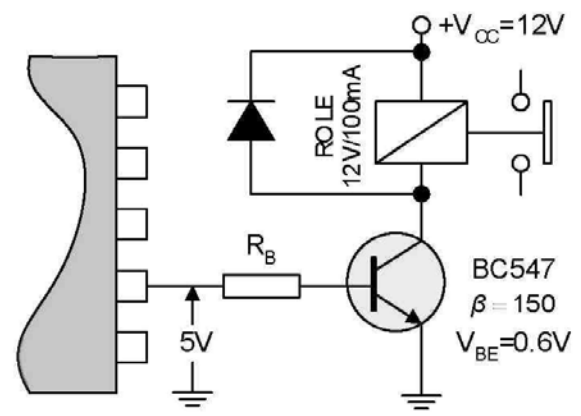
olarak bulunur.

### **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. Rb direncinin değeri ne olmalıdır? Hesaplayınız?

**Çözüm:** Rolenin kontaklarını çekebilmesi için gerekli minimum akım değeri 100mA’dır. Dolayısıyla transistörün kolektöründen akacak I<sub>C</sub> akımını 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 Rb 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 uvsulama 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 Ur transistör, genellikle aktif bölgede çalıştırılır.

Bu bölümde bitirdiğinizde;

- Yükselteç (amplifier)
- Temel transistörlü yükseltecin dc ve ac analizi

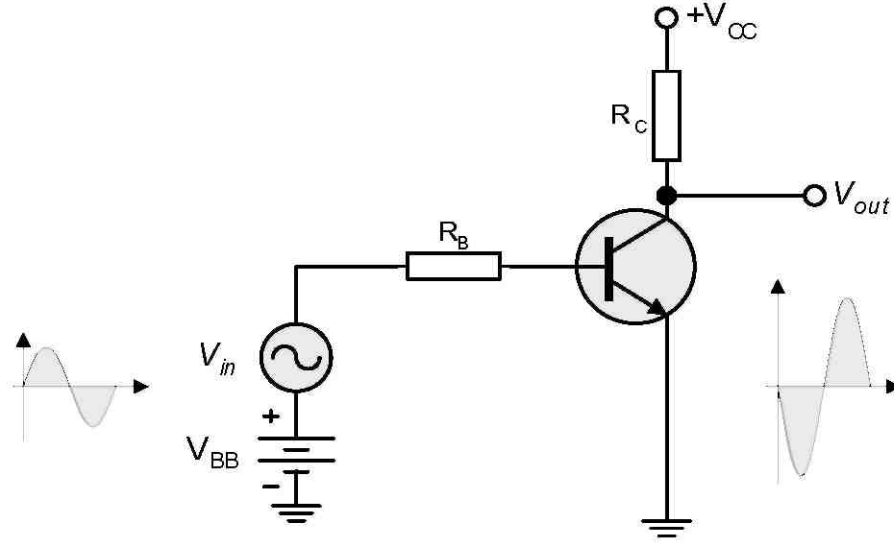
Hakkında temel bilgiler elde edeceksiniz.

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-4.16'da 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-4.16 Transistörlü yükselteç devresi

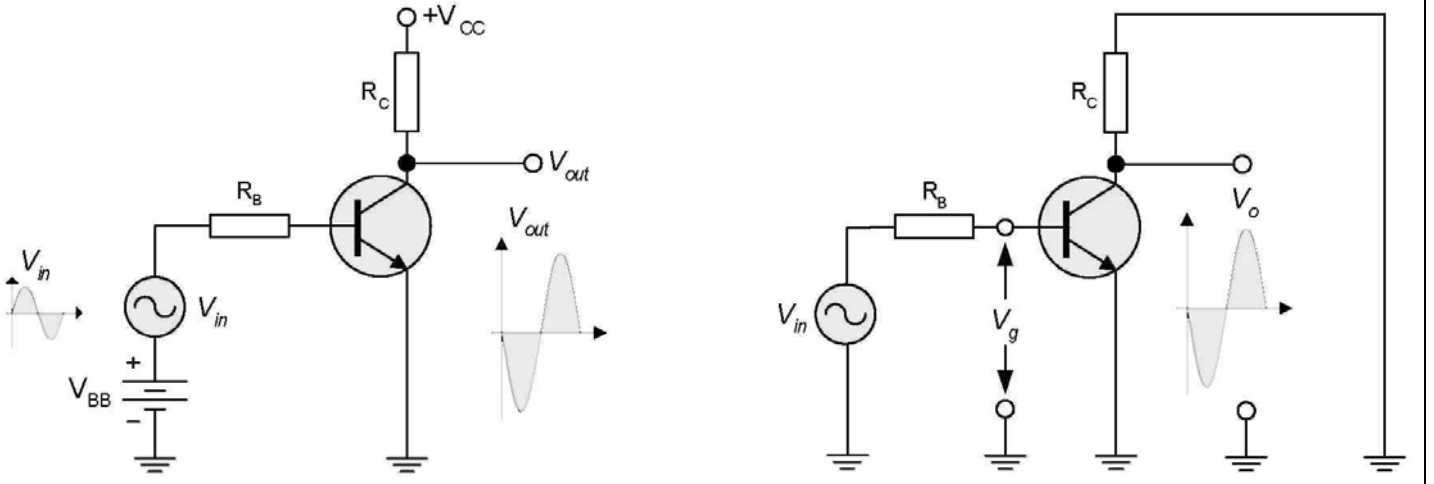
### DC Analiz

İyi bir yükselteç tasarımı için transistörün özelliklerine uygun dc polarlama 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-4.17'a da transistörlü temel bir yükselteç devresi verilmiştir. Aynı devrenin ac eşdeğeri devresi ise şekil-4.17.b'de görülmektedir.



a) Transistörlü yükselteç devresi

b) Transistörlü yükselteç devresinin ac eşdeğeri

Şekil-4.17.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-4.17'de görülen yükselteç devresinin gerilim kazancı  $A_V$ ;

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

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.

## **TRANSİSTÖRLERDE KODLAMA VE KILIF TİPLERİ**

Günümüzde pek çok farklı kılıf tipine sahip transistör üretimi yapılmaktadır. Transistörlerin kılıf tipleri genelde kullanım amacına ve kullanım yerine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, küçük veya orta güçlü transistörlerin üretiminde genellikle plastik veya metal kılıflar kullanılmaktadır. Transistörlerde kullanılan kılıf tiplerini belirleyen diğer önemli bir faktör ise çalışma frekanslarıdır.

Bu bölümde transistörlerin kılıf tiplerini belirleyen etkenler olarak;

- Transistörlerde uluslararası standart kodlama
- Transistörlerde üretim kategorileri

hakkında temel bilgiler elde edeceksiniz.

Uluslararası birçok firma, transistör üretimi yapar ve kullanıcının tüketimine sunar. Transistör üretimi farklı ihtiyaçlar için binlerce tip ve modelde yapılır. Üretilen her bir transistör farklı özellikler içerebilir. Farklı amaçlar için farklı tiplerde üretilen her bir transistör; üreticiler tarafından bir takım uluslararası standartlara uygun olarak kodlanırlar. Transistörler; bu kodlarla anılırlar. Üretilen her bir transistörün çeşitli karakteristikleri üretici firma tarafından kullanıcıya sunulur.

### **Uluslararası Standard Kodlama:**

Transistörlerin kodlanmasında bir takım harf ve rakamlar kullanılmaktadır. Örneğin AC187, BF245, 2N3055, 2SC2345, MPSA13 v.b gibi birçok transistör sayabiliriz. Kodlamada kullanılan bu harf ve rakamlar rasgele değil uluslar arası standartlara göredir ve anlamlıdır.

Günümüzde kabul edilen ve kullanılan başlıca 4 tip standart kodlama vardır. Birçok üretici firma bu kodlamalara uyarak transistör üretimi yapar ve tüketime sunarlar. Yaygın olarak kullanılan standart kodlamalar aşağıda verilmiştir.

1. Avrupa Pro-electron Standardı (Pro-electron)
2. Amerikan jedec standardı (EIA-jedec)

3. Japon (JIS)

4. Dođu Blok (eski SSCB)

### **Pro-Electron Standardı:**

Avrupa ülkelerinde bulunan transistör üreticilerinin genellikle kullandıkları bir kodlama türüdür. Bu kodlama türünde üreticiler transistörleri; AC187, AD147, BC237, BU240, BDX245 ve benzeri şekilde kodlarlar. Kodlamada genel kural, Önce iki veya üç harf sonra rakamlar gelir. Kullanılan her bir harf anlamlıdır ve anlamları aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

**İLK HARF:** Avrupa (Pro Electron) standardına göre kodlanmada kullanılan ilk harf, transistörün yapım malzemesini belirtmektedir. Germanyumdan yapılan transistörlerde kodlama A harfi ile başlar. Örneğin AC121, AD161, AF254 v.b kodlanan transistörler germanyumdan yapılmıştır. Silisyumdan yapılan transistörlerde ise kodlama B harfi ile başlar. Örneğin; BC121, BD161, BF254 v.b kodlanan transistörler silisyumdan yapılmıştır.

**İKİNCİ HARF:** Transistörlerin kodlanmasında kullanılan ikinci harf Avrupa Standardına göre, transistörün kullanım alanlarını belirtir. Örnek kodlamalar aşağıda verilmiştir.

**AC:** Avrupa (Pro Electron) Standardına göre, düşük güçlü alçak frekans transistörüdür. Germanyumdan yapılmıştır. AC121, AC187, AC188, AC547 gibi...

**BC:** Avrupa (Pro Electron) Standardına göre, düşük güçlü alçak frekans transistörüdür ve Silisyumdan yapılmıştır. BC107, BC547 gibi...

**BD:** Avrupa (pro electron) standart seri, Si, düşük güçlü, alçak frekans transistörü. BD135, BD240, BD521 v.b. gibi

**BF:** Avrupa (pro electron) standart seri, Si, düşük güçlü, yüksek frekans transistörü. BF199, BF240, BF521, gibi...

**BL:** Avrupa (pro electron) standart seri, Si, büyük güçlü, yüksek frekans transistörü. BL240, BL358, BL521 gibi...



**BU:** Avrupa (pro electron) standart seri, Si, büyük güçlü, anahtarlama transistörü. BU240, BU521 gibi... Germanyumdan yapılan transistörlerin başına A harfinin geldiği unutulmamalıdır. AC, AD, AF, AU gibi...

**ÜÇÜNCÜ HARF:** Avrupa (pro electron) standardında bazı Transistörlerin kodlanmasında üçüncü bir harf kullanılır. Üçüncü harf, ilk iki harfte belirtilen özellikler aynı kalmak koşuluyla o transistörün endüstriyel amaçla özel yapıldığını belirtir. Örnek olarak; BCW245, BCX56, BFX47, BFR43, BDY108, BCZ109, BUT11A, BUZ22 v.b gibi

### **Diğer Kodlama türleri ve standartlar:**

Avrupa pro-electron standardına göre kodlamanın özelliklerini verdik. Bu kodlamaya ilave olarak Amerikan ve Japon üreticilerin uydukları kodlamalar ve anlamları aşağıda liste olarak verilmiştir. Bu gruplara ilave olarak, büyük yarıiletken üreticisi bazı kuruluşlar azda olsa özel kodlar kullanmaktadırlar.

<b>KOD</b>	<b>AÇIKLAMALAR</b>
2N...	: Amerikan (EIA-jedec) Standardı (FET dahil).
3N...	: Amerikan (EIA-jedec) Standardı (FET, MOSFET)
4N...	: Amerikan (EIA-jedec) Standardı opto-kuplör v.b
2S...	: Japon (JIS) Standardı Si (2S2134 gibi...)
2SA...	: Japon (JIS) Standardı, PNP, Yüksek frekans
2SB...	: Japon (JIS) Standardı, PNP, Alçak frekans
2SC...	: Japon (JIS) Standardı, NPN, Yüksek frekans
2SD...	: Japon (JIS) Standardı, NNP, Alçak frekans
2SH...	: Japon (JIS) Standardı, Unijonksiyon Transistör
2SJ...	: Japon (JIS) Standardı, FET, P kanallı
2SK...	: Japon (JIS) Standardı, FET, N kanallı
3SJ...	: Japon (JIS) Standardı, FET, P kanallı
3SK...	: Japon (JIS) Standardı, FET, N kanallı
MA...	: Motorola, Ge, Düşük güçlü, metal kılıf
MPS...	: Motorola, Si, Küçük işaret, plastik kılıf
MJE...	: Motorola, Si, Büyük güçlü, plastik kılıf

MPF... : Motorola, JFET, plastik kılıf

MJ... : Motorola, Si, Büyük güçlü, Metal kılıf

Bazı büyük üretici firmalar ise kendi kodlarıyla özel üretim yapmaktadırlar. Özelliklerini kataloglardan temin edebilirsiniz.

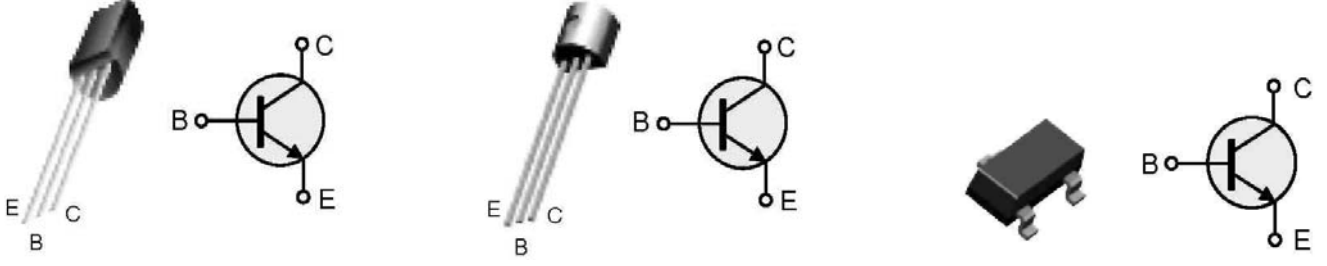
### **Transistör kategorileri ve kılıf tipleri**

Uluslararası transistör üreticileri, üretimlerini genellikle 3 temel kategoride gerçekleştirir. Bu kategorileri;

- Genel amaçlı/alçak frekans transistörleri
- Güç transistörleri
- Radyo frekans (RF) transistörleri

Olarak tanımlayabiliriz. Her bir kategori, belirli alt kategorilerde ayrılmaktadır. Üretici firmalar transistör adlarının kodlanmasında, kılıf ve pin tiplerinin belirlenmesinde belirli standartlara uyarlar.

**Genel Amaçlı/Küçük Sinyal Transistörleri:** Bu tip transistörler genellikle orta güçlü yükselteç veya anahtarlama devrelerinde kullanılır. Metal veya plastik kılıf içerisinde üretilirler. Şekil-4.18’de plastik kılıfa sahip standart transistör kılıf tipleri, kılıf kodları ve terminal isimleri verilmiştir.



TO-92 veya TO-226AA

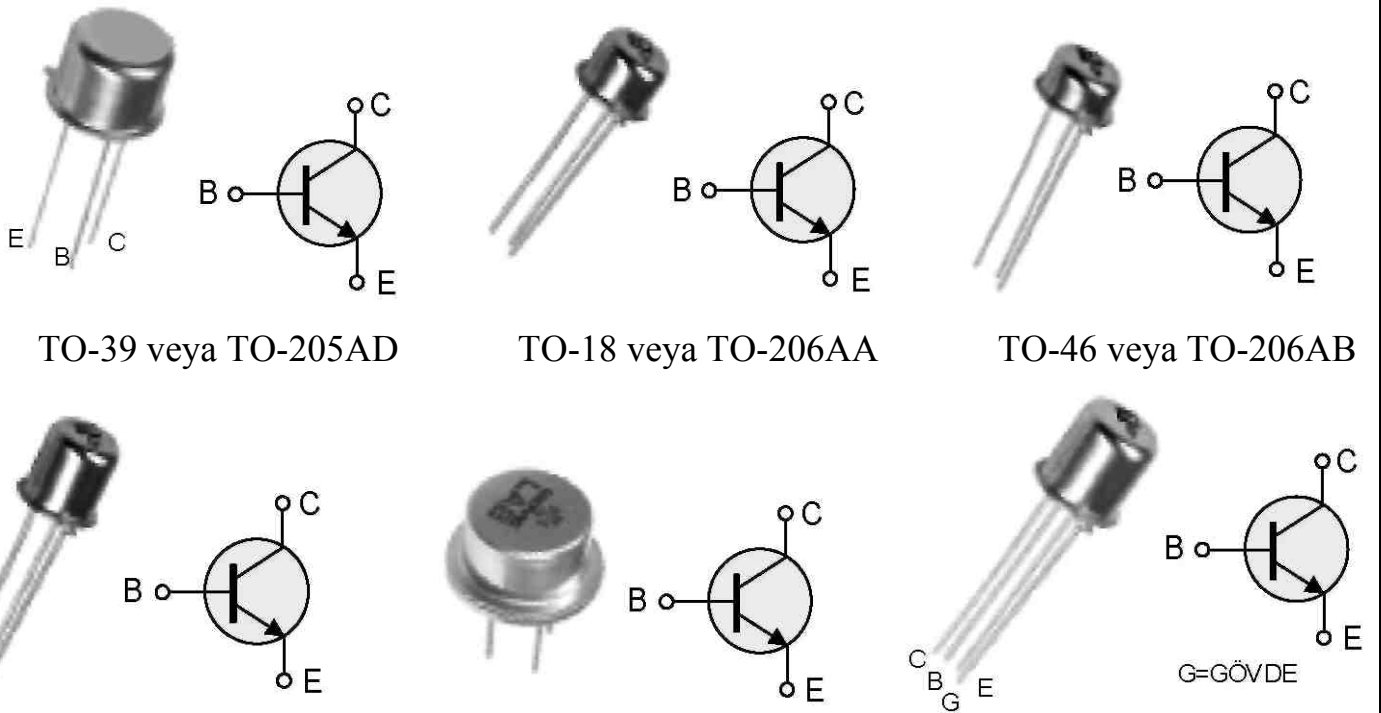
TO-92 veya TO-226AE

SOT-23 veya TO-236AB

Şekil-4.18 Genel amaçlı alçak sinyal plastik transistör kılıfları ve terminal isimleri

Şekil-4.19’da ise aynı kategoride bulunan ve metal kılıf içerisinde üretilen bazı transistörlerin kılıf kodları ve terminal isimleri ile birlikte verilmiştir. Farklı terminal bağlantılarına ve kılıf tipine sahip onlarca tip transistör vardır.

Bu bölümde örnekleme amacı ile çok kullanılan birkaç tip kılıf tipi verilmiştir. Ayrıntılı bilgileri üretici kataloglarından elde edebilirsiniz.



TO-39 veya TO-205AD

TO-18 veya TO-206AA

TO-46 veya TO-206AB

TO-52 veya TO-206AC

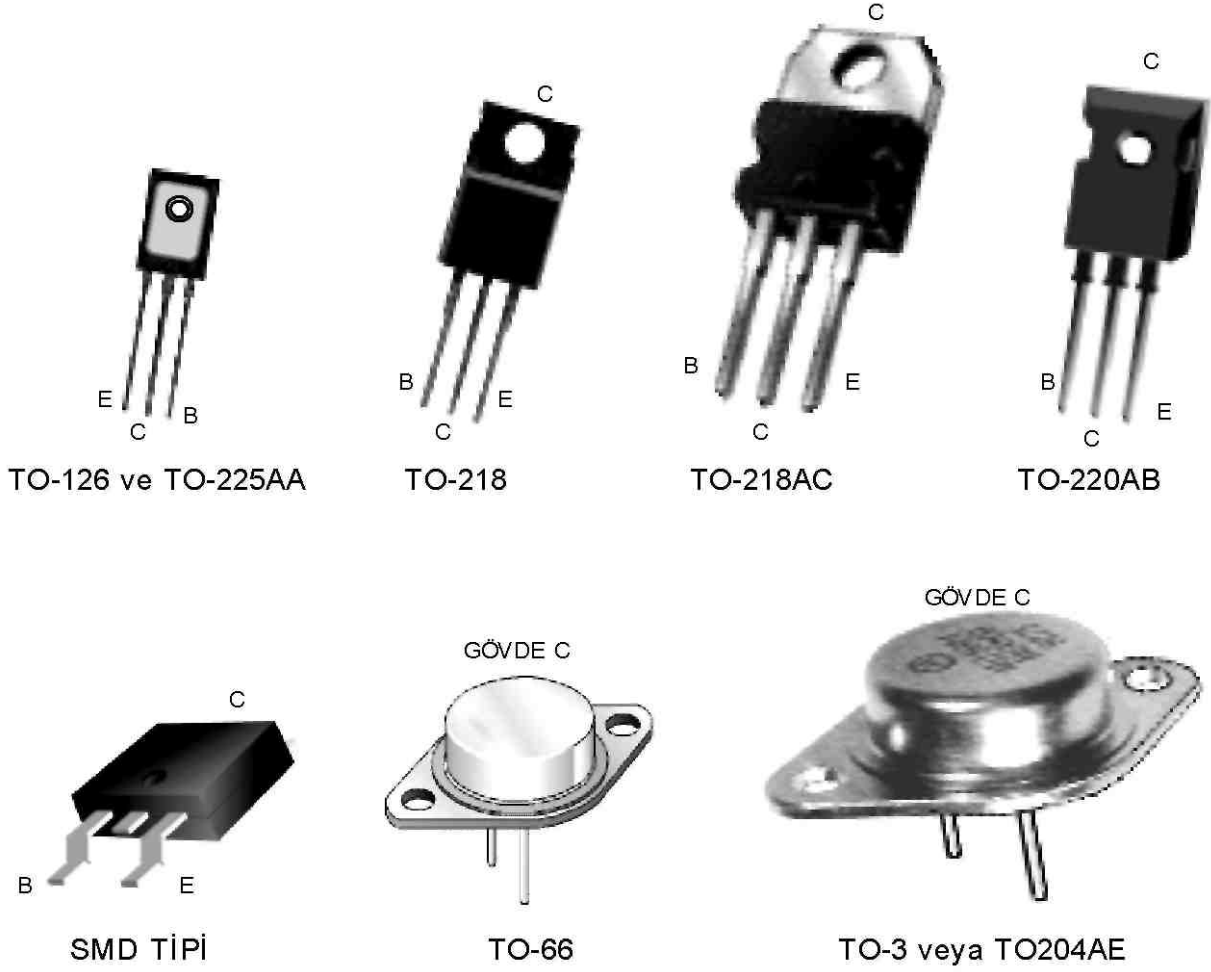
TO-5

TO-72 veya TO-206AF

Şekil-4.18 Genel amaçlı alçak sinyal metal transistör kılıfları ve terminal isimleri

## Güç (power) Transistörleri:

Güç (power) transistörleri yüksek akım ve gerilim değerlerinde çalıştırılmak üzere tasarlanmıştır. Dolayısıyla boyutları oldukça büyüktür. Bu tip transistörler genellikle metal kılıf içerisinde üretilirler. Transistörün gövdesi metaldir ve genellikle kollektör terminali metal gövdeye monte edilmiştir. Şekil-4.19’da yaygın olarak kullanılan bazı güç transistörlerinin kılıf kodları ve terminal bağlantıları verilmiştir.

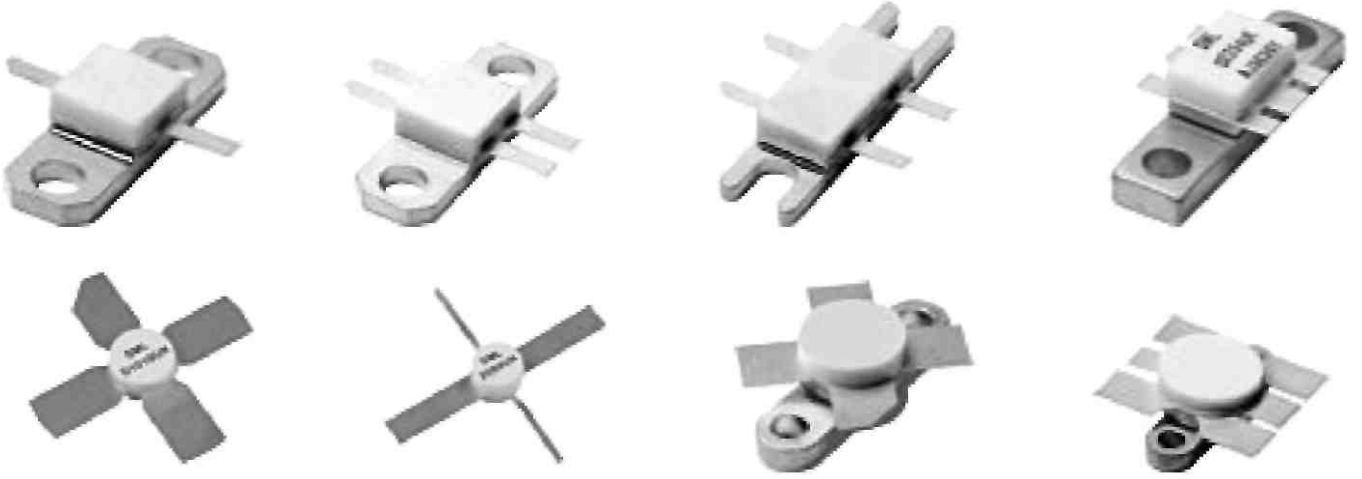


Şekil-4.19 Bazı güç transistörlerinin kılıf tipleri ve terminal bağlantıları

## Radyo Frekans (RF) Transistörleri:

Şekil-4.20 RF transistörlerinde kullanılan kılıf tipleri

Çok yüksek frekansla çalışan sistemlerde (Radyo frekans=RF) çalıştırılmak üzere tasarlanmış transistörler, RF transistörleri olarak anılmaktadır. Özellikle iletişim sistemlerinde kullanılan bu transistörlerin kılıf tipleri diğerlerinden farklılık gösterebilir. Bunun nedeni yüksek frekans etkisini minimuma indirmektir. Şekil-4.20’de bazı RF transistörlerinin standart kılıf tipleri örnek olarak verilmiştir.



Şekil-4.20 RF transistörlerinde kullanılan kılıf tipleri

## TRANSİSTÖR TESTİ

Elektronik cihazlarda kimi zaman bir takım arızalar oluşabilir. Bu arızalar genellikle yarıiletken devre elemanlarının bozulmasından kaynaklanır. Bu nedenle herhangi bir cihazın onarımında ilk aşama cihazda kullanılan yarıiletken devre elemanlarının sağlamlık testinin yapılmasıdır.

Transistörlerin sağlamlık testi; statik ve dinamik test olmak üzere iki aşamada yapılabilir.

Transistöre herhangi bir enerji uygulamadan bir ölçü aleti ile yapılan test işlemine statik test denir. Bu işlemde transistörün jonksiyonlar arası direnci ölçülür.

Dinamik test işlemi ise transistör devre üzerinde çalışma halindeyken yapılır. Bu işlemde transistör üzerinde oluşabilecek polarma gerilim ve akımlarının ölçümü yapılır.

Bu bölümü bitirdiğinizde;

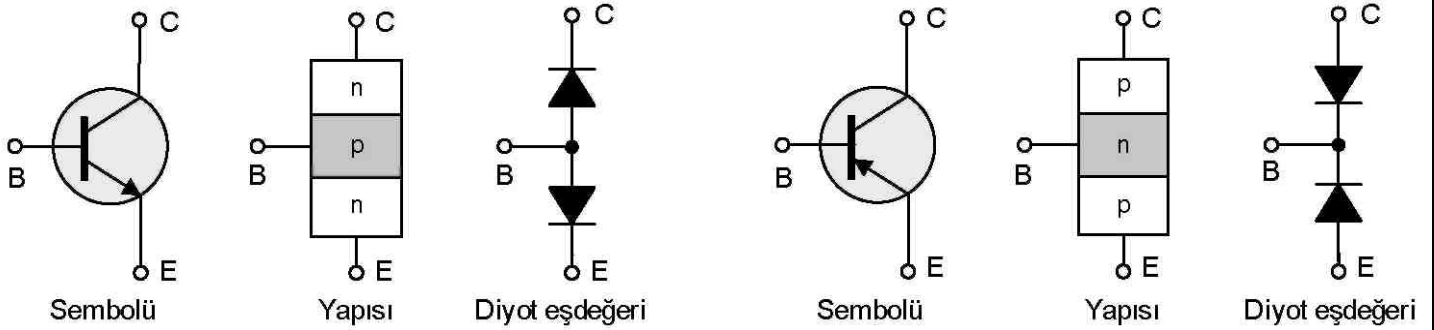
- Bir transistörün multimetre ile statik testinin nasıl yapıldığını
- Bir transistörde dinamik ölçümlerin nasıl yapılabileceğini

Ayrıntılı olarak öğreneceksiniz. Yaptığınız test işlemleri sonucunda her hangi bir transistörde sağlamlık testinin nasıl yapılacağı, transistör tipinin (pnp veya npn) ve terminal bağlantılarının nasıl bulunacağını yetisini kazanacaksınız.

### Transistör'ün Statik Testi

Sayısal veya analog bir multimetre kullanılarak herhangi bir transistörün sağlamlık testi yapılabilir. Test işleminde sonucunda transistörün sağlam olup olmadığının yanı sıra transistör tipi (nnp/pnp) ve transistör terminalleride (b,e,c) belirlenebilir.

Npn veya pnp tipi bir transistörün test işleminde pratik bir çözüm, transistörü sırt sırta bağlı iki diyot gibi düşünmektir. Test işleminde bu durum bize kolaylık sağlar. NPN ve PNP tipi transistörlerin diyot eşdeğerleri şekil-4.21'de verilmiştir. Bu durum sadece transistörü test etmemizde bize kolaylık sağlar. İki gerçek diyot, şekilde belirtildiği gibi bağlanırsa transistör olamayacağı ve transistör gibi çalışmayacağı özellikle bilinmelidir.



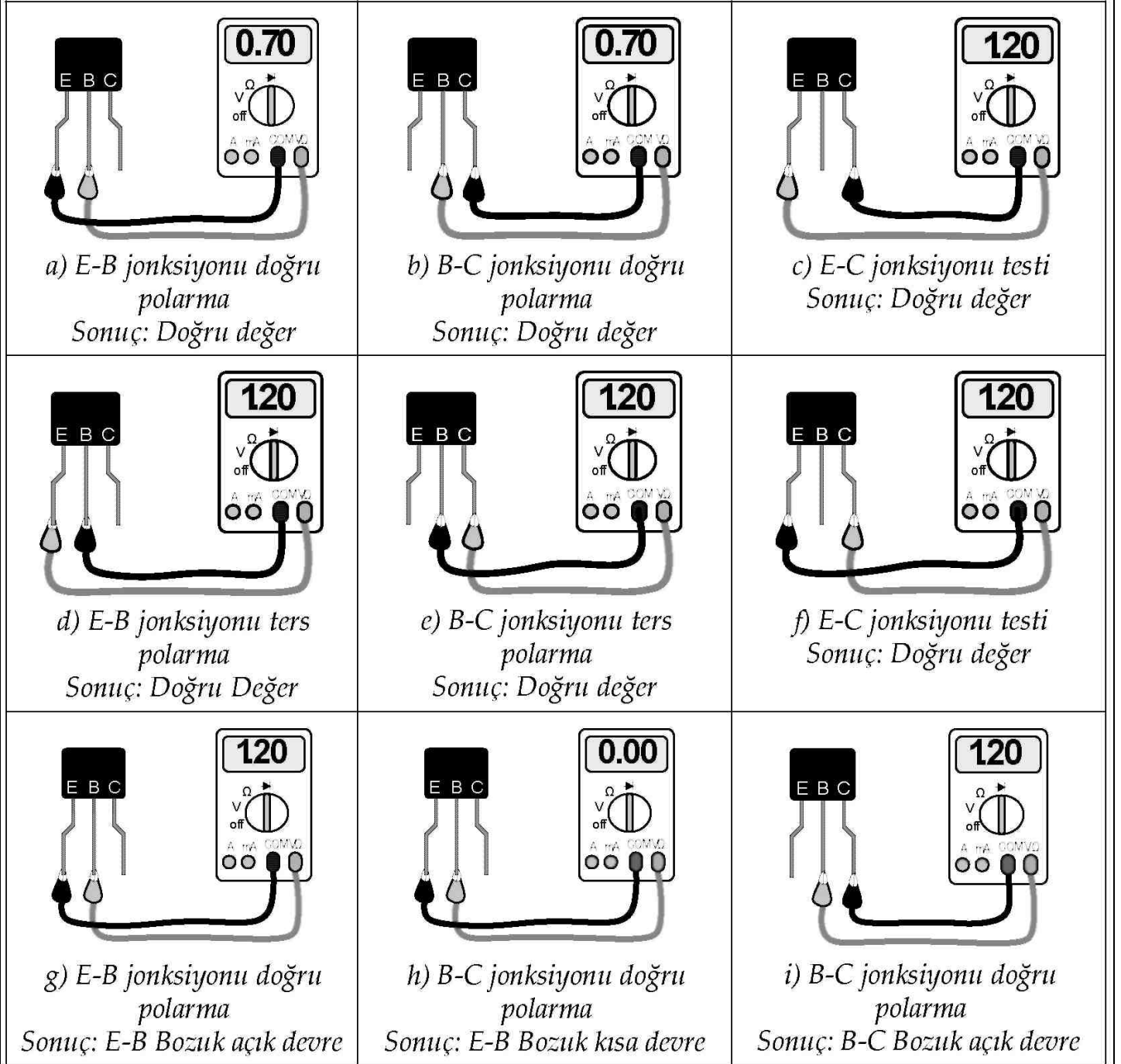
a) npn tipi transistör ve diyot eşdeğeri

b) pnp tipi transistör ve diyot eşdeğeri

Şekil-4.21 Npn ve Pnp tipi transistörlerin sembolü ve diyot eşdeğerleri

Transistörün diyot eşdeğer devresinden yararlanılarak sayısal bir multimetre ile test işleminin nasıl yapılabileceği şekil-4.22 yardımı ile anlatılacaktır. Test işlemi için sayısal multimetre'nin diyot ölçme konumu kullanılır. Her bir aşamada transistörün sadece iki terminali arasındaki öngerilim ölçülür. Sağlam bir transistör'ün doğru polarma altında terminalleri arasındaki öngerilim 0.7V civarındadır. Ters polarma altında ise bu değer multimetrenin pil gerilimidir.

Şekil-4.22 üzerinde bir transistör için gerekli test aşamaları ve sonuçları adım adım gösterilmiştir. Belirtilen adımları sıra ile izleyerek sonuç ve yorumları gözlemleyiniz.



Şekil-4.22 npn tipi bir transistörün sayısal multimetre ile statik testi

Test işlemi, analog multimetre kullanılarak da yapılabilir. Multimetre ohm kademesine alınır. Transistörün jonksiyonları arasındaki direnç değerleri sıra ile ölçülür. Multimetre; Ters polarmada çok büyük direnç değeri, doğru polarmada ise küçük bir direnç değeri göstermesi gerekir. Aksi durumlarda transistörün bozuk olduğu anlaşılır.

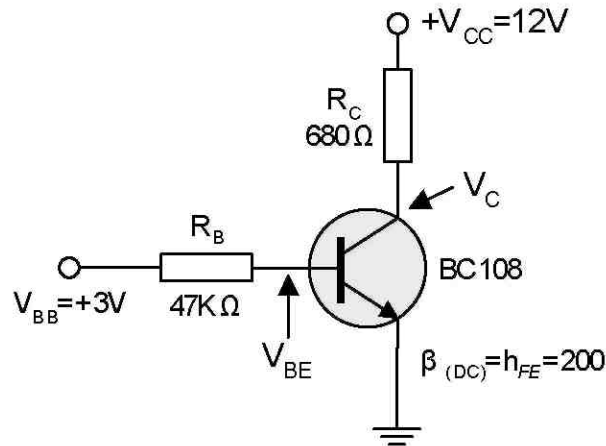
Transistörleri test etmek amacı ile çeşitli firmalarca geliştirilmiş hazır transistör test cihazları da (transistor tester) vardır. Şekil-4.23’de örnek olarak birkaç transistör test cihazı verilmiştir. Her bir cihazın kullanımı kataloglarından öğrenilebilir.



Şekil-4.23 Transistör test cihazları

### Transistör’ün Dinamik Testi

Çalışan herhangi bir devre veya cihaz üzerinde bulunan transistörler test edilebilir. Test işleminde devre üzerindeki transistörün terminalleri arasındaki gerilimler ölçülür. Dolayısı ile ölçüm sisteminde enerji vardır. Bu tür test işlemine dinamik test denir. Sağlıklı bir test işlemi için bazı analizler yapılmalı veya bilinmelidir. Test işleminde size pratiklik kazandırmak amacı ile şekil-4.24’de görülen basit bir transistörlü devre verilmiştir.



Şekil-4.24 Transistörlü devre ve polarma gerilimleri



Devrenin kısaca analizini yaparak elde edilen sonuçları şekil üzerinde gösterelim. Doğru polarma altında çalışan bir transistörde beyz-emiter gerilimi  $V_{BE}$  her zaman;

$$V_{BE} = 0.7V$$

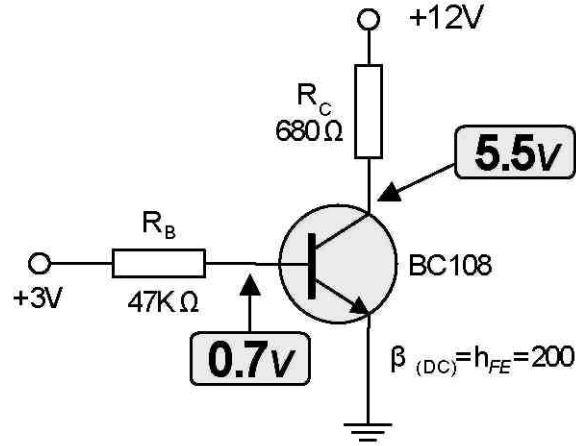
değerinde olur. Transistörün diğer polarma akım ve gerilimlerini bulalım.

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{3V - 0.7V}{47K\Omega} = \frac{2.3V}{47K\Omega} = 48\mu A$$

$$I_C = \beta_{(DC)} \cdot I_B = (200) \cdot (48\mu A) = 9.6mA$$

$$V_C = V_{CC} - (I_C \cdot R_C) = 12V - (9.6mA \cdot 680\Omega) = 12 - 6.5V = 5.5V$$

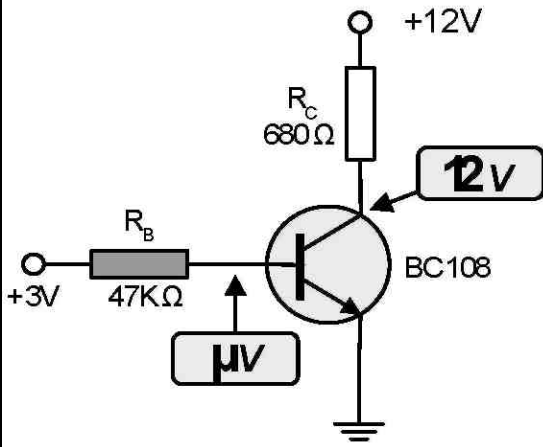
hesaplamalar sonucunda sağlam bir transistör üzerinde bulunan değerler şekil-4.24 üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil-4.24 Transistörlü devre ve polarma gerilimleri

Şekil-4.24’de verilen devrede veya herhangi bir transistörlü devrede oluşabilecek pek çok arıza çeşidi vardır. Transistörlü bir devrede oluşabilecek arıza, devrede yapılacak gerilim ölçmeleri sonucunda belirlenebilir. Şekil-4.25’de transistörlü bir devrede olası arızalar nedenleri ve ölçme sonuçları verilmiştir. Dikkatlice inceleyiniz

Not: Tüm ölçmeler şase (gnd) terminaline göre yapılmıştır.

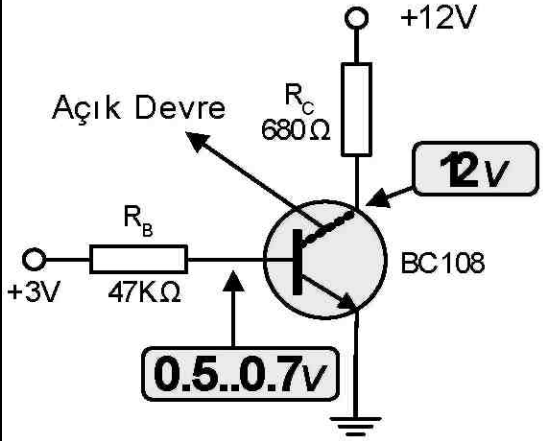


**Test:** Beyz-Emiter terminalinde birkaç  $\mu V$ , Kollektör terminalinde ise 12 ölçülmüştür.

**Yorum:** Transistörün beyz akımını almaktadır.

**Sonuç:**  $R_B$  direnci açık devre olmuştur.

**Çözüm:**  $R_B$  direnci değiştirilmelidir.

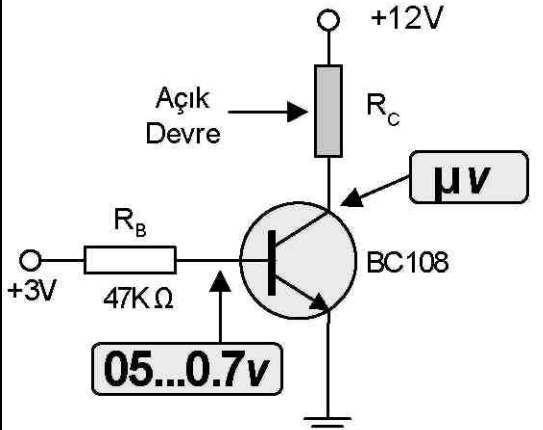


**Test:** Beyz-Emiter terminalinde 0.5V...0.7V, Kollektör terminalinde ise 12 ölçülmüştür.

**Yorum:** Transistör kesimdedir, kollektör akımı yoktur.

**Sonuç:** Kollektör terminali içten açık devre olmuştur

**Çözüm:** Transistör bozuktur, değiştirilmelidir.

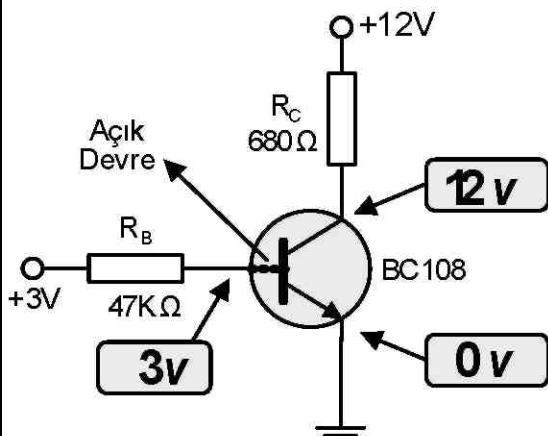


**Test:** Beyz-Emiter terminalinde 0.5...0.7V, Kollektör de birkaç  $\mu V$  ölçülmüştür.

**Yorum:** Transistörün kollektör akımı yoktur.

**Sonuç:**  $R_C$  direnci açık devre olmuştur.

**Çözüm:**  $R_B$  direnci bozuktur, değiştirilmelidir.

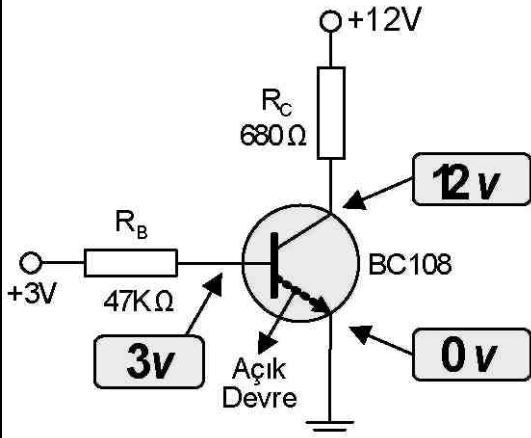


**Test:** Beyz-Emiter terminalinde 3V, Kollektörde 12V,Emiterde 0V ölçülmüştür.

**Yorum:** Transistörün iletme geçmemektedir.

**Sonuç:** Beyz terminali içten açık devre olmuştur.

**Çözüm:** Transistör bozuktur, değiştirilmelidir.

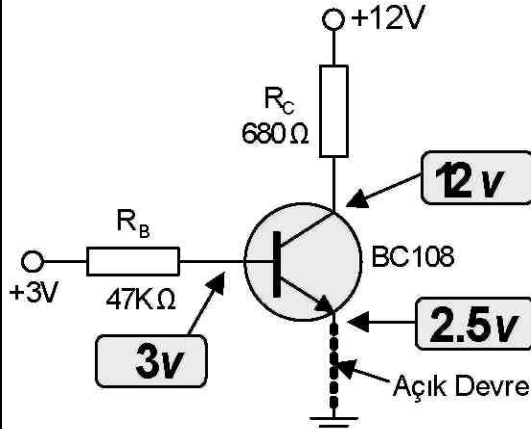


**Test:** Beyz-Emiter terminalinde 3V, Kollektörde 12V, emiterde 0V ölçülmüştür.

**Yorum:** Transistörün kollektör akımı yoktur.

**Sonuç:** Emiter terminali içten açık devre olmuştur.

**Çözüm:** Transistör bozuktur, değiştirilmelidir.



**Test:** Beyz-Emiter terminalinde 3V, Kollektörde 12V, Emiterde 0V ölçülmüştür.

**Yorum:** Transistörün iletme geçmemektedir.

**Sonuç:** Emiter terminal-şase bağlantısı kopmuştur.

**Çözüm:** Bağlantı sağlanmalıdır.

Şekil-4.25 Transistörlü bir devrede oluşabilecek olası arızalar ve nedenleri

Herhangi bir transistörlü devrede oluşabilecek arızalar ve arıza tipleri yukarıda ayrıntıları ile verilmiştir. Arıza aramada temel mantık transistör polarma gerilimlerinin ölçülüp yorumlanmasıdır. Normal koşullarda çalışan bir transistör de beyz-emiter geriliminin her zaman 0.7V civarında olacağı unutulmamalıdır.

## BÖLÜM ÖZETİ

- Bipolar jonksiyon transistör BJT olarak bilinir ve üç katmandan oluşur. Katmanlarına işlevlerinden ötürü Beyz (base), Emiter (emiter) ve Kolektör (collector) isimleri verilir.
- Bipolar transistör iki adet pn bitişim yüzeyine (jonksiyona) sahiptir. Bu jonksiyonlara beyz-emiter ve beyz-kollektör jonksiyonları adı verilir.
- BJT içinde hem serbest elektronlar, hem de oyuklar akım taşıyıcı olarak görev yapar. Bundan dolayı bipolar (çift kutuplu) sözcüğü kullanılır.

- Bipolar transistörde beyz bölgesi; kolektör ve emiter bölgesine nazaran daha az katkılandırılmıştır ve daha incedir.
- Bipolar Jonksiyon transistörler npn ve pnp olmak üzere iki tipte üretilirler.
- Transistör bir yükselteç elemanı olarak kullanıldığında; beyz-emiter jonksiyonu ileri yönde, beyz-kollektör jonksiyonu ters yönde polarmalandırılır.
- Transistörlerde 3 temel akım vardır. Bunlar; beyz akımı ( $I_B$ ), kolektör akımı ( $I_C$ ) ve emiter akımı ( $I_E$ ) olarak adlandırılır.
- Transistörde beyz akımı, kolektör ve emiter akımına nazaran çok küçüktür. Fakat transistörün çalışmasında çok etkindir. Beyz akımı, kolektör ve emiter akımlarını kontrol eder.
- Bir transistörde emiter akımının kolektör akımına oranı beta akım kazancı olarak bilinir ve il dc olarak tanımlanırlar.  $\beta_{DC}$  değeri akım yükseltme katsayısıdır. Tipik  $\beta_{DC}$  değeri 20 ile birkaç 100 birim arasında olabilir.
- Transistörde  $\beta_{DC}$  değeri kimi üretici firma kataloglarında  $H_{FE}$  olarak tanımlanır ve verilirler.
- Bir transistörde emiter akımının kolektör akımına oranı alfa akım kazancı olarak bilinir ve  $\alpha_{DC}$  olarak tanımlanırlar. Tipik  $\alpha_{DC}$  değeri 0.95 ile 0.99 arasındadır.
- Transistör kesim ve doyum bölgelerinde elektronik bir anahtar gibi çalıştırılabilir.
- Kesimde çalışan bir transistörün beyz-emiter jonksiyonu ters yönde polarmalandırılmıştır. Transistörün kollektör akımı yoktur. İdeal olarak kollektör-emiter jonksiyonu açık devredir ve açık bir anahtar gibi davranır.
- Doyumda çalışan bir transistörün beyz-emiter jonksiyonu doğru yönde

polarmalandırılmıştır. Transistörün kolektör akımı maksimumdur. Kolektör-emiter jonksiyonu ideal olarak kısa devredir ve kapalı bir anahtar gibi davranır.

- $\beta_{DC}$  değeri çalışma ortamı ısisından bir miktar etkilenir.  $\beta_{DC}$  değeri aynı tip transistörlerde farklı değerlerde olabilir.
- Transistörler kendi aralarında sınıflandırılırlar. Transistörlerin kılıflarında metal, plastik, seramik v.b materyaller kullanılır. Transistör üretiminde yüzlerce farklı kılıf kullanılır.

Bir transistörün sağlamlık testi statik veya dinamik olarak gerçekleştirilebilir. Test işleminde multimetre kullanılır. Ayrıca test işlemi sonucunda bir transistorün tipi (nnp / pnp) ve uçları (e / b / c) belirlenebilir.