

# ELEKTRONİK DEVRELER DERS NOTLARI

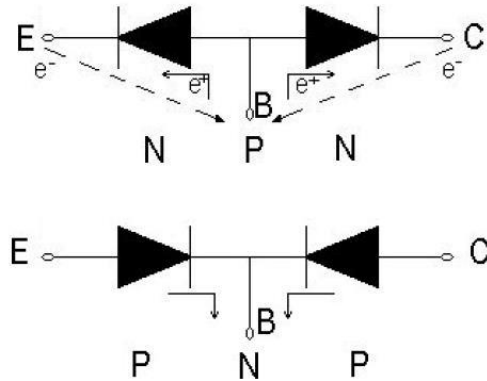
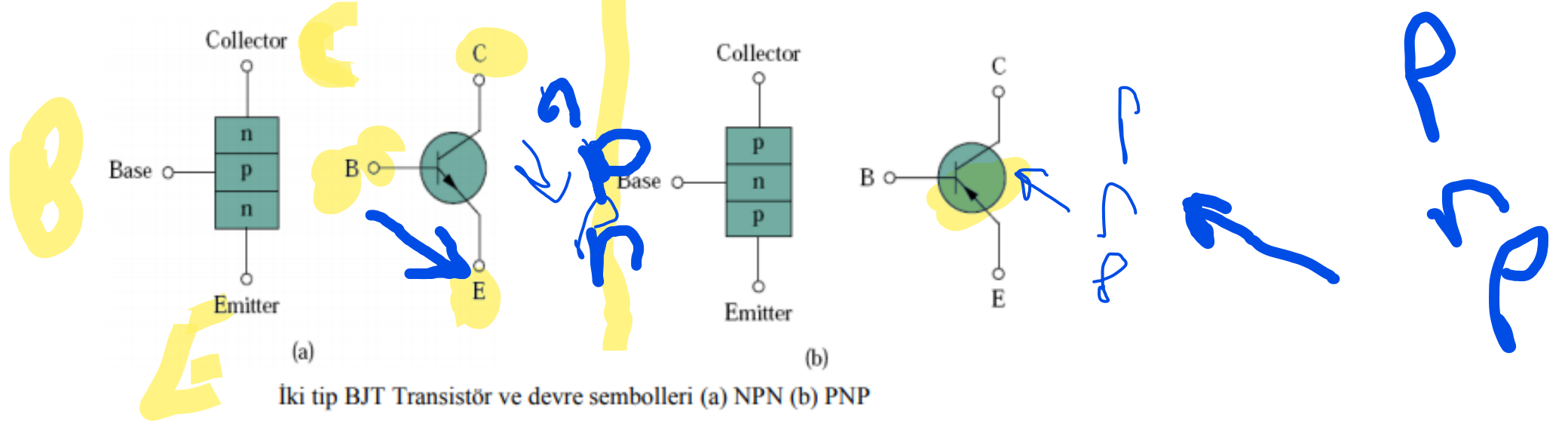
## 8.HAFTA

Transistörün Yapısı, Çalışma İlkeleri, Transistör Parametreleri ve Karakteristikleri

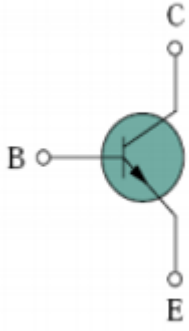
# Transistörler

- Transistör, yarı iletken malzemeden yapılmış elektronik devre elemanıdır.
- Transistörler yapıları ve işlevlerine bağlı olarak kendi aralarında gruplara ayrılırlar.
  - BJT (Bipolar Jonksiyon Transistör),
  - FET (Field Effect Transistör) ,
  - MOSFET (Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistor),
  - UJT (unijunction transistör) 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.

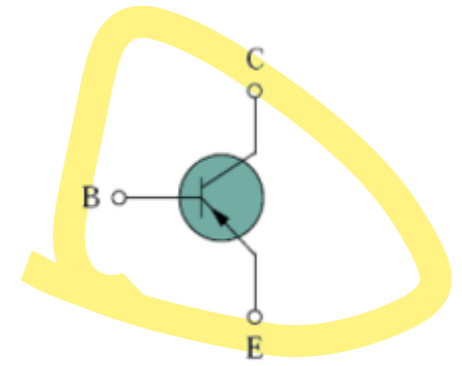
# BJT Transistörler



Her ne kadar diyotun yapısına benzese de çalışması ve fonksiyonları diyottan çok farklıdır.



# Transistörler

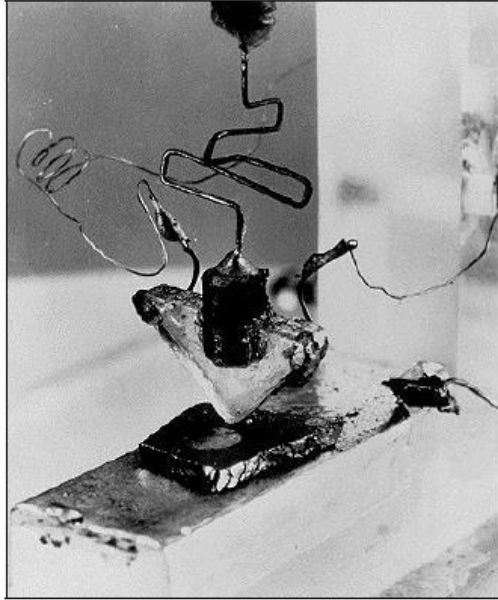


**Transistör aşağıda belirtildiği gibi tanımlanabilir:**

- 1) Transistör, **iki** elektrotu arasındaki **direnci**, **üçüncü** elektroda uygulanan gerilim ile değişen bir devre elemanıdır.
  - 2) Transistörün en çok kullanılan tanımı ise şöyledir: **Transistör yan yana birleştirilmiş iki PN diyotundan oluşan bir devre elemanıdır. Birleşme sırasına göre NPN veya PNP tipi transistör oluşur.**
- Transistörler, **katı-hal "solid-state"** devre elemanlarıdır.
  - Transistör yapımında **silisyum, germanyum** ya da uygun yarıiletken karışımlar kullanılmaktadır.

# Transistörün Tarihçesi

- 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.



*Üretilen ilk yarıiletken transistör ve bulan bilim adamları*

# Transistörün Tarihçesi

- İmal edilen ilk transistör, “nokta temaslı transistördü” ve gücü miliwatt seviyesindeydi. Sadece alçak frekanslarda kullanılabiliyordu.
- 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 elektronğin çeşitli alanlarında deneysel maksatlarla, 1956'dan itibaren ise her alanda seri olarak kullanılmaya başlanmıştır. Zamanla daha pek çok transistör çeşidi bulunarak hizmete sunulmuştur.

# Transistörün Tarihçesi

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

# Transistörün başlıca çeşitleri

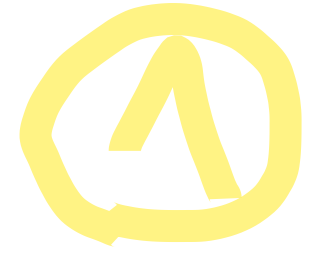
- Yüzey birleşmeli (Jonksiyon) transistör
- Nokta temaslı transistör
- Unijonksiyon transistör
- Alan etkili transistör
- Foto transistör
- Tetrot (dört uçlu) transistör
- Koaksiyal transistör



Çeşitli tip transistörlerin görünümeleri



# Transistörlerin yapısı

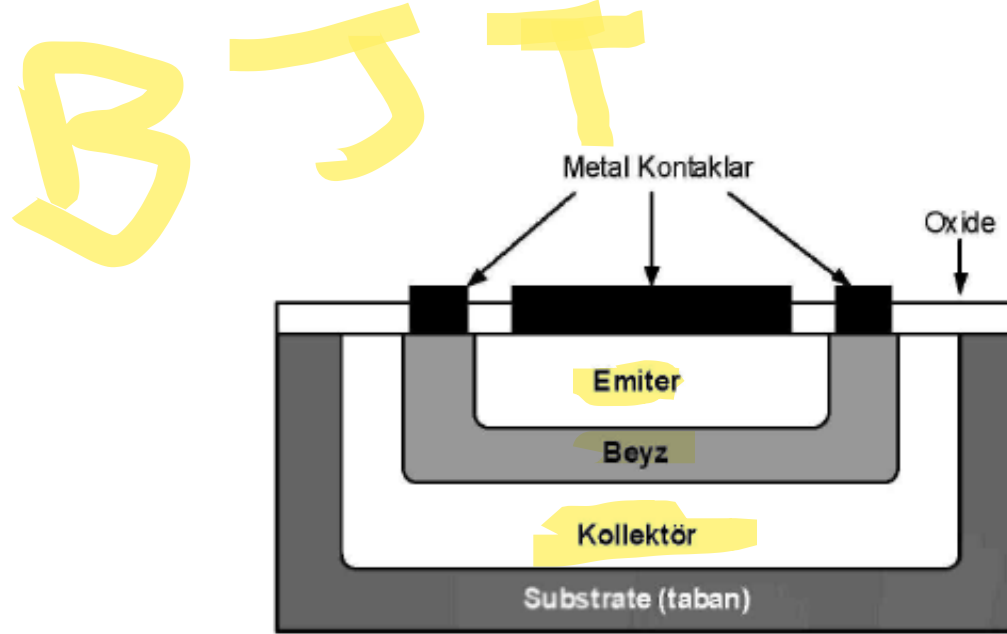


- Yukarıda belirtilen değişik işlevli bütün transistörlerin esası YÜZEY BİRLEŞMELİ TRANSİSTÖR 'dür.
- Transistör yapımında **silisyum, germanyum** ya da **uygun yarıiletken karışımlar** kullanılmaktadır.
- **BJT**; anlam olarak “Çift kutuplu yüzey birleşimli transistör” ifadesini ortaya çıkarır.



# Transistörlerin yapısı

- BJT içinde hem **çoğunluk taşıyıcıları**, hem **de azınlık taşıyıcıları görev yapar**.
- Transistör imalatında kullanılan yarı iletkenler, birbirlerine **yüzey birleşimli olarak üretilmektedir**.
- Bu nedenle “**Bipolar Jonksiyon Transistör**” olarak adlandırılırlar. Transistörün temel yapısı şekilde gösterilmiştir.

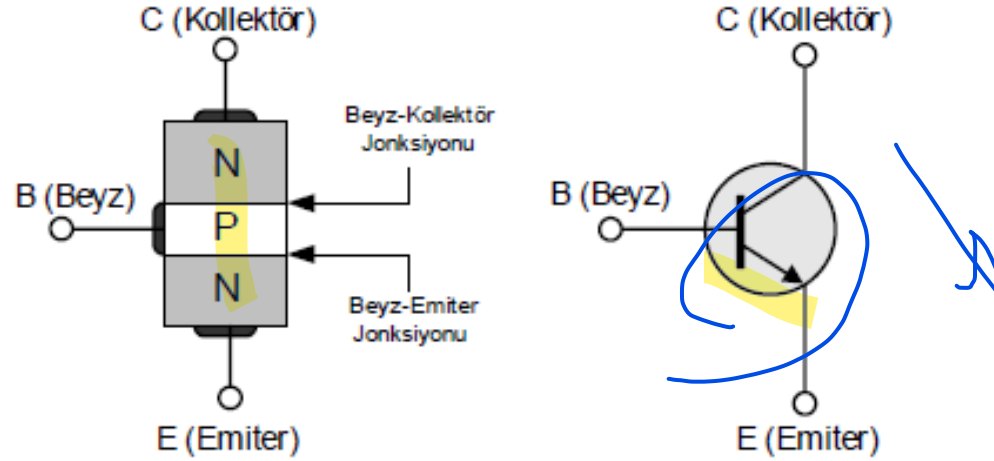


Bipolar Jonksiyon transistörün yapısı

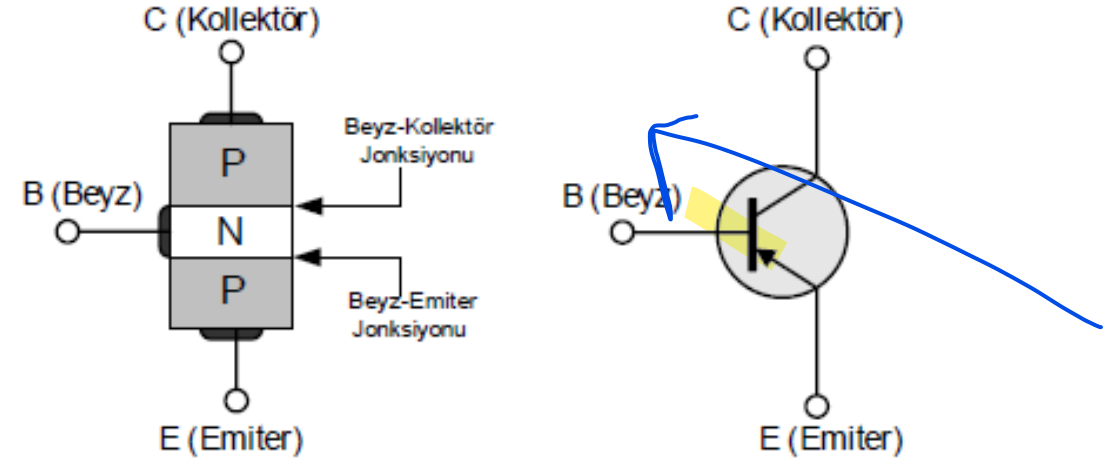
# Transistörlerin yapısı

- BJT transistörler katkılandırılmış P ve N tipi malzeme kullanılarak üretilir. **NPN** ve **PNP** olmak üzere başlıca iki tipi vardır.
- Dolayısıyla transistör **3 adet katmana veya terminale sahiptir** diyebiliriz.
  - 1) **EMİTER**; "E" ile gösterilir.
  - 2) **BEYZ**; "B" ile gösterilir.
  - 3) **KOLLEKTÖR**; "C" ile gösterilir.

# Transistörlerin yapısı



*a) NPN tipi Transistör fiziksel yapısı ve şematik sembolü*



*b) PNP tipi Transistör fiziksel yapısı ve şematik sembol*

# Transistörlerin yapısı



Bölgeler şu özelliklere sahiptir:

- **Emiter bölgesi (Yayıcı):** Akım taşıyıcıların harekete başladığı bölge.
- **Beyz bölgesi (Taban):** Transistörün çalışmasını etkileyen bölge.
- **Kollektör bölgesi (Toplayıcı):** Akım taşıyıcıların toplandığı bölge.

Bu bölgelere irtibatlandırılan bağlantı iletkenleri de, elektrot, ayak veya bağlantı ucu olarak tanımlanır.

Transistör yapısında Beyz kalınlığının önemi:

- Akım taşıyıcılarının **BEYZ** bölgesini kolayca geçebilmesi için, Beyz'in mümkün olduğunca ince yapılması gerekir.

# Transistörün Çalışma İlkeleri

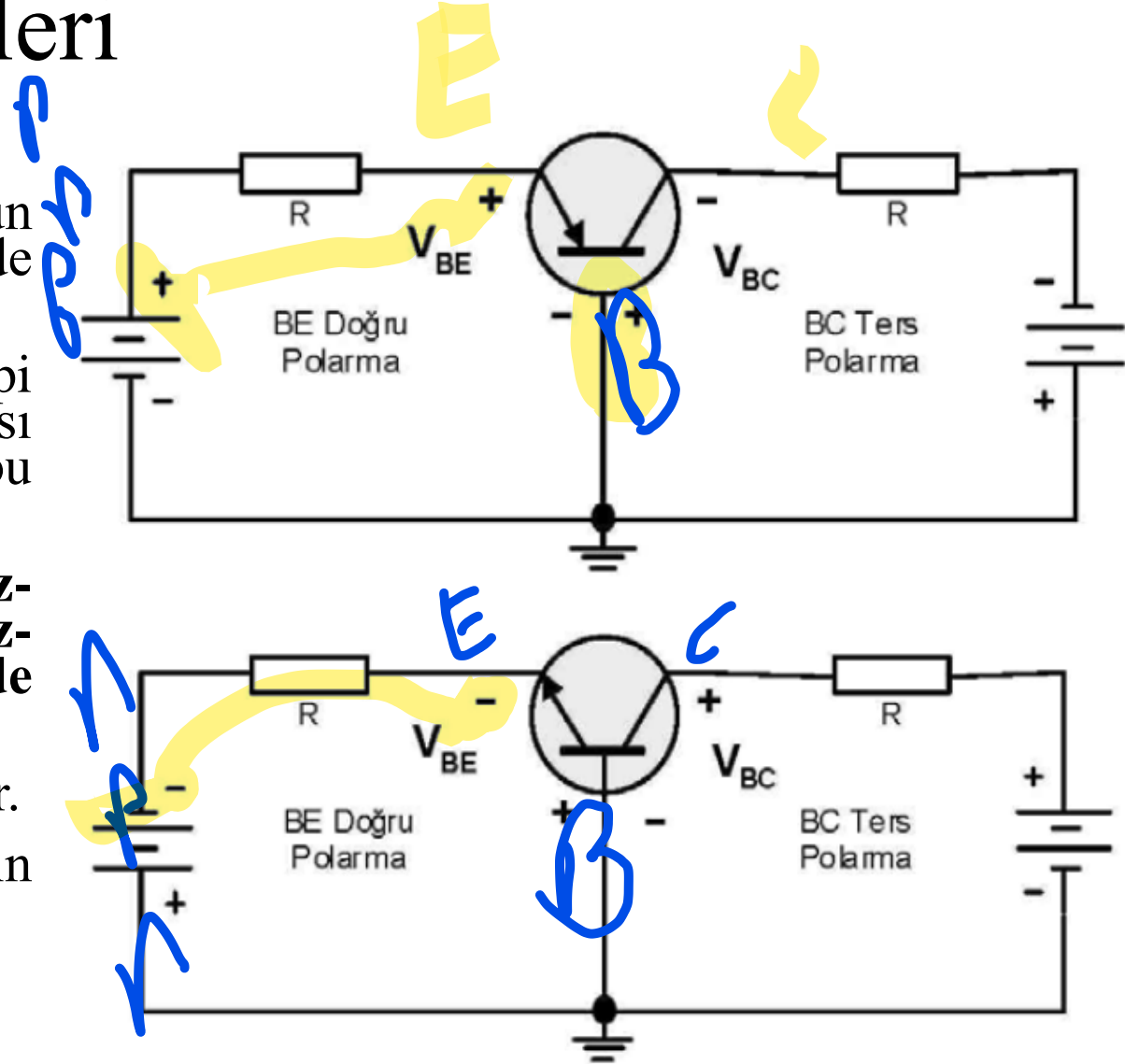
## Transistörün Çalışma İlkeleri

Bipolar transistörlerin genelde iki çalışma modu vardır.

- **Yükselteç (amplifier)** ve **Anahtar** olarak iki şekilde çalışırlar.
- Transistör, her iki çalışma modunda harici **DC besleme gerilimlerine gereksinim duyar.** Yani, transistörün bu görevi yerine getirebilmesi için, önce Emiter, Beyz ve Kollektorün DC gerilim ile beslenmesi gerekir. Bu DC gerilime **polarma gerilimi** denir.
- 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 mantık devrelerinin tasarımında transistörün bu özelliğinden yararlanılır ve anahtar olarak kullanılır.
- **Yükselteç olarak kullanılacak bir transistör aktif bölgede çalıştırılır.**

# Transistörün Çalışma İlkeleri

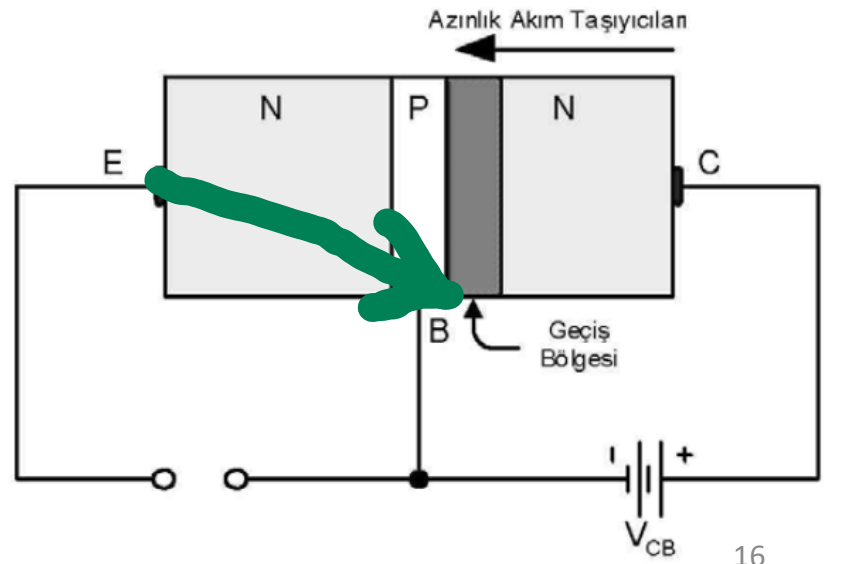
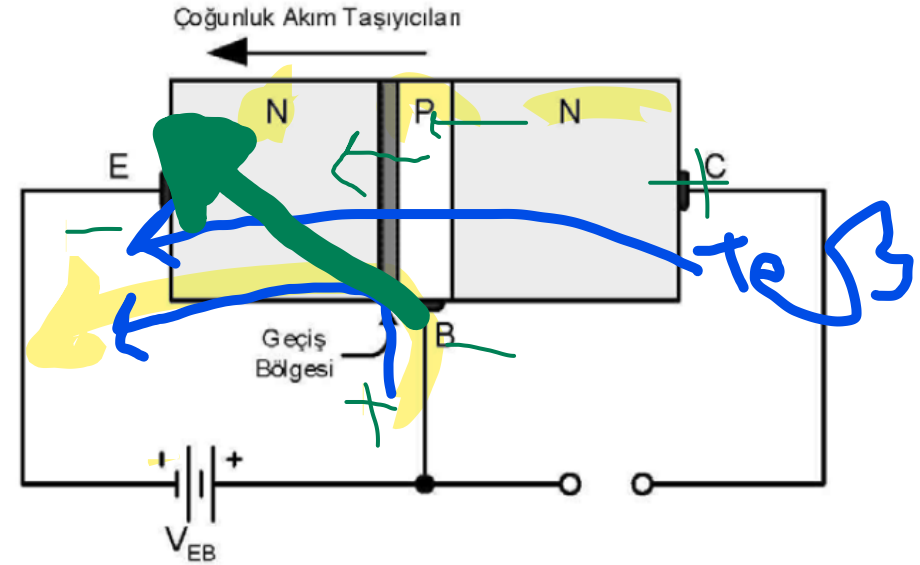
- Yükselteç olarak çalıştırılacak bir transistörün PN jonksiyonları uygun şekilde polarmalandırılmalıdır.
- Şekilde ortak beyz bağlantılı **NPN ve PNP** tipi transistörlerin yükselteç olarak çalıştırılması için gerekli polarma gerilimleri ve bu gerilimlerin polariteleri verilmiştir.
- **NPN ve PNP** tipi transistörlerde; beyz-emiter jonksiyonu doğru yönde, beyz-kollektör jonksiyonu ise ters yönde polarmalanır.
- Her iki transistörün de çalışma ilkeleri aynıdır.
- Sadece polarma gerilimi ve akımlarının yönleri terstir.



# Transistörün yükselteç olarak çalışması

Transistörün yükselteç olarak çalışması yandaki şekilde 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. (Diyotun 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.

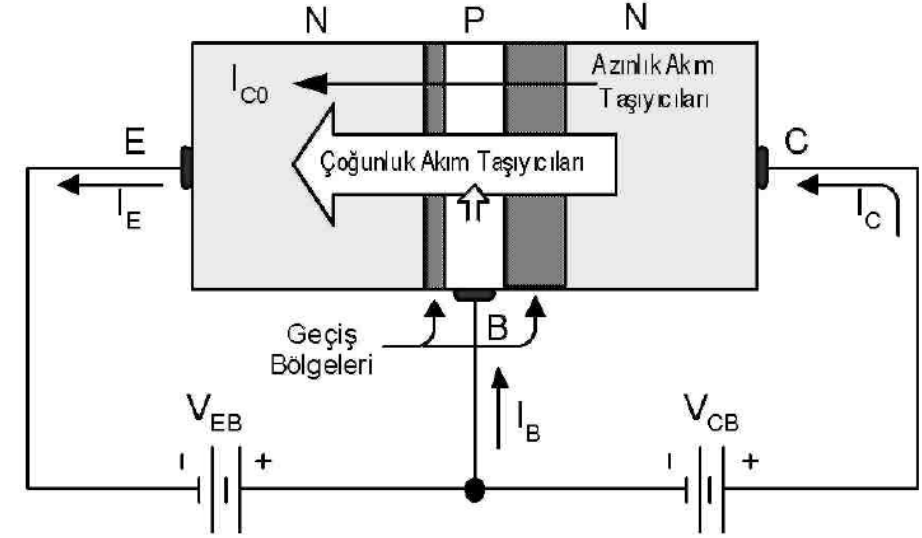




# Transistörün Çalışma İlkeleri

Transistörün nasıl çalıştığını anlamak amacıyla yukarıda iki kademedede anlatılan olayları birleştirelim.

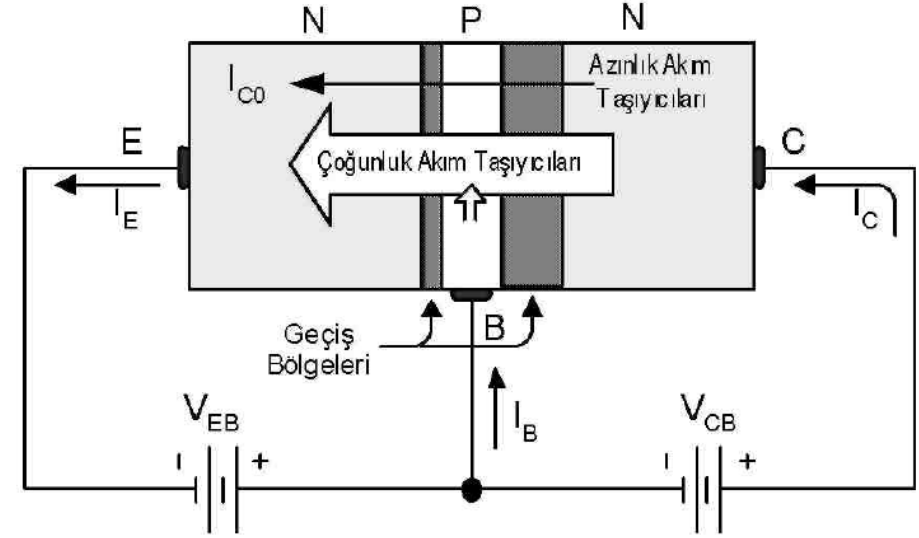
- Yandaki şekil’de **NPN** tipi bir transistöre polarma gerilimleri birlikte uygulanmıştır.
- Transistörde oluşan çoğunluk ve azınlık akım taşıyıcıları ise şekil üzerinde gösterilmiştir.
- Transistörün hangi jonksiyonlarına doğru, hangilerine ters polarma uygulandığını şekil üzerindeki geçiş bölgelerinin kalınlığına bakarak anlayabilirsiniz.



NPN tipi transistörde çoğunluk ve azınlık akım taşıyıcılarının akışı

# Transistörün Çalışma İlkeleri

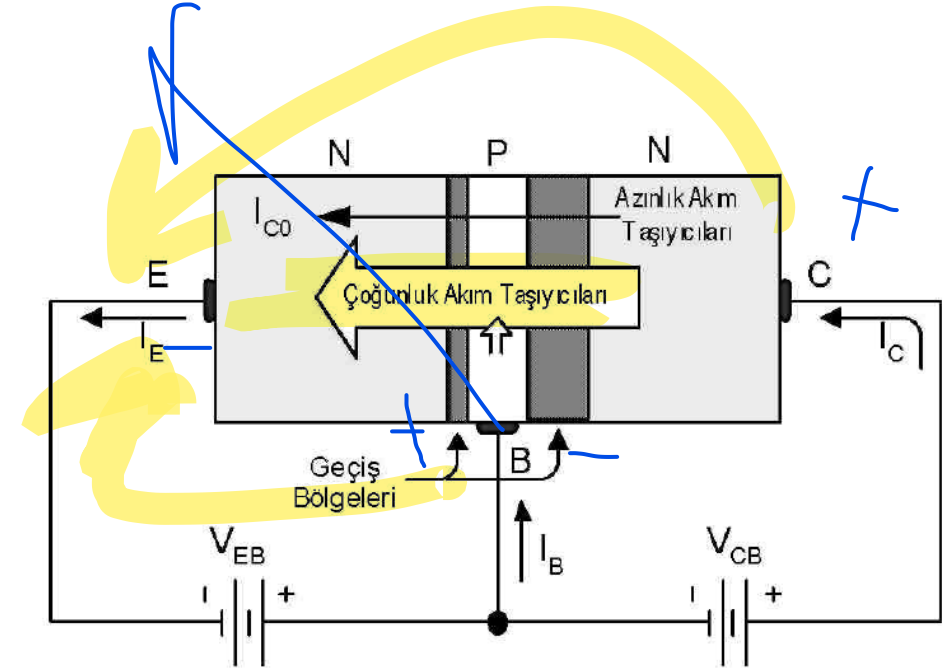
- Doğru yönde polarmalanan emiter-beyz jonksiyonu, emiterden çok sayıda elektron çoğunluk taşıyıcısının P tipi malzemeye (beyze) ulaşmasını sağlar.
- Beyz bölgesinde toplanan taşıyıcılar nereye gidecektir?
- $I_B$  akımına katkıda mı bulunacaklardır yoksa N tipi malzemeye mi geçeceklerdir?
- Beyz bölgesinin (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 kollektör akımlarına kıyasla çok küçüktür.



NPN tipi transistörde çoğunluk ve azınlık akım taşıyıcılarının akışı

# Transistörün Çalışma İlkeleri

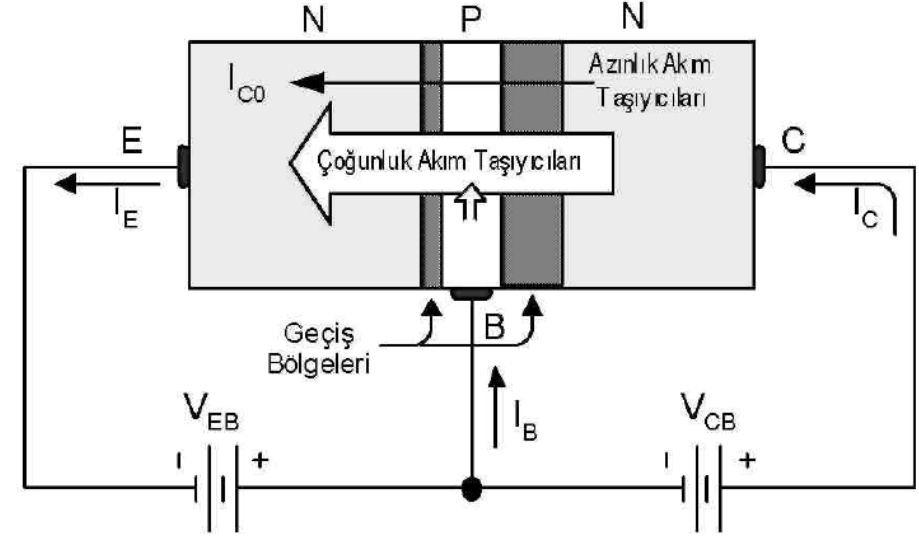
- Çoğunluk taşıyıcılarının çok büyük bir bölümü, ters polarmalı kolektör-beyz jonksiyonu üzerinden difüzyon yoluyla kolektör ucuna bağlı N-tipi malzemeye geçecektir.
- Emiterden çıkan elektronlar beyze oradan da difüzyonla kolektöre doğru akarken tersi yönde akan elektron boşlukları kolektörden emitöre doğru  $I_c$  akımını oluşturmaktadır.
- 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.



NPN tipi transistörde çoğunluk ve azınlık akım taşıyıcılarının akışı

# Transistörün Çalışma İlkeleri


- Buradan hareketle; emiterden enjekte edilen elektronların miktarı, beyz ve kollektöre doğru akan elektronların toplamı kadar olduğu söylenebilir.
- Transistör akımları arasındaki ilişki gibi tanımlanabilir:  $I_E = I_C + I_B$
- Kısaca, kollektör akımının miktarı beyz akımının miktarı ile doğru orantılıdır ve kollektöre uygulanan gerilimden bağımsızdır.
- Çünkü kollektör ancak beyzin toplayabildiği taşıyıcıları alabilmektedir.
- Emiterden gelen taşıyıcıların yaklaşık %99'u kollektöre geçerken geriye kalan çok küçük bir kısmı beyze akar.



NPN tipi transistörde çoğunluk ve azınlık akım taşıyıcılarının akışı

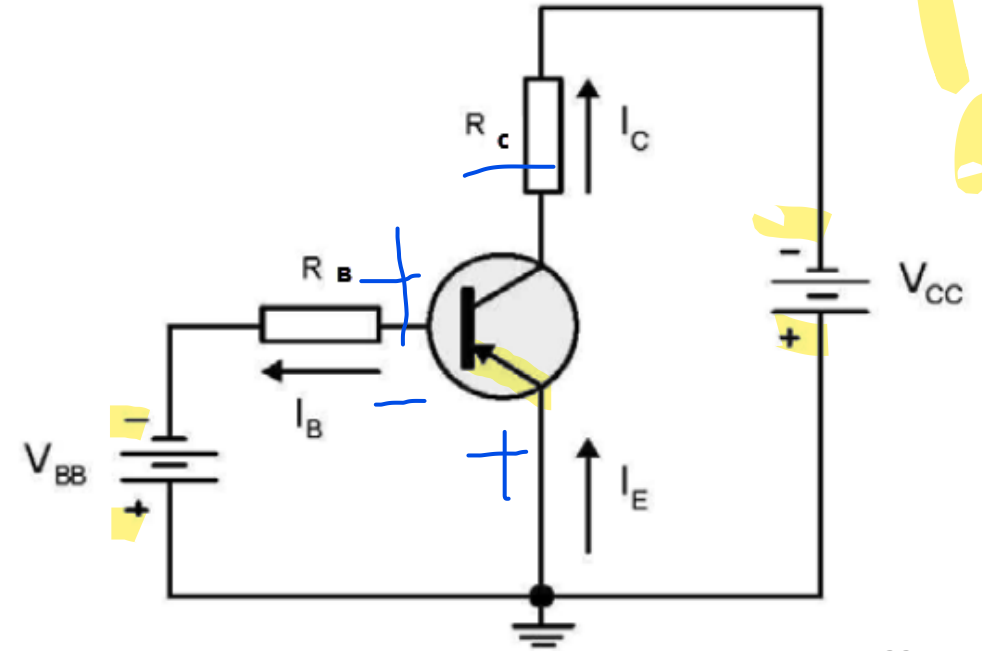
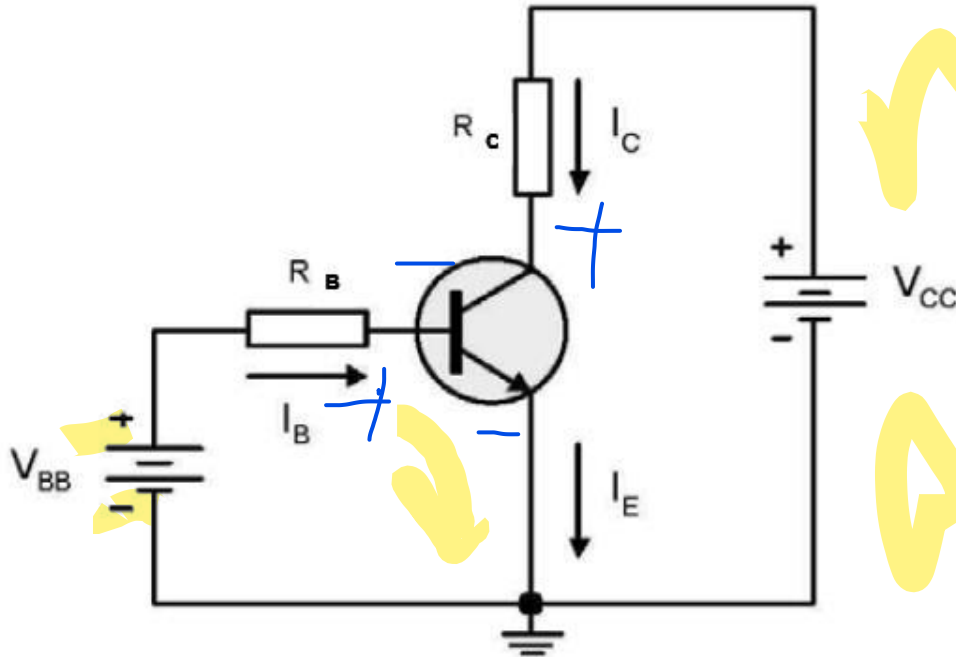
# Transistörün Çalışma İlkeleri

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

- 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.

# Transistör Parametreleri ve Karakteristikleri

- Şekilde ortak emitter bağlantılı 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.



# Transistör Parametreleri ve Karakteristikleri

- Transistörle yapılan her türlü tasarım ve çalışmada dikkat edilmesi gereken ilk konu, **transistörün dc polarma gerilimleri ve akımlarıdır.**
- Transistörlerin dc analizlerinde kullanılacak iki önemli parametre vardır. Bu parametreler;  $\beta_{DC}$  (dc akım kazancı) ve  $\alpha_{DC}$  olarak tanımlanır.

# Transistör Parametreleri ve Karakteristikleri

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

- $\beta$  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.  $\beta = h_{FE}$



# Transistör Parametreleri ve Karakteristikleri

- 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.

# Transistör Parametreleri ve Karakteristikleri

- 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

değeri elde edilir.

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

# Transistör Parametreleri ve Karakteristikleri

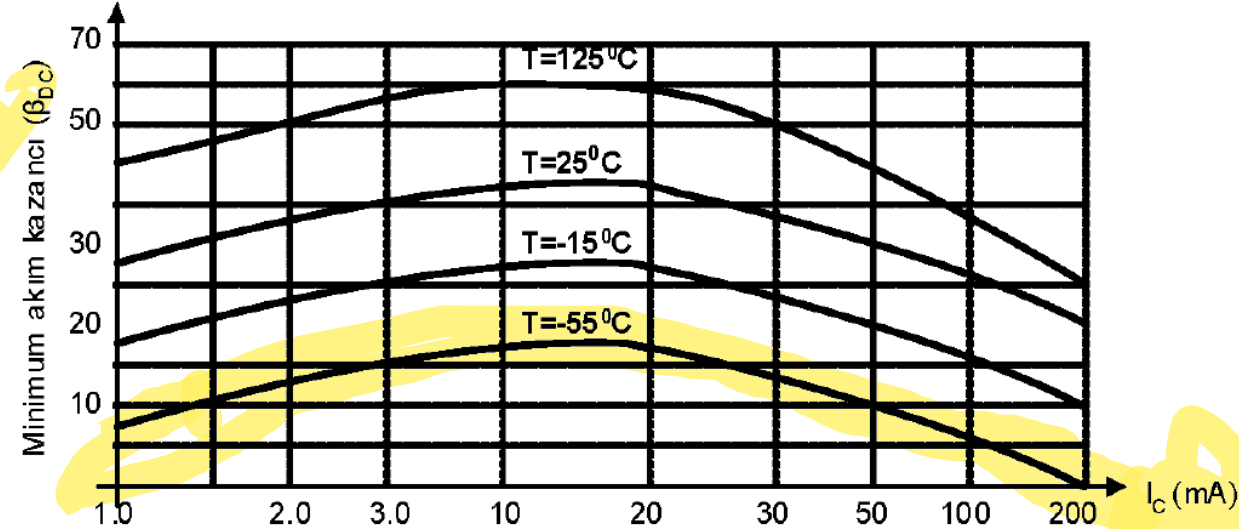
- Buradan her iki akım kazancı arasındaki ilişki;

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

- 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.

# Transistör Parametreleri ve Karakteristikleri

- 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.
- Şekilde sıcaklık ve kollektör akımındaki değişime bağlı olarak  $\beta_{DC}$  akım kazancındaki değişim örneklenmiştir.
- Transistörle yapılan devre tasarımlarında  $\beta_{DC}$  değerindeki değişimler dikkate alınarak  $\beta_{DC}$  değerinden bağımsız uygulama devreleri geliştirilmiştir.



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

$I_B$

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

**Çözüm:**

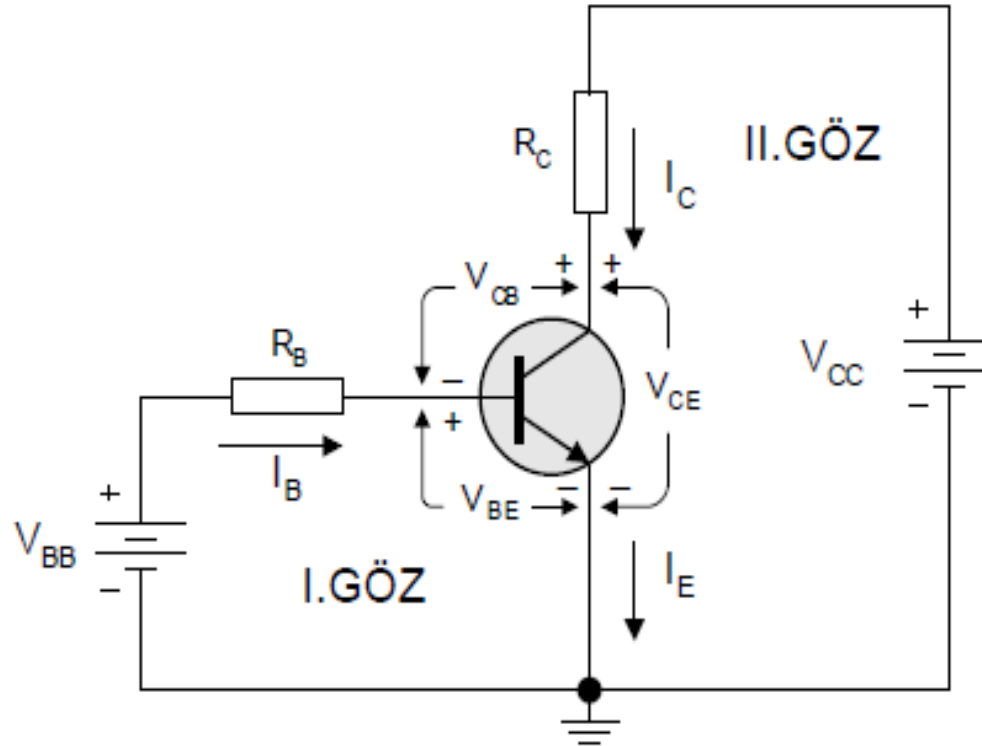
$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = (200 \cdot 75\mu A) = 150mA$$

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

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

# 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 üzerinde gösterilmiş ve adlandırılmıştır.



$I_B$  : Beyz akımı (dc)  
 $I_E$  : Emiter akımı (dc)  
 $I_C$  : Kollektör akımı (dc)

$V_{BE}$  : Beyz-emiter gerilimi (dc)  
 $V_{CB}$  : Kollektör-beyz gerilimi (dc)  
 $V_{CE}$  : Kollektör-emiter gerilimi (dc)

# Transistörde Akım ve Gerilim İlişkileri

- 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.

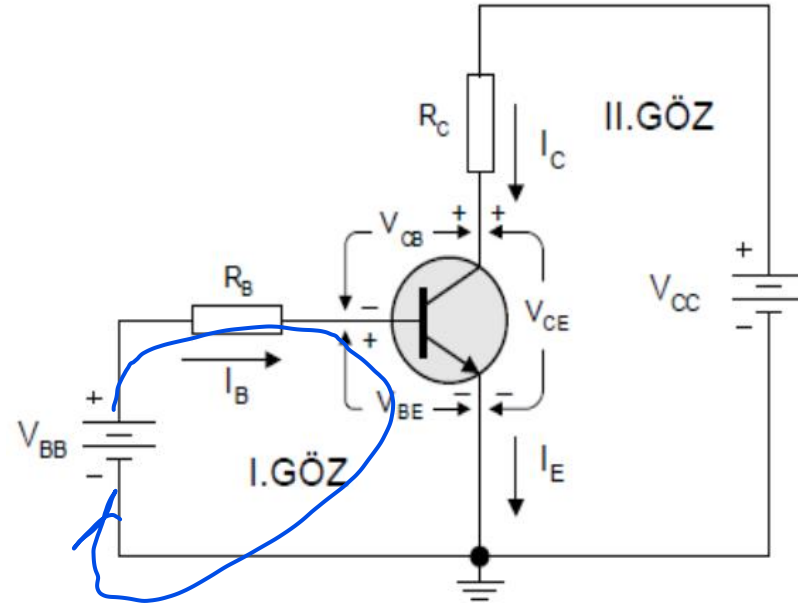
$$V_{BE} \approx 0.7V$$

- Devrede I.Göz için K.G.K yazılırsa;

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

- olur.

0,7



# Transistörde Akım ve Gerilim İlişkileri

- 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.  $\Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B$  ,  $I_E = I_C + I_B$
- RC direnci üzerine düşen gerilim;

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



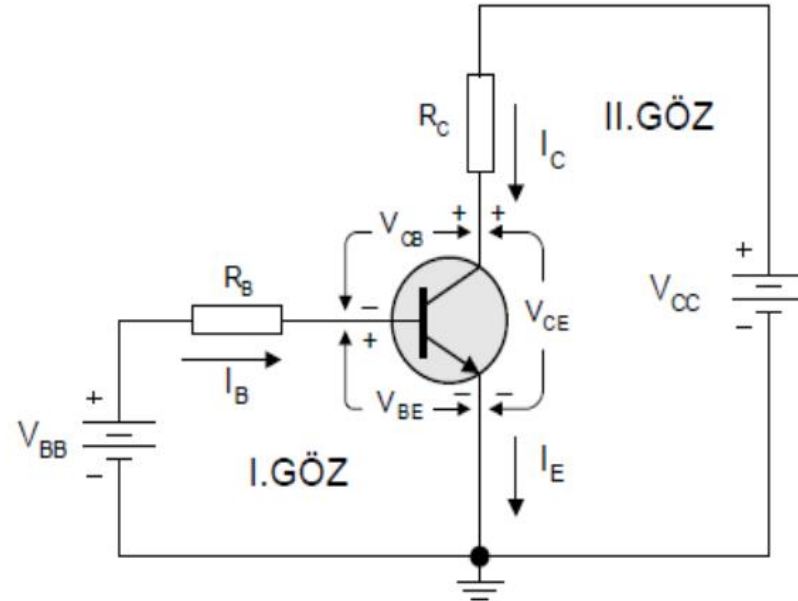
# Transistörde Akım ve Gerilim İlişkileri

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

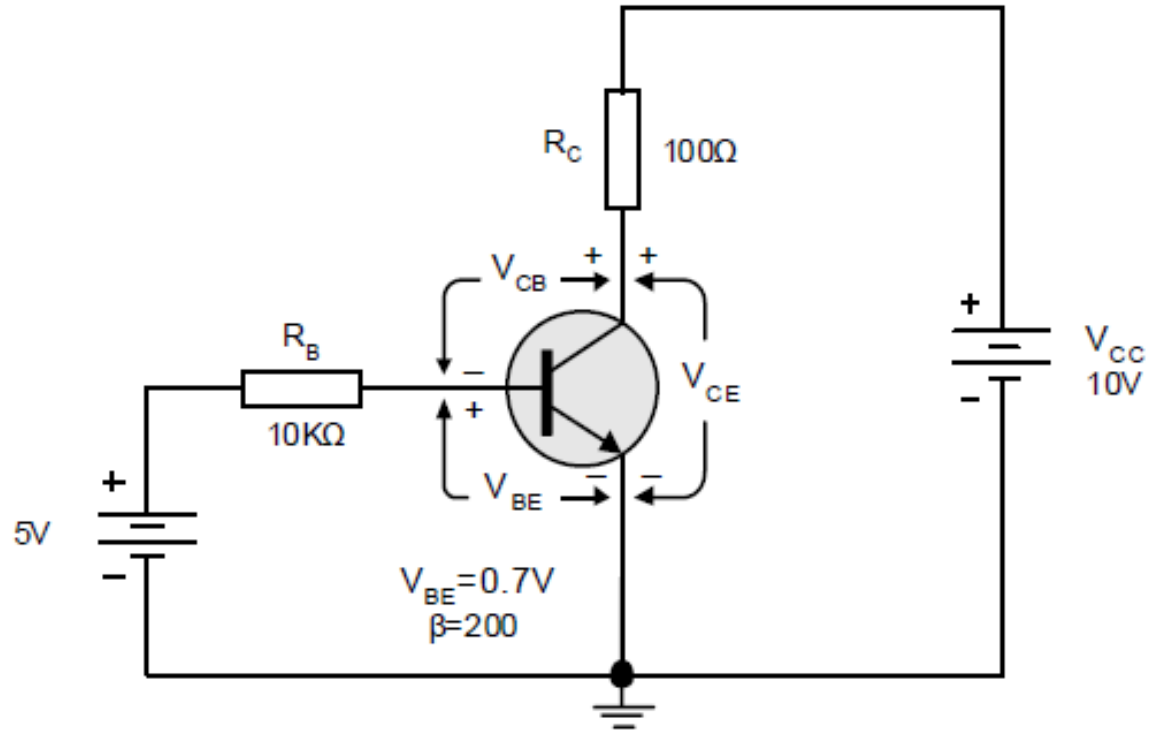
$$V_{CC} = (I_C \cdot R_C) + V_{CE}$$

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

- olarak bulunur.



# Örnek:



Yanda verilen devrede;  
transistörün 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.

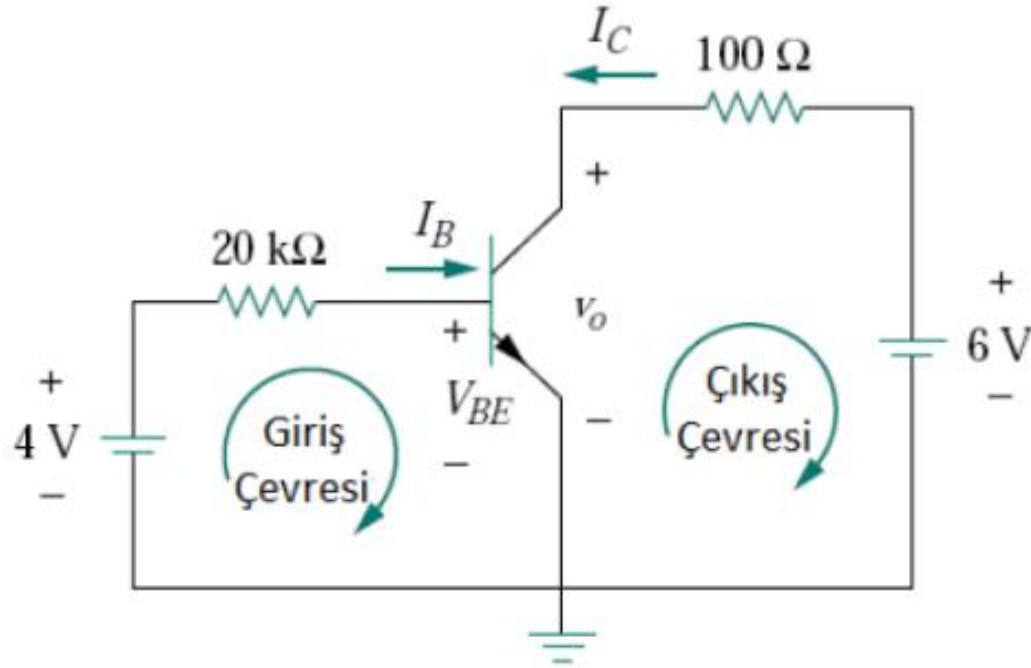
$$V_{CC} = (I_C \cdot R_C) + V_{CB} + V_{BE}$$

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

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



Örnek: Şekildeki devrede transistörün aktif bölgede çalıştığını ve  $\beta=50$  olduğunu varsayarak,  $I_B$ ,  $I_C$  ve  $V_o$  değerlerini bulunuz.



# Çözüm:

Giriş çevresine KKK uygulandığında

$$-4 + I_B(20 \times 10^3) + V_{BE} = 0$$

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$I_B = \frac{4 - 0.7}{20 \times 10^3} = 165 \mu\text{A}$$

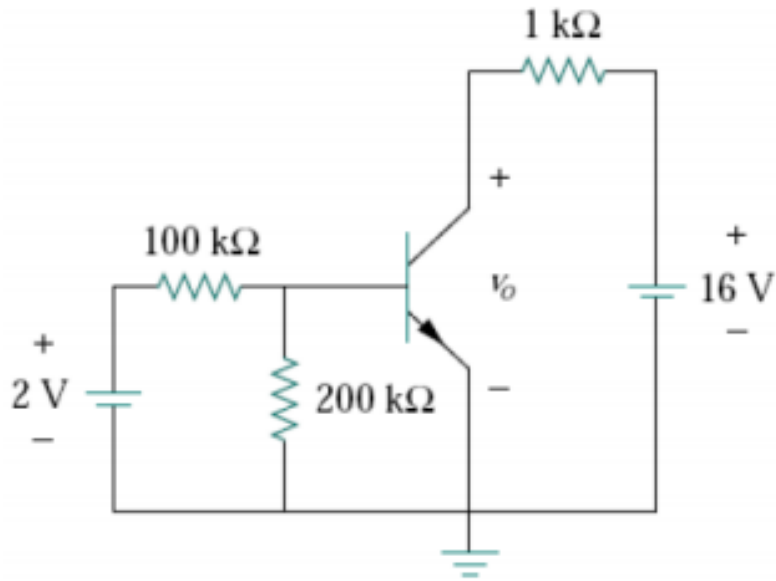
$$I_C = \beta I_B = 50 \times 165 \mu\text{A} = 8.25 \text{ mA}$$

Çıkış çevresine KKK uygulandığında

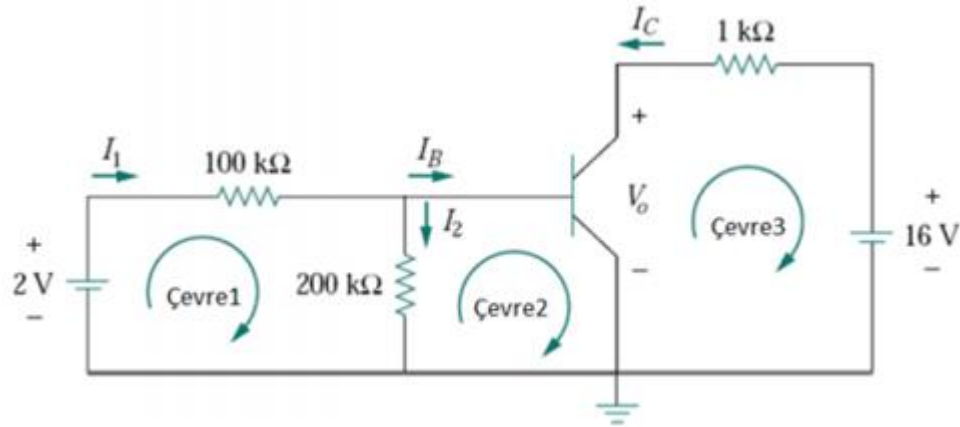
$$-v_o - 100I_C + 6 = 0$$

$$v_o = 6 - 100I_C = 6 - 0.825 = 5.175 \text{ V}$$

Örnek: Şekildeki transistörlü devrede  $\beta=150$   $V_{BE}=0,7V$  olduğunu varsayarak,  $V_o$  değerlerini bulunuz



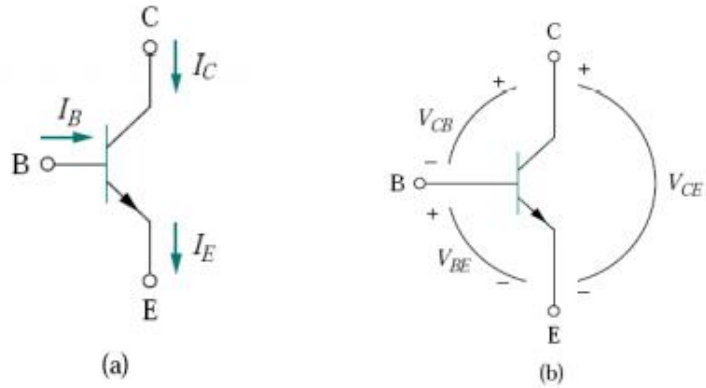
# Çözüm: (1.Yaklaşım)



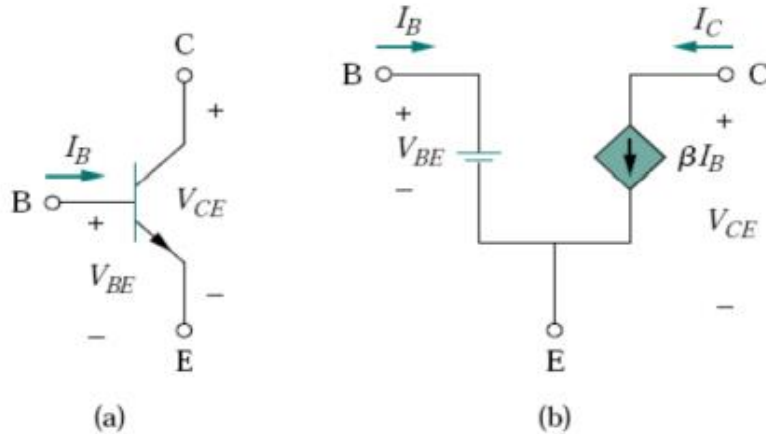
$$\begin{aligned}
 1. \text{Çevreden} \quad & 2 = 100 \times 10^3 I_1 + 200 \times 10^3 I_2 \\
 2. \text{Çevreden} \quad & V_{BE} = 0.7 = 200 \times 10^3 I_2 \implies I_2 = 3.5 \mu\text{A} \\
 3. \text{Çevreden} \quad & -v_o - 1000 I_C + 16 = 0 \implies v_o = 16 - 1000 I_C \\
 & I_1 = \frac{2 - 0.7}{100 \times 10^3} = 13 \mu\text{A}, \quad I_B = I_1 - I_2 = 9.5 \mu\text{A} \\
 & I_C = \beta I_B = 150 \times 9.5 \mu\text{A} = 1.425 \text{ mA} \\
 & v_o = 16 - 1.425 = 14.575 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -2 + 300 I_{C1} - 200 I_{C2} &= 0 \\
 0.7 + 200 I_{C2} - 200 I_{C1} &= 0 \\
 300 I_{C1} - 200 I_{C2} &= 2 \\
 -200 I_{C1} + 200 I_{C2} &= -0.7 \\
 \hline
 100 I_{C1} &= 1.3 \\
 I_{C1} &= \frac{1.3}{10^5} = 13 \cdot 10^{-6} \text{ A} \\
 I_{C1} &= 13 \mu\text{A} \\
 I_{C2} &= \frac{300 I_{C1} - 2}{200} \\
 &= \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 13 \cdot 10^{-6} - 2}{200 \cdot 10^3} = 0.95 \cdot 10^{-5} \\
 &= 9.5 \cdot 10^{-6} \\
 I_{C2} &= 9.5 \mu\text{A} \\
 I_{C2} &= I_B = 9.5 \mu\text{A}
 \end{aligned}$$

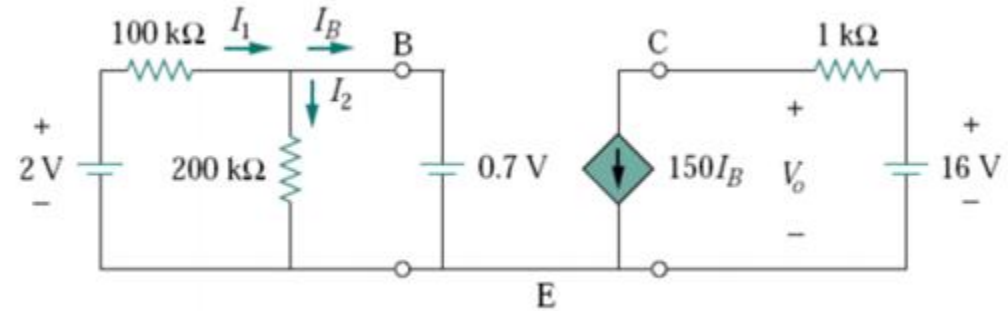
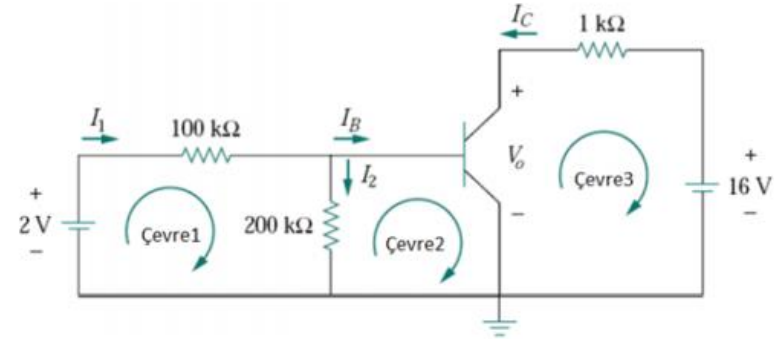
# Çözüm: (2.Yaklaşım) Transistörün DA eşdeğer devre modelini kullanma



NPN tip BJT Transistörün uç değişkenleri (a) akımlar (b) gerilimler



(a) NPN Transistör (b) DA eşdeğer devre modeli



$$v_o = 16 - 1000(150I_B) \quad (\text{Çıkış çevresinden})$$

$$I_B = I_1 - I_2 = \frac{2 - 0.7}{100 \times 10^3} - \frac{0.7}{200 \times 10^3} = (13 - 3.5) \mu\text{A} = 9.5 \mu\text{A}$$

$$v_o = 16 - 1000(150 \times 9.5 \times 10^{-6}) = 14.575 \text{ V}$$



# Transistörün Giriş Karakteristiği

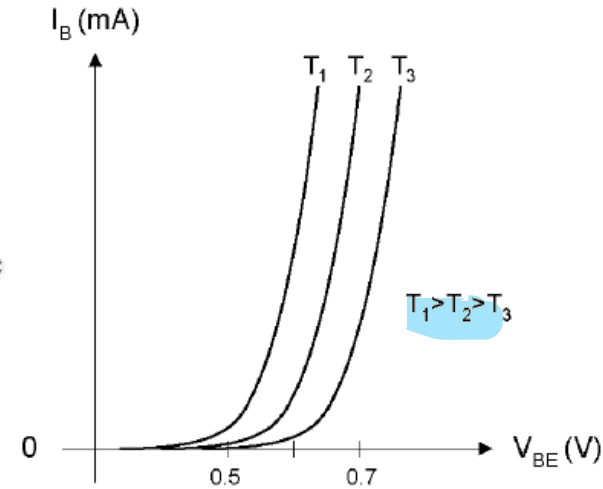
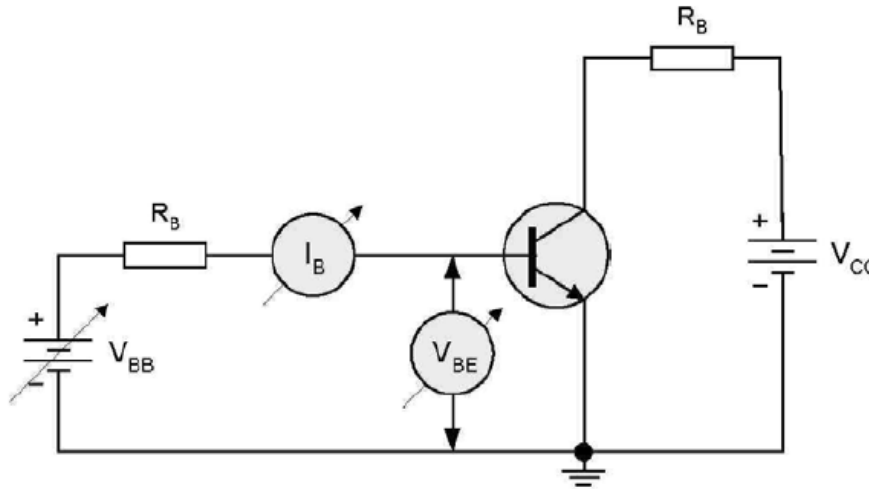
Karakteristik eğri, herhangi bir elektriksel elemanda akım-gerilim ilişkisini gösterir.

- Transistör; giriş ve çıkış için iki ayrı karakteristik eğriye sahiptir.
- Transistörün giriş karakteristiği beyz-emiter gerilimi ile beyz akımı arasındaki ilişkiyi verir.

$V_{BE}$

Transistörün giriş karakteristiğini çıkarmak için aşağıdaki şekildeki bağlantıdan yararlanılır.

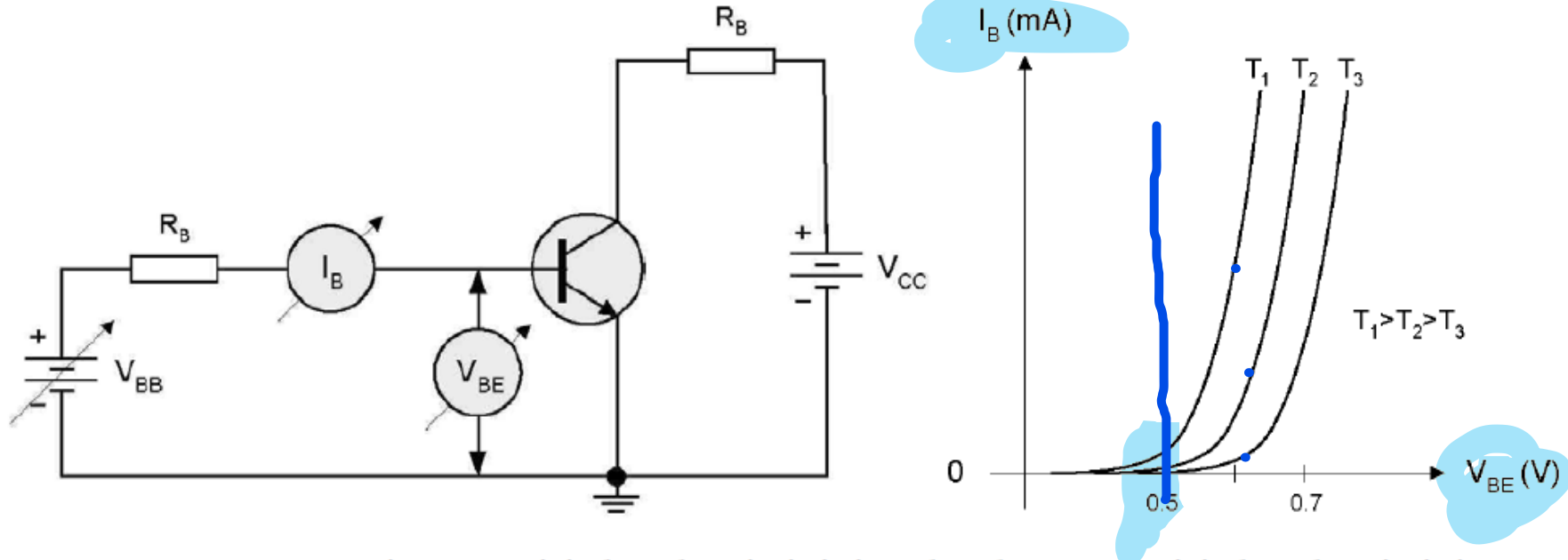
- Transistörün giriş karakteristiklerini elde etmek için, kollektör-emiter gerilimi ( $V_{CE}$ ) sabit tutulur ve bu gerilime göre beyz akımı ( $I_B$ ) değiştirilir.
- Beyz akımındaki bu değişimin beyz-emiter gerilimine ( $V_{BE}$ ) etkisi ölçülür.



Transistörün giriş karakteristiğinin çıkarılması ve giriş karakteristiği

# Transistörün Giriş Karakteristiği

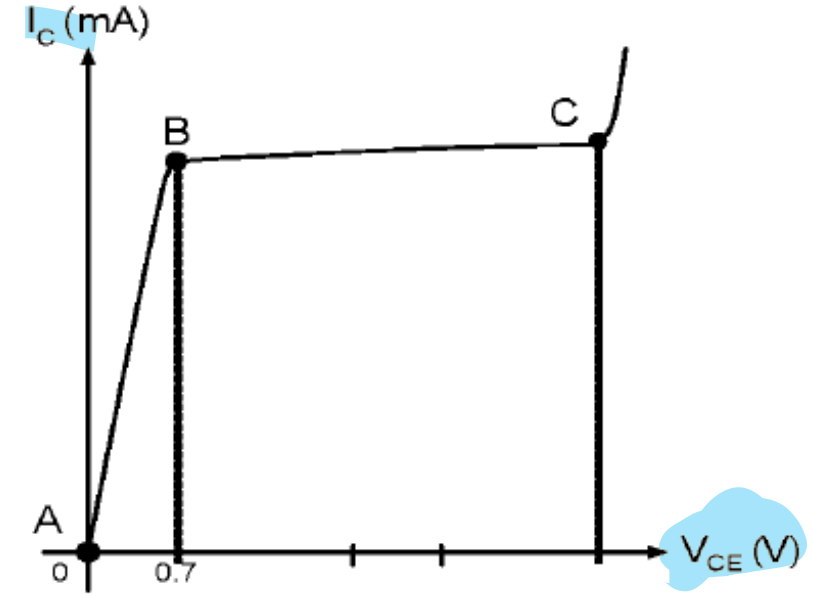
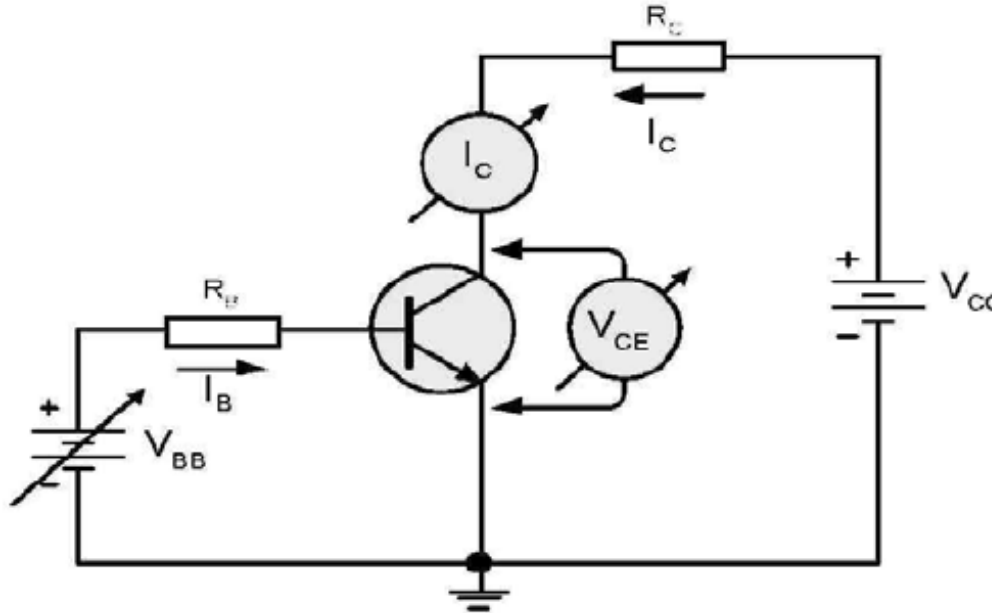
- Grafikten de görüldüğü gibi transistörün giriş karakteristiği normal bir diyot karakteristiği ile benzerlik gösterir.
- $V_{BE}$  gerilimi  $0.5V$ 'un altında olduğu sürece beyz akımı ihmal edilecek derecede küçüktür.
- Uygulamalarda aksi belirtilmedikçe transistörün ilettime başladığı andaki beyz-emiter gerilimi  $V_{BE}=0.7V$  olarak kabul edilir.
- Beyz-emiter ( $V_{BE}$ ) gerilimi, sıcaklıktan bir miktar etkilenir.
- Örneğin her  $10C$ 'lık sıcaklık artımında  $V_{BE}$  gerilimi yaklaşık  $2.3\text{ mV}$  civarında azalır.



Transistörün giriş karakteristiğinin çıkarılması ve giriş karakteristiği

# Transistörün Çıkış Karakteristiği

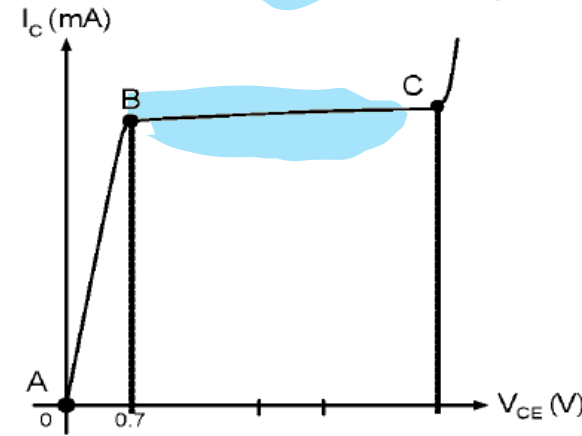
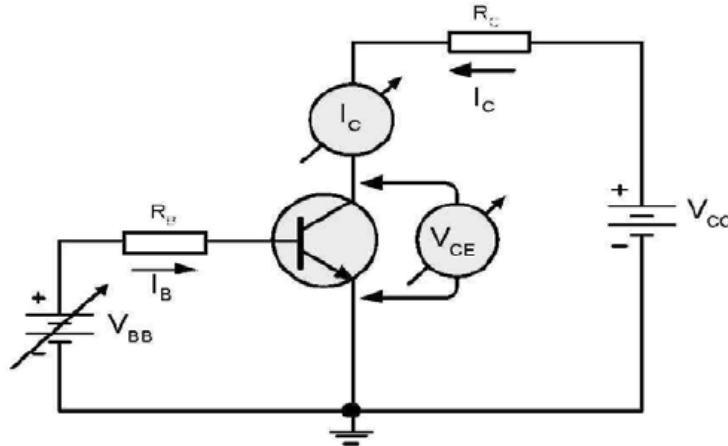
- Transistörlerde çıkış, genellikle kollektör-emiter uçları arasından alınır.
- Bu nedenle transistörün çıkış karakteristiği; beyz akımındaki ( $I_B$ ) değişime bağlı olarak, kollektör akımı ( $I_C$ ) ve kollektör-emiter ( $V_{CE}$ ) gerilimindeki değişimi verir.
- Transistörün çıkış karakteristiğini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



Transistörün çıkış karakteristiklerinin çıkarılması ve çıkış karakteristikleri

# Transistörün Çıkış Karakteristiği

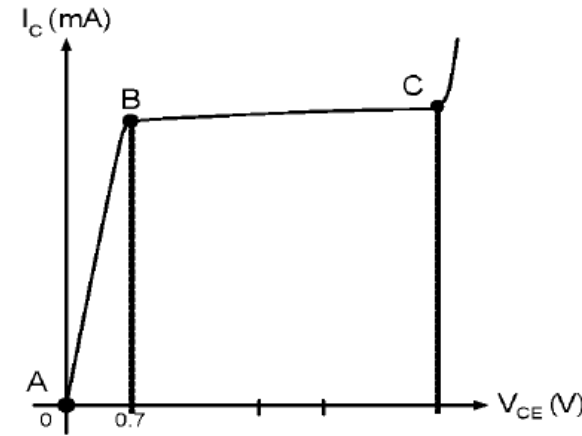
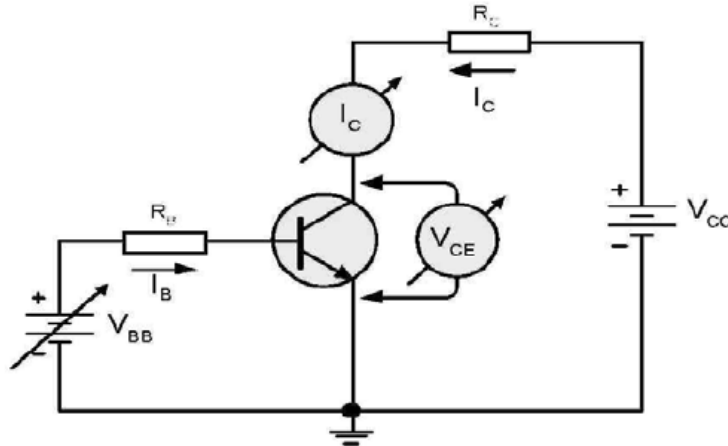
- Devredeki  $V_{BB}$  kaynağı, beyz akımını ayarlama da kullanılır.
- Bu kaynağın oluşturduğu beyz akımı değ erine ba ğlı olarak transistörün kollektör akımı değ işecektir.
- Karakteristik çıkarmak için farklı  $I_B$  ve  $I_C$  değ erleri için  $V_{CE}$  gerilimleri ölçülür ve kaydedilir.
- Başlangıçta  $V_{CC}=0$ ,  $I_C=0$  ve  $V_{CE}=0$  iken  $V_{BB}$ 'nin belirli bir  $I_B$  değ eri vermek üzere ayarlandığını kabul edelim.
- $V_{CC}$  geriliminin artırılmasıyla birlikte  $I_C$  akımı dolayısıyla  $V_{CE}$  artacaktır.
- Bu durum şek ildeki karakteristik üzerinde gösterilmiştir (A-B noktaları arası).
- $V_{CE}$  gerilimi B noktasına ulaşana kadar beyz, kolektörden daha yüksek potansiyeldedir. B-C jonksiyonu doğru yönde polarlanmıştır.
- Bu nedenle gerilim artışı ile birlikte kollektör akımında artmaktadır.



Transistörün çıkış karakteristiklerinin çıkarılması ve çıkış karakteristikleri

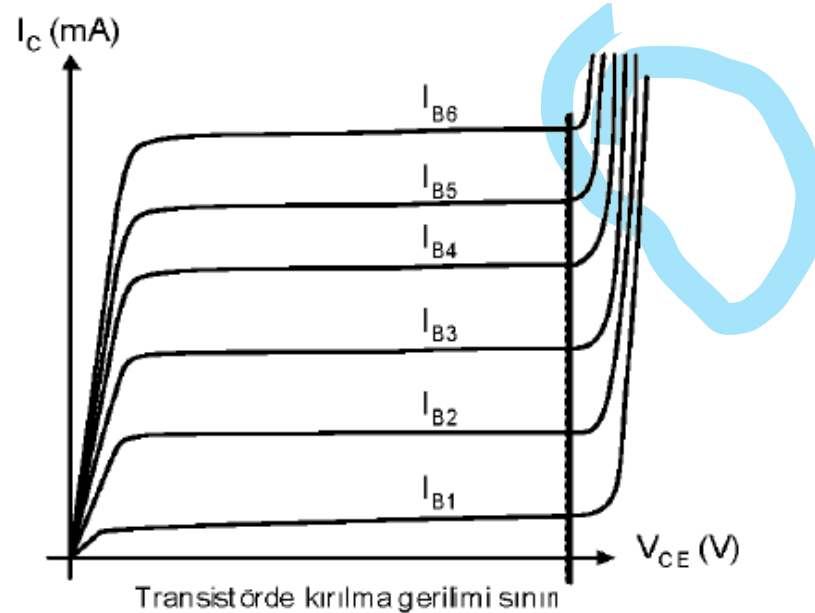
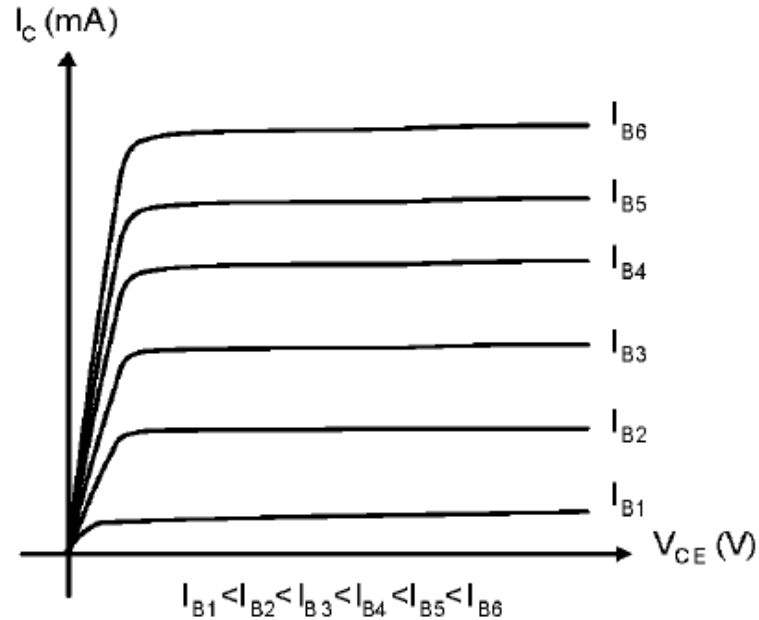
# Transistörün Çıkış Karakteristiği

- VCE gerilimi B noktasına ulaştığında değeri 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 VCE gerilimine karşılık  $I_C$  değeri hemen hemen sabit kalmaya başlar.
- Bu durum karakteristikte B ve C noktaları arasında görülmektedir.
- Gerçekte ise artan VCE gerilimi ile beyz-kollektör jonksiyonu fakirleşmiş bölgenin büyümesi nedeniyle kollektör akımı da az miktarda artmaktadır.



# Transistörün Çıkış Karakteristiği

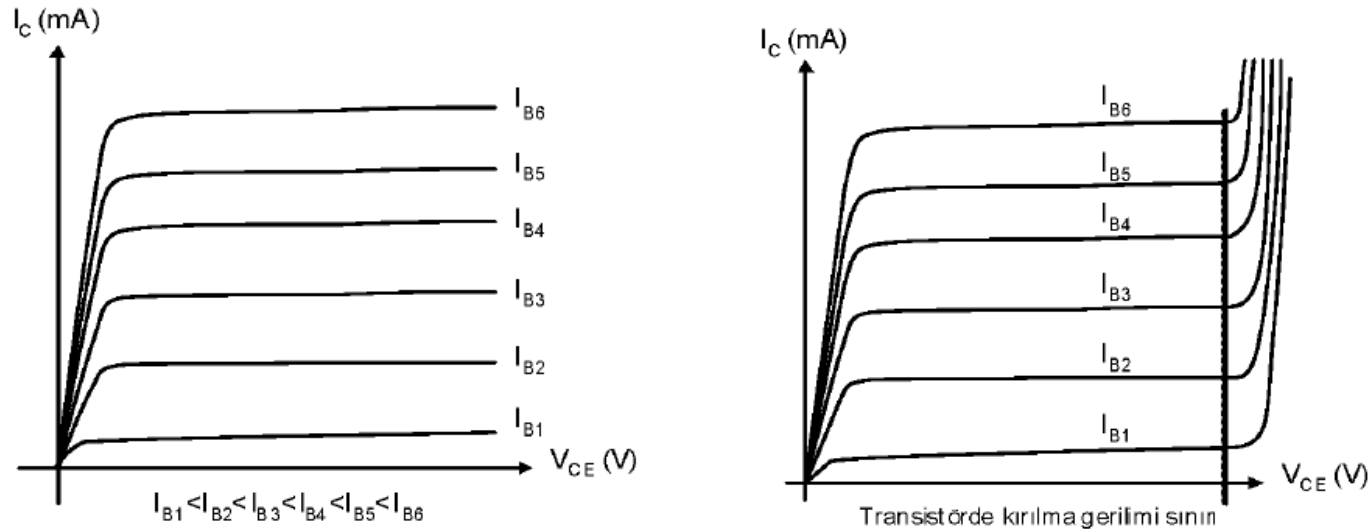
- Üretici firmalar her bir transistörün giriş ve çıkış karakteristik eğrilerini kataloglarında kullanıcıya sunarlar.
- Aşağıdaki şekilde farklı beyz akımlarında transistörün çıkış karakteristik eğrileri verilmiştir.
- Transistörlerle yapılan devre tasarımlarında üretici firmanın verdiği karakteristik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



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

# Transistörün Çıkış Karakteristiği

- Transistöre uygulanan **VCE** gerilimi önemlidir.
- Bu gerilim değeri belirli **limitler** dahilindedir.
- Bu gerilim belirlenen limit değeri aştığında transistörde kırılma olayı meydana gelerek bozulmaya neden olur.
- Bu durum şekilde gösterilmiştir.
- Kırılma gerilim değerleri üretilen her bir transistör tipi için üretici kataloglarında verilir.



Transistörün  $I_c$ - $V_{CE}$  karakteristikleri ve kırılma gerilimi

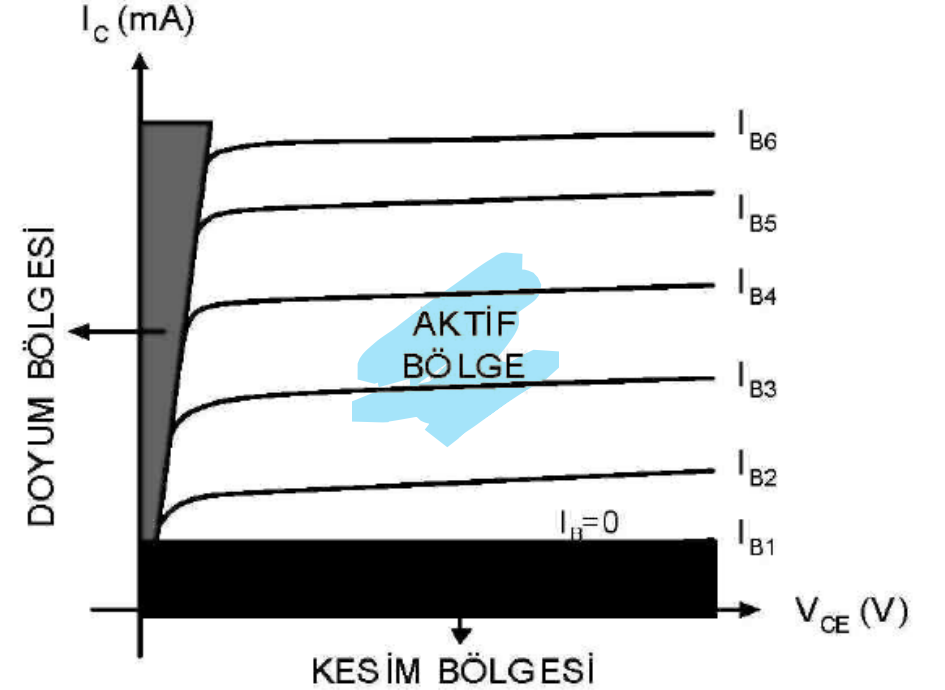
# Transistörde Çalışma Bölgeleri

Transistörlerde başlıca 3 çalışma bölgesi vardır:

- Bu bölgeler; **aktif bölge**, **kesim bölgesi** ve **doyum bölgesi** olarak adlandırılır.
- Transistörün çalışma bölgeleri şekilde transistörün çıkış karakteristikleri üzerinde gösterilmiştir.

Bu bölgeleri kısaca inceleyelim:

- **Aktif Bölge:** Transistörün aktif bölgesi; beyz akımının sıfırdan büyük ( $I_B > 0$ ) ve kolektör-emiter geriliminin  $0V$ 'dan büyük ( $V_{CE} > 0V$ ) olduğu bölgedir.
- Transistör aktif bölgede çalışabilmesi için beyz-emiter jonksiyonu doğru, kolektör-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.

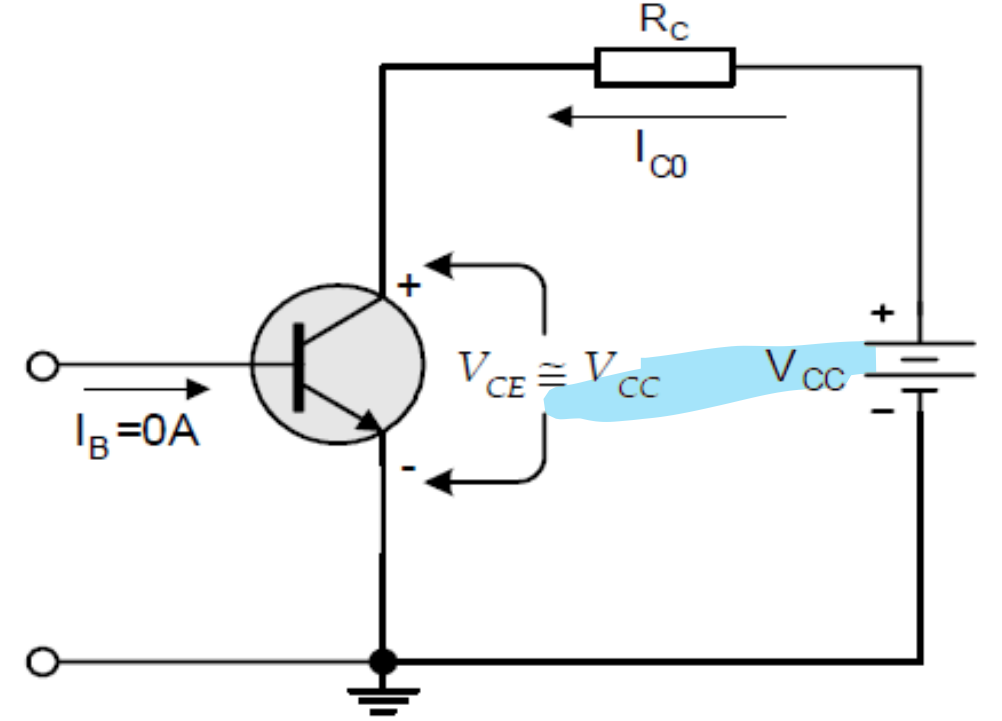


Transistörlerde çalışma bölgeleri



# Transistörde Çalışma Bölgeleri

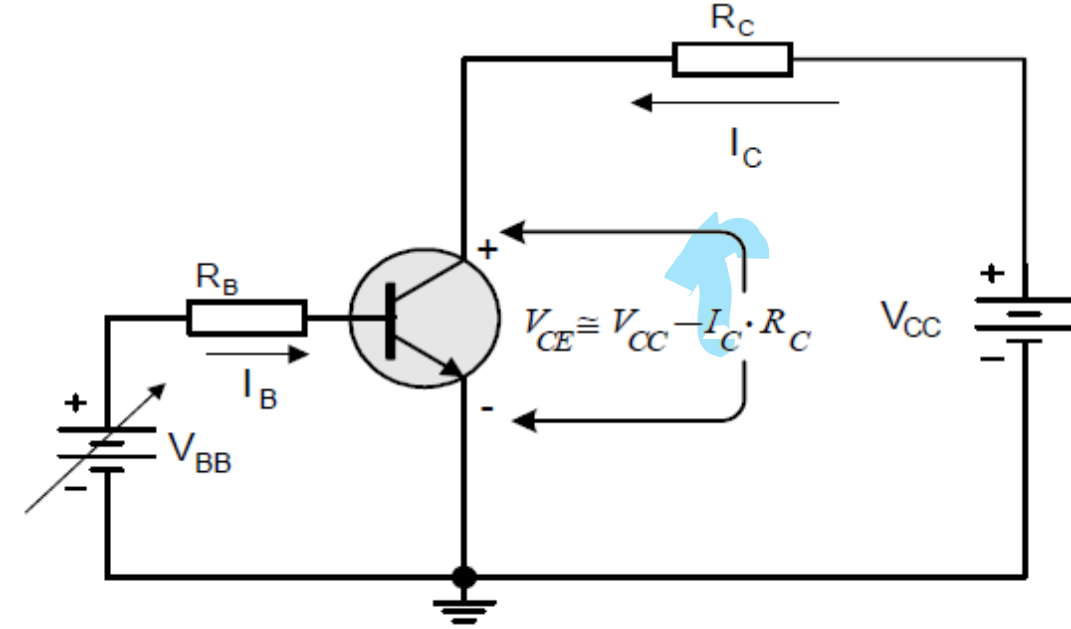
- **Kesim Bölgesi:** Transistörün kesim bölgesinde nasıl çalıştığı yandaki şekil yardımıyla açıklanacaktır.
- Şekilde görüldüğü gibi transistörün beyz akımı  $I_B=0$  olduğunda, beyz-emiter gerilimi de  $V_{BE}=0V$  olacağı için devrede kollektör akımı ( $I_C$ ) oluşmayacaktır.
- Bu durumda transistör 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.



*Transistörün kesim bölgesinde çalışması*

# Transistörde Çalışma Bölgeleri

- **Doyum Bölgesi:** Transistörün doyum (saturation) bölgesinde çalışması yandaki şekil yardımıyla açıklanacaktır.
- Transistöre uygulanan beyz akımı artırıldığında kollektör akımı da artacaktır.
- Bu işlemin sonucunda transistörün **VCE** gerilimi azalacaktır.
- Çünkü  $I_C$  akımının artması ile  $R_C$  yük direnci üzerindeki gerilim düşümü artacaktır.
- Kollektör-emiter gerilimi doyum değerine ulaştığında ( $V_{CE(doy)}$ )  $I_B$  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 **VCE yaklaşık 0V** civarındadır.
- Bu değer genellikle  $V_{CE(doy)} = 0V$  olarak ifade edilir.
- Transistör **kapalı bir anahtar** durumunda olacaktır

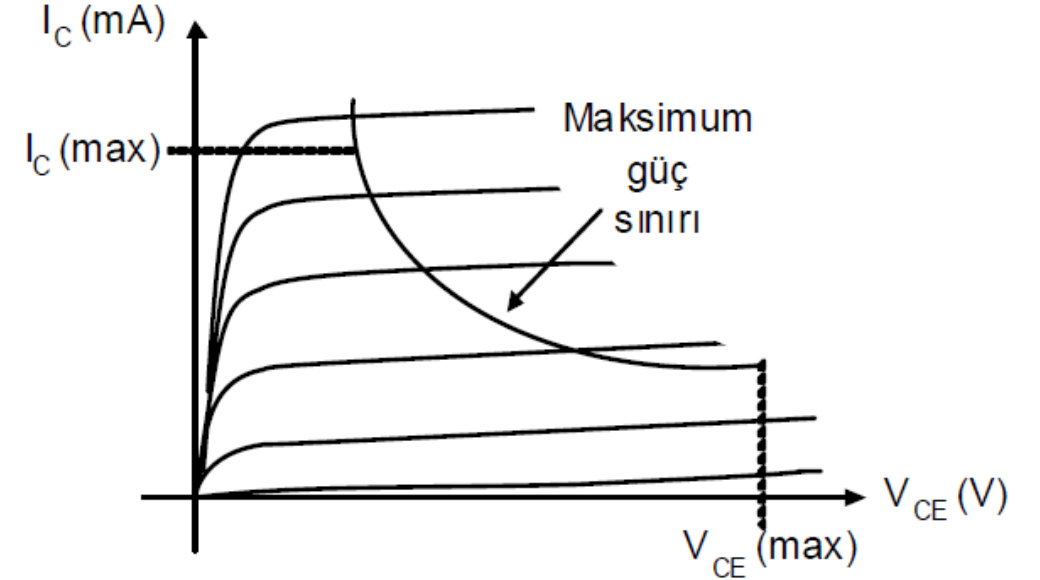


*Transistörün doyum bölgesinde çalışması*

# 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 ( $I_C(max)$ )
  - maksimum güç harcaması ( $P_D(max)$ ) olarak sayabiliriz.
- Yandaki şekilde tipik bir çıkış karakteristiği üzerinde maksimum değerler gösterilmiştir.
- Transistörlerde güç harcaması ( $P_D$ ); kollektör-emiter gerilimi ( $V_{CE}$ ) ve kollektör akımına ( $I_C$ ) bağlıdır.
- Yandaki gibi formüle edilir.

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



**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?

**Çözüm**

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