


# **ELEKTRONİK DEVRELER-I**

**YARI İLETKEN MALZEMELER VE PN BİRLEŞİMİ**



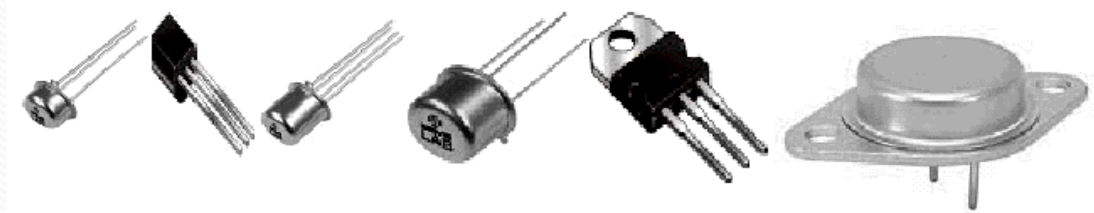
BJT'ler çoğunlukla yükseltme ve anahtarlama gibi uygulamalarda kullanılan bir elemandır. Transistör iki birleşimli PN yapısına ve Beyz, Emiter ve Kollektör olmak üzere üç bağlantı ucuna sahiptir.

Bu kısımda incelenecek konular.

- Transistörün yapısı
- Transistörün çalışması
- Transistörün parametreleri
- Transistörün çalışma durumları
- Transistörün karakteristik eğrisi
- Transistörün yükseltici ve anahtar olarak kullanılması
- DC analiz
- Transistör testi anlatılacaktır.

## Transistörün Yapısı:

Transistör, bir grup elektronik devre elemanına verilen temel addır. Transistörler yapıları ve işlevlerine bağlı olarak kendi aralarında gruplara ayrılırlar. BJT (**B**ipolar **J**onksiyon **T**ransistör), FET, MOSFET, UJT v.b gibi. Elektronik endüstrisinde her bir transistör tipi kendi adı ile anılır. Genel olarak transistör denilince akla BJT'ler gelir.

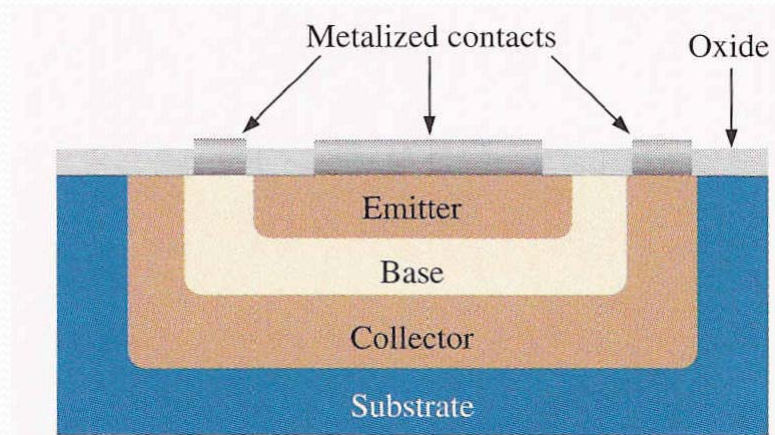




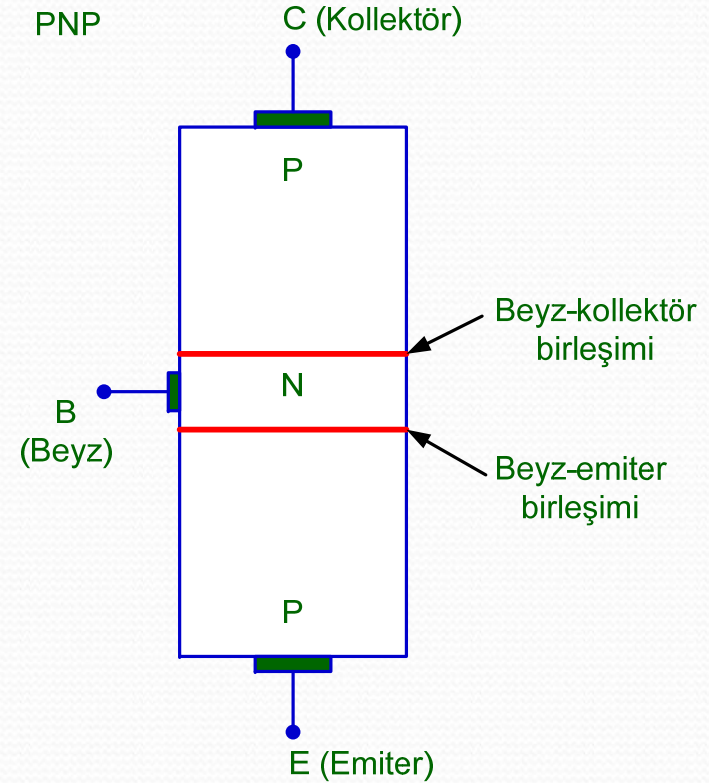
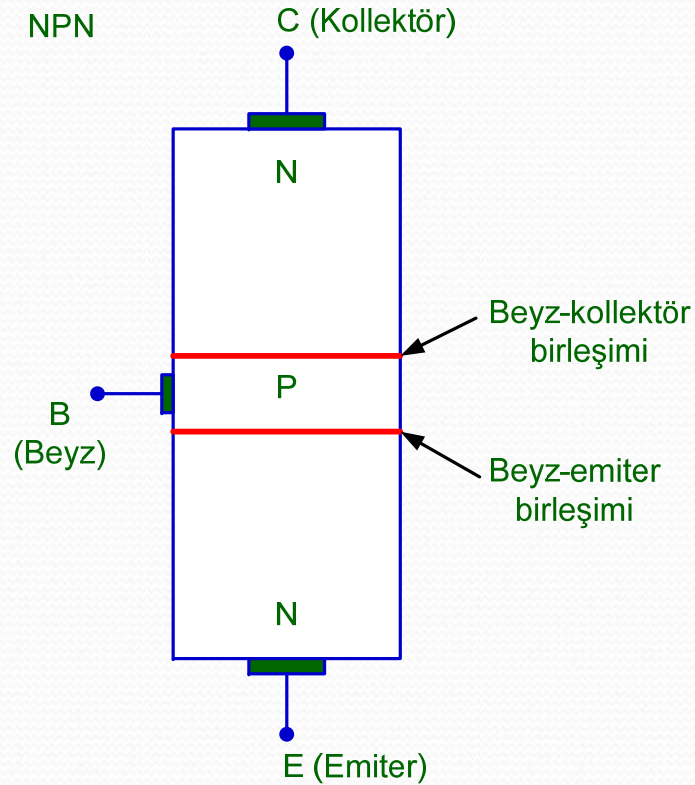
## BJT' nin Yapısı:

BJT'ler elektronik endüstrisinin en temel yarı iletken devre elemanlarındanıdır. BJT "bipolar junction transistor" – "*Çift kutuplu yüzey birleşimli transistör*" kelimelerinin başharfleridir. 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 itibarı ile bir tost görünümündedir. Transistör imalatında kullanılan yarı iletkenler, birbirlerine yüzey birleşimli olarak üretilmektedir. Bu nedenle "Bipolar Jonksiyon Transistör" olarak adlandırılırlar.

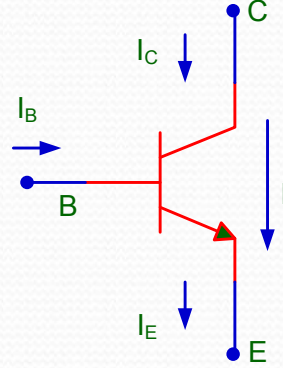
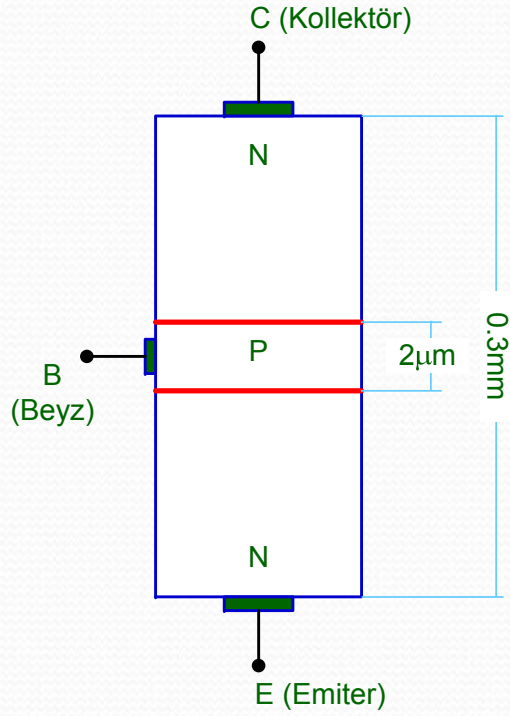


Bipolar birleşimli transistörler katkılanmış üç tabakadan oluşur. Bu üç tabaka Emitter (emiter), Collector (Kolektör) ve Base (Beyz)'dir. P ve N tipi malzemelerin yerleşim sırasına bağlı olarak BJT'nin PNP ve NPN olmak üzere iki çeşidi vardır.

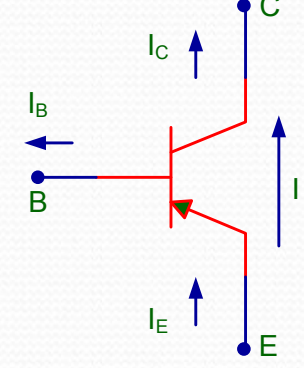
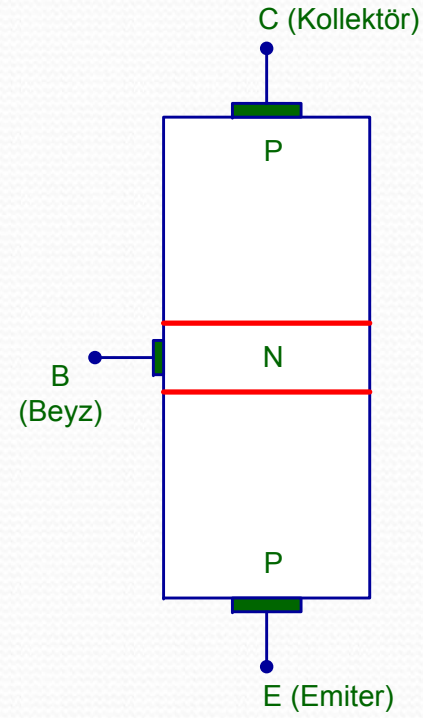




## NPN

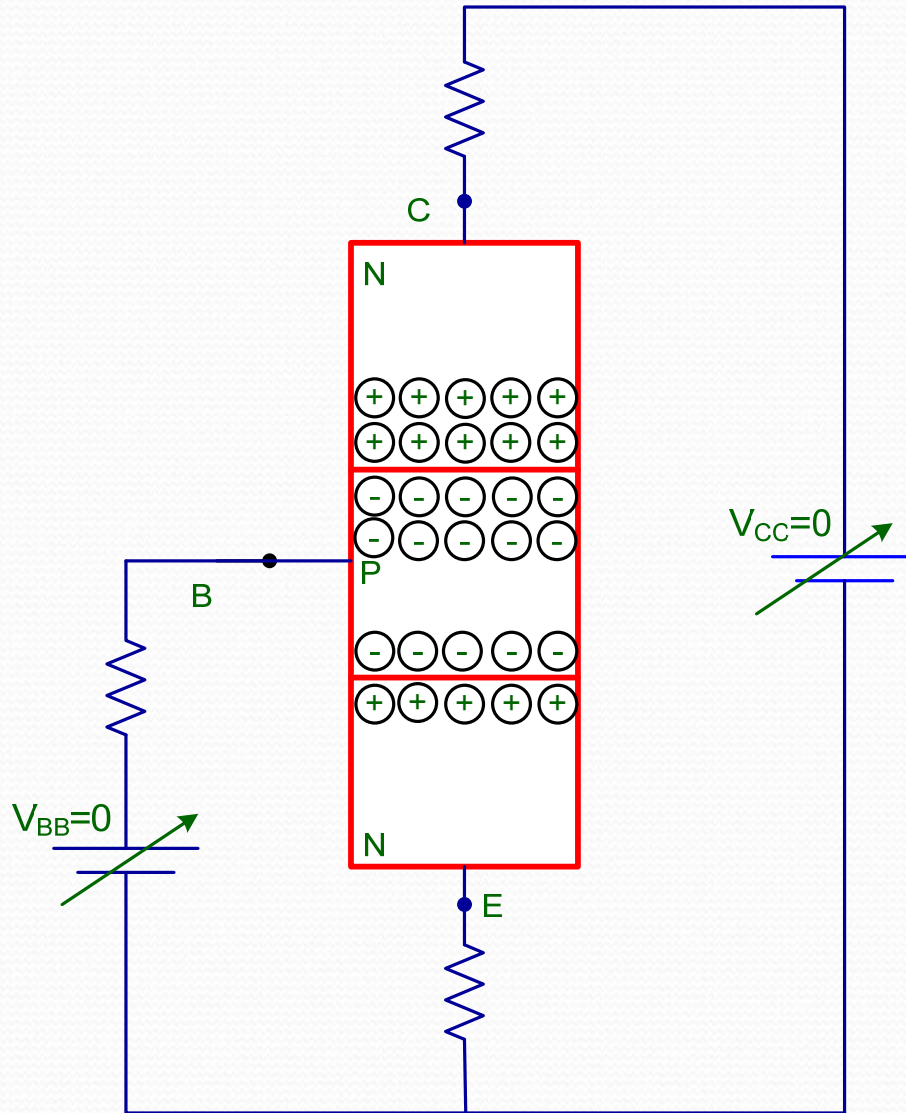


## PNP

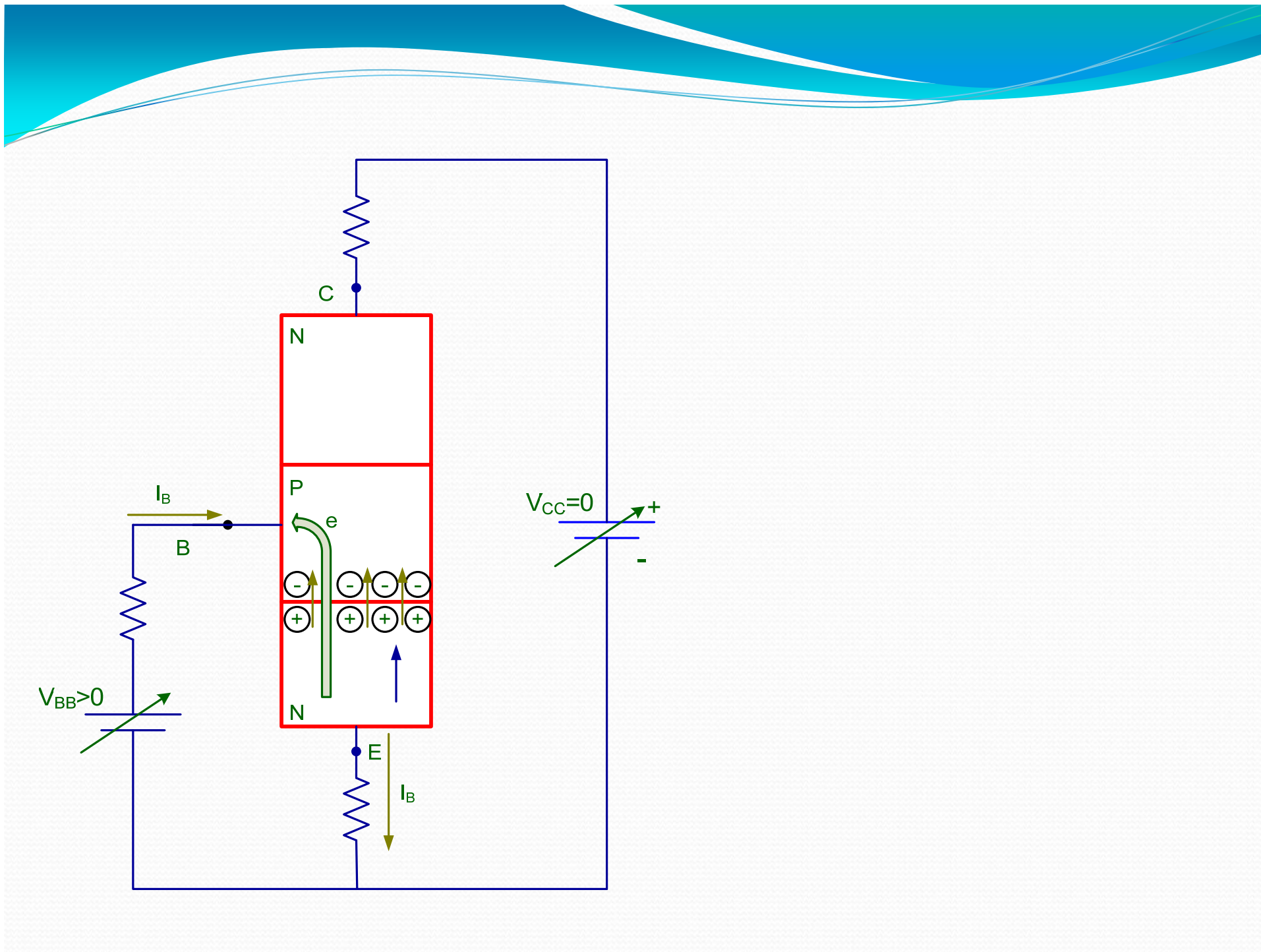


BJT'lerde beyz bölgesi, emitere göre daha az katkılanır ve daha dar tutulur. Bunun nedeni taşıyıcıların geçişini kolaylaştırmaktır.

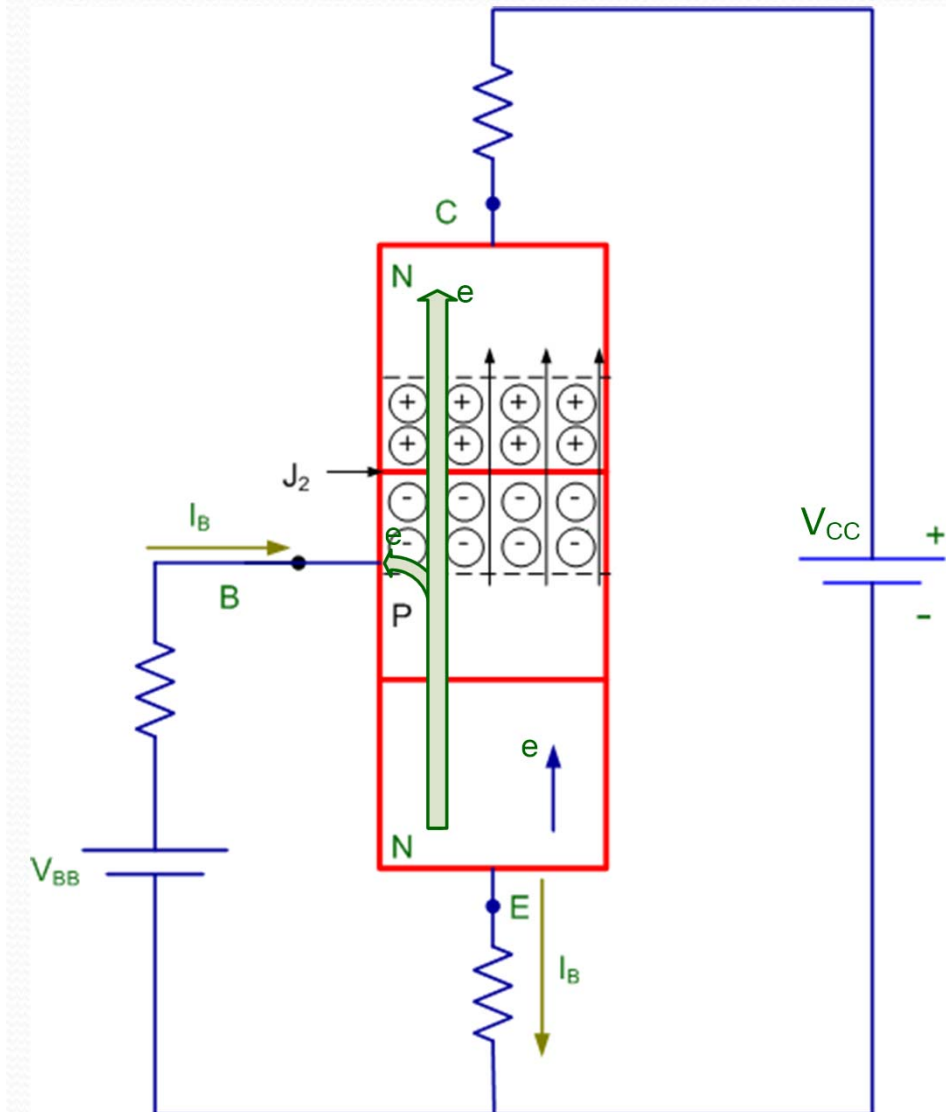
## Transistörün Çalışması:



**NOT:** Transistörlerin çalışma prensiplerinin benzer olması nedeniyle açıklamalarda sadece NPN tipi transistör verilecektir.





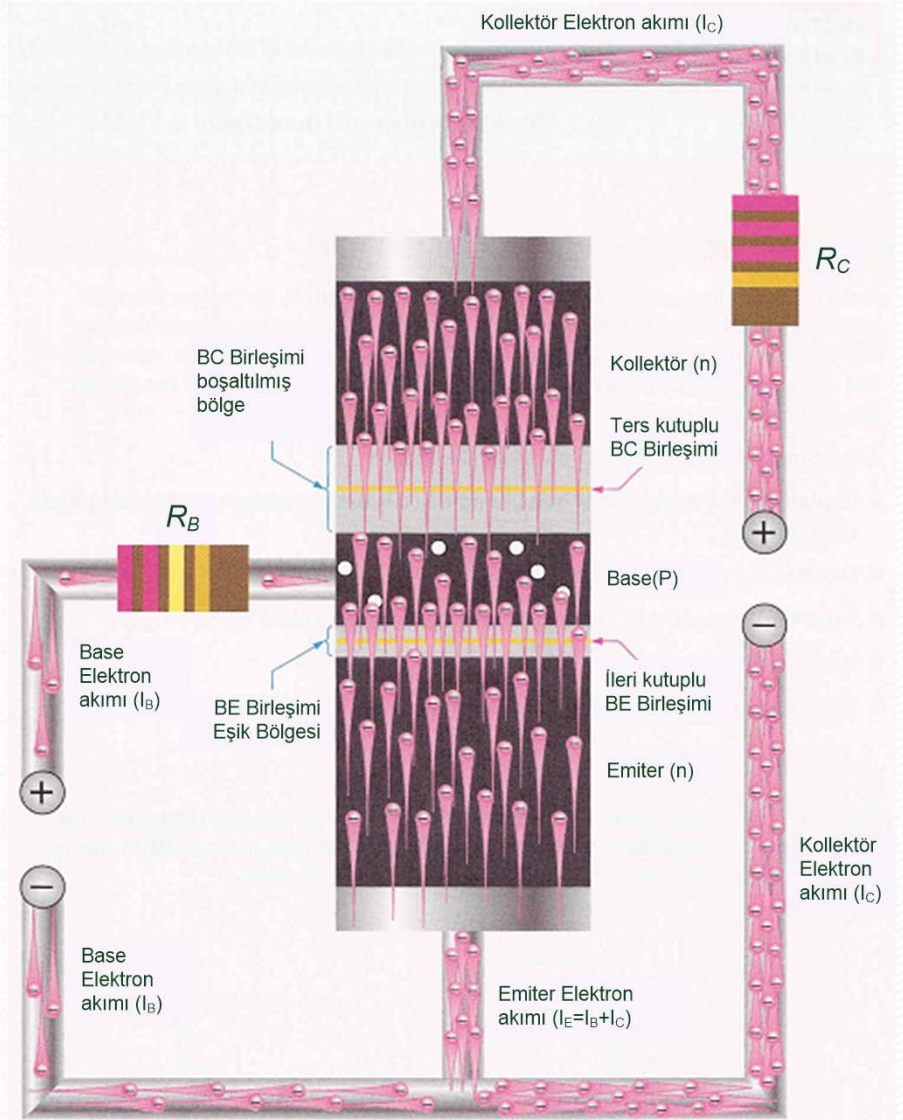


## BJT nin çalışması için gerekli koşullar:

➤ BJT'nin çalışabilmesi için; baz-emiter birleşimi düz yönde, baz-kollektör birleşimi ise ters yönde kutuplandırılmalıdır. Bu çalışma biçimine transistörün aktif bölgede çalışması denir.

➤ Baz akımı olmadan, emiter-kollektör birleşimlerinden akım akmaz. Transistör kesimdedir. Baz akımı küçük olmasına rağmen transistörün çalışması için çok önemlidir.

➤ PN birleşimlerinin karakteristikleri transistörün çalışmasını belirler. Örneğin; transistör,  $V_{BE}$  olarak tanımlanan beyz-emiter birleşimine doğru yönde bir başlangıç gerilimi uygulanmasına gereksinim duyar. Bu gerilimin değeri silisyum BJT'lerde 0.7V, germanyum BJT'lerde ise 0.3V civarındadır.





## BJT Akım ve Gerilimleri

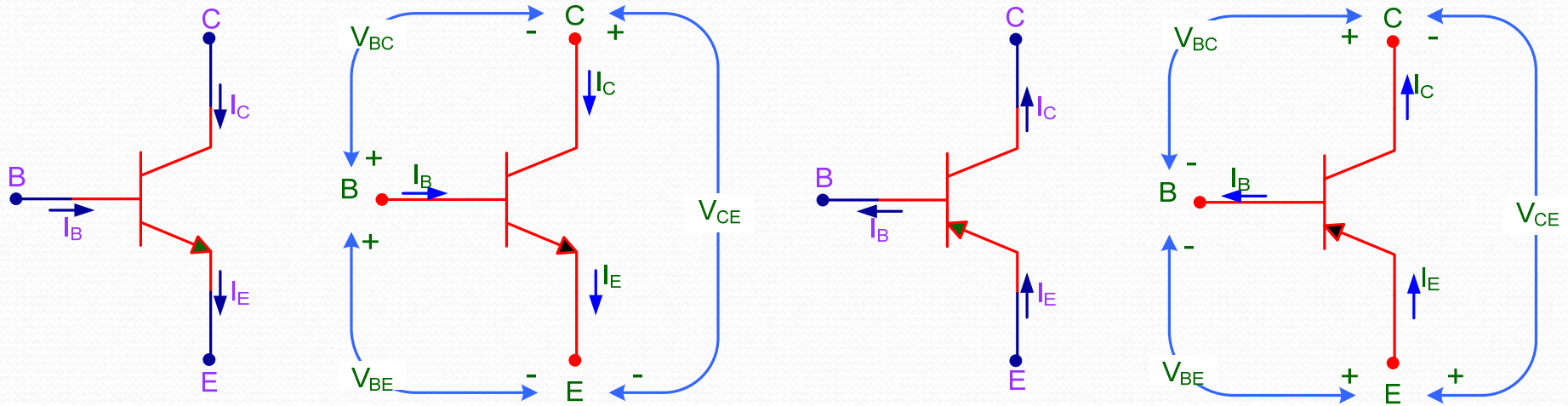
Emiterden enjekte edilen elektronların küçük bir miktarı ile beyz akımı oluşur ve elektronların geri kalan büyük kısmı ile de kolektör akımı oluşur. Buradan hareketle emiterden enjekte edilen elektronların miktarının, beyze doğru ve kolektöre doğru akan miktarın toplamı kadar olduğu söylenebilir. Buna göre emiter akımı;

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = \beta I_B$$

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

Akım yönü elektron akışının zıt yönü alınarak yandaki sembol gösterime gidilir.



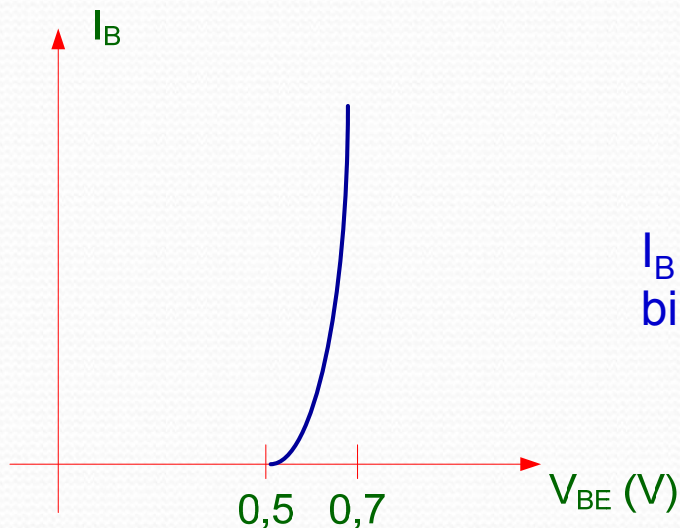


## TRANSİSTÖRÜN KARAKTERİSTİK EĞRİLERİ:

### Transistörün Giriş Karakteristiği: ( $I_B = f(V_{BE})$ )

Transistörler bağlantı türlerine göre ortak emiterli, ortak kolektörlü, ve ortak bazlı olmak üzere üçe ayrılır.

Bir ortak emiterli devrede giriş gerilimi base-emiter arasındaki gerilimdir. Giriş karakteristiği base akımının base-emiter arası gerilimle değişimini göstermektedir.

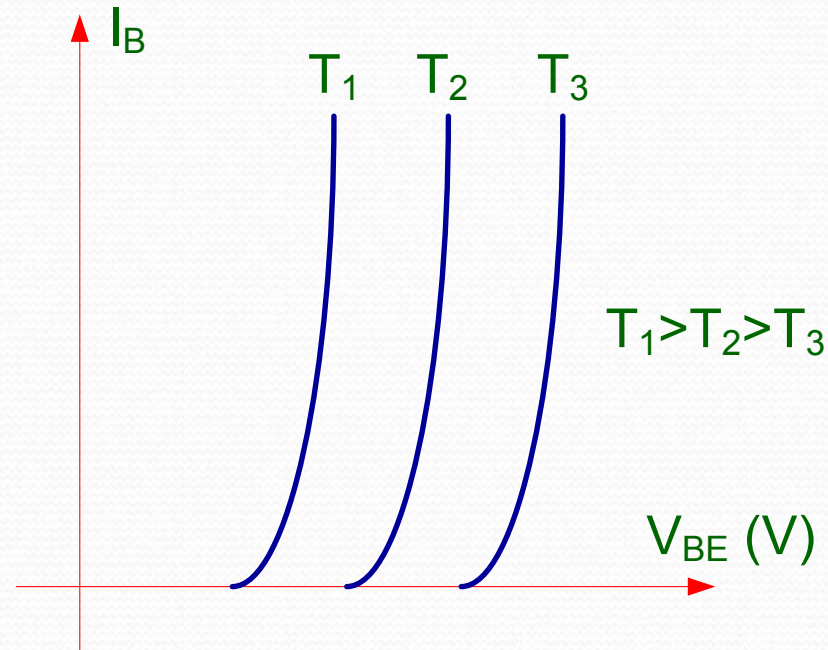


$$I_B = \frac{I_0}{1 + \beta} \left[ e^{V_{BE} / mV_T} - 1 \right]$$

$I_B = f(V_{BE})$  karakteristiği yanda çizilmiştir. Bu karakteristik bir diyodun I-V karakteristiği ile aynıdır.

## Transistörün Giriş Karakteristiği: ( $I_B = f(V_{BE})$ )

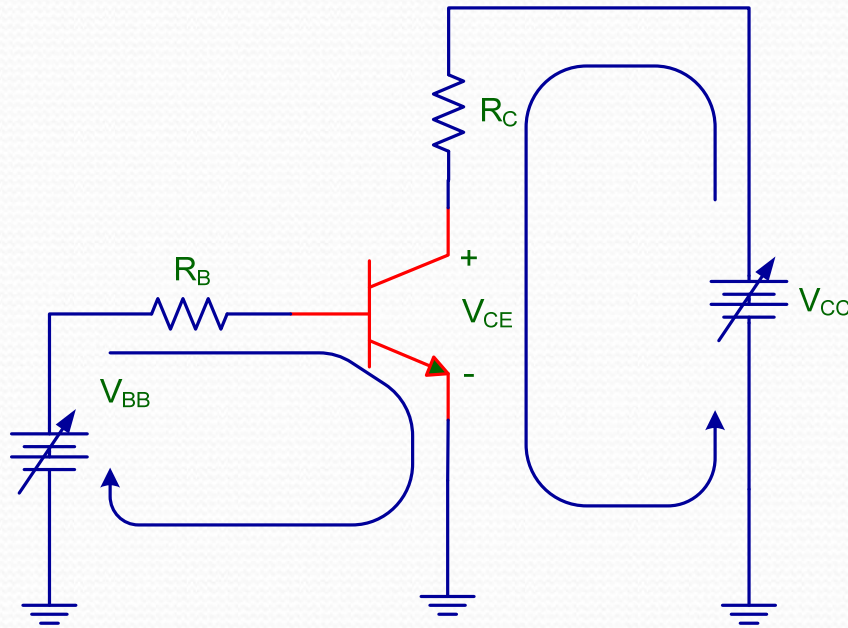
Ortam sıcaklığı arttıkça bir diyot elemanı daha düşük gerilimlerde ilettime geçer. B-E arası bir diyot görünümünde olan BJT'nin sıcaklıkla değişimi aşağıdaki gibidir.





## Transistörün Çıkış Karakteristiği: ( $I_C = f(V_{CE})$ )

Transistörlerin çıkış karakteristiği farklı base akımları için  $I_C$  ve  $V_{CE}$  nin değişimini göstermektedir. Çıkış karakteristiğini elde etmek için aşağıdaki devreden yararlanılır.



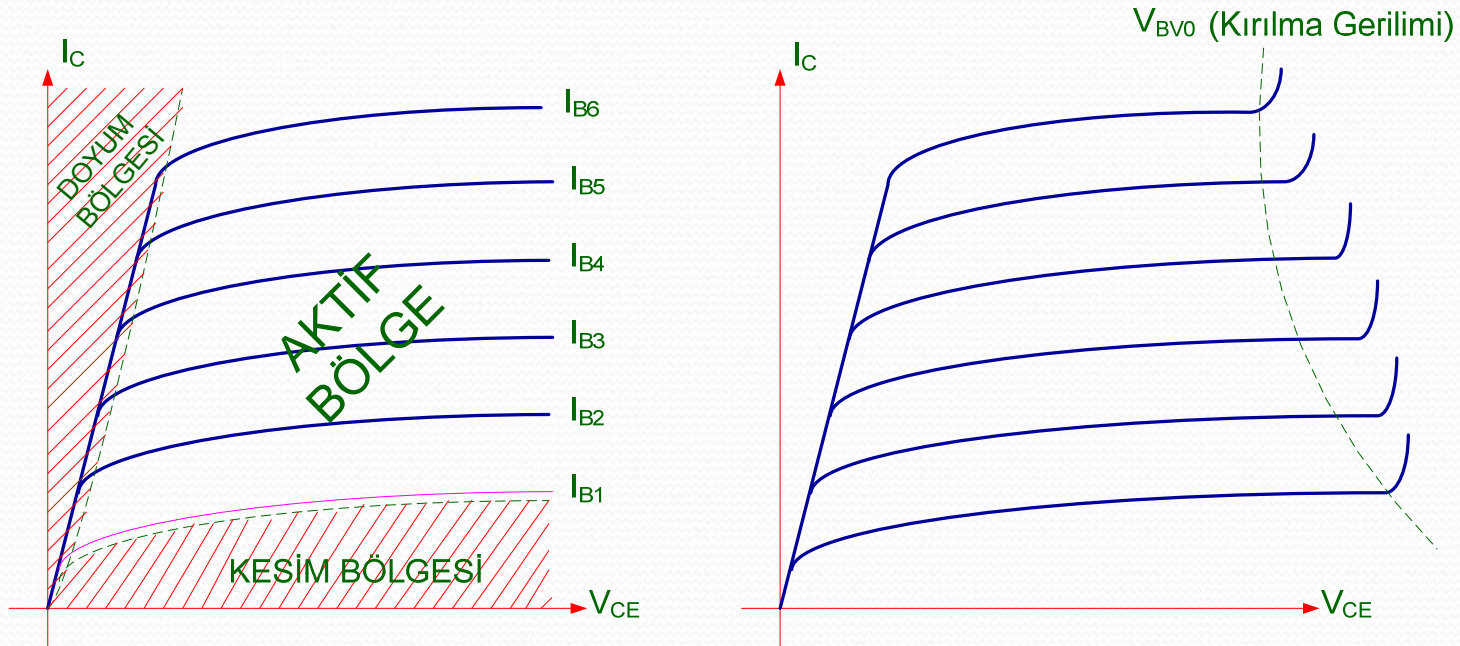
$$V_{CE} = V_{CC} - R_C * I_C$$

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

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

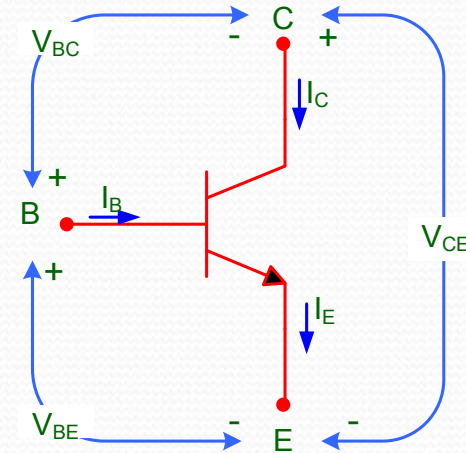
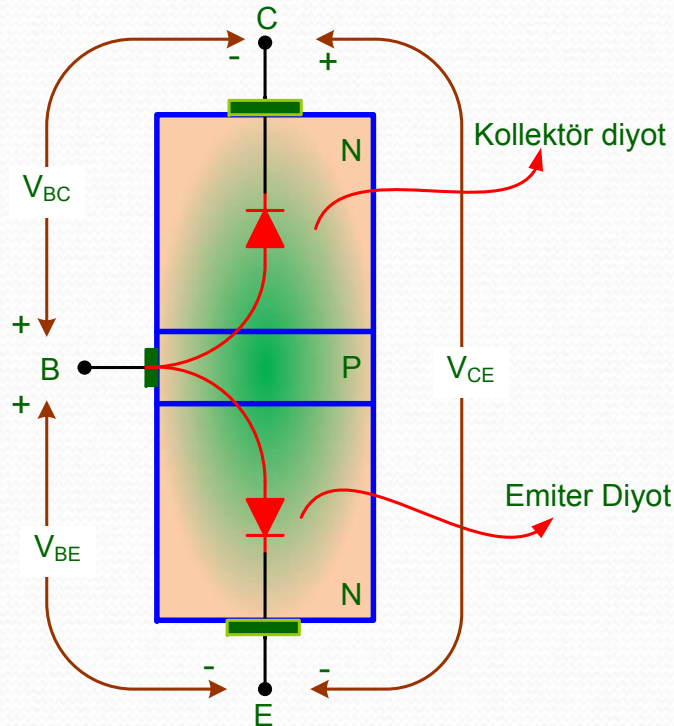


Karakteristiği çıkarmak için önce  $V_{BB}$  gerilimi belli bir değere ayarlanır. Böylece  $I_B$ , dolayısıyla  $I_C$  akımı sabit tutularak  $V_{CC}$  kaynağı ayarlanarak farklı  $V_{CE}$  gerilimlerinde akan  $I_C$  değerleri ölçülerek karakteristik çıkarılmış olur. Elde edilen bu eğri sadece o an geçerli olan base akımı içindir.



## Transistörlerin Çalışma Durumları

B-E arasındaki PN birleşimi ve B-C arasındaki PN birleşimleri birer diyot gibi modellenebilirler. Bir BJT için; emiter diyotun iletimde olduğu durumda B-E gerilimi  $V_{BE} \approx 0,7V$  civarında, B-C arası ise  $V_{BC} \approx 0,5V$  civarındadır. Her zaman için emiter diyotun eşik gerilimi kollektör diyottan daha büyüktür.





Emiter ve kollektör diyotların durumları BJT'nin çalışma durumunu belirlemektedir.

Eğer hem  $V_{BE}$  ve hem de  $V_{BC}$  kendi eşik gerilimlerinden daha düşük iseler her iki diyotta yalıttımdadır. Bu şekliyle transistör “**KESİM**” bölgesindedir.

Eğer her iki diyot iletimde ise ( $V_{BE} \approx 0,7$  ve  $V_{BC} \approx 0,5V$ ) transistör iletimdedir ve kollektörden maksimum akım akar. Bu durumda transistör “**DOYUM (Saturasyon)**” bölgesindedir.

Eğer emiter diyot iletimde kollektör diyot yalıttımda olacak şekilde transistör kutuplanırsa ( $V_{BE} \approx 0,7$  ve  $V_{BC} < 0,5V$ ) bu durumda transistör “**AKTİF**” çalışma durumundadır.

**KESİM** : Emiter ve kollektör diyot yalıttımda

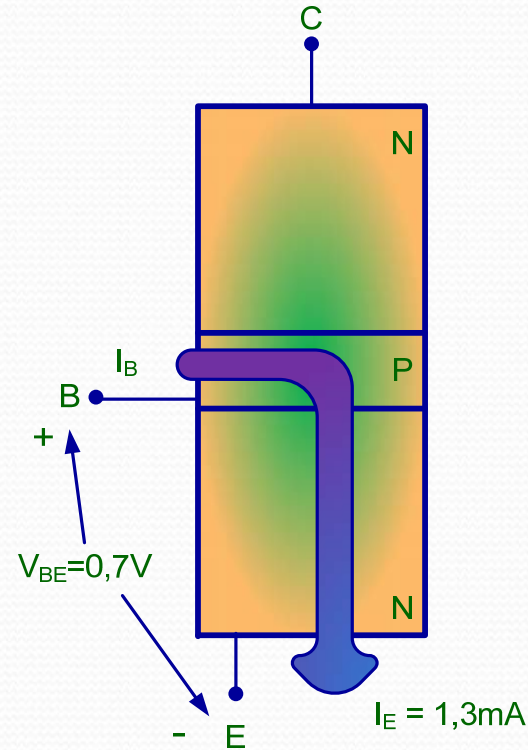
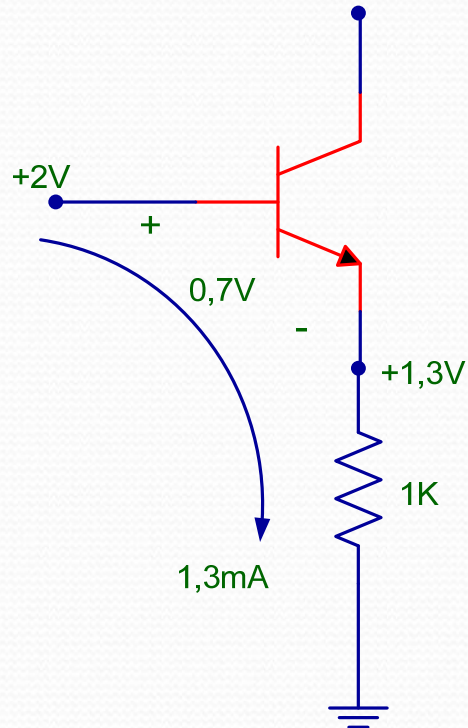
**DOYUM** : Emiter ve kollektör diyot iletimde

**AKTİF** : Emiter diyot iletimde ve kollektör diyot yalıttımda



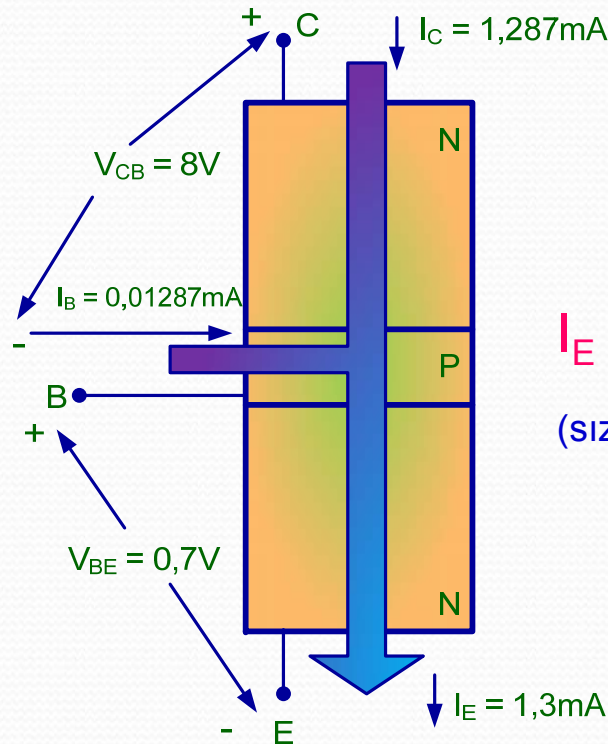
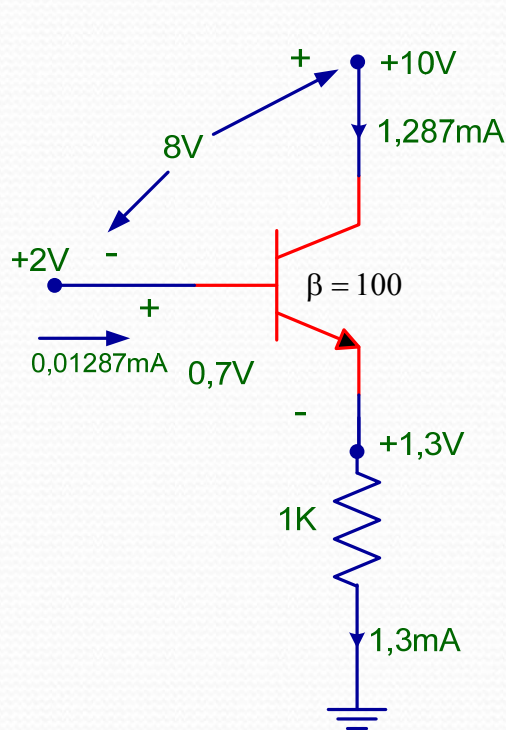
## Aktif Çalışma Bölgesi:

Analize ilk başta Base +2V uygulayalım ve kollektör ucu boşta kalsın;  
Bu şekildeki kutuplamada sadece base'den emiter'e akım akışı vardır. Emiter diyot iletimde olduğu zaman emiterdeki elektronlar birleşimi aşarak base'e gelirler. Bu elektronlar base akımını oluşturmaktadır. Akım yönü olarak elektron hareketinin zıt yönü alınmaktadır.



## Aktif Durum:

Şimdi kollektöre pozitif bir gerilim uygulayalım; Kollektör ucu base ucuna göre daha pozitif olduğundan kollektör diyot ters kutuplanır ve yalıtımda kalır. Böylece base'den kollektöre bir akım akışı olmaz. Eğer kollektör gerilimi yeterli büyüklükte ise, pozitif kollektör ucu emiterden püskürtülen elektronları kendisine çekeceğinden kollektörden-emitere doğru büyük bir akım artışı olur. Bu akım miktarı base akımının  $\beta$  katı kadar olmaktadır.



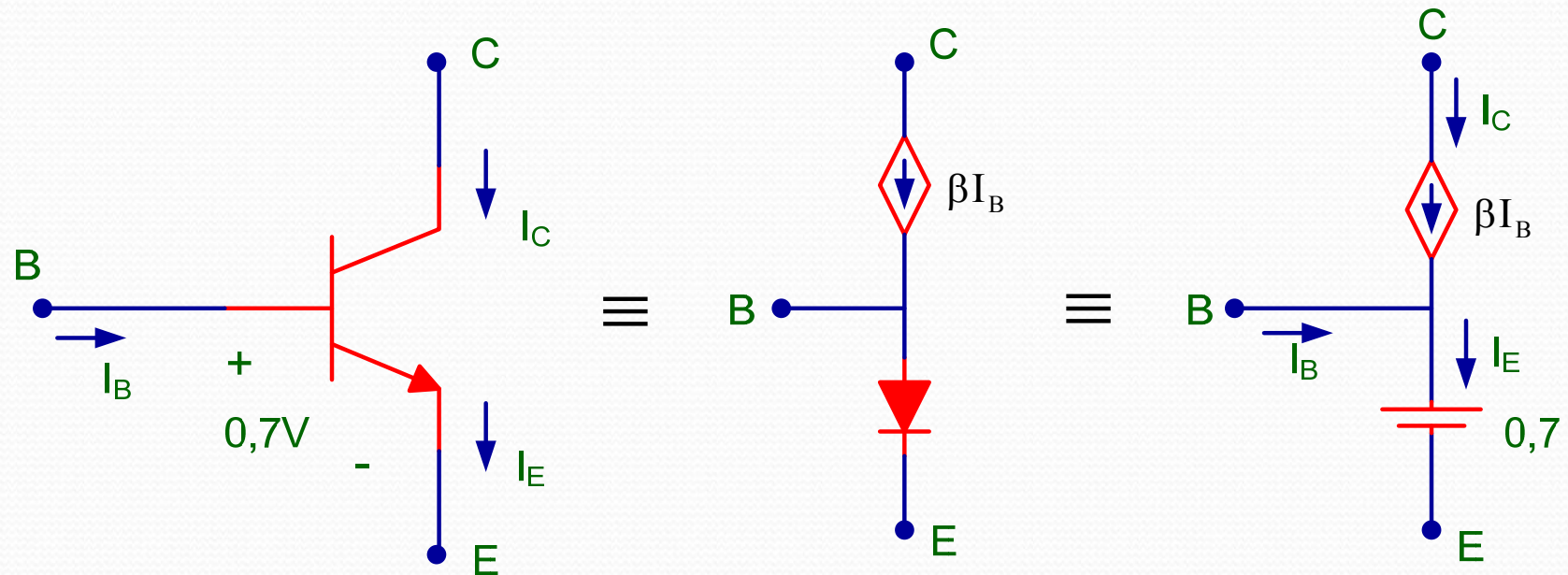
$$I_E = I_B + I_C = I_B + \beta \cdot I_B = (1 + \beta) \cdot I_B$$

(sızıntı akımları ihmal edildi)



## Aktif Bölge:

AKTİF bölgede olan bir transistörün modeli;





### ÖRNEK:

$\beta = 50$  alındığında kollektör akımı ile emiter akımı arasındaki ilişkiyi bulunuz.

(Kirchhoff'un akımlar yasasına göre)

$$I_E = I_B + I_C = (1 + \beta)I_B \rightarrow I_B = \frac{1}{1 + \beta} I_E$$

Kollektör akımı base akımının  $\beta$  katı olduğuna göre;

$$I_C = \beta I_B = \frac{\beta}{1 + \beta} I_E = 0.98 I_E$$

## Transistör Gücü:

AKTİF durumdaki bir transistörde üzerinde harcanan güç şu şekilde hesaplanır;

$$P = \underbrace{V_{CE} * I_C}_{\text{Kollektör Katı}} + \underbrace{V_{BE} * I_B}_{\text{Base Katı}}$$

Kollektör akımına göre oldukça küçük olan  $I_B$  akımı çoğunlukla ihmal edilir.

Buna göre  $P = V_{CE} * I_C$  hesabı her zaman için yaklaşık doğru sonuçtur.



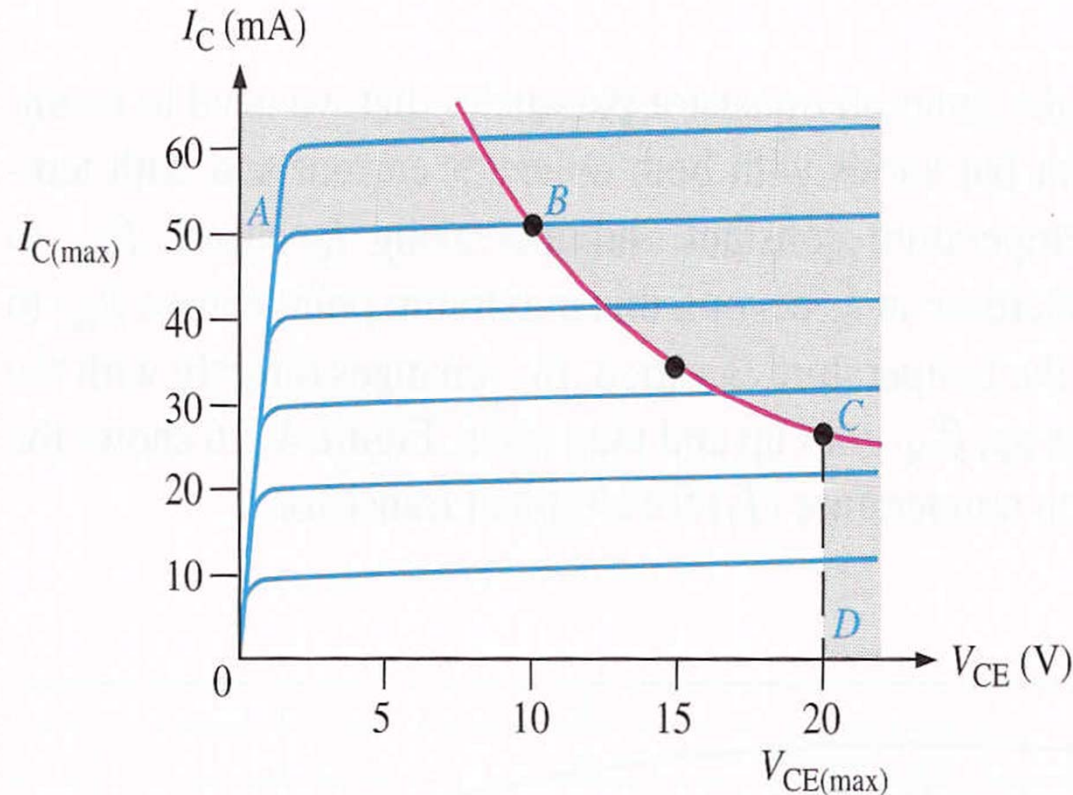
## Base – Kollektör Ters Dayanma Gerilimi ( $V_{CB0}$ ) :

AKTİF durumda çalışan bir transistörde kollektör diyodu yalıtmadadır. PN birleşimleri ters kutuplandıkları zaman eğer bu gerilim değeri transistörün dayanma geriliminden büyük olursa eleman bozulacaktır.

Bu nedenle transistörün kollektör-base dayanma geriliminden daha büyük bir gerilim ters yönde uygulanmamalıdır.

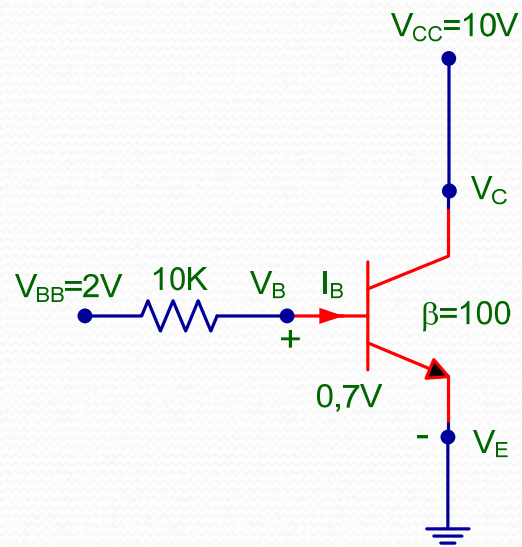
## Transistörde Maksimum Güç Sınırı

Her bir transistörün çalışma alanını belirleyen bir takım sınır (maksimum) değerler vardır. Bu değerler standart transistör kataloglarında verilir. Transistörlerle yapılan tasarımlarda bu değerlere uyulmalıdır. Kataloglarda verilen tipik maksimum sınır değerlerini; kollektör-beyz gerilimi, emiter-beyz gerilimi, kollektör-emiter gerilimi, kollektör akımı ve maksimum güç harcaması olarak sayabiliriz. Şekilde tipik bir çıkış karakteristiği üzerinde maksimum değerler gösterilmiştir.





## ÖRNEK:



$$I_B = \frac{2 - V_{BE}}{10K} = \frac{2 - 0.7}{10K} = 0.13mA$$

$$I_C = \beta * I_B = 100 * 0.13mA = 13mA$$

$$I_E = I_B + I_C = 13.13mA$$

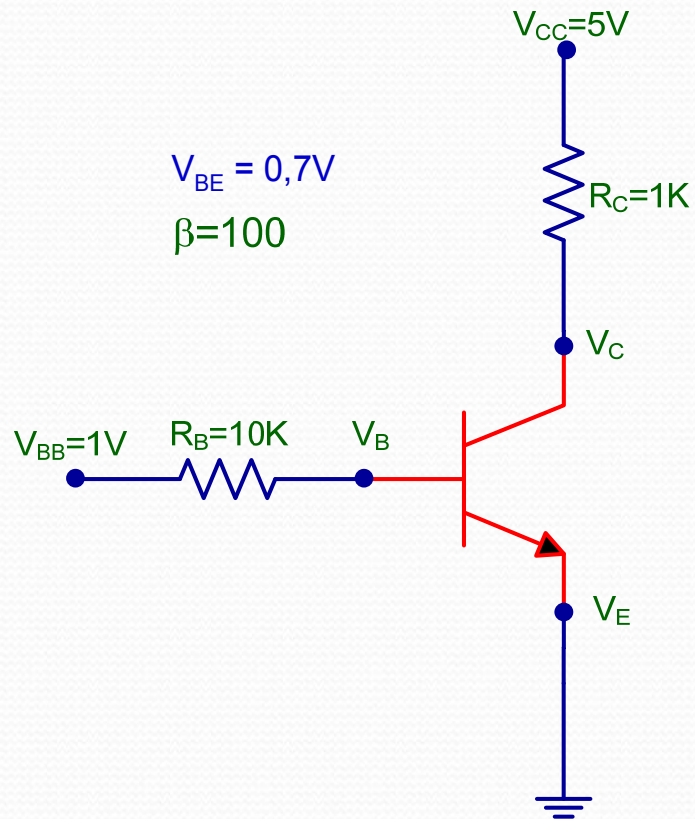
$$V_B = 0.7V \quad V_C = 10V \quad V_E = 0V$$

$$V_{CB} = V_C - V_B = 10 - 0.7 = 9.3V > 0$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 10 - 0 = 10V$$

$$P = V_{CE} * I_C = 130mW$$

## ÖRNEK:



$$V_B = V_E + 0.7 = 0.7V \quad V_E = 0V$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - 0.7}{R_B} = \frac{1 - 0.7}{10K} = 0.03mA$$

BJT' nin AKTİF bölgede olduğu kabul edilirse;

$$I_C = \beta * I_B = 100 * 0.03mA = 3mA$$

$$V_C = V_{CC} - R_C * I_C = 5 - 1K * 3mA = 2V$$

$$I_B = 0.03mA, \quad I_C = 3mA, \quad I_E = 3.03mA$$

$$V_B = 0.7V, \quad V_C = 2V, \quad V_E = 0V$$

$$V_{CB} = V_C - V_B = 2 - 0.7 = 1.3V > 0$$

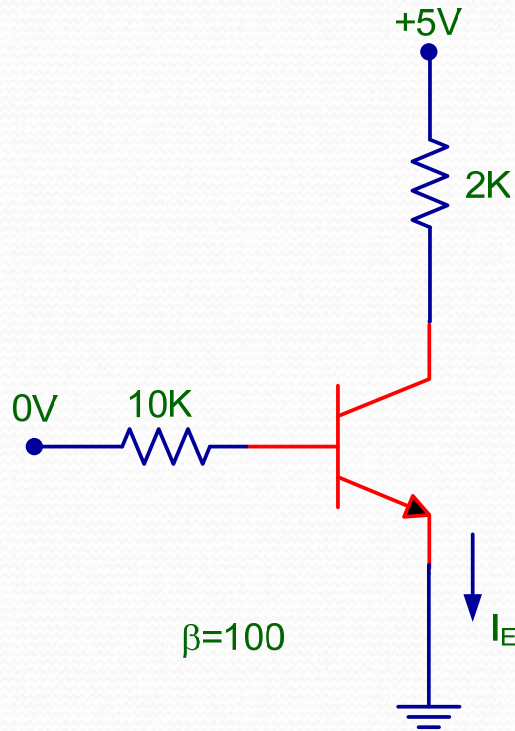
$$V_{CE} = V_C - V_E = 2 - 0 = 2V$$

$$P = V_{CE} * I_C = 2 * 3mA = 6mW$$



## Kesim ve Doyum Durumları:

a) **Kesim Durumu:** Kesim durumunda her iki diyotta yalıttımdadır. ( $V_{CB} > 0$ ,  $V_{BE} < 0,7$ )



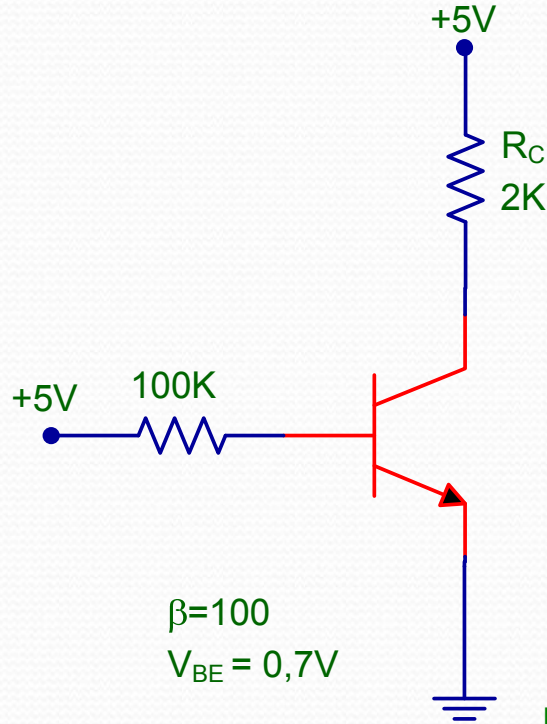
$$V_E = 0V, V_B = 0,7V \text{ alalım;}$$

$$I_B = \frac{0 - 0,7}{10K} = -0,07mA$$

Base akımı negatif olamaz. Bu nedenle transistör kesim durumundadır. Öyleyse gerçekte  $I_B = 0A$ 'dir. Eğer Base akımı 0A ise transistörün tüm akımları sıfırdır.

$$V_B = 0V, V_E = 0V, V_C = 5V, V_{CB} = 5V$$

## b) Doyum Durumu:



BJT' nin AKTİF bölgede çalıştığı kabul edilirse;

$$V_E = 0V, V_B = 0,7V, I_B = \frac{5 - 0,7}{100K} = \frac{4,3}{100K} = 0,043mA$$

$$I_C = 100 \cdot I_B = 100 \cdot 0,043mA = 4,3mA$$

$$V_C = V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 5 - 2K \cdot 4,3mA = -3,6V$$

Uygulanan gerilim 5V olduğundan Kollektör gerilimi negatif olamaz. Yani  $V_{CE}$  0 ile 5V arasında olmak zorundadır. Dolayısıyla hesaplanan tüm akım ve gerilimler doğru değerler değildir.  $V_{CB}$  ve  $V_{CE}$  bu devre için hiçbir zaman negatif olamaz. O halde bu transistor AKTİF bölgede değildir.



Eğer kollektör-base gerilimi negatif ise kollektör diyodu iletimdedir ve aynı şekilde emiter diyot da iletimdedir. Her iki diyodun iletimde olması doyum durumunu belirtir

Kollektör-base PN birleşimi iletimde olduğunda, buna karşılık gelen gerilim yaklaşık 0,5V'tur. Kollektör diyot iletimde olduğunda gerçek base-kollektör gerilimi;

$$V_{BC} \approx 0,5V \text{ ve } V_{CEsat} = V_{BE} - V_{BC} = 0,7 - 0,5 = 0,2V$$

Basitlik amacıyla kollektör gerilimi yaklaşık emiter gerilimine eşit alınır.

$$V_{CEsat} \approx 0V \rightarrow V_C \approx V_E$$

Eğer transistör doyumda ise base akımındaki değişim kollektör akımında değişime neden olmaz.

$$I_C \neq \beta I_B \text{ ve } I_E \neq (1 + \beta) I_B$$

$$I_C = I_{C(sat)} = \frac{5 - V_{CE}}{2K} = \frac{5 - 0}{2K} = 2.5mA$$

Transistör doyumda ise;  $V_C \approx V_E = 0$

$$I_B = 0,043\text{mA}$$

$$I_C = 2.5\text{mA} \rightarrow (I_C = I_{\text{CSAT}} = \frac{V_{\text{CC}}}{R_C})$$

$$I_E = I_B + I_C = 0,043\text{A} + 2,5\text{mA} = 2,543\text{mA}$$

$$V_B = 0,7\text{V}$$

$$V_C = 0\text{V} \text{ (transistör doyumda } V_C = V_E)$$

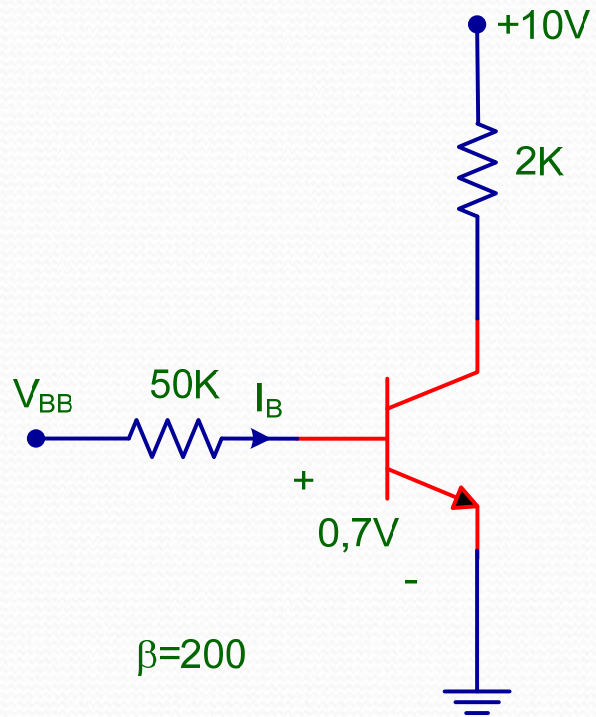
$$V_{\text{CB}} = -0,5\text{V}$$

$$V_{\text{CE}} = 0\text{V} \text{ (yaklaşık)}$$

$$P = V_{\text{CE}} * I_C \approx 0\text{W}$$

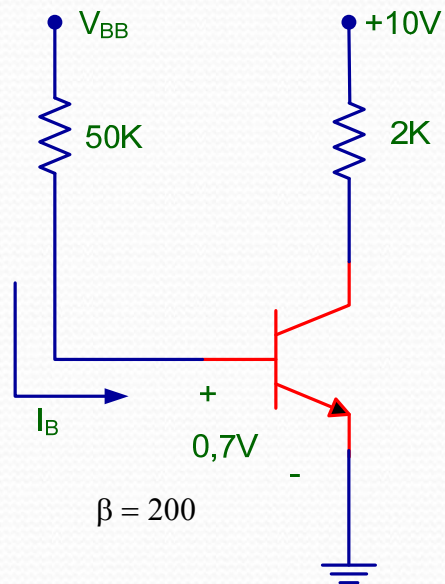
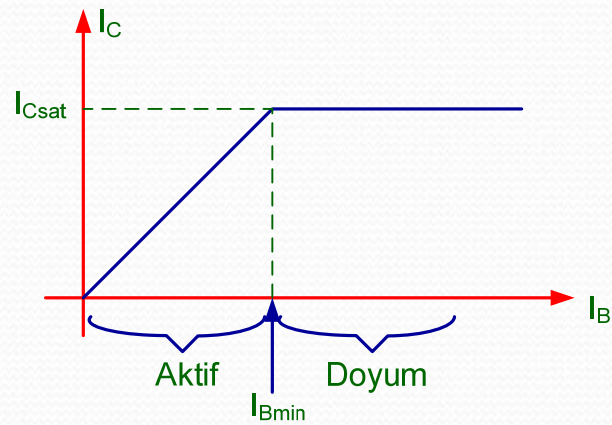


## ÖRNEK:



Şekildeki devrede transistörü doyuma götürmek için  $V_{BB}$ 'nin min. değeri ne olmalıdır? ( $V_{CEsat} \approx 0$ )

## Çözüm:



$I_{Bmin}$  noktasında transistör doyum ile aktif bölgenin sınırındadır. Dolayısıyla bu nokta;

$$I_C = \beta * I_{Bmin} = I_{C(sat)}$$

$$I_{Bmin} = \frac{I_{Csat}}{\beta}$$

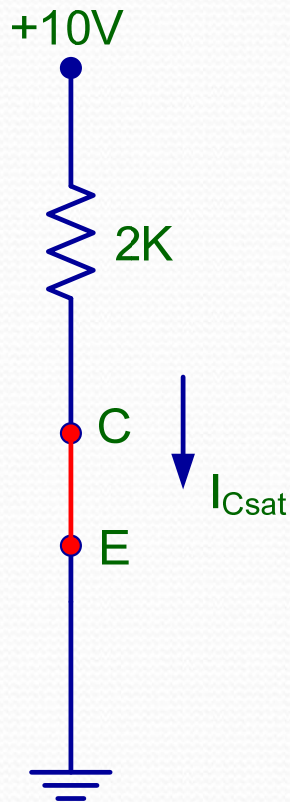
$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{10 - 0}{2K} = 5mA \quad (V_{CEsat} \approx 0)$$

$$I_{Bmin} = \frac{5mA}{200} = 0.025mA$$

$$I_{Bmin} = \frac{V_{BBmin} - 0.7}{50K} \rightarrow V_{BBmin} = 0.7 + 50K \cdot I_{Bmin} = 1.95V$$



**Çözüm:**



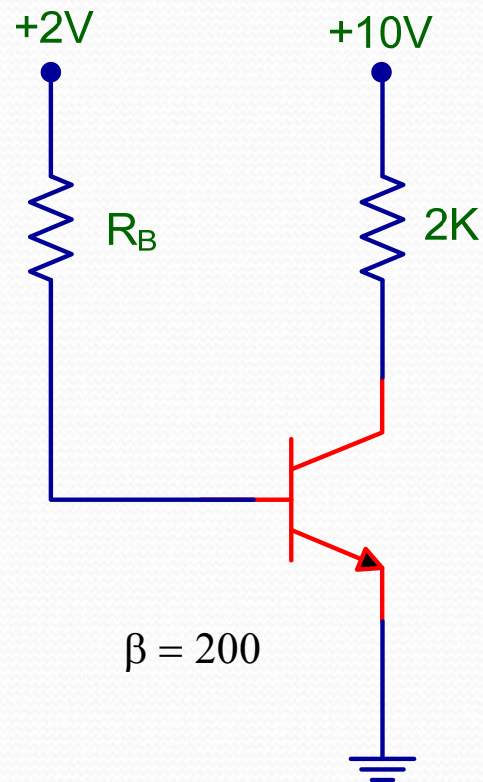
$$I_{Bmin} = \frac{V_{BBmin} - 0.7}{50K} \rightarrow V_{BBmin} = 0.7 + 50K \cdot I_{Bmin} = 1.95V$$

$$I_{Csat} \approx 5mA$$

Transistörün doyumda olabilmesi için  $V_{BB} \geq 1,95$  olmalıdır.

## ÖRNEK:

Transistörün doyumda olması için  $R_B$  direncinin max. değeri ne olmalıdır?



## Çözüm:

$$I_C = \beta \cdot I_B = I_{csat} = \frac{10V}{2K} = 5mA$$

$$I_B = \frac{I_{csat}}{\beta} = \frac{5mA}{200} = 0.025mA$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \Rightarrow R_B = \frac{2 - 0.7}{0.025mA} = 52K$$

$R_B \leq 52K$  olduğu sürece transistör doyumda çalışır.



## ÖZET:

**KESİM DURUMU**  $\rightarrow V_{BE} < 0,7V$   $V_{BC} < 0,5V$   $I_B = I_C = I_E = 0A$

**AKTİF DURUMU**  $\rightarrow V_{BE} = 0,7V$   $V_{BC} < 0,5V$   $V_C > V_E$   $I_B, I_C, I_E > 0A$   $I_C = \beta \cdot I_B$

**DOYUM DURUMU**  $\rightarrow V_{BE} = 0,7V$   $V_{BC} = 0,5V$   $V_C \approx V_E$   $I_C = I_{C(sat)}$

1. Eğer  $V_{BB} \leq 0,7V$  ise transistör kesimde, tüm akımlar 0A
2. Eğer  $V_{BB} > 0,7V$  ise transistörün AKTİF durumda olduğu kabul edilir.
3. Eğer  $I_B > 0$  ise  $I_C = \beta \cdot I_B$  bağıntısı kullanılabilir.
4.  $V_{CB} > 0.5$  ise transistör AKTİF bölgededir. Analiz sonlandırılır.
5.  $V_{CB} < 0.5$  ise transistör doyumdadır. Doyuma göre yeniden çözüm yapılmalıdır.

## TRANSİSTÖRLERDE KODLAMA VE KILIF TİPLERİ

Uluslar arası 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 tarafından kullanıcıya sunulur.

### Uluslararası Standart Kodlama:

Transistörlerin kodlanmasında bir takım harfler kullanılmaktadır. Örneğin; AC187, BF245, 2N3055, 2SC2345, MPSA13 vb gibi birçok transistör sayabiliriz. Kodlamada kullanılan bu harf ve rakamlar rastgele değil uluslararası standartlara göre belirlenir ve anlamlıdır. Günümüzde kabul edilen ve kullanılan başlıca 4 tip kodlama vardır:

- Avrupa Pro-Electron Standardı (Pro-Electron)
- Amerikan Jedec Standardı (EIA-Jedec)
- Japon (JIS)
- Doğu Blok (eski SSCB)



**Pro-Electron Standardı:** Avrupa ülkelerinde bulunan transistör üreticilerinin genellikle kullandıkları bir kodlama türüdür. Bu kodlamaya örnekler: AC187, AD147, BC237, BU240, BDX245 vb. Kodlamada genel kural; önce iki veya üç harf sonra rakamlar gelir.

**İlk harf:** Transistörlerin yapım malzemesini belirtmektedir. Germanyumdan yapılan transistörlerde kodlama A harfi ile başlar. Ör: AC121, AD161 vb. Silisyumdan yapılan transistörlerde ise B harfi ile başlar. Ör: BC121, BF254 vb.

**İkinci harf:** Transistörün kullanım alanlarını belirtir. Örnek kodlamalar aşağıda verilmiştir.

**AC:** düşük güçlü alçak frekans transistörüdür. Germanyumdan yapılmıştır. AC121, AC187, AC188, AC547 gibi..

**BC:** düşük güçlü alçak frekans transistörüdür. Silisyumdan yapılmıştır. BC147, BC547 gibi....

**BD:** düşük güçlü, yüksek frekans transistörü. BD135, BD240, BD521 gibi....

**BF:** düşük güçlü, yüksek frekans transistörü. BF199, BF240, BF521 gibi....

**BL:** büyük güçlü, yüksek frekans transistörü. BL240, BL358, BL521 gibi...

**BU:** büyük güçlü anahtarlama transistörü. BU240, BU521 gibi..

**Üçüncü harf:** Üçüncü harf endüstriyel amaçla özel yapıldığını belirtir. Örnek olarak; BCW245, BCX56, BFX47, BFR43, BDY108, BCZ109, BUT11A vb gibi.

**Diğer Kodlama Türleri ve Standartlar:** Avrupa pro-electron standardına göre kodlamaya ilave olarak Amerikan ve Japon üreticilerinin uydukları kodlamalar ve anlamları aşağıda liste olarak verilmiştir.

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

KOD	AÇIKLAMALAR
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



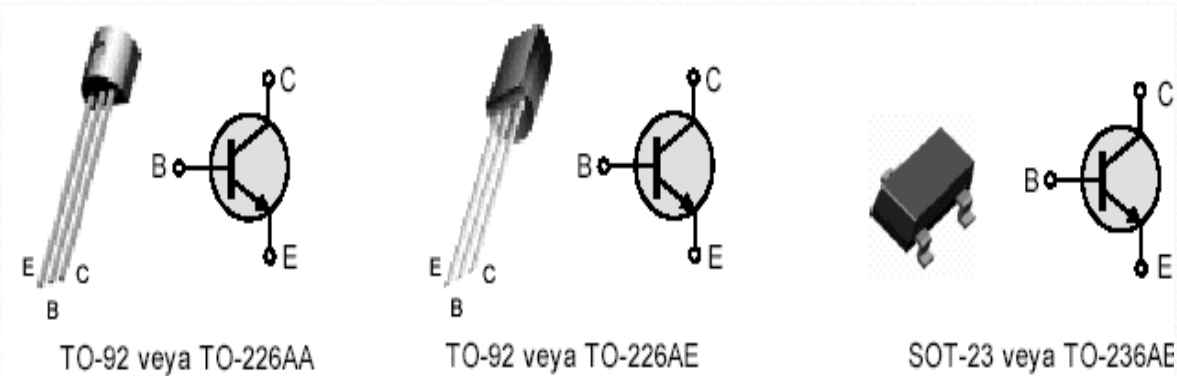
## Transistör kategorileri ve kılıf tipleri

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

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

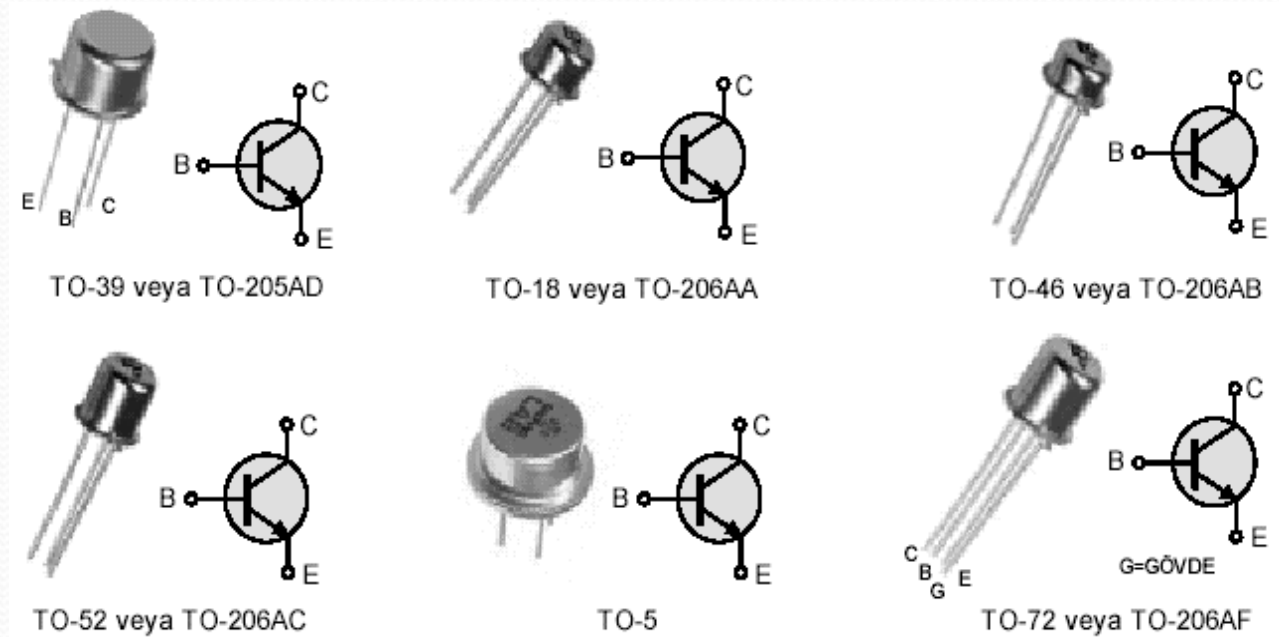
### Genel Amaçlı/Küçük Sinyal Transistörleri:

Bu tip transistörler genellikle orta güçlü yükselteç veya anahtarlama devrelerinde kullanılır. Metal veya plastik kılıf içinde üretilirler. Şekilde plastik kılıfa sahip standart transistör kılıf tipleri, kılıf kodları ve terminal isimleri verilmiştir.



Genel amaçlı alçak sinyal plastik transistör kılıfları ve terminal isimleri

Aşağıdaki şekilde ise “genel amaçlı/alçak frekans transistörleri” kategorisinde bulunan ve metal kılıf içinde üretilen bazı transistörlerin kılıf kodları ve terminal isimleriyle birlikte verilmiştir. Farklı terminal bağlantılarına ve kılıf tipine sahip onlarca tip transistör vardır. Ayrıntılı bilgileri üretici kataloglarından elde edebilirsiniz.

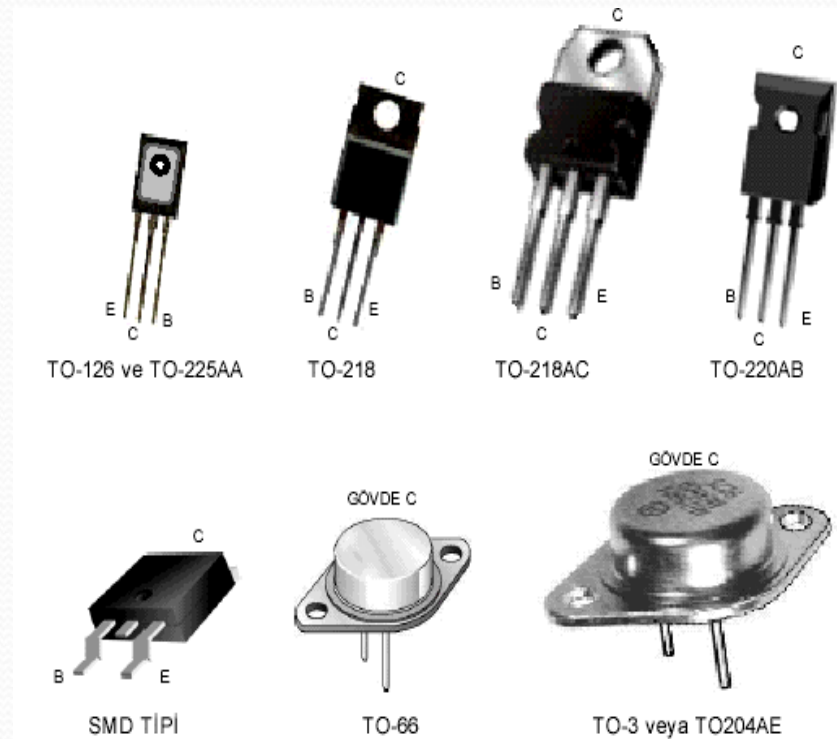


Genel amaçlı alçak sinyal metal transistör kılıfları ve terminal isimleri



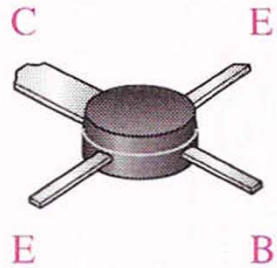
## Güç Transistörleri:

Güç transistörleri yüksek akım ve gerilim değerlerinde çalıştırılmak üzere tasarlanmıştır. Dolayısıyla boyutları oldukça büyüktür. Bu tip transistörler genellikle metal kılıf içinde üretilirler. Transistorün gövdesi metaldir ve kollektör terminali metal gövdeye monte edilmiştir. Şekilde yaygın olarak kullanılan bazı güç transistörlerinin kılıf kodları ve terminal bağlantıları verilmiştir.

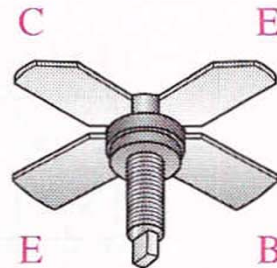


## Radyo Frekans (RF) Transistörleri:

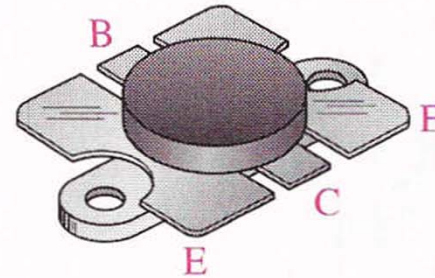
Çok yüksek frekansla çalışan sistemlerde (radyo frekans=RF) çalıştırılmak üzere tasarlanmış transistörler, RF transistörleri olarak anılmaktadır. Özellikle iletişim sistemlerinde kullanılan bu transistörlerin kılıf tipleri diğerlerinden farklılık gösterebilir. Bunun nedeni yüksek frekans etkisini minimuma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



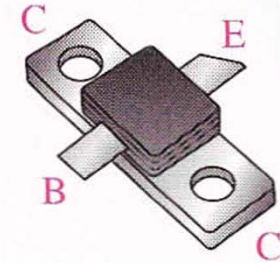
(a)



(b)



(c)



(d)



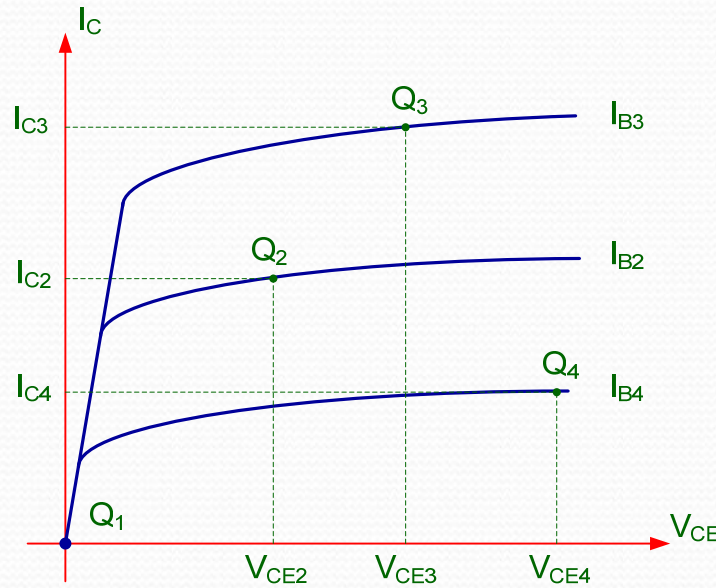
## ÖRNEK-19:

### 2N3904'ün katalog değerleri

Sembol	Karakteristik	Min.	Max.	Test Koşulları
$BV_{CB0}$	Kolektör-base dayanma gerilimi	60V	-	$I_C = 10\mu A, I_E = 0A$
$BV_{EB0}$	Emiter-Base dayanma gerilimi	6,0V	-	$I_E = 10\mu A, I_C = 0A$
$\beta$	DC Akım Kazancı	40	-	$I_C = 0,1mA, V_{CE} = 5,0V$
.	.	90	-	$I_C = 1,0mA, V_{CE} = 5,0V$
.	.	60	360	$I_C = 10mA, V_{CE} = 5,0V$
.	.	40	-	$I_C = 50mA, V_{CE} = 5,0V$
$V_{BE(sat)}$	Base-Emiter Saturasyon Gerilimi	-	0,85	$I_C = 50mA, I_B = 5,0mA$
$V_{CE(sat)}$	Kollektör-Emiter Sat. Gerilimi	-	0,25	$I_C = 50mA, I_B = 5,0mA$

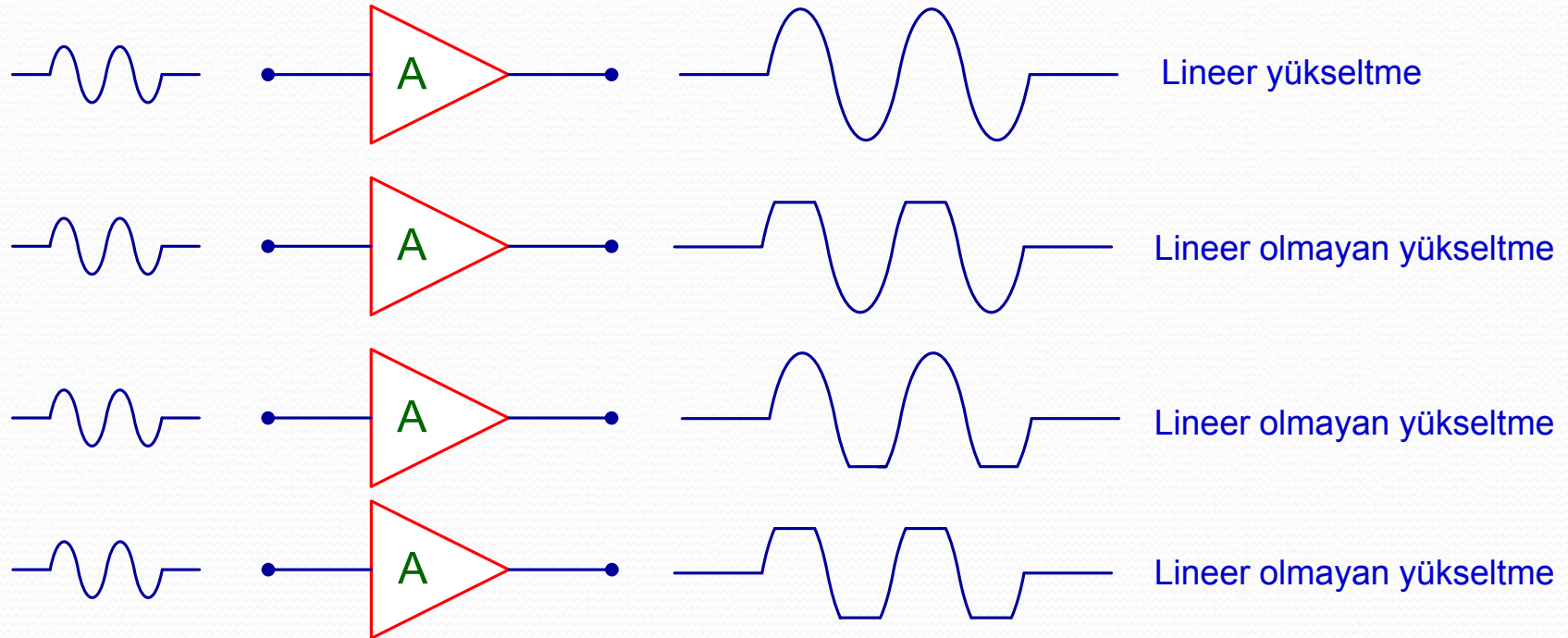
## 5.5. TRANSİSTÖRLERDE DC ÇALIŞMA NOKTASI

Transistorün bir yükselteç olarak çalışabilmesi için DC kutuplandırma gereklidir. Uygulanan DC kutuplandırma nedeniyle çıkış karakteristiği üzerinde bir noktaya karşılık gelen belirli bir akım ve gerilim değeri vardır. Transistörün sahip olduğu akım ve gerilim değerini gösteren bu nokta “**çalışma noktası**” ya da “**sükunet noktası**” olarak adlandırılır (Quiet-Q).



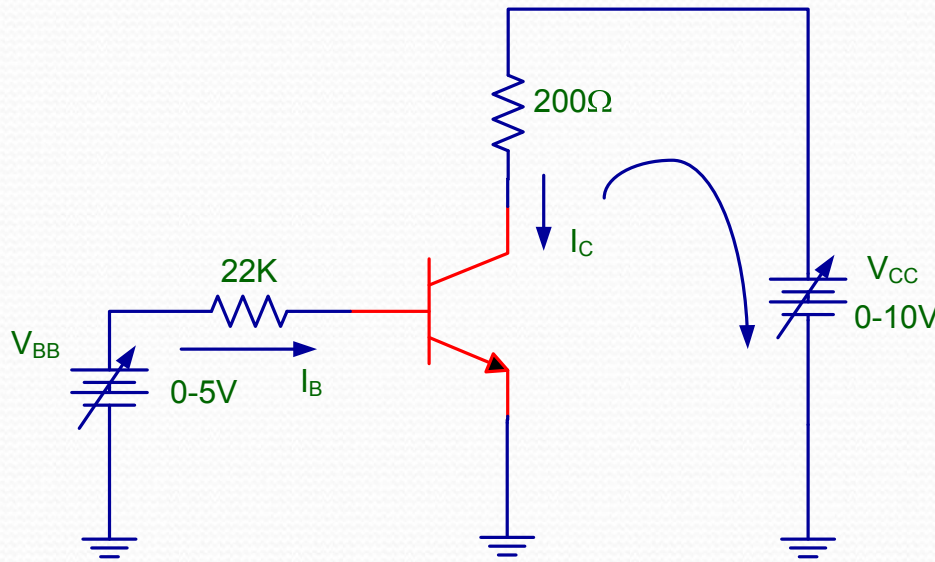


## Çalışma noktası örnekleri



## 5.6. DC YÜK DOĞRUSU:

DC yük doğrusunu çizmek için aşağıdaki devreyi örnek alalım.



Çıkış çevresinden;

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

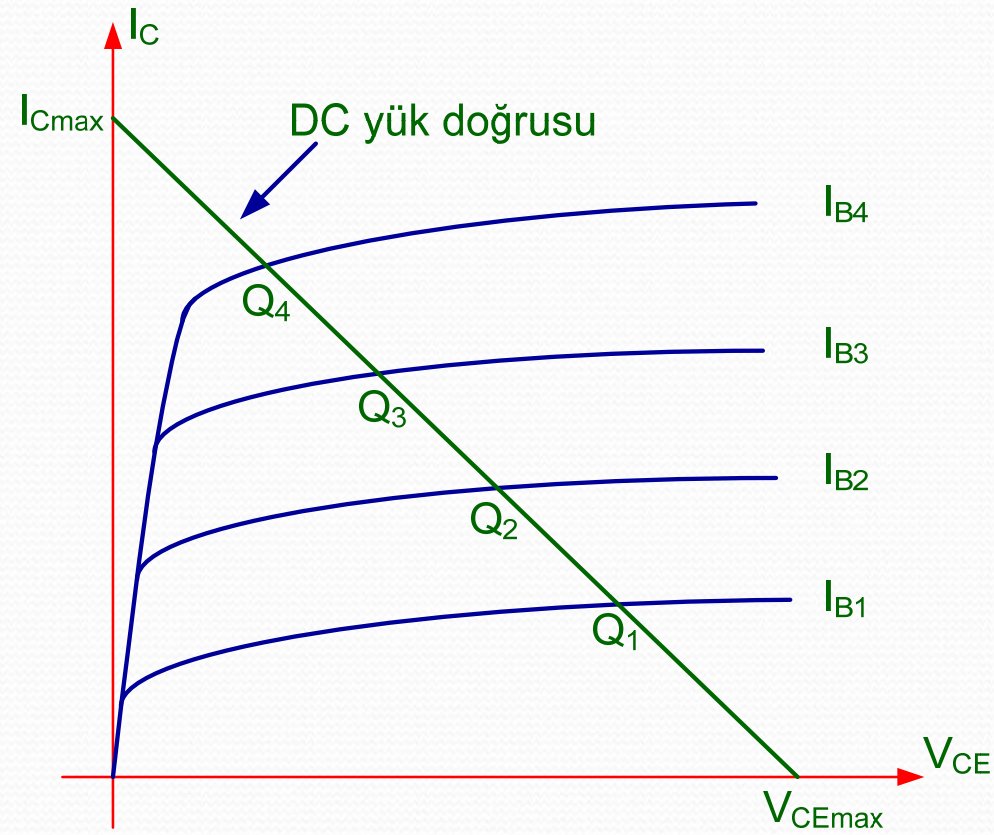
$$I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C} \Big|_{V_{CE}=0} \quad (\text{I. Nokta})$$

$$V_{CEmax} = V_{CC} \Big|_{I_C=0} \quad (\text{II. Nokta})$$

Çıkış karakteristiği üzerinde bu iki noktanın birleştirilmesiyle yük doğrusu çizilmektedir.



$I_B$  akımı ayarlanarak farklı base akımlarına karşılık çalışma noktaları yük doğrusu üzerinde hareket eder. Doğrusal yükseltme için çalışma noktası yük doğrusunun tam ortası seçilmelidir

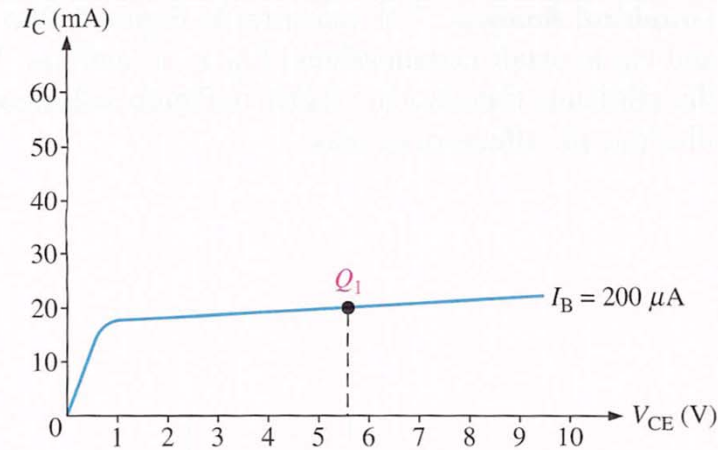
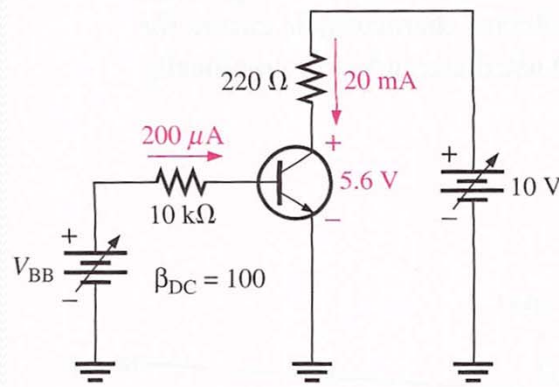


DC kutuplamanın etkisini ve önemini anlamak üzere şekildeki devrede  $I_B$  akımını farklı değerlere ayarlayalım. Ayarladığımız her bir akım değerine karşılık transistörün ve değerlerinin nasıl değiştiğini inceleyelim. İlk olarak  $V_{BB}$  kaynağını ayarlayarak değerini  $I_B=200\mu A$  yapalım. Bu durumda transistörün kollektör akımı  $I_C$  ve kollektör-emiter gerilimi  $V_{CE}$ ;

$$I_C = \beta I_B = 100 \cdot 200 \mu A = 20 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_C - (I_C R_C) = 10 - (20 \text{ mA} \cdot 220 \Omega) = 5.6 \text{ V}$$

Bu değerlere karşılık gelen çalışma noktası transistör karakteristiğinde gösterildiği gibi olacaktır.



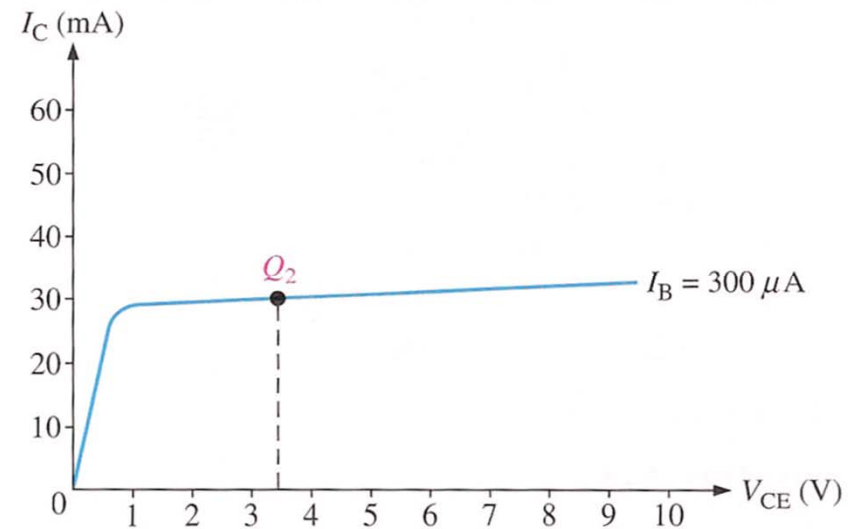
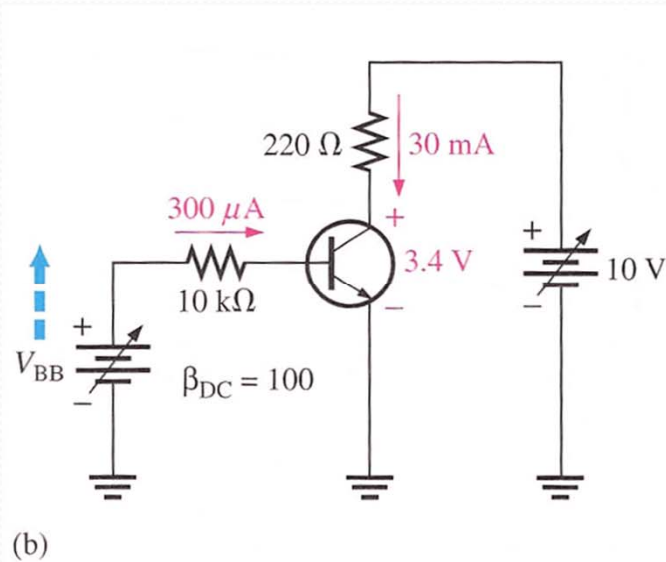


Transistörün beyz akımının  $I_B=300\mu A$  yapılması durumunda ise kollektör akımı;

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 300\mu A = 30mA$$

Kollektör-emiter gerilimi:  $V_{CE} = V_C - (I_C R_C) = 10 - (30mA \cdot 220\Omega) = 3.4V$

Bu değere karşılık gelen transistörün çalışma noktası transistör karakteristiğinde gösterildiği gibi  $Q_2$  olacaktır

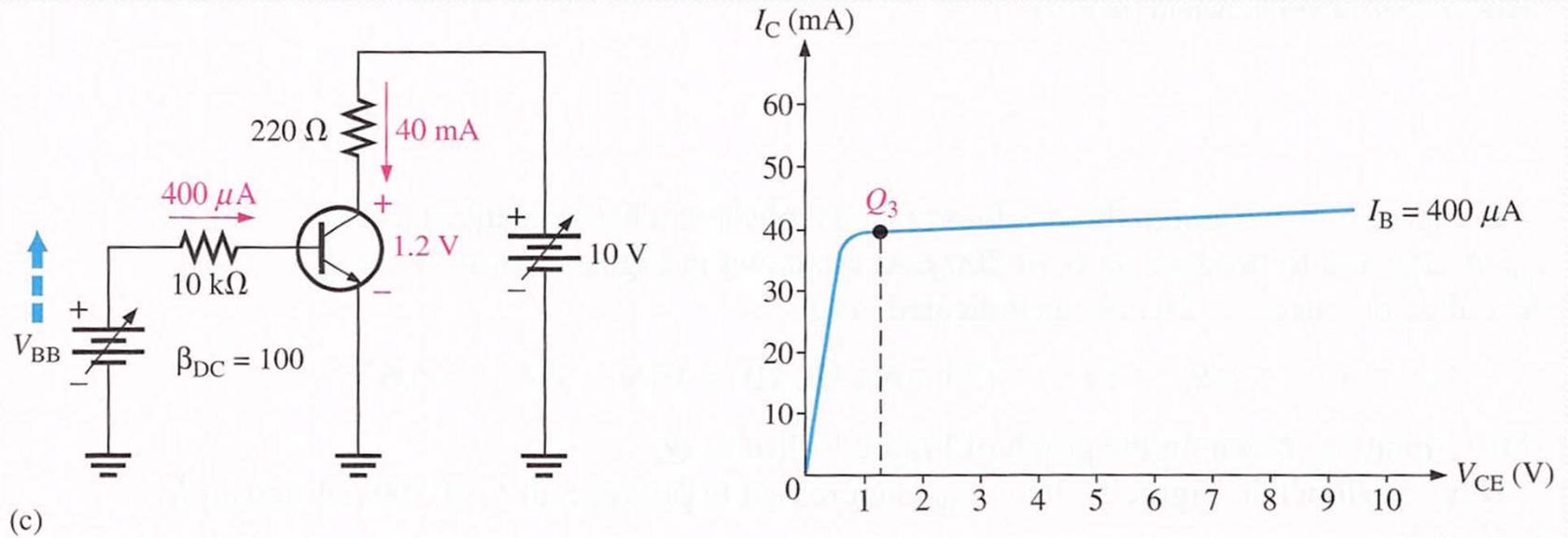


Son olarak beyz akımının  $I_B=400\mu A$  olması durumunda çalışma noktası;

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 400\mu A = 40\text{mA}$$

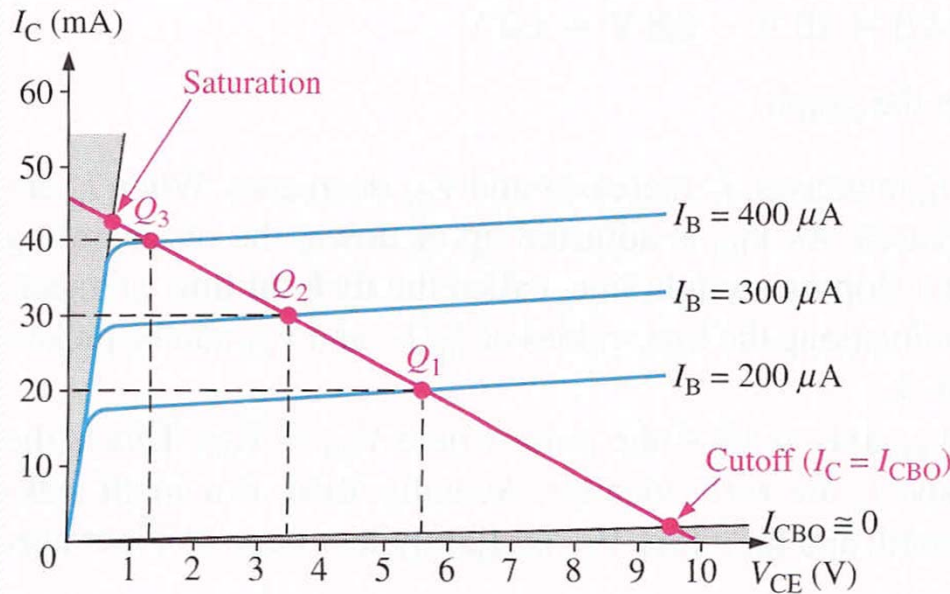
Kollektör-emiter gerilimi:  $V_{CE} = V_C - (I_C R_C) = 10 - (40\text{mA} \cdot 220\Omega) = 1.2\text{V}$

Bu değere karşılık gelen transistörün çalışma noktası transistör karakteristiğinde gösterildiği gibi  $Q_3$  olacaktır.





Transistörün beyz akımındaki değişim kolektör akımını değiştirmekte dolayısıyla transistörün kollektör-emiter gerilimi de değişmektedir. Örneğin  $I_B$  akımındaki artma  $I_C$  akımını arttırmaktadır. Buna bağlı olarak  $V_{CE}$  gerilimi azalmaktadır. Bu durumda  $V_{BB}$  geriliminin ayarlanması ile  $I_B$  değeri ayarlanmaktadır.  $I_B$ 'nin ayarlanması ise transistorün DC çalışma noktasını düzgün bir hat üzerinde hareket ettirmektedir.  $Q_1$ ,  $Q_2$  ve  $Q_3$  olarak belirtilen çalışma noktalarının birleştirilmesiyle bir DC yük doğrusu elde edilir.

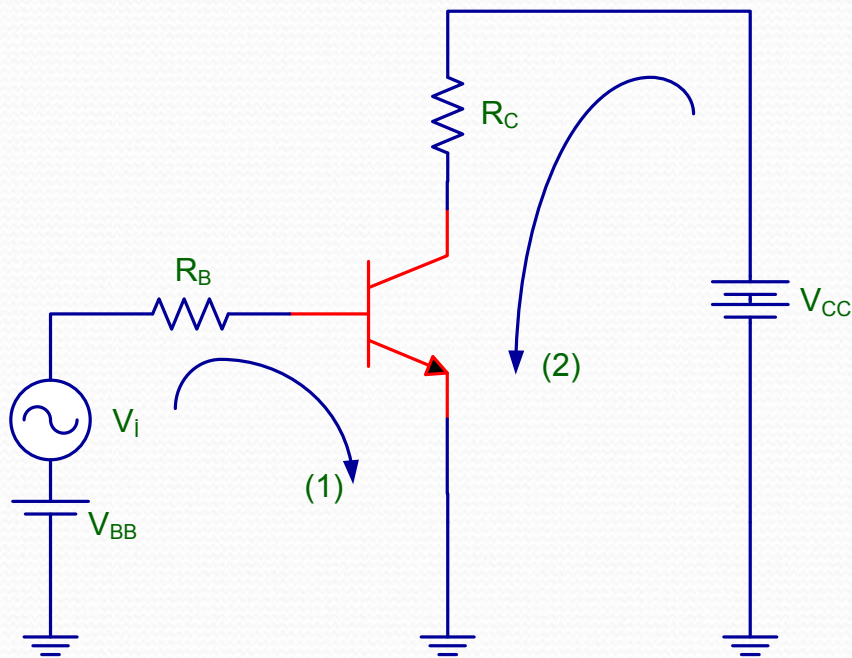


DC yük doğrusu yatay eksenini 10V'da kesmektedir. Bu değer  $V_{CE} = V_{CC}$  noktasıdır. Bu noktada transistör kesimdedir. DC yük doğrusunun düşey eksenini kestiği nokta ise 45.45mA'dır. Bu değer ise transistör için doyum noktasıdır. Transistörün doyum noktasında  $I_C$  maksimumdur. Kolektör akımı;

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

## ÖRNEK:

Şekildeki devrenin yük doğrusunu çizerek  $V_i$  girişine karşılık çıkış işaretlerini çiziniz.



$$V_{BB} = 1V$$

$$V_{CC} = 10V$$

$$R_C = 1K\Omega$$

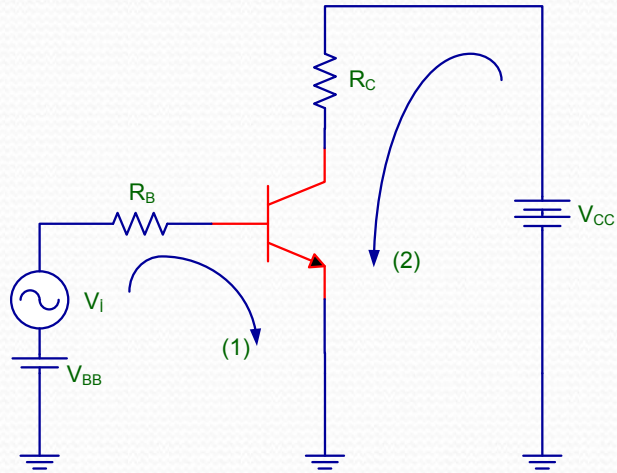
$$R_B = 8K\Omega$$

$$\beta = 100$$

$$V_{BE} = 0,6V$$

$$V_i = 0,35 \sin \omega t$$





**DC Analiz ( $V_i = 0$ ):**

Giriş Çevresinden;

$$-V_{BB} - V_i + R_B \cdot I_B + V_{BE} = 0$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{1V - 0.6V}{8K} = 0.05mA$$

$$I_{CQ} = \beta \cdot I_B = 5mA$$

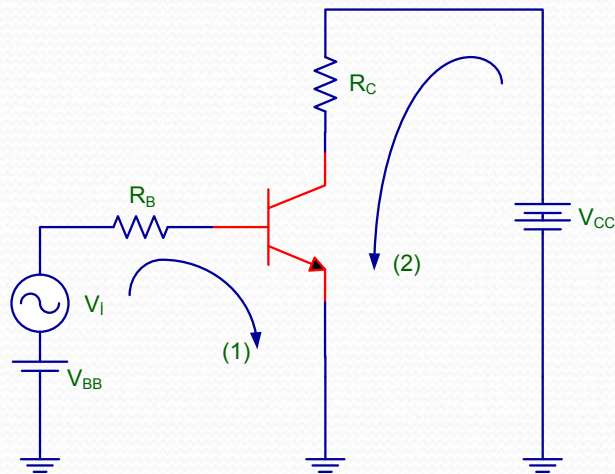
Çıkıştan Çevresinden;

$$-V_{CC} + R_C \cdot I_C + V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$

$$I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C} \Big|_{V_{CE}=0} = 10mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 10 - 1K\Omega \cdot 5mA = 5V$$

## AC Analiz ( $V_i = 0,35 \sin \omega t$ )



$$-V_{BB} - V_i + R_B \cdot I_B + V_{BE} = 0 \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} + V_i - V_{BE}}{R_B} = \frac{0.4 + V_i}{8K}$$

$$I_B = \frac{0.4 + 0.35 \sin \omega t}{8K} = 0.05 \text{mA} + 0.0375 \sin \omega t \text{mA}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 5 \text{mA} + 3.75 \sin \omega t \text{mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 10 - 1K \cdot (5 \text{mA} + 3.75 \sin \omega t \text{mA}) = 5 - 3.75 \sin \omega t$$



### AC Analiz ( $V_i = 0,35 \sin \omega t$ )

$$I_B = 0,05 + 0,0375 \sin \omega t \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 5 - 3,75 \sin \omega t$$

### Kazançlar:

#### Akım Kazancı (A<sub>I</sub>)

= Çıkış Akımındaki Değişim / Giriş Akımındaki Değişim

$$= \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{3,75 \text{ mA}}{0,0375 \text{ mA}} = 100$$

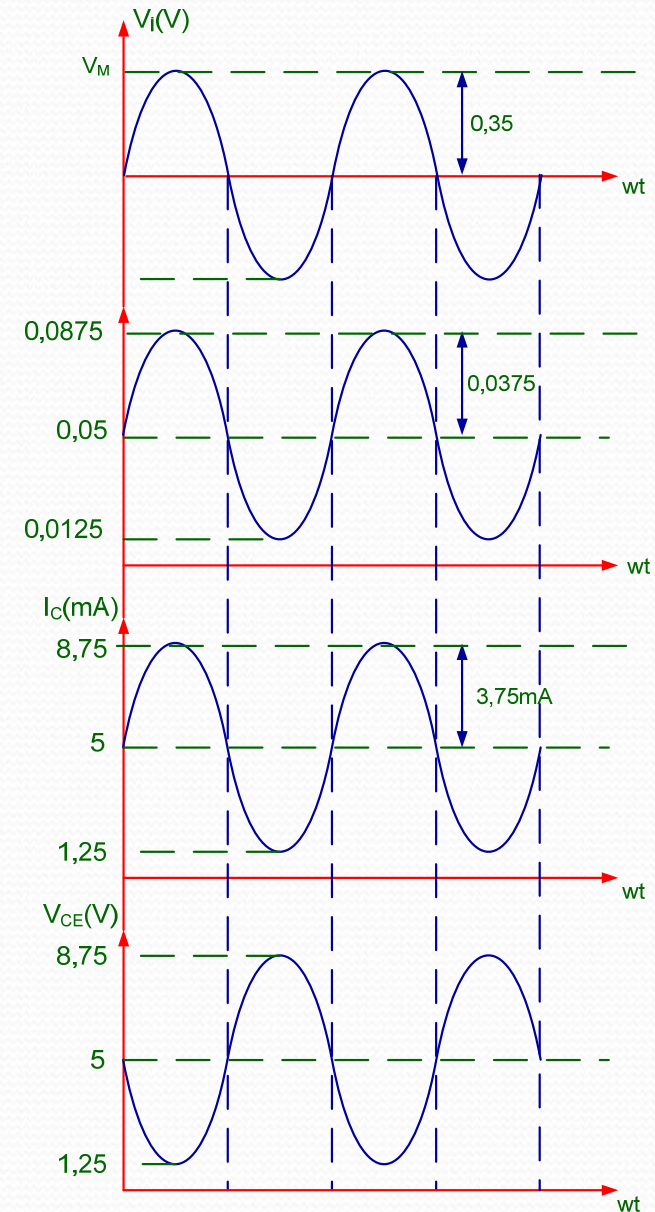
#### Gerilim Kazancı (A<sub>V</sub>)

= Çıkış Gerilimindeki Değişim / Giriş Gerilimindeki Değişim

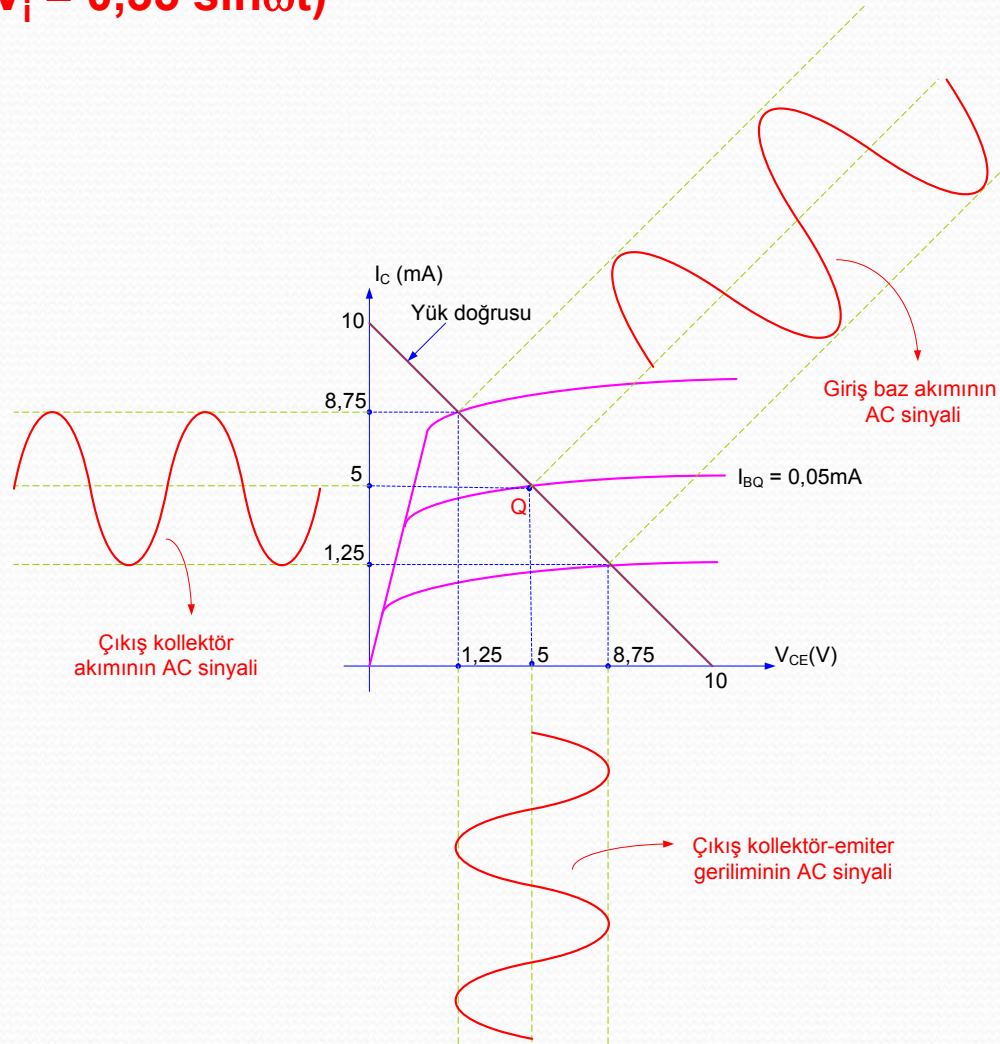
$$= \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta V_i} = \frac{3,75}{0,3} = 12,5$$

#### Güç Kazancı (A<sub>P</sub>)

$$= A_V \cdot A_I = 100 \cdot 12,5 = 1250$$



## AC Analiz ( $V_i = 0,35 \sin \omega t$ )



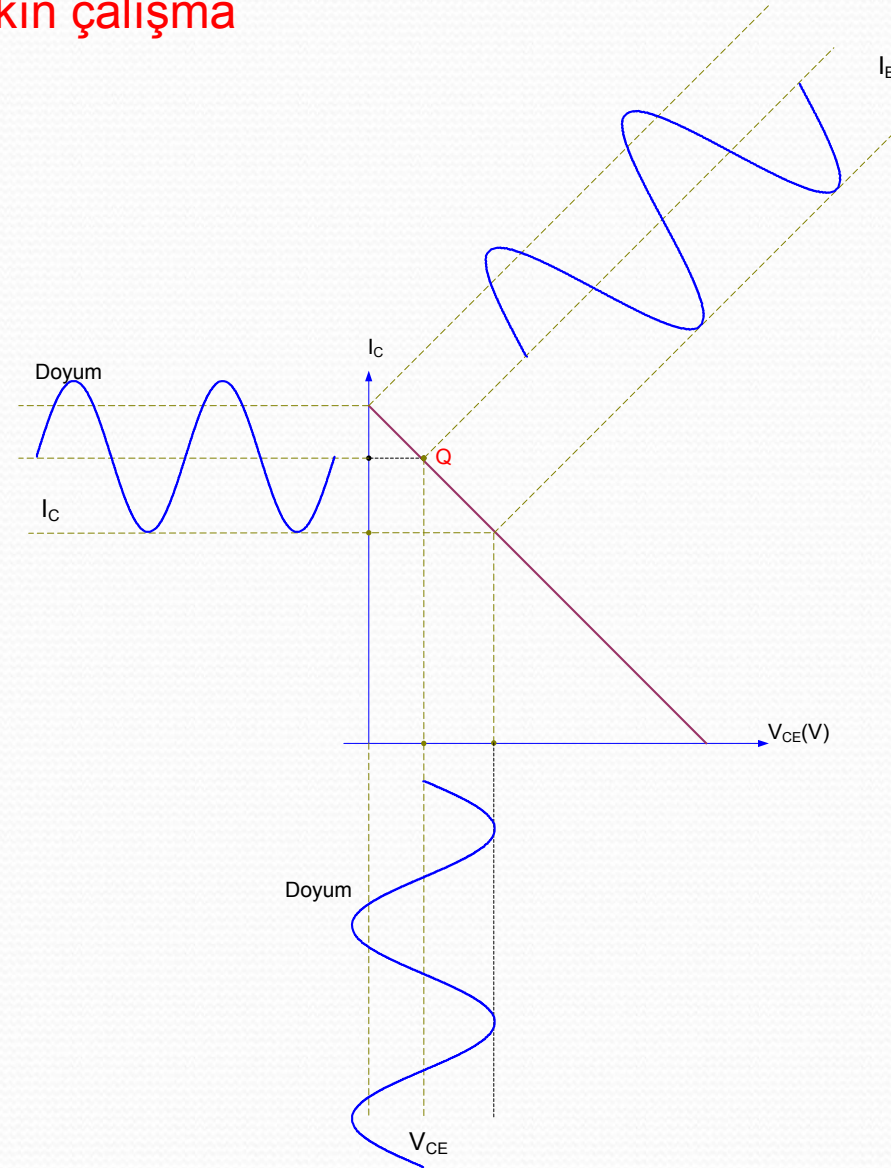


## 5.7. ÇIKIŞIN BOZULMASI:

Q çalışma noktası **doyum veya kesim bölgelerine yakın** seçilirse **giriş işaretine bağlı olarak çıkış işaretinde bozulmalar** olabilir.

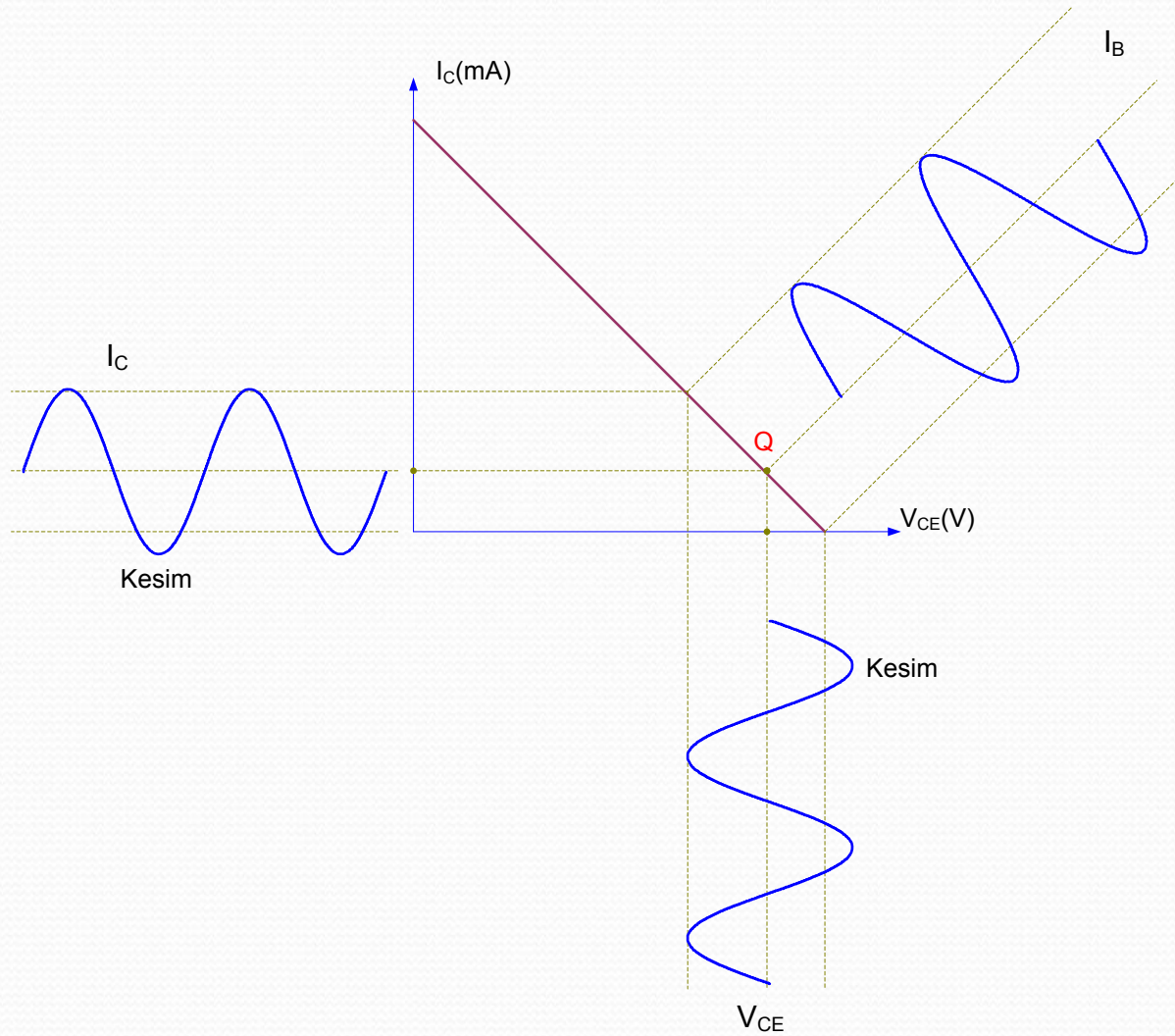
Bununla birlikte Q çalışma noktası tam orta noktada olsa bile giriş işaretinin genliği büyükse yine çıkışta bozulmalar olabilir.

## Doyum bölgesine yakın çalışma

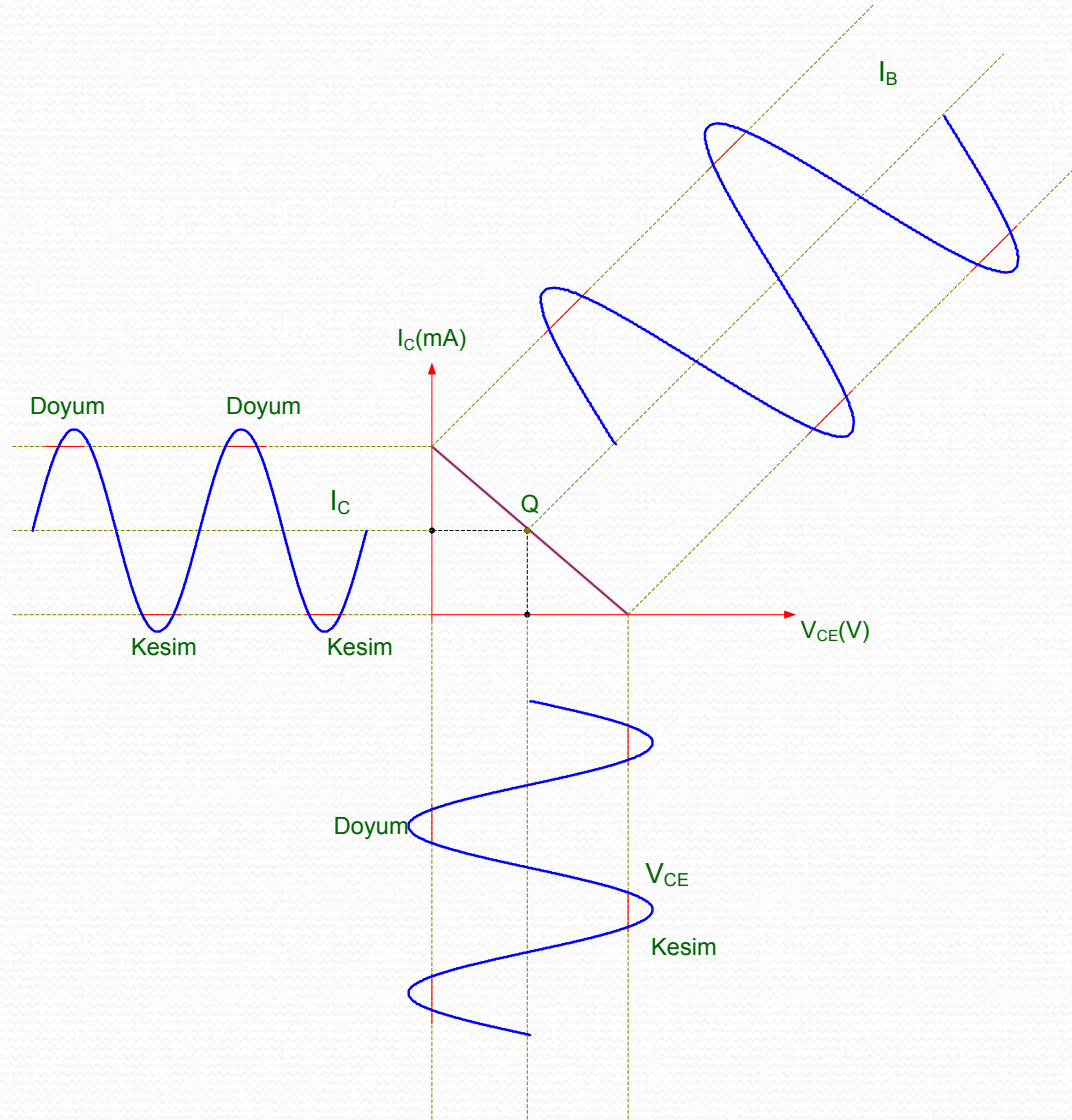




## Kesim bölgesine yakın çalışma



Büyük genlikli giriş işareti ve yük doğrusunun orta noktasında çalışma





---

## 5.7. TRANSİSTÖR DEVRELERİNİN DC ANALİZİ

### 5.7.1. TRANSİSTÖRLERİN ÖNGERİLİMLENMESİ

DC öngerilimlemenin amacı, transistorün belirli bir çalışma noktasında çalışmasını sağlamaktır. Bir transistorü istenilen çalışma noktasına getirip öngerilimleme yapıldıktan sonra, sıcaklığın etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Sıcaklık, akım kazancı ve kaçak akım gibi transistor karakteristiklerinin değişmesine yol açar. Sıcaklık artışı, oda sıcaklığına göre daha fazla akıma yol açar ve böylece öngerilimleme devresiyle belirlenen çalışma koşulunu değiştirir. Bu nedenle, öngerilimleme devresinin belirli bir oranda sıcaklık kararlılığını sağlayarak transistördeki sıcaklık değişimlerinin çalışma noktasında meydana getireceği değişimi en aza indirmesi gerekir.

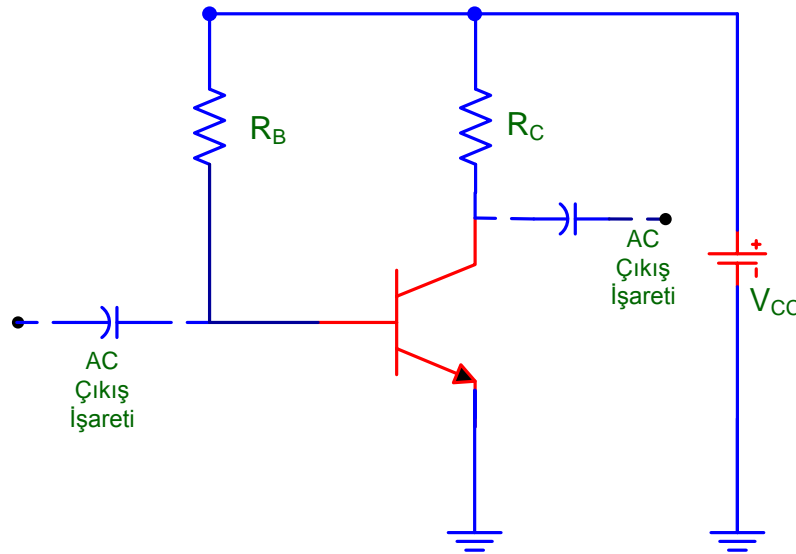
---

## 5.7.1. TRANSİSTÖRLERİN ÖNGERİLİMLENMESİ

### Sabit öngerilimli devre

Bir BJT' nin öngerilimlenmesi baz-emiter ve baz-kollektör DC öngerilimlenme çevre denklemleri ayrı ayrı ele alınarak analiz edilebilir.

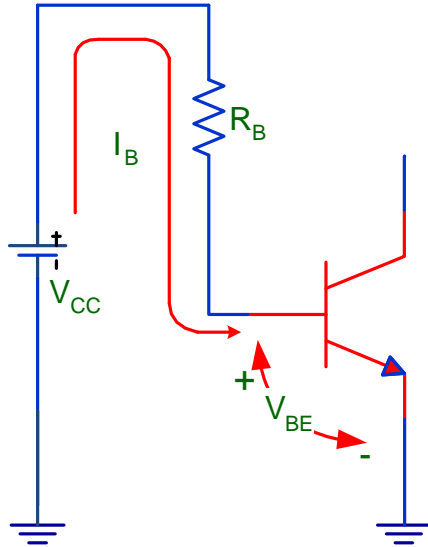
BJT' nin doğrusal bölgede çalışabilmesi için baz-emiterin ileri, baz-kollektörün ise ters öngerilimli olması gerekir.





## 5.7.1. TRANSİSTÖRLERİN ÖNGERİLİMLENMESİ

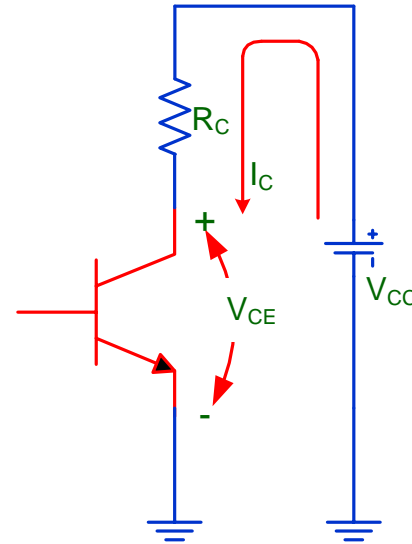
### Baz-Emiterin ileri öngerilimlenmesi



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

$$-V_{CC} + I_B R_B + V_{BE} = 0$$

### Kollektör-Emiterin ileri öngerilimlenmesi

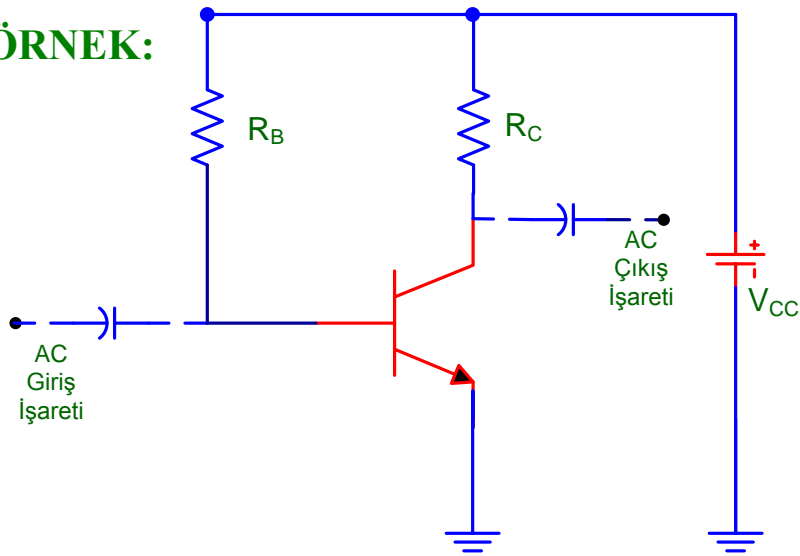


$$I_C = \beta I_B$$

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} = 0$$

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

### ÖRNEK:



Şekildeki devrede,  $V_{CC}=12V$ ,  $R_B=240k\Omega$ ,  $R_C=2.2k\Omega$  olduğuna göre  $\beta=50$  ve  $\beta=100$  için  $I_B=?$ ,  $I_C=?$ ,  $I_E=?$ ,  $V_{CE}=?$

### Çözüm:

Devrenin baz-emiter çevresinden;

$$\beta=50 \text{ için } I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{240 K} = 47.08 \mu A, \quad I_C = \beta I_B = 2.354 mA, \quad I_E = (1 + \beta) I_B = 2.401 mA$$

$$\beta=100 \text{ için } I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{240 K} = 47.08 \mu A, \quad I_C = \beta I_B = 4.708 mA, \quad I_E = (1 + \beta) I_B = 4.802 mA$$

Devrenin kollektör-emiter çevresinden;

$$\beta=50 \text{ için } V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - 2.354 * 2.2k\Omega$$

$$V_{CE} = 6.83V$$

$$\beta=100 \text{ için } V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - 4.708 * 2.2k\Omega$$

$$V_{CE} = 1.642V$$

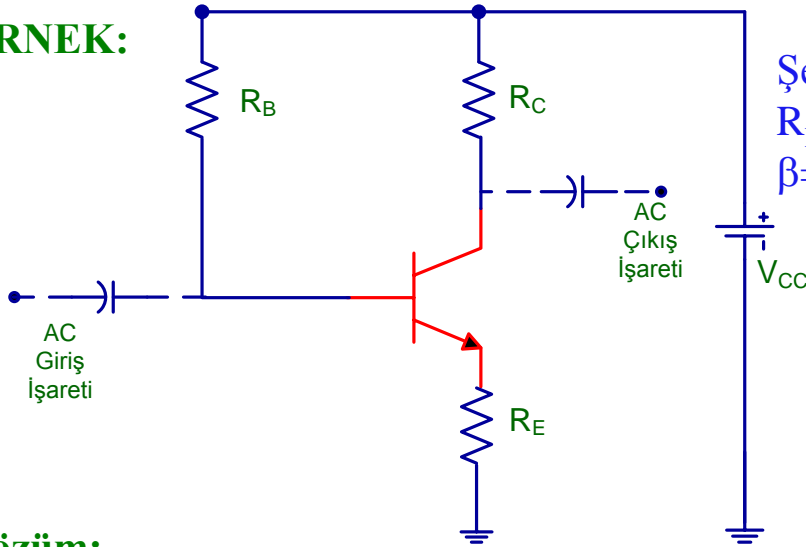


kolektör akımı ( $I_C$ ) ve kolektör-emiter gerilimi ( $V_{CE}$ )'nin değişim yüzdeleri:

$$\% \Delta I_C = \frac{I_{C(\beta=100)} - I_{C(\beta=50)}}{I_{C(\beta=50)}} * 100 = \frac{4.708\text{mA} - 2.354\text{mA}}{2.354\text{mA}} * 100 = \% 100$$

$$\% \Delta V_{CE} = \frac{V_{CE(\beta=100)} - V_{CE(\beta=50)}}{V_{CE(\beta=50)}} * 100 = \frac{1.642 - 6.83}{1.642} * 100 = -\% 75,95$$

### ÖRNEK:



Şekildeki devrede,  $V_{CC}=12V$ ,  $R_B=240k\Omega$ ,  $R_C=2.2K\Omega$ ,  $R_E=0.8K\Omega$  olduğuna göre  $\beta=50$  ve  $\beta=100$  için  $I_B=?$ ,  $I_C=?$ ,  $I_E=?$ ,  $V_{CE}=?$

### Çözüm:

Devrenin baz-emiter çevresinden;

$$\beta=50 \text{ için } I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{240 K + (50 + 1)0.3 K} = 40.24 \mu A, \quad I_C = \beta I_B = 2.012 \text{ mA}, \quad I_E = (1 + \beta)I_B = 2.052 \text{ mA}$$

$$\beta=100 \text{ için } I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{240 K + (100 + 1)0.8} = 35.224 \mu A, \quad I_C = \beta I_B = 3.522 \text{ mA}, \quad I_E = (1 + \beta)I_B = 3.557 \text{ mA}$$

Devrenin kollektör-emiter çevresinden;

$\beta=50$  için

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \\ &= 12 - 2.012 * 2.2k\Omega - 2.052 * 0.8k\Omega \\ V_{CE} &= 5.932V \end{aligned}$$

$\beta=100$  için

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \\ &= 12 - 3.522 * 2.2k\Omega - 3.557 * 0.8k\Omega \\ V_{CE} &= 1.406V \end{aligned}$$



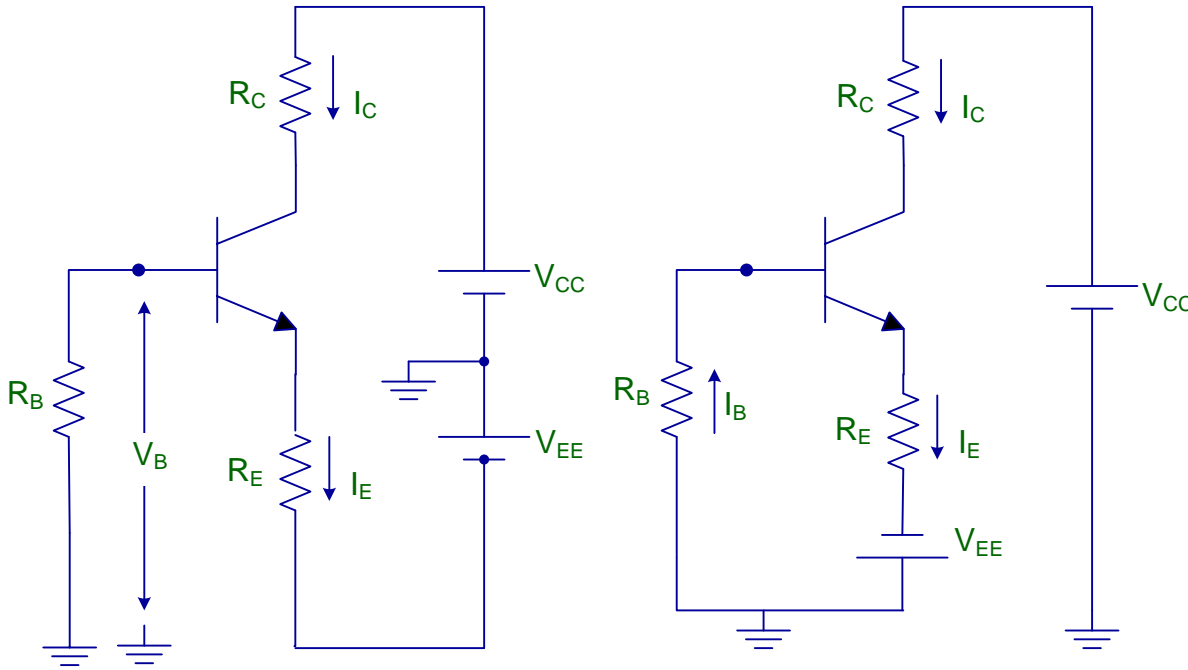
kolektör akımı ( $I_C$ ) ve kolektör-emiter gerilimi ( $V_{CE}$ )'nin değişim yüzdeleri:

$$\% \Delta I_C = \frac{I_{C(\beta=100)} - I_{C(\beta=50)}}{I_{C(\beta=50)}} * 100 = \frac{3.522\text{mA} - 2.012\text{mA}}{3.012\text{mA}} * 100 = \%75$$

$$\% \Delta V_{CE} = \frac{V_{CE(\beta=100)} - V_{CE(\beta=50)}}{V_{CE(\beta=50)}} * 100 = \frac{1.406 - 5.932}{5.932} * 100 = -\%76$$

## Emiter Kutuplamalı Devre

Emiter kutuplaması transistörün kararlı çalıştırılması için geliştirilmiş bir diğer kutuplama yöntemidir. Bu kutuplama tipinde pozitif ve negatif olmak üzere iki ayrı besleme gerilimi kullanılır.  $V_{CC}$  ve  $V_{EE}$  olarak adlandırılan bu kaynaklar transistörün kutuplama akım ve gerilimlerini sağlarlar. Bu devrede  $V_{CC}$  ve  $V_{EE}$  eşit olduğu takdirde beyz gerilimi yaklaşık 0V'dur. Bu nedenle bu kutuplama şekli bazı kaynaklarda simetrik kutuplama olarak da adlandırılmaktadır.



Giriş çevresinden,

$$-V_{EE} + V_{BE} + I_B R_B + I_E R_E$$

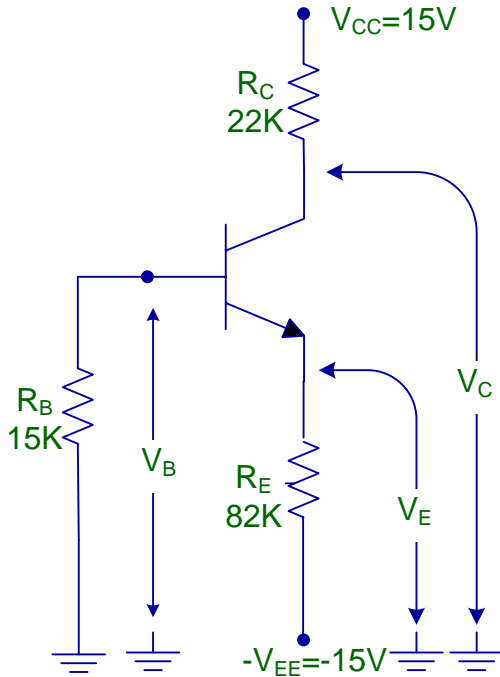
$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta)R_E}$$

Çıkış çevresinden,

$$0 = -V_{CC} - V_{EE} + V_{CE} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} + V_{EE} - I_C R_C - I_E R_E$$

**ÖRNEK** Yanda verilen devrede  $\beta$  değerinin 50'den 100'e çıkması durumunda çalışma noktasında meydana gelecek değişimleri analiz ediniz.



$\beta=50$  için; Giriş çevresinden,

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta)R_E} = \frac{15 - 0,7}{15k + 51 * 8,2k} \Rightarrow I_B = 33\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 1.65mA$$

$$I_E = (1 + \beta)I_B = 1,683mA$$

Çıkış çevresinden,

$$0 = -V_{CC} - V_{EE} + V_{CE} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$V_{CE} = 30 - 1,65m * 2,2k - 1,683m * 8,2k$$

$$V_{CE} = 12,569V$$

$\beta=100$  için; Giriş çevresinden,

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta)R_E} = \frac{15 - 0,7}{50k + 101 * 8,2k} \Rightarrow I_B = 16,96\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 1.696mA \quad (+\%2.8)$$

$$I_E = (1 + \beta)I_B = 1,713mA$$

Çıkış çevresinden,

$$0 = -V_{CC} - V_{EE} + V_{CE} - I_C R_C - I_E R_E$$

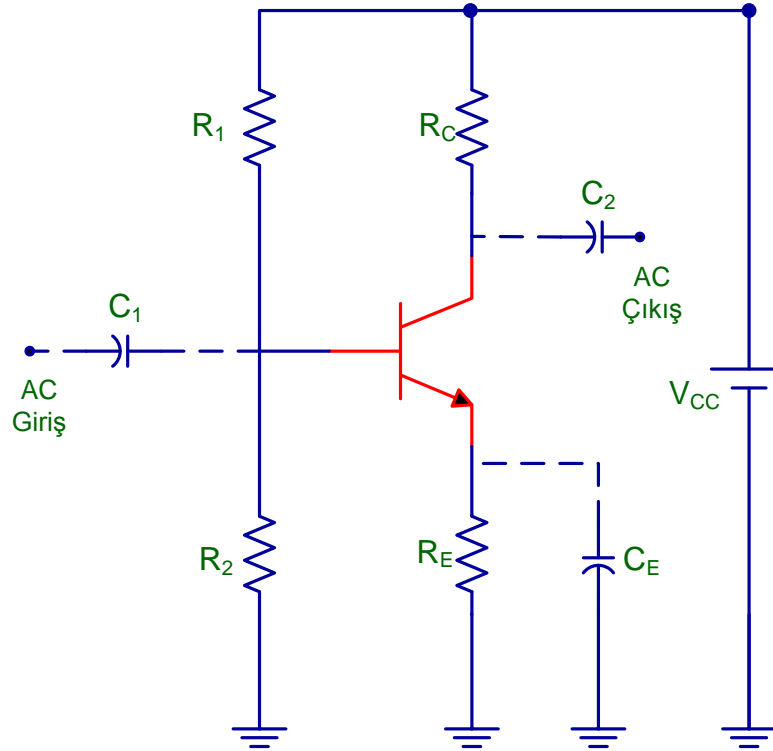
$$V_{CE} = 30 - 1,696m * 2,2k - 1,713m * 8,2k$$

$$V_{CE} = 12,222V \quad (-\%2,83 \text{ değişim})$$



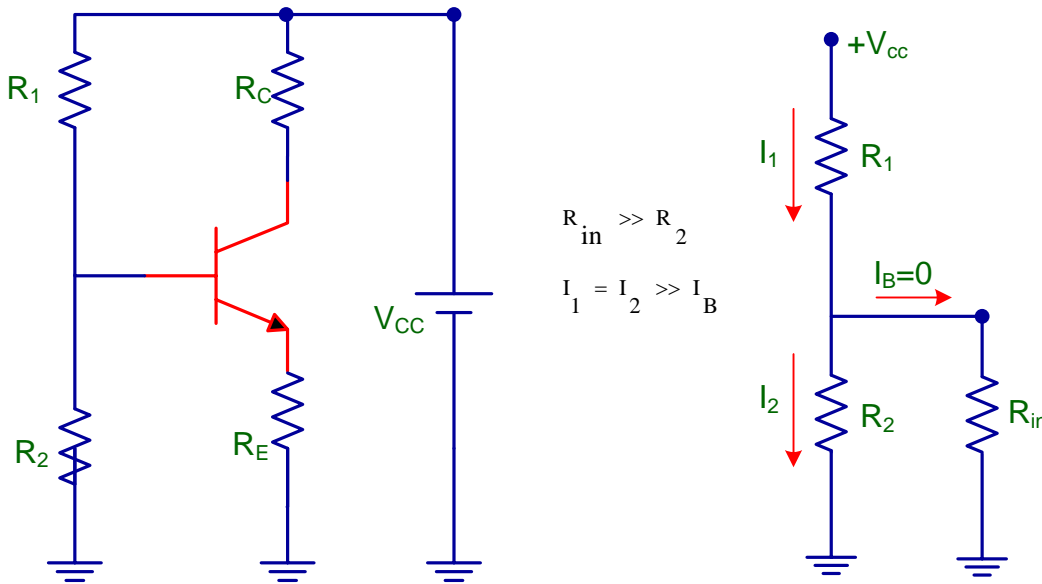
### Akım Kazancı Kararlı Devre

Yukarıdaki öngerilimleme devresinde, kolektör akım ve gerilim değerleri akım kazancıyla orantılı olarak artmaktadır. Ancak  $\beta$  değeri özellikle silisyum tabanlı transistörlerde sıcaklığa karşı oldukça duyarlıdır. Ayrıca  $\beta$  nın anma değeri tam olarak tanımlanmadığından öngerilimleme devrelerinin beta değişimlerinden fazla etkilenmemesi istenir. Aşağıdaki devre bu tip devreler için bir örnektir.



Devrenin çözümünde iki temel yöntem vardır. Birinci yöntem devrede beyz akımı ihmal edilebilecek kadar küçük ise uygulanır. Bu yöntemde  $I_1=I_2$  varsayılarak çözüm üretilir. İkinci yöntemde ise devre analizi beyz akımı dikkate alınarak yapılır. Çözüm tekniğinde thevenin teoreminden yararlanılır.

**Yöntem 1:** Bu yöntemde beyz akımı ihmal edilebilecek kadar küçük kabul edilir.  $R_{in}$  direncinden akan akımın  $R_2$  direncinden çok büyük olduğu kabul edilir ( $R_{in} \gg R_2$ ). Devrenin eşdeğeri aşağıdaki şekilde verilmiştir. Eşdeğer devrede;  $R_1$  ve  $R_2$  dirençlerinin birleştiği noktada elde edilen gerilim, transistörün beyz kutuplama gerilimi olacaktır.



$$V_B \text{ geriliminin değeri; } V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC}$$

$$V_B = V_{BE} + I_E R_E \quad I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E}$$

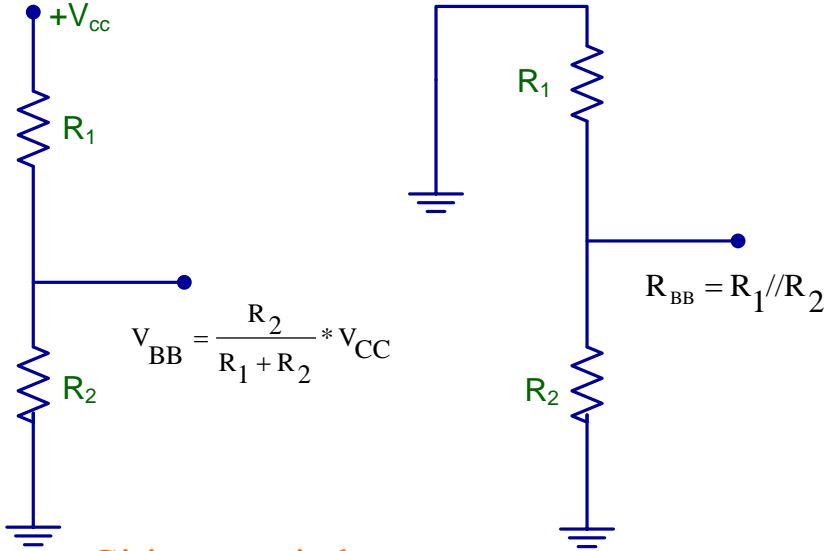
$I_B$  ihmal edildiğinden  $I_E = I_C$  olur.

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

## Yöntem 2:

Gerilim bölücülü kutuplama devresinde bir diğer yöntem ise Thevenin teoremini kullanmaktır. Bu yöntem tam çözüm sunar. Devrenin Baz ucunun Thevenin eşdeğer devresi aşağıdaki gibi çıkarılabilir.



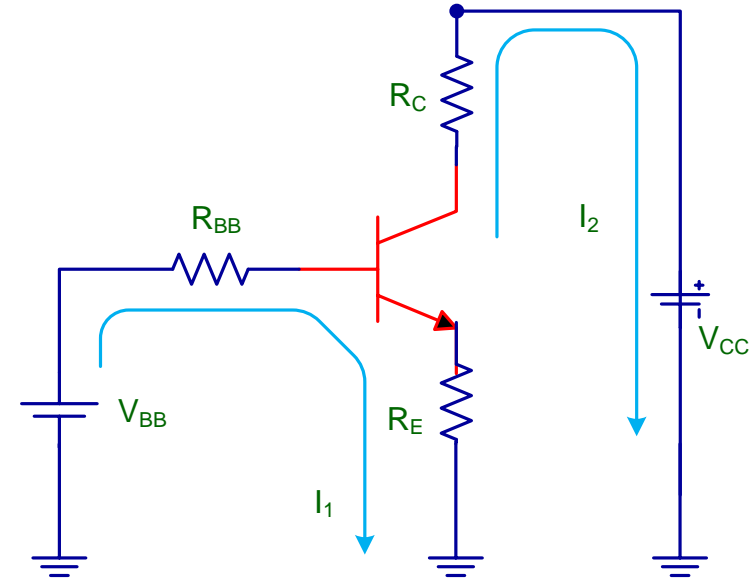
Giriş çevresinden,

$$-V_{BB} + I_B R_{BB} + V_{BE} + I_E R_E = 0$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta) R_E}$$

$$I_C = \beta I_B$$

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



Çıkış çevresinden,

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$



## ÖRNEK

Yukarıdaki devrede  $R_1=39k\Omega$ ,  $R_2=3.9k\Omega$ ,  $R_C=10k\Omega$ ,  $R_E=1,5k\Omega$ ,  $V_{CC}=22V$  olduğuna göre, devreyi tam çözüm yönteminden yararlanarak  $\beta=50$  ve  $\beta=100$  için çözünüz.

**Çözüm:** Devreye thevenin teoremi uygulanırsa,

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{39k}{39k + 3,9k} 22 = 2V$$

$$R_{BB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{39k \cdot 3,9k}{42,9k} = 3,545k\Omega$$

$\beta=50$  için; Giriş çevresinden,

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta)R_E} = \frac{2 - 0,7}{3,545k + 51 \cdot 1,5k}$$

$$I_B = 16.24 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 0.812mA$$

$$I_E = (1 + \beta)I_B = 0,828mA$$

Çıkış çevresinden,

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \\ = 22 - 0,812m \cdot 10k - 0,828m \cdot 1,5k$$

$$V_{CE} = 12,638V$$

$\beta=100$  için; Giriş çevresinden,

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta)R_E} = \frac{2 - 0,7}{3,545k + 101 \cdot 1,5k}$$

$$I_B = 8,384 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 0.838mA \quad (+\%3.2 \text{ de\u0131sim})$$

$$I_E = (1 + \beta)I_B = 0,846mA$$

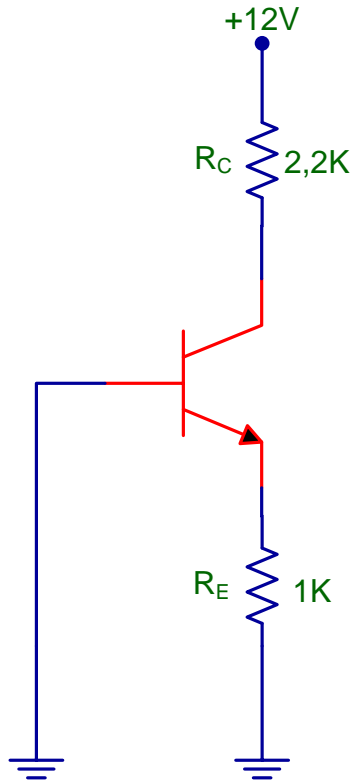
Çıkış çevresinden,

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \\ = 22 - 0,838m \cdot 10k - 0,846m \cdot 1,5k$$

$$V_{CE} = 12,351V \quad (-\%2,27 \text{ de\u0131\u015fim})$$

### ÖRNEK:

Şekildeki devrede DC analiz yaparak transistörün hangi bölgede çalıştığını belirleyiniz.



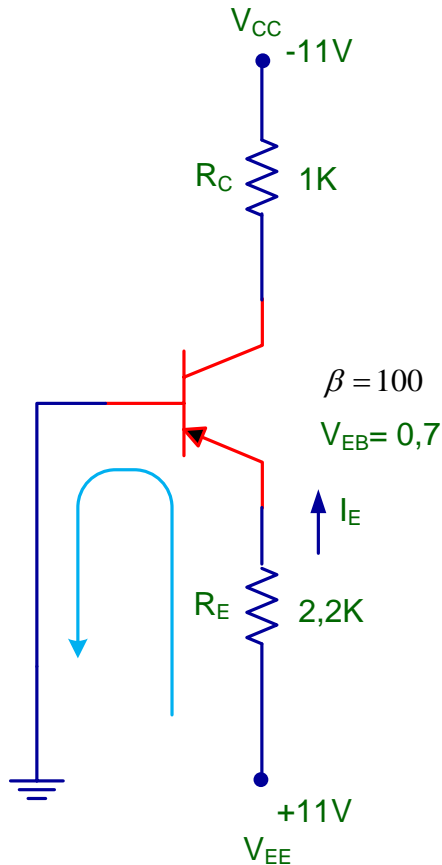
### Çözüm:

Base toprağa bağlı olduğundan base-emiter birleşimi iletimde olamaz. Dolayısıyla,  $I_B$ ,  $I_C$ , ve  $I_E$  sıfırdır. Her iki diyot yalıtımda olduğundan transistör kesim bölgesindedir.

$$V_C = V_{CC} = 12V$$

## ÖRNEK:

DC analiz yaparak transistörün hangi bölgede çalıştığını belirleyiniz.



## Çözüm:

$$V_E = V_{EB} = 0,7V$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_E}{R_E} = \frac{11V - 0,7V}{2,2K} = 4,68mA$$

$$I_B = \frac{I_E}{1 + \beta} = \frac{4,68mA}{101} = 0,0463mA$$

$$I_C = \beta I_B = 4.63mA$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B = 4,68mA$$

$$I_C \cdot R_C = V_C - V_{CC} \rightarrow V_C = V_{CC} + I_C \cdot R_C$$

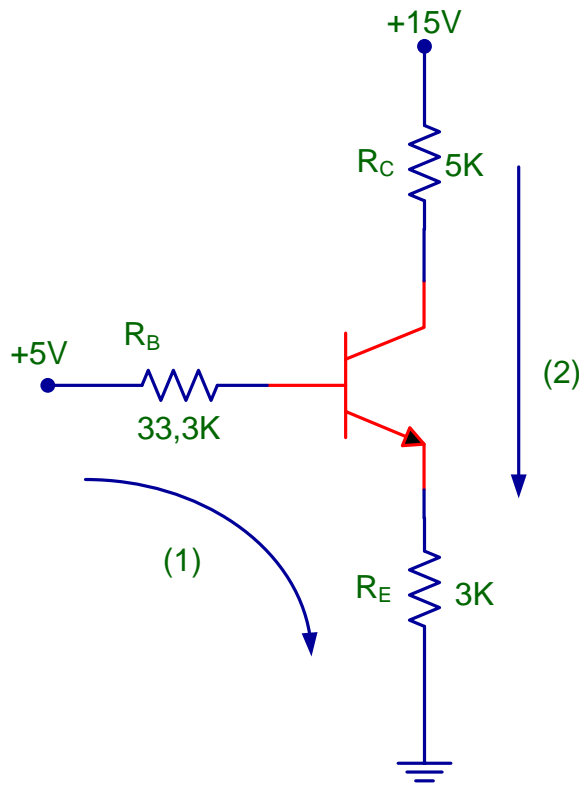
$$V_C = -11V + (4,63mA) \cdot (1K) = -6,37V$$

$V_{CB} < 0$  olduğundan BJT Aktif bölgededir



## ÖRNEK:

Şekildeki devrede DC analiz yaparak tüm noktadaki gerilimleri ve tüm kollardaki akımları bularak transistörün hangi bölgede çalıştığını belirleyiniz. ( $V_{CESAT} = 0.2V$ )



## Çözüm:

(1) numaralı çevre denkleminde;

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

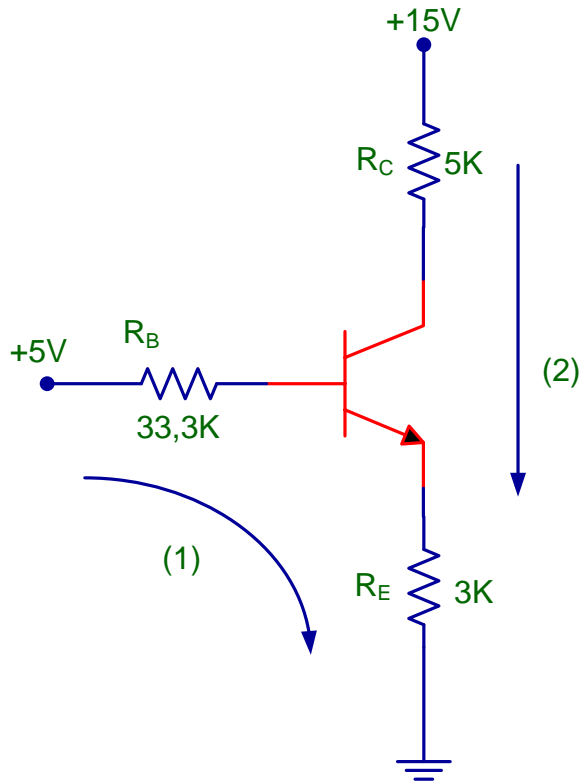
$$= R_B \cdot I_B + V_{BE} + (1 + \beta) \cdot R_E \cdot I_B$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) \cdot R_E} = \frac{5 - 0,7}{33,3K + (101) \cdot 3K} = \frac{4,3V}{336,3K} = 0,0127mA$$

$$I_C = 1.27mA, \quad I_E = 1,282mA$$

$$V_B = V_{BB} - R_B \cdot I_B = V_{BE} + R_E \cdot I_E$$

$$V_B = 0,7V + (1,282mA) \cdot 3K = 4,548V$$



(2) numaralı çevre denkleminde;

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

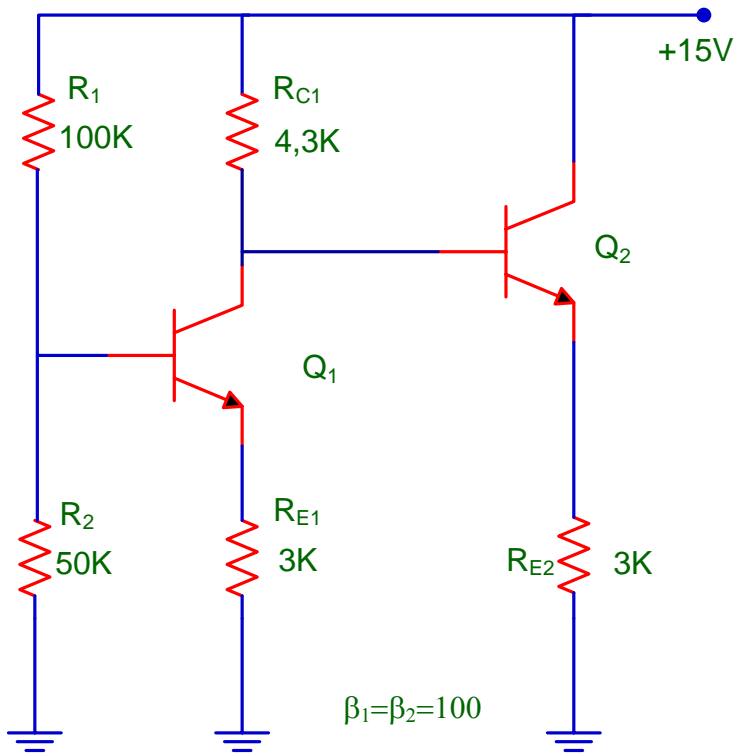
$$= 15V - (1,27 \text{ mA}) \cdot 5K = 8,65V$$

$$V_{CB} = V_C - V_B = 4,1V$$

$V_C > V_B$  olduğundan kollektör diyot ters kutuplanmıştır. Dolayısıyla transistör **AKTİF** bölgededir.

## ÖRNEK:

$Q_1$  ve  $Q_2$  transistörlerinin hangi bölgelerde çalıştıklarını belirleyiniz ( $I_B$  akımları ihmal edilecektir).



## Çözüm :

I. Transistöre thevenin teoremi uygulanırsa;

$$E_{TH} = \frac{50K}{150K} \cdot 15V = 5V$$

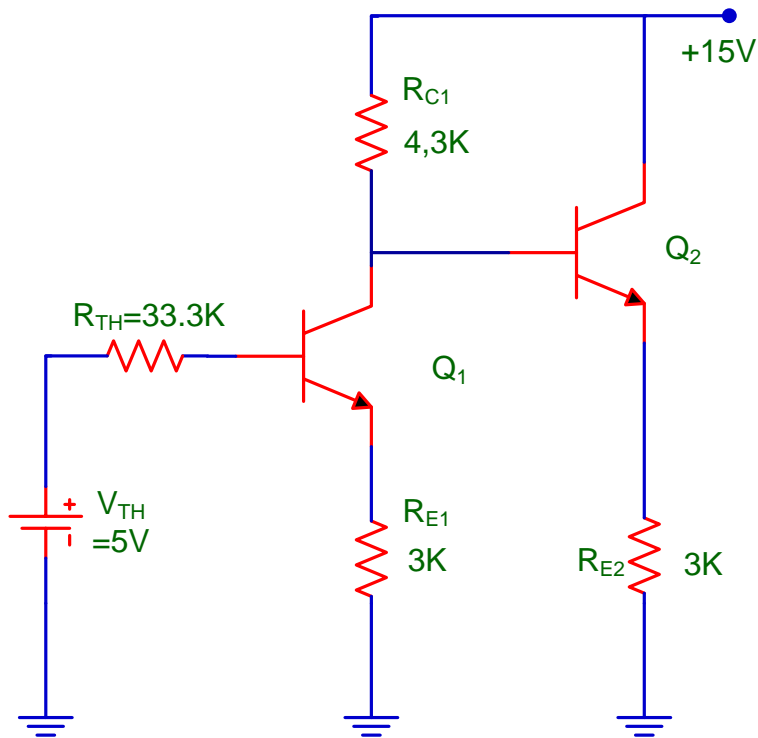
$$R_{TH} = 50K // 100K = 33,3K$$

Bu şekildeki ard arda kuplajlı devrelerde önce birinci katın çözümü yapılarak analizi tamamlanır. Sonra bu katta bulunur ve kollektör gerilimi ikinci katın giriş gerilimi alınarak işleme devam edilir. Bu şekilde yapılan çözüm yaklaşık çözümdür.



## Çözüm:

$Q_1$  için;



$$I_{B1} = \frac{5 - 0,7}{33,3K + 101,3K} = 12,78 \mu A$$

$$I_{C1} \approx I_{E1} = 1,278mA$$

$$V_{E1} = I_{E1} \cdot R_{E1} = 3,835V$$

$$V_{CE1} = V_{CC} - I_{C1} \cdot R_{C1} - V_{E1} = 15 - 3,835 - 6,39$$

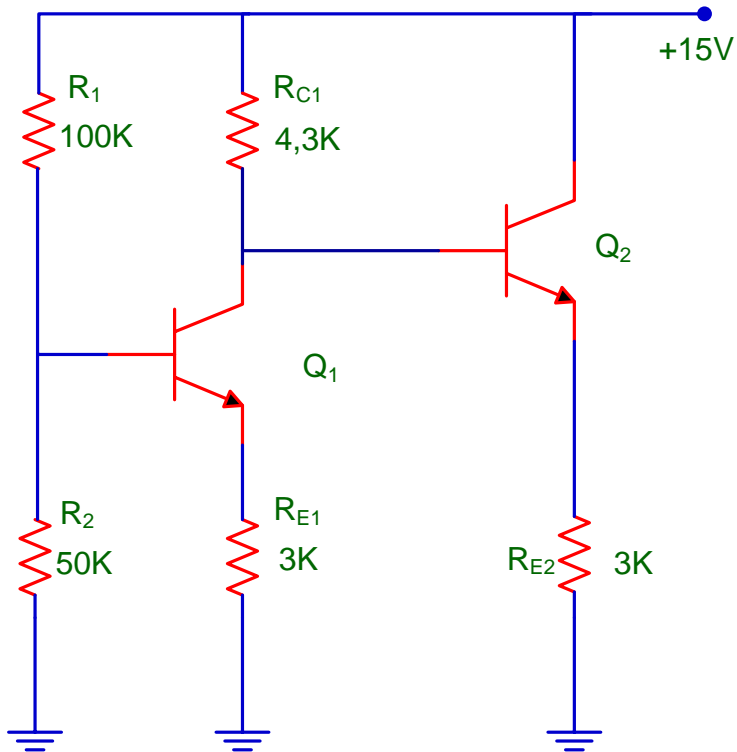
$$V_{CE1} = 4,775V$$

$$V_{B1} = V_{BE1} + I_{E1} \cdot R_{E1} = 0,7 + 3,834 = 4,534V$$

$$V_{C1} = V_{CC} - I_{C1} \cdot R_{C1} = 15 - (1,278mA) \cdot 5K = 8,61V$$

$$V_{CB1} = 8,61 - 4,534 = 4,076V$$

$$V_{C1} > V_{B1} \quad Q_1 \text{ AKTİF bölgededir.}$$



$Q_2$  için;

$$V_{B2} = V_{C1} = 8,61V$$

$$I_{E2} = \frac{V_{B2} - V_{BE2}}{R_{E2}} = \frac{8,61 - 0,7}{3K} = 2,636 \text{ mA}$$

$$V_{E2} = I_{E2} * R_{E2} = 7,91V$$

$$V_{C2} = V_{CC} = 15V$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 15 - 7,91 = 7,09V$$

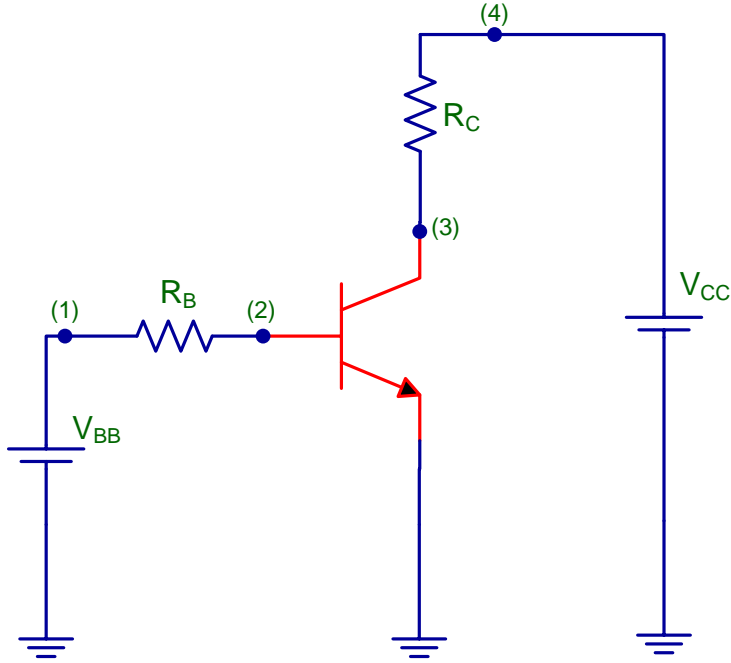
$V_{C2} > V_{B2}$  olduğundan

$Q_2$  AKTİF bölgede çalışmaktadır.

## 5.6. TRANSİSTÖRÜN SAĞLAMLIK TESTİ

Bir transistör, devrede ya da devrede değilken test edilebilir.

Aşağıdaki basit bir transistör devresinde 4 adet test noktası seçilmiş ve çeşitli arızalar için olabilecek olası durumlar verilmiştir



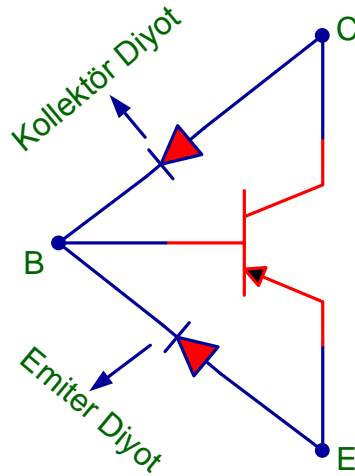
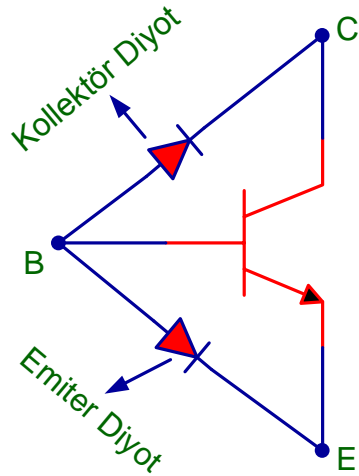
OLASI DURUM	Test Noktaları			
	1	2	3	4
$V_{BB}$ kısa devre	0V	0V	$V_{CC}$	$V_{CC}$
$V_{CC}$ kısa devre	$V_{BB}$	0,7V	0V	0V
$R_B$ açık devre	$V_{BB}$	-	$V_{CC}$	$V_{CC}$
$R_C$ açık devre	$V_{BB}$	0,7	-	$V_{CC}$
B-E birleşimi açık devre	$V_{BB}$	$V_{BB}$	$V_{CC}$	$V_{CC}$
B-C birleşimi açık devre	$V_{BB}$	0,7	$V_{CC}$	$V_{CC}$



## 5.6. TRANSİSTÖRÜN SAĞLAMLIK TESTİ

Transistorü test etmenin en basit yollarından birisi, transistorü devreden çıkararak tek başına sağlamlığını kontrol etmektir.

Bu amaçla bir avometrenin diyot konumundan yararlanılır. NPN ve PNP transistorlerin eşik gerilimlerinin okunması suretiyle bacakları saptanabilir ve sağlamlığı test edilebilir.



**Hatırlatma:**

Emiter diyot eşik gerilimi  $\approx 0,7V$

Kolektör diyot eşik gerilimi  $\approx 0,5V$

## 5.10. DARLİNGTON BAĞLANTI:

Yüksek akım kazancı elde etmek için transistörler “darlington” olarak adlandırılan bir bağlantı şekliyle kullanılırlar. İki tip darlington bağlantı mevcuttur.

### i. npn-npn Darlington Bağlantısı:

Akım Kazancı

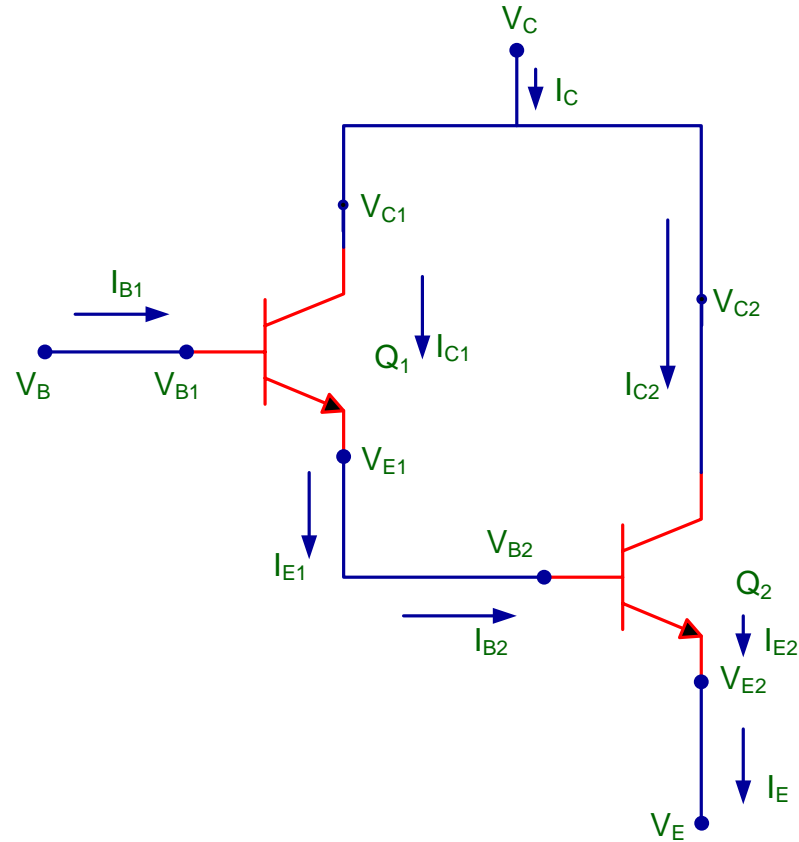
$$I_C = I_{C1} + I_{C2}$$

$$I_C = \beta_1 \cdot I_{B1} + \beta_2 \cdot I_{B2}$$

$$I_C = \beta_1 \cdot I_{B1} + \beta_2 \cdot I_{E1}$$

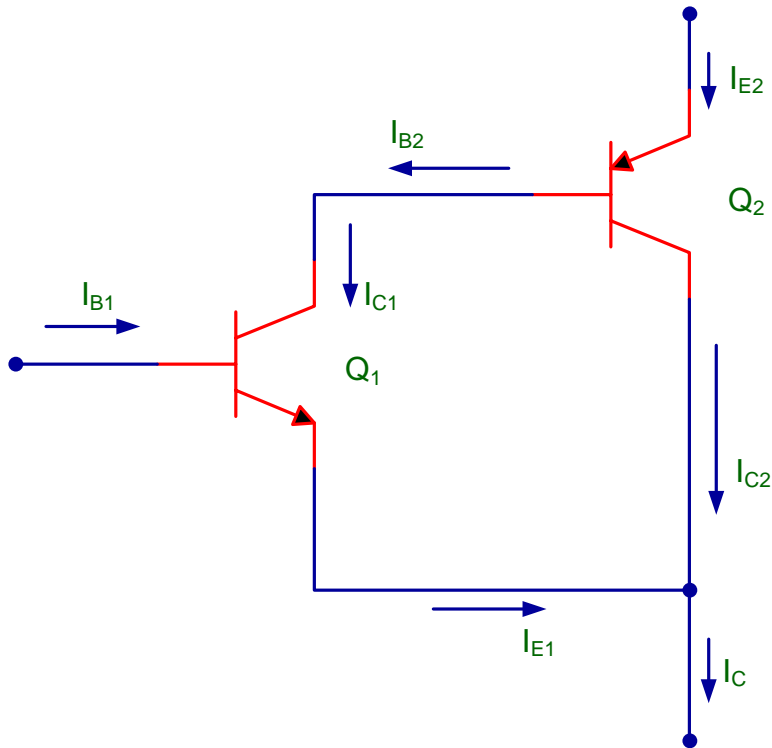
$$I_C = \beta_1 \cdot I_{B1} + \beta_2 \cdot (1 + \beta_1) \cdot I_{B1}$$

$$I_C = I_{B1} \cdot [\beta_1 + \beta_2 \cdot (1 + \beta_1)]$$



## 5.10. DARLINGTON BAĞLANTI:

### ii. npn-pnp Darlington Bağlantısı:



$$I_C = I_{C2} + I_{E1}$$

$$I_C = \beta_2 \cdot I_{B2} + (1 + \beta_1) \cdot I_{B1}$$

$$I_C = \beta_2 \cdot I_{C1} + (1 + \beta_1) \cdot I_{B1}$$

$$I_C = \beta_2 \cdot \beta_1 \cdot I_{B1} + (1 + \beta_1) \cdot I_{B1}$$

$$I_C = [\beta_1 \cdot \beta_2 + (1 + \beta_1)] \cdot I_{B1}$$



## 5.10. DARLİNGTON BAĞLANTI:

### ÖRNEK:

Şekildeki devrede  $V_{CE2} = 6V$  olabilmesi için  $R$  direncinin değeri ne olmalıdır.  $\beta_1 = \beta_2 = 25$

### ÇÖZÜM:

$$I_1 = I_2 \text{ ve } I_1 = I_{B1} + I_{C1} + I_{C2}$$
$$= I_{B1} [1 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \cdot \beta_2] = 676 I_{B1}$$

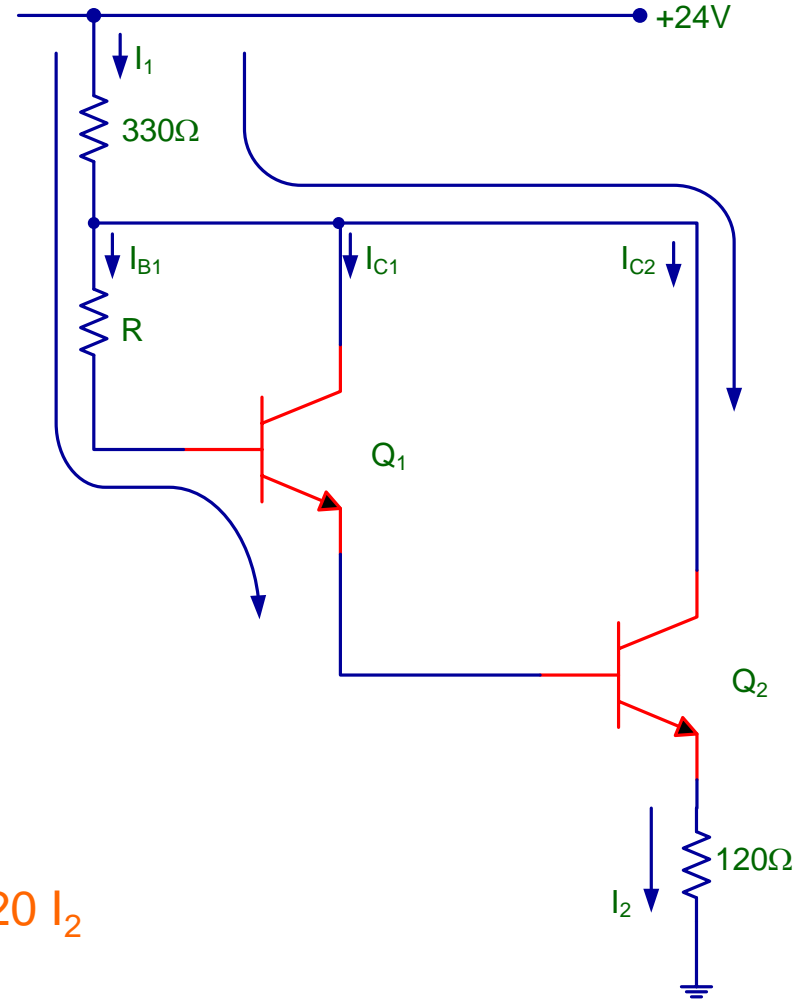
Çıkıştan;

$$24 - 6 = 330 I_1 + 120 I_2 \rightarrow I_1 = I_2 = 40 \text{mA}$$

$$I_{B1} = \frac{18}{450.676} = 59.17 \mu\text{A}$$

$$\text{Girişten; } 24 - 0,7 - 0,7 = 330 I_1 + R \cdot I_{B1} + 120 I_2$$

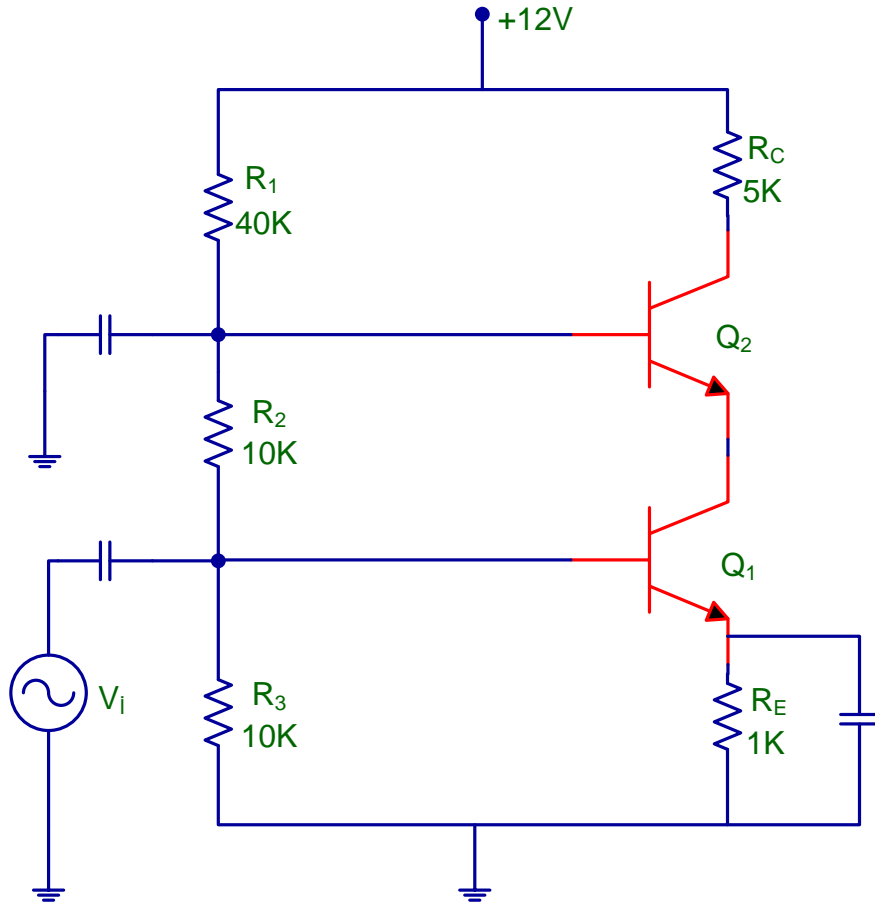
$$R = \frac{22,6 - 450.40 \text{mA}}{59.17 \mu\text{A}} \cong 77.74 \text{ K}\Omega$$



## 5.11. KASKAD BAĞLANTI

### Örnek:

Şekildeki devrede  $Q_1$  ve  $Q_2$  transistörlerinin hangi bölgede çalıştığını belirleyin ( $I_B$  akımları ihmal edilecek).



### Çözüm:

Kaskad bağlı yükselteçler yüksek giriş direnci ve yüksek kazanç sağlamak için kullanılırlar. Devrede kullanılan kapasiteler dc analizde açık devre, ac analizde ise kısa devre yapılarak çözüm devam ettirilir.

$$\beta_1 = \beta_2 = 100$$

$$V_{BE1} = V_{BE2} = 0,7$$

## 5.11. KASKAD BAĞLANTI

Yukarıdaki devre dc analiz için yeniden düzenlenirse; ( $I_{B1} \approx I_{B2} \approx 0$ )

$$V_{B1} = \frac{10K}{10K + 10K + 40K} \cdot 12 = 2V$$

$$V_{E1} = V_{B1} - 0,7 = 2 - 0,7 = 1,3V$$

$$I_{E1} = \frac{1,3V}{1K} = 1,3mA$$

$I_{C1} \approx I_{E1}$  ve  $I_{E2} \approx I_{C1}$  olduğundan

$$I_{C2} \approx I_{E2} \approx I_{C1} \approx I_{E1} = 1,3mA$$

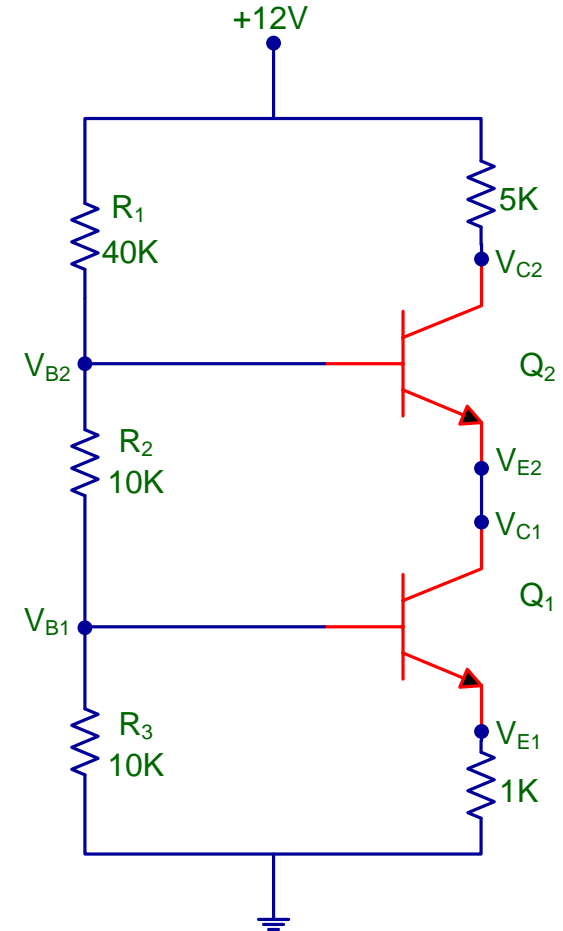
$$V_{C2} = V_{CC} - R_C \cdot I_{C2} = 12 - 5K \cdot 1,3mA = 5,5V$$

$$V_{B2} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot V_{CC} = \frac{20K}{60K} \cdot 12 = 4V$$

$$V_{C1} = V_{E2} = V_{BE2} - 0,7 = 3,3V$$

$$V_{C2} > V_{E2} \text{ ve } V_{C1} > V_{E1}$$

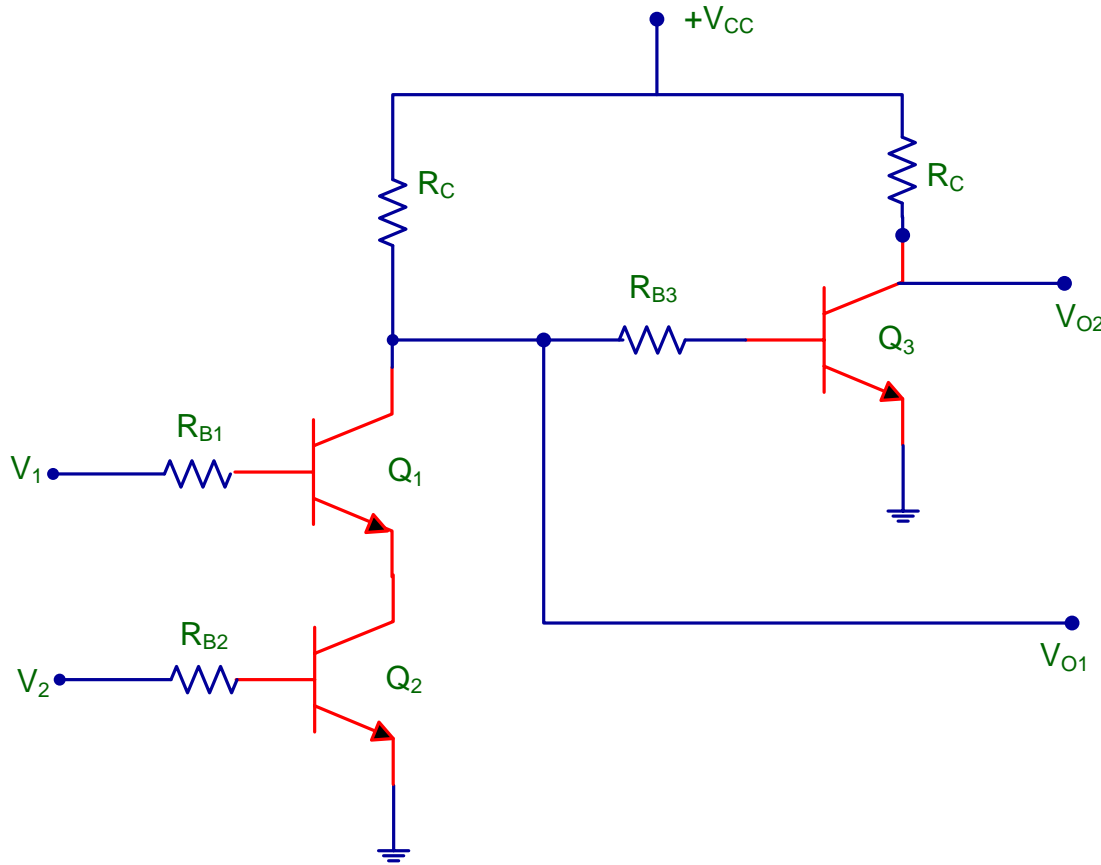
Her iki transistör AKTİF bölgededir





## ÖRNEK

Şekildeki devrede  $V_1$  ve  $V_2$  girişlerine karşılık  $V_{O1}$  ve  $V_{O2}$  çıkışlarının ne olacağını belirleyiniz (Öngerilimleme transistörleri doyumda tutacak şekilde tasarlanmıştır).



$V_1$	$V_2$	$V_{O1}$	$V_{O2}$
0	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

## ÖRNEK:

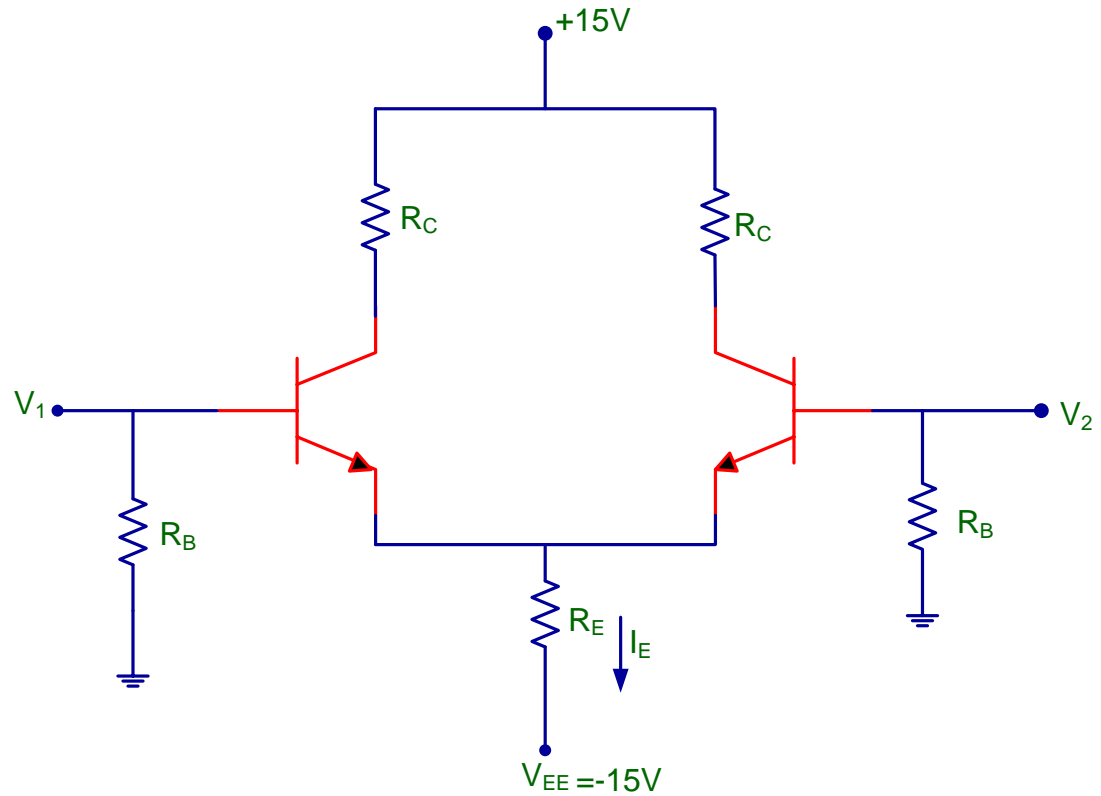
$$V_{BE1} = V_{BE2} = 0,7$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 60$$

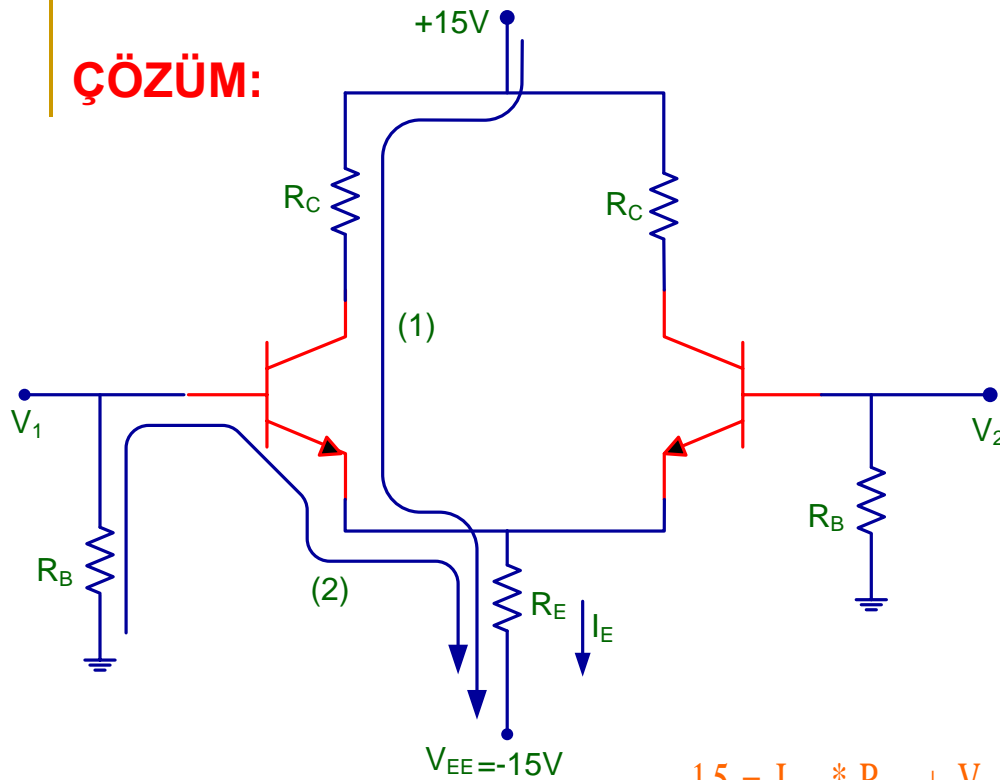
$$R_B = 10K, R_C = 6,8K$$

$$V_{CE1} = V_{CE2} = 8V \text{ ise}$$

$$I_{E1} = ? R_E = ?$$



**ÇÖZÜM:**



Simetriden dolayı;  $I_E = I_{E1} + I_{E2} = 2I_{E1}$

$$15 + 15 = \frac{\beta_1}{1 + \beta_1} \cdot I_{E1} \cdot R_C + V_{CE1} + 2I_{E1} \cdot R_E \rightarrow (1)$$

$$15 = I_{B1} \cdot R_B + V_{BE1} + I_E \cdot R_E = \frac{I_{E1}}{1 + \beta_1} \cdot R_B + V_{BE1} + 2I_{E1} \cdot R_E$$

$$I_{E1} = \frac{(1 + \beta_1) \cdot (V_{CC} - V_{CE1} + V_{BE1})}{\beta_1 \cdot R_C - R_B} = 1,18 \text{ mA} \rightarrow (2)$$

$$R_E = \frac{V_{CC} - V_{BE1} - \frac{R_B}{1 + \beta_1} \cdot I_{E1}}{2I_{E1}} = \frac{15 - 0,7 - \frac{10\text{K}}{61} \cdot (1,18 \text{ mA})}{2 \cdot 1,18 \text{ mA}} = 5,97 \text{ K}\Omega$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 60, R_B = 10\text{K}, R_C = 6,8\text{K}$$

$$V_{CE1} = V_{CE2} = 8\text{V}, V_{BE1} = V_{BE2} = 0,7$$



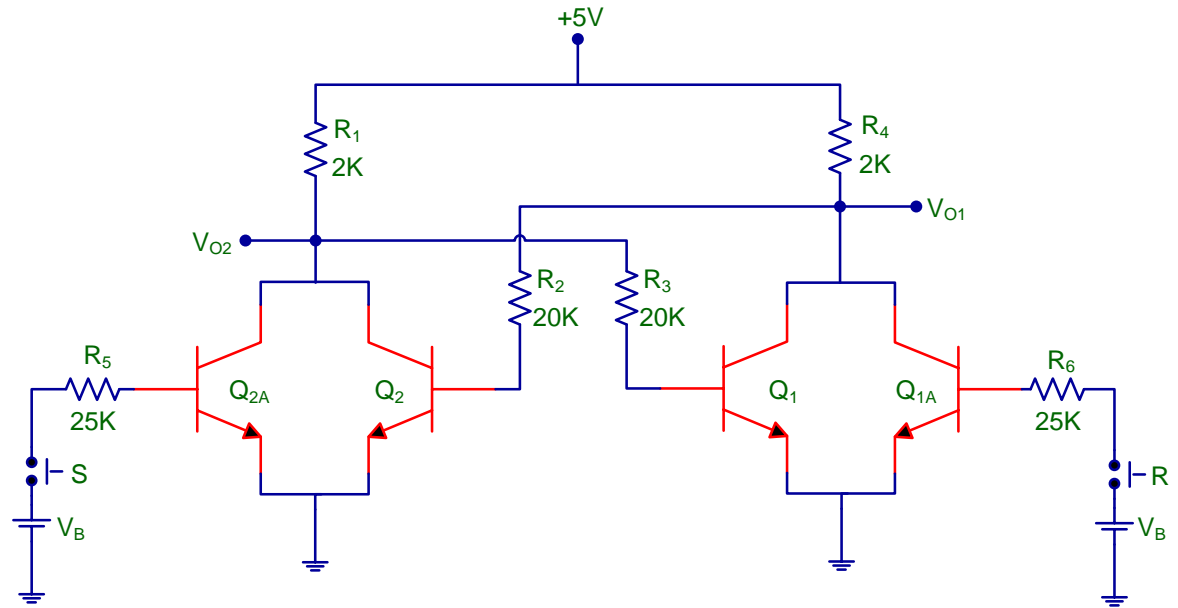
## ÖRNEK

Şekildeki devrede S anahtarı kapalı R anahtarı açık tutulduğunda  $V_{O1}$  ve  $V_{O2}$  gerilimlerinin değerini hesaplayınız

$$V_{CEsat} = 0,2$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 50$$

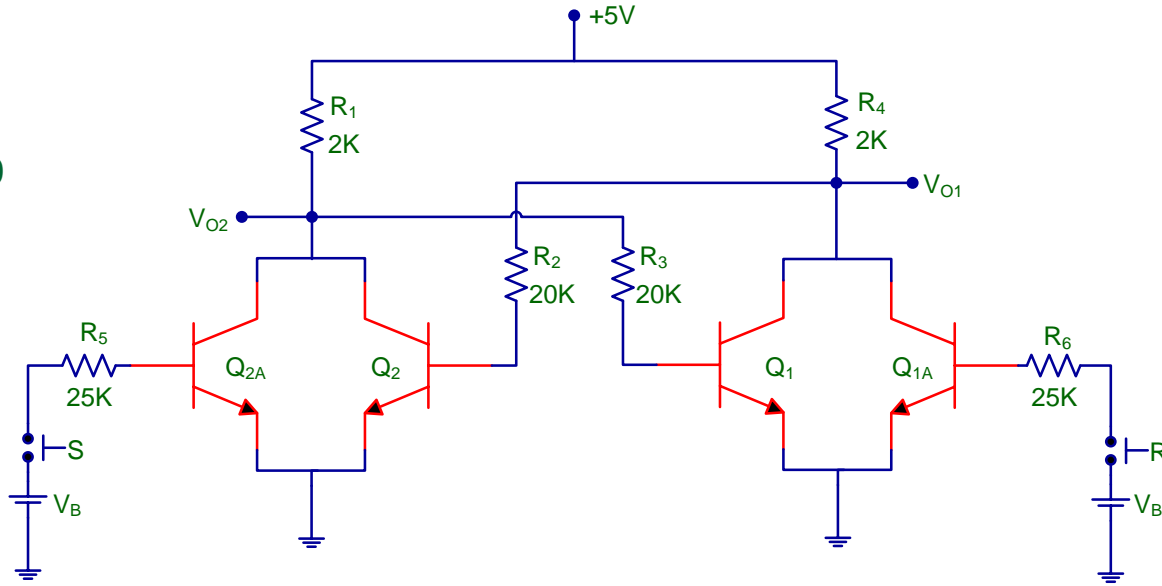
$$V_B = 5V$$



$$\beta_1 = \beta_2 = 50$$

$$V_B = 5V$$

$$V_{CEsat} = 0,2$$



**ÇÖZÜM:**  $I_{B2} = \frac{V_B - V_{BE2A}}{R_5} = \frac{5 - 0,7}{25K} = 172 \mu A$   $I_{C2} = 50 * 172 \mu A = 8,6 \text{ mA}$   $I_{C2A-sat} = \frac{5 - 0,2}{2K} = 2,4 \text{ mA}$

$I_{C2A-sat} < I_{CA2}$  ve  $Q_{2A}$  tansistörü doyumdadır.  $I_{C2A} = 8,6 \text{ mA}$  sonucu doğru değildir.

$Q_{2A}$  doyumda ise:  $V_{O2} = V_{CE2Asat} = 0,2V$

S anahtarı kapalıyken  $Q_1$  kesimdedir. Çünkü 0,2 V'luk bir gerilim ile kutuplanmıştır.  $Q_1$  kesimde olduğu için  $R_4$  ve  $R_2$  içerisinde aynı akım dolaşır;  $I_{R2} = I_{R4}$

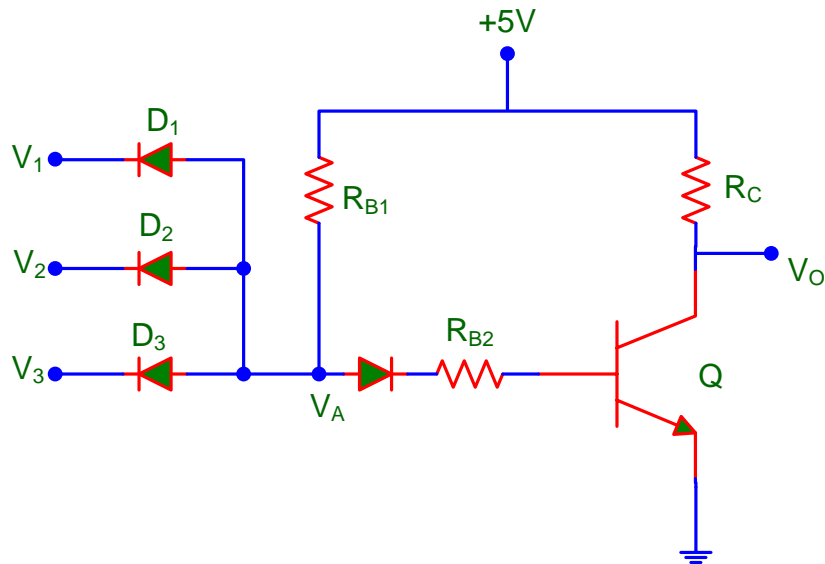
$$I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE2}}{R_2 + R_4} = \frac{5 - 0,7}{20K + 2K} = 195,4 \mu A$$

$$V_{O1} = V_{CC} - I_{B2} * R_4$$

$$V_{O1} = 5 - (195,4 \mu A) * 2K = 4,61V$$

## ÖRNEK:

Diyotlar ideal olduğuna göre verilen girişler için  $V_A$  ve  $V_O$  değerini hesaplayınız. (Q doyumda olacak şekilde kutuplanmıştır)



$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_A$	$V_O$
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	0	0	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	0



## ÖDEV:

Şekildeki devrede  $V_1$  ve  $V_2$  girişlerinin lojik bir durumuna bağlı olarak transistörlerin doyumda çalıştığı kabul edilmektedir ( $V_{CE} = 0V$ ). Lojik sıfır durumunda ise kesimdedirler. Buna göre;

a)

$V_1$	$V_2$	$V_{O1}$	$V_{O2}$
0	0	?	
0	1		
1	0		
1	1		

- b)  $V_{O1}$ 'den çıkış alındığında ne tip bir mantık kapısı elde edilir  
c)  $V_{O2}$ 'den çıkış alındığında ne tip bir mantık kapısı elde edilir

