



**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

ELEKTRONİK SİSTEMLER LABORATUVARI

BJT KARAKTERİSTİĞİ ve KUTUPLAMA DEVRELERİ

**DENEY SORUMLUSU
Arş. Gör. Mehmet Safa BİNGÖL**

**ŞUBAT 2023
KAYSERİ**

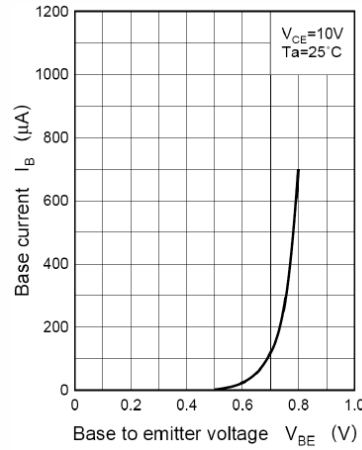
NPN ve PNP transistörlerin çalışma prensiplerinin aynı olması nedeni ile sadece birini incelemek diğerinin de anlaşılması için yeterli olacaktır. Burada daha sık kullanılması nedeni ile NPN transistör açıklanacaktır.

Transistör Karakteristikleri

Karakteristik eğriler, transistörün çalışma mantığını ve transistöre ait özellikleri anlamak açısından önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle burada gerçek bir transistöre ait karakteristik eğriler verilecek ve bunlar üzerinde açıklama yapılacaktır.

VBE-IB karakteristiği

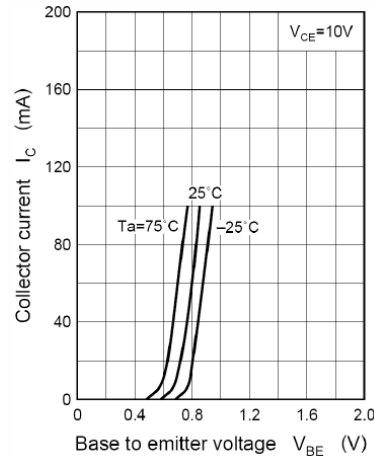
Bir transistörün iletken olabilmesi için beyz ile emiter arasına uygulanan gerilimin (V_{BE}), esik gerilimini (V_T : silisyum transistörler için $0,6V \sim 0,7V$ civarındadır) aşması gerekir. Karakteristik eğriden görüldüğü gibi, bu seviye aşıldığında transistörden beyz akımı (I_B) akmaya baslar. Bu akım bir direnç yardımıyla sınırlandırarak transistörün zarar görmesi önlenmelidir.



Sekil 5.6. VBE-IB karakteristiği.

VBE-IC karakteristiği

Bu karakteristik eğri, transistörün kollektör akımının beyz-emiter gerilimi ile değişimini ifade eder. V_{BE} esik gerilimini aştığında transistörden kollektör akımı geçmeye baslar. Transistörün zarar görmemesi için kollektör ucuna bir direnç bağlanarak maksimum kollektör akımı (I_{Csat}) belirlenir.



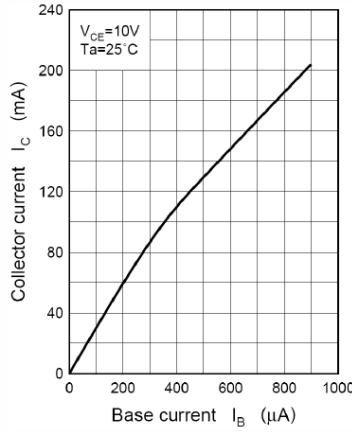
Sekil 5.7. VBE-IC karakteristiği.

IB-IC karakteristiği

Kollektör akımının beyz akımı ile değişimini ifade eden karakteristik eğridir. Transfer karakteristiği olarak da isimlendirilen bu eğri transistörün anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Eğriden, kollektör akımının beyz akımı ile doğru orantılı olarak neredeyse lineer bir şekilde değiştii gözlemlenmektedir. Bir transistörün kollektör akımı,

$$I_c = \beta \cdot I_b$$

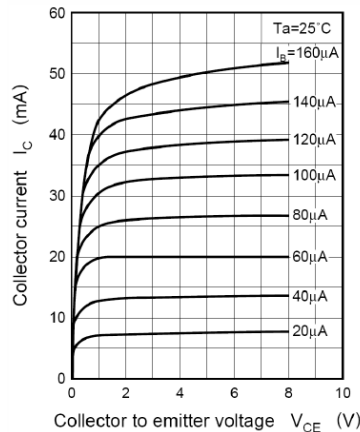
formülü ile ifade edilir. β değişkeni, transistörün doğru akım yükseltme katsayısını ifade eder ve her transistör için farklı bir değere sahiptir.



Sekil 5.8. IB-IC karakteristiği.

VCE-IC karakteristiği

Kollektör akımının kollektör-emiter gerilimi ile değişimini ifade eden karakteristik eğridir. ideal durumda beyz akımının sabit bir değeri için, IC akımının VCE geriliminden bağımsız olması istenir. Gerçekte ise IC akımının azda olsa VCE geriliminden etkilendiği şekil 5.9'da ki karakteristikten görölmektedir. IB akımının yüksek değerleri için bu etkilenme kendisini daha açık belli etmektedir. Bu değişim genellikle ihmal edilebilecek seviyede olup, kollektör akımının kaynak geriliminden bağımsız olduğu söylenebilir.



Sekil 5.9: VCE-IC karakteristiği.

Sonuç olarak, transistörün kollektör-emiter uçları arasından geçen akım beyz akımı ile kontrol edilir. Kollektör-emiter akımı transistörün ana terminallerine uygulanan kaynak geriliminden hemen hemen bağımsızdır.

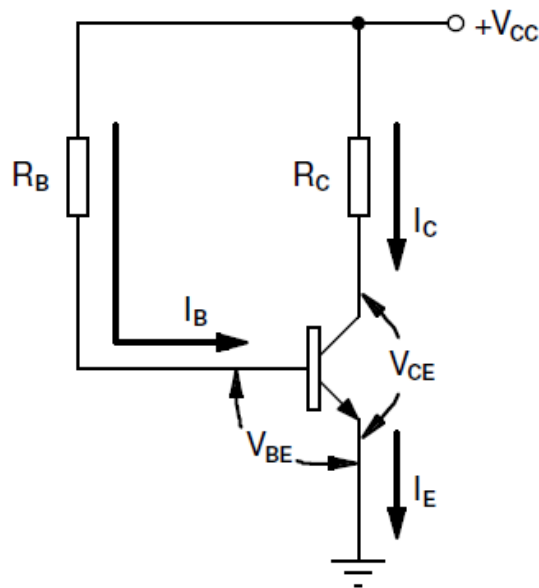
3.2. BJT transistörün kutuplanması

Transistörlerin anahtarlama veya yükseltme işlemlerini yerine getirebilmesi için, mutlaka belirli düzeyde akım ve gerilim sağlanmalıdır. Bu işlem “öngerilimleme” (biasing) olarak isimlendirilir. Öngerilimleme işlemi sonucunda, transistörün kollektör akımı ve kollektör-emiter gerilimi istenilen değerlerde seçilmiş olur. Seçilen bu akım ve gerilim değerleri, transistörün sükûnet halindeki “*Q* noktası” veya “*çalışma noktası*” olarak isimlendirilen çalışma şartlarını belirler. Sükûnet hali, transistörlü devrenin girişine herhangi bir işaret uygulanmadığı durumdur. *Q* noktasının seçimi transistörlü devrelerde önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu seçim transistörün devredeki kullanım amacına göre bir kez yapılır ve sonradan değişmemesi istenir. Bunun sebebi, *Q* noktasındaki değişimin istenmeyen sonuçlara sebep olmasıdır. *Q* noktasının değişmesinin birçok nedeni vardır. Besleme geriliminin veya transistöre bağlı direnç değerlerinin değişmesi, *Q* noktasını belirlenenden başka bir düzeye kaydırır. Besleme gerilimi ve direnç değerleri sabit kalsa dahi, sıcaklıktaki değişimler *Q* noktasının kayması için yeterli olmaktadır. Çünkü sıcaklığın transistör parametreleri üzerinde bazı istenmeyen etkileri vardır. Bu etkiler,

- 1- 1 °C’ lik sıcaklık artışında, beyz-emiter gerilimi 2,5 mV azalır.
- 2- 1 °C’ lik sıcaklık artışında, kaçak kollektör akımı 2 katına çıkar
- 3- Sıcaklık artışı, transistörün doğru akım kazancını (β) artırır.

Tüm bu değişimlerin ortak sonucu olarak, kollektör akımı artış eğilimine girer. Eğer önlem alınmadıysa sıcaklık arttıkça transistörün kollektör akımı da artacak ve *Q* noktası kayacaktır. Aynı seriden de olsa her transistör farklı β değerine sahiptir. Devredeki transistörün herhangi bir nedenle değiştirilmesi sonucu β değişebilir ve bu durum da *Q* noktasının kaymasına neden olabilir. Transistörün devredeki kullanım amacına bağlı olarak çeşitli öngerilimleme devreleri geliştirilmiştir. Burada bu devrelerden ikisini inceleyeceğiz.

Sabit öngerilimleme devresi



Şekil 5.10. Sabit öngerilimleme devresi.

Giriş devresi için,

$$V_{CC} = V_{RB} + V_{BE} = I_B \cdot R_B + V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

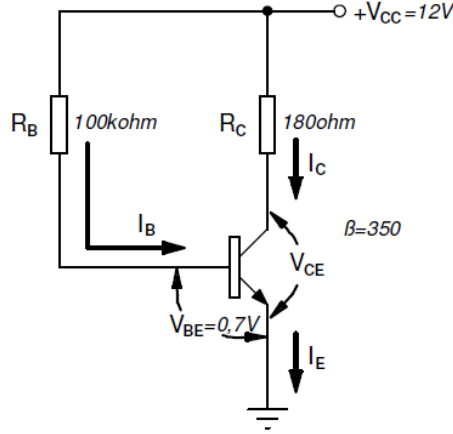
Çıkış devresi için,

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

eşitlikleri geçerlidir.

Sabit öngerilimleme devresinde, transistörün kollektör akımı ve buna bağlı olarak kollektör-emiter gerilimi β ' ya doğrudan bağlıdır. Sıcaklık veya transistör değişimi neticesinde β değeri değişeceğinden, kollektör akımı ve buna bağlı olarak da kollektör-emiter gerilimi değişecektir. Bunun anlamı ise, transistörün çalışma noktasının kayacağıdır. Bu durumu bir örnek ile açıklayalım.

Şekil 5.11'deki sabit öngerilimleme devresine ait çalışma noktasını belirleyelim.



Şekil 5.11. Sabit öngerilimleme devresi üzerinde voltaj ve akımlar.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0,7)V}{100k\Omega} = 0,113mA$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 350 \cdot (0,113mA) \approx 40mA$$

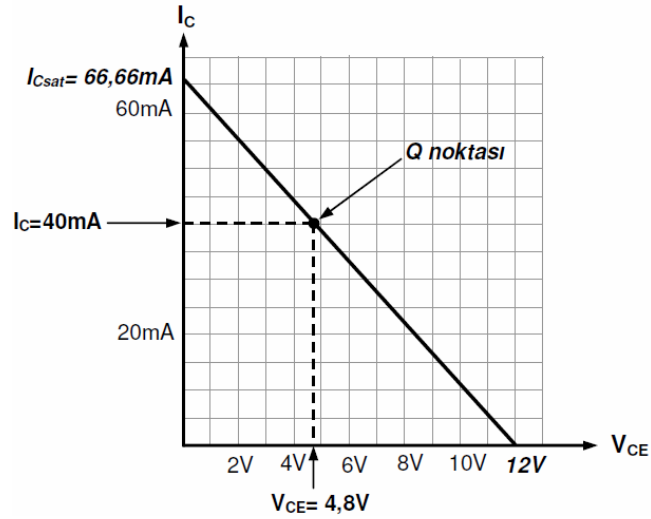
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 12 - (40mA \cdot 180\Omega) = 12 - 7,2 = 4,8V$$

Çalışma noktasını belirlemek üzere öncelikle VCE-IC eksenleri üzerine yük doğrusu çizilir. Yük doğrusu, besleme gerilimi ve transistörün çıkış devresindeki direnç veya dirençler tarafından belirlenir. Çalışma noktası bu doğru üzerinde herhangi bir bölgede seçilebilir. Bu doğrunun çizilebilmesi için iki noktaya ihtiyaç vardır. Bu noktalar,

$$1. \text{ nokta} \quad I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} \quad I_C = 0 \quad \leftrightarrow \quad V_{CE} = 12V$$

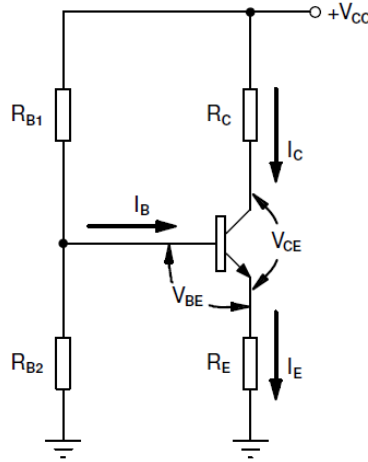
$$2. \text{ nokta} \quad V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = I_{Csat} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12V}{180\Omega} = 66,66mA \quad I_C = 66,66mA \quad \leftrightarrow \quad V_{CE} = 0$$

ICsat Devre şartlarına bağlı olarak transistörün maksimum kollektör akımını ifade eder. Şekil 5.12'de sabit öngerilimleme devresinin Q çalışma noktası gösterilmiştir.



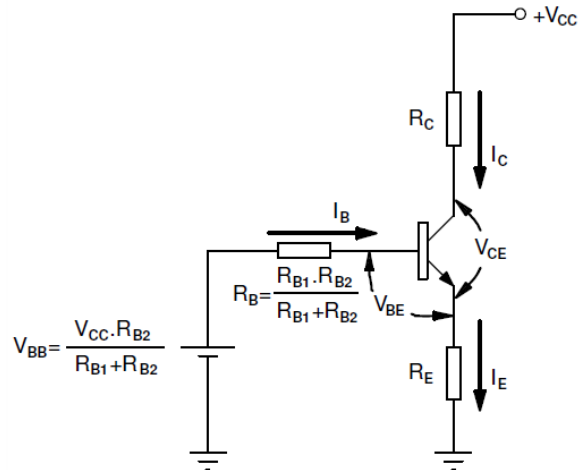
Sekil 5.12. Sabit öngerilimleme devresinin Q çalışma noktası.

Gerilim bölücülü öngerilimleme devresi



Sekil 5.13. Gerilim bölücülü öngerilimleme devresi.

Gerilim bölücülü öngerilimleme devresini analiz etmek amacıyla öncelikli olarak thevenin eşdeğerini çizmek gerekir.



Sekil 5.14. Gerilim bölücülü öngerilimleme devresinin thevenin eşdeğeri.

Giriş devresi için,

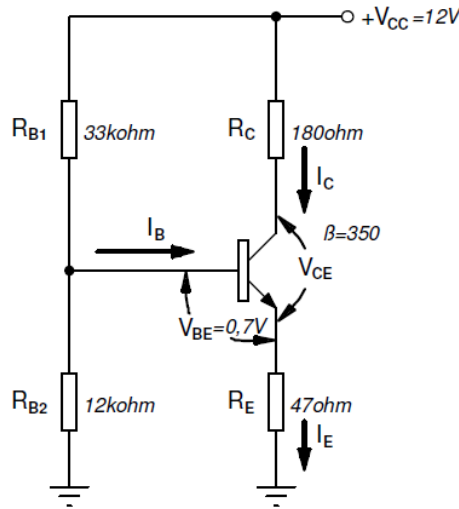
$$V_{BB} = V_{RB} + V_{BE} + V_{RE} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_E \cdot R_E = I_B \cdot R_B + V_{BE} + (\beta + 1)I_B \cdot R_E$$

$$V_{BB} = I_B [R_B + (\beta + 1)R_E] + V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

Çıkış devresi için,

$$V_{CC} = V_{RC} + V_{CE} + V_{RE} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_E \cdot R_E \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - (I_C \cdot R_C + I_E \cdot R_E)$$

eşitlikleri geçerlidir. Şekil 5.15'deki gerilim bölücülü öngerilimleme devresine ait çalışma noktasını belirleyelim.



Şekil 5.15. Gerilim bölücülü öngerilimleme devresi üzerinde voltaj ve akımlar.

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{12 \cdot 12}{33 + 12} = 3,2V$$

$$R_B = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{33 \cdot 12}{33 + 12} = 8,8k\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{3,2 - 0,7}{8,8 + (350 + 1)0,047} = \frac{2,5V}{25,3k\Omega} = 0,0988mA$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 350 \cdot (0,0988mA) = 34,58mA$$

$$I_E = I_C + I_B = 34,58 + 0,0988 = 34,6788mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C \cdot R_C + I_E \cdot R_E) = 12 - [(34,58 \cdot 180) + (34,678 \cdot 47)] = 12 - 7,85 = 4,15V$$

Yük doğrusunun çizimi için kullanılacak noktalar,

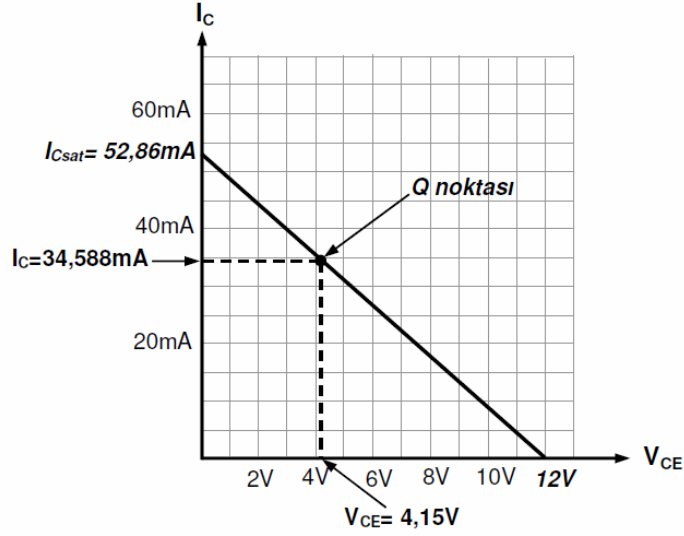
1. nokta $I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC}$

$I_C = 0 \Leftrightarrow V_{CE} = 12V$

2. nokta $V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = I_{Csat} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{12V}{(180 + 47)\Omega} = 52,86mA$

$I_C = 52,86mA \Leftrightarrow V_{CE} = 0$

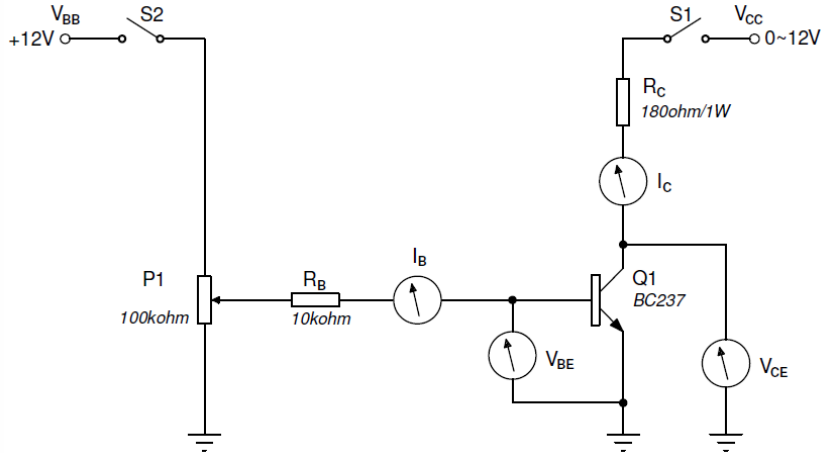
Şekil 5.12'de gerilim bölücülü öngerilimleme devresinin Q çalışma noktası gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Gerilim bölücülü öngerilimleme devresinin Q çalışma noktası.

4. DENEYİN YAPILIŞI

4.1. BJT Transistörün karakteristiğinin çıkarılması



Şekil 5.17. Diyot voltaj-akım karakteristiği uygulama devresi.

Deneyin Yapılışı:

- 1-Şekil 5.17’de verilen devreyi deney bordu üzerine kurunuz.
- 2- S1 ve S2 anahtarlarını kapatarak devreye enerji veriniz. VCC gerilimini 12V’ a ayarlayınız.
- 3- P1’ in milini minimumdan maksimuma doğru çevirerek düzenli aralıklarla (örneğin IB akımı 25µA aralıklı artacak şekilde) VBE, IB ve IC ve değerlerini gözlemleyin. Sonuçları gözlem tablosuna kaydediniz.
- 4- P1’ in belli bir konumundan sonra IB akımı artsa dahi IC akımının neredeyse sabit kaldığına dikkat ediniz. IC’nin sabit kaldığı bu değeri **ICsat** olarak isimlendirilir. **ICsat**, transistörden bağımsız olup, besleme gerilimine ve kollektöre bağlı olan RC direncinin değerine bağlıdır. $ICsat = VCC/RC = 12V/180 = 0,066A = 66mA$

5- Gözlem tablosundaki değerleri kullanarak V_{BE} - I_B , V_{BE} - I_C ve I_B - I_C karakteristik eğrilerini çiziniz.

6- P1 yardımıyla I_B akımını $25\mu A$ ' e ayarlayıp sabit bırakınız.

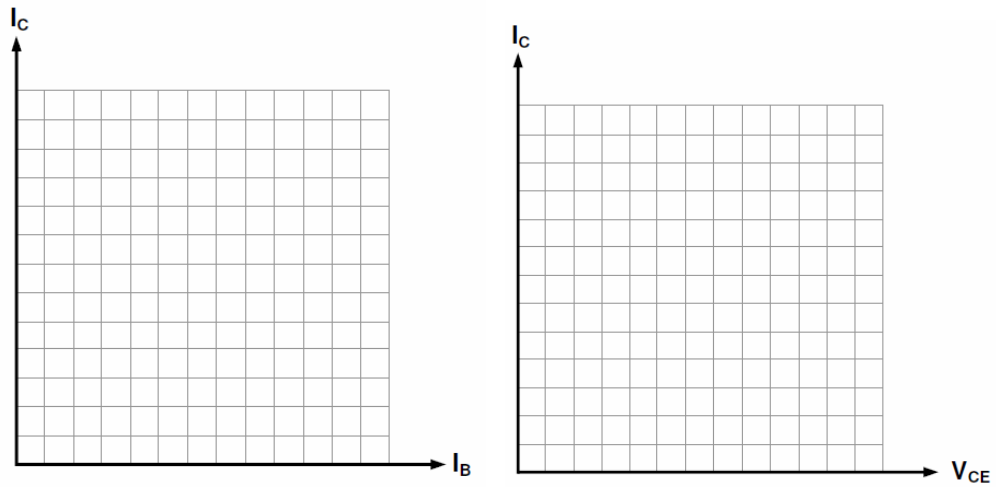
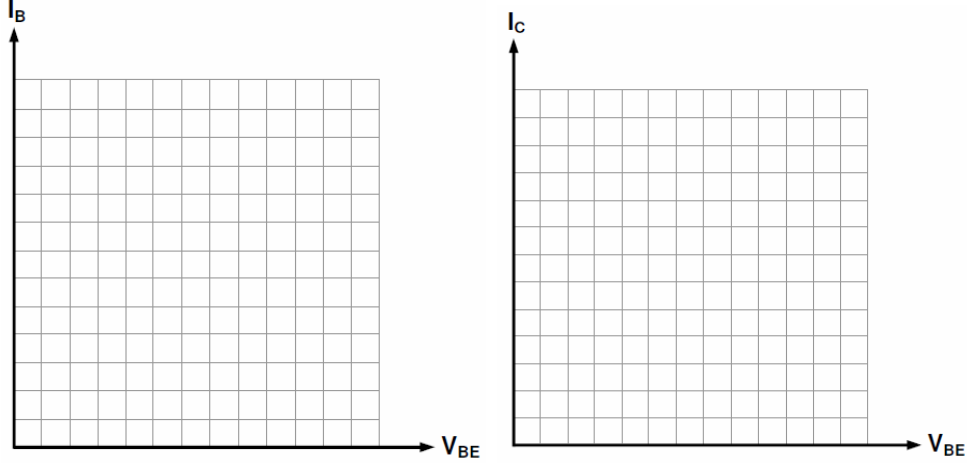
7- V_{CC} gerilimini 0' dan $12V$ ' a doğru düzenli aralıklarla artırıp, V_{CE} ve I_C değerlerini gözlemleyiniz. Sonuçları gözlem tablosuna kaydediniz.

8- I_B akımının $50\mu A$, $75\mu A$ ve $100\mu A$ değerleri için aynı işlemleri tekrarlayınız.

9- Gözlem tablosundaki değerleri kullanarak V_{CE} - I_C karakteristik eğrilerini çiziniz.

Gözlem Tablosu:

| $V_{CE}= 12V$ sabit | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| V_{BE} | | | | | | | | | | | | |
| I_B | 0 | $25\mu A$ | $50\mu A$ | $75\mu A$ | $100\mu A$ | $125\mu A$ | $150\mu A$ | $175\mu A$ | $200\mu A$ | $225\mu A$ | $250\mu A$ | $275\mu A$ |
| I_C | | | | | | | | | | | | |
| $\beta=I_C/I_B$ | | | | | | | | | | | | |



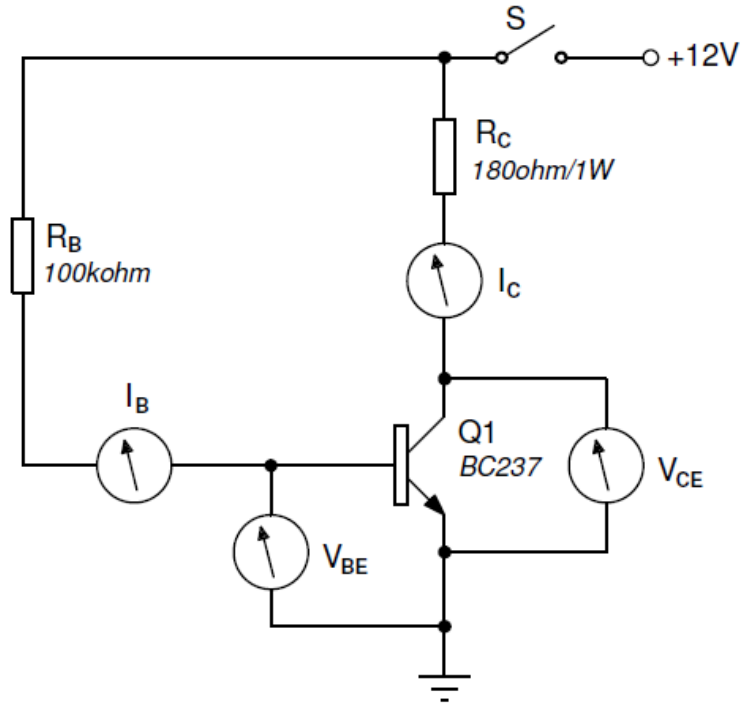
| I _B = 25μA sabit | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| V _{CE} | | | | | | | | | | | | |
| I _C | | | | | | | | | | | | |

| I _B = 50μA sabit | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| V _{CE} | | | | | | | | | | | | |
| I _C | | | | | | | | | | | | |

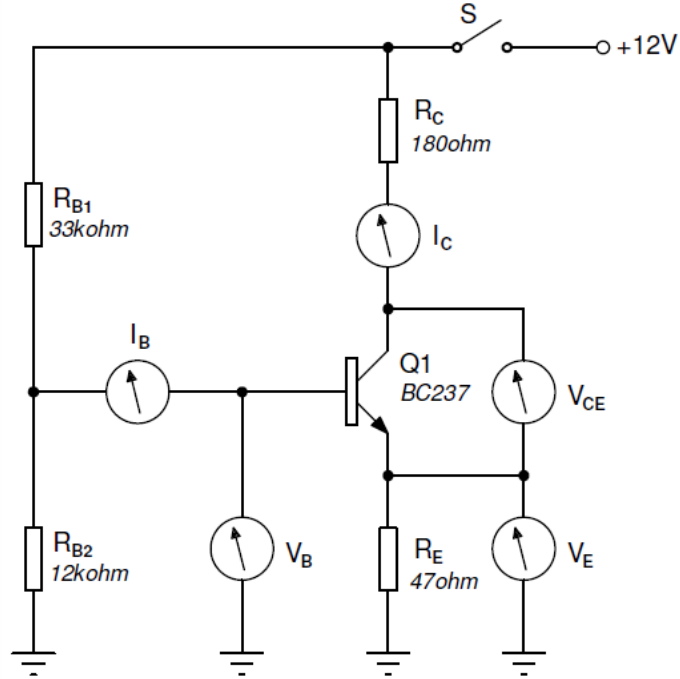
| I _B = 75μA sabit | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| V _{CE} | | | | | | | | | | | | |
| I _C | | | | | | | | | | | | |

| I _B = 100μA sabit | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| V _{CE} | | | | | | | | | | | | |
| I _C | | | | | | | | | | | | |

4.2. BJT transistörün kutuplama devreleri



Şekil 5.18. Sabit öngerilimleme devresi.



Şekil 5.19. Gerilim bölücülü öngerilimleme devresi.

Deneyin Yapılısı:

Sabit Öngerilimleme Devresi (Şekil 5.18.)

1-Şekil 5.18'deki devreyi deney bordu üzerine kurunuz.

2- S anahtarını kapatılarak devreye enerji veriniz.

3- V_{BE}, I_B, I_C, ve V_{CE} değerlerini ölçerek sonuçları gözlem tablosuna kaydediniz.

Gerilim Bölücülü Öngerilimleme Devresi (Şekil 5.19.)

4- Şekil 5.19'deki devreyi deney bordu üzerine kurunuz.

5- S anahtarını kapatılarak devreye enerji verin.

6- V_B, I_B, I_C, V_E ve V_{CE} değerlerini ölçerek sonuçları gözlem tablosuna kaydedin.

| | Şekil 5.18. | Şekil 5.19. |
|---------------------|-------------|-------------|
| V _{BE} | | |
| I _B | | |
| I _C | | |
| V _{CE} | | |
| $\beta = I_C / I_B$ | | |

5. DENEY RAPORUNDA İSTENENLER

1. Transistörün kullanım alanları hakkında bilgi veriniz.
2. BJT transistörün diğer aktif elemanlara (FET, OPAMP, JFET) göre üstün veya zayıf olduğu noktaları açıklayınız .
3. Transistörün Q çalışma noktasını yorumlayınız.