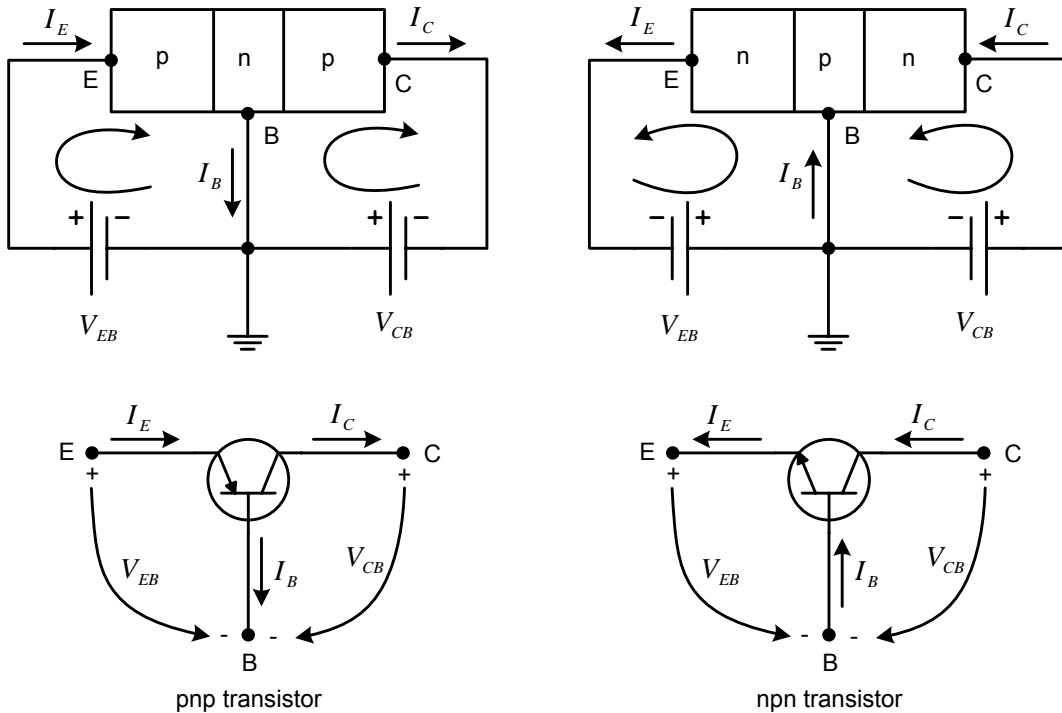


3. İKİ KUTUPLU JONKSİYON TRANSİSTORLARI (BJT)

Transistor ya iki n- ve bir p- tipi malzeme tabakasından veya iki p- ve bir n- tipi malzeme tabakasından oluşan üç katmanlı yarı iletken bir elemandır. İlkine npn, ikincisine pnp transistorü denir. Üç uçlu bir eleman olup, bu uçlar, kollektör, emetör ve baz olarak adlandırılır.

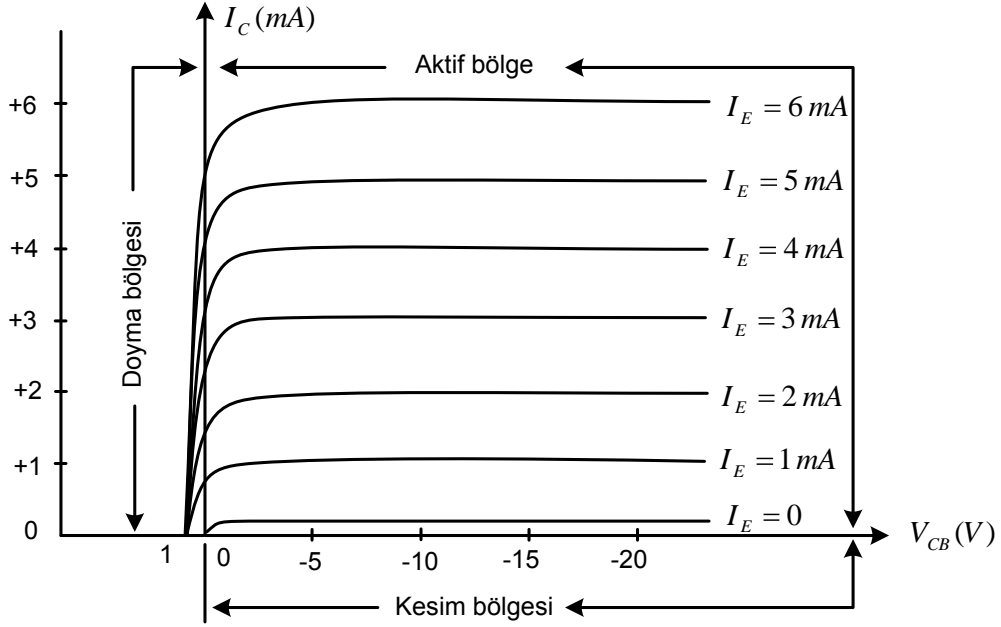
3.1 Ortak bazlı devre

Bu tip devrelerde baz ucu, devrenin giriş ve çıkışı için ortaktır. Ortak bazlı devrelerde uygulanan potansiyeller, baz potansiyeline göre V_{EB} ve V_{CB} şeklinde yazılırlar. Yani indisin ikinci harfi daima transistorun devre tipini belirtir. Her durumda indisin ilk harfi daima yüksek potansiyeli tanımladığı için, pnp transistoru için V_{EB} pozitif, V_{CB} negatif, npn transistoru için ise V_{EB} negatif, V_{CB} pozitif olduğu şekil 3.1 de gösterilmiştir. Ortak bazlı pnp transistorun davranışını temsil etmek için iki grup karakteristik gereklidir. Bunlar, "Sürme noktası"(giriş) ve "kollektör"(çıkış) grubudur. Şekil 3.2 deki çıkış veya kollektör karakteristiği, kollektör (çıkış) akımını, kollektör-baz gerilimine ve emetör (giriş) akımına ilişkilendirir.



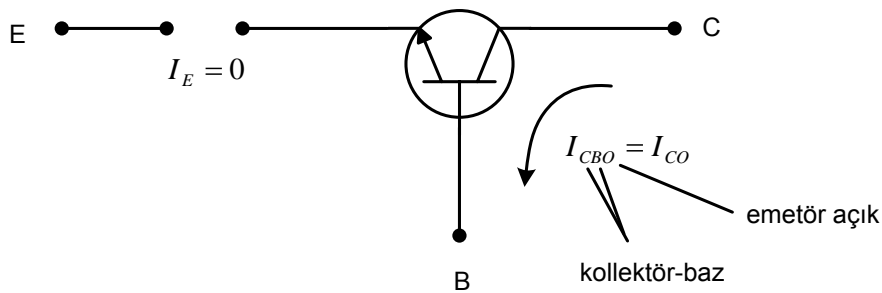
Şekil 3.1

Kollektör karakteristiğinin üç temel bölgesi vardır; iletim, kesim, doyma. İletim bölgesinde kollektör jonksiyonu ters yönde, emetör jonksiyonu ise ileri yönde öngerilimlenmiştir.



Şekil 3.2 Ortak bazlı devrenin kollektör(çıkış) karakteristiği

Emetör akımı (I_E) sıfır düzeyindeyken, kollektör akımı ters doyma akımı I_{CO} dan oluşmaktadır. I_{CO} akımı, şekil 3.2 den de görüldüğü üzere, I_C nin düşey eksen ölçeğine (miliamper) göre o kadar çok küçüktür ki (mikroamper), $I_C = 0$ ile aynı yatay eksen de görülmektedir. Ortak bazlı devrelerde $I_E = 0$ durumundaki I_{CO} akımı çoğunlukla I_C olarak gösterilir(şekil 3.3).



Şekil 3.3

Sabit V_{CB} değerleri için, I_C deki küçük bir değişimin I_E deki küçük bir değişime oranı, ortak bazlı kısa devre yükseltme faktörü adıyla anılır ve aşağıdaki gibi α ile gösterilir.

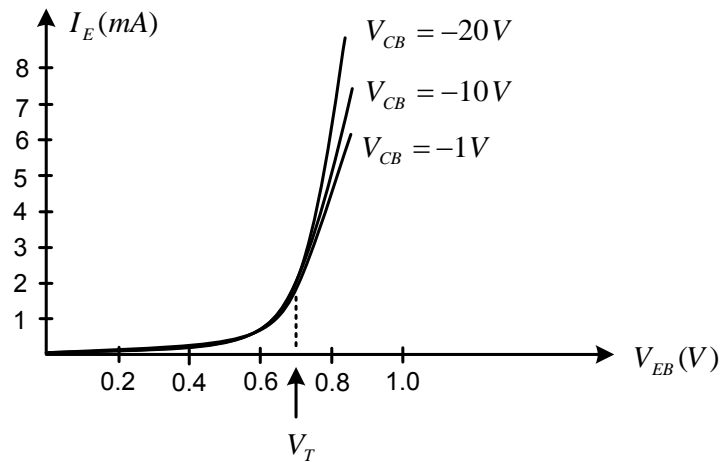
$$\alpha = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right|_{V_{CB}=\text{sabit}}$$

Kısa devre terimi α belirlendiği anda yükün kısa devre yapıldığını gösterir. Tipik α değerleri 0,90 ve 0,998 arasındadır. Pratik uygulamaların çoğunda aşağıdaki formülle yaklaşık olarak elde edilir.

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

Emetör akımı sıfırın üzerinde çıkınca kollektör akımı yaklaşık olarak emetör akımını izler. Ayrıca V_{CB} nin, iletim bölgesinde kollektör akım üzerinde neredeyse ihmal edilebilir bir etkisi vardır. Eğrilerden de görüleceği üzere iletim bölgesinde I_C ve I_E arasındaki ilişki $I_C \cong I_E$ olarak ifade edilebilir.

Şekil 3.4 deki $I_E - V_{EB}$ giriş karakteristiğinde, kollektörün sabit V_{CB} geriliminde bulunması durumunda, emetör-baz potansiyeli arttıkça emetör akımı da artmaktadır. DC çalışmada ileri öngerilimli baz-emetör jonksiyonu için V_{EB} yaklaşık olarak 0,7 V ele alınacaktır.



Şekil 3.4 Ortak bazlı devrenin sürme noktası (giriş) karakteristiği

Örnek: Yukarıdaki karakteristikleri kullanmak suretiyle;

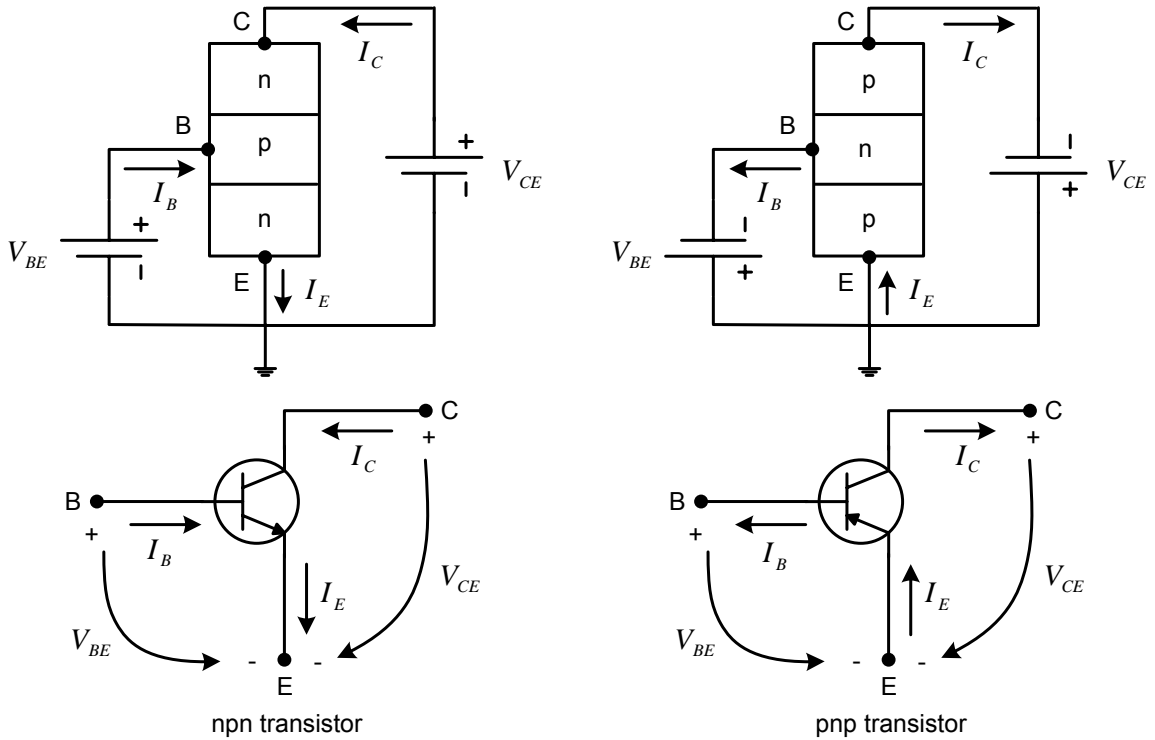
- $I_E = 3 \text{ mA}$ ve $V_{CB} = -10 \text{ V}$ olursa akacak olan I_C kollektör akımını bulunuz.
- $V_{EB} = 750 \text{ mV}$ ve $V_{CB} = -10 \text{ V}$ olursa akacak olan I_C kollektör akımını bulunuz.
- $I_C = 5 \text{ mA}$ ve $V_{CB} = -1 \text{ V}$ için V_{EB} gerilimini bulunuz.

Çözüm:

- $I_C = I_E = 3 \text{ mA}$
- İkinci (giriş) karakteristiklerinde $V_{EB} = 750 \text{ mV}$ ve $V_{CB} = -10 \text{ V}$ un kesişme noktası $I_E = 3.5 \text{ mA}$, böylece $I_C = I_E = 3.5 \text{ mA}$ bulunur.
- $I_C = I_E = 5 \text{ mA}$. Giriş karakteristiğinde $I_E = 5 \text{ mA}$ ve $V_{CB} = -1 \text{ V}$ un kesişme noktası da $V_{EB} = 800 \text{ mV} = 0.8 \text{ V}$ bulunur.

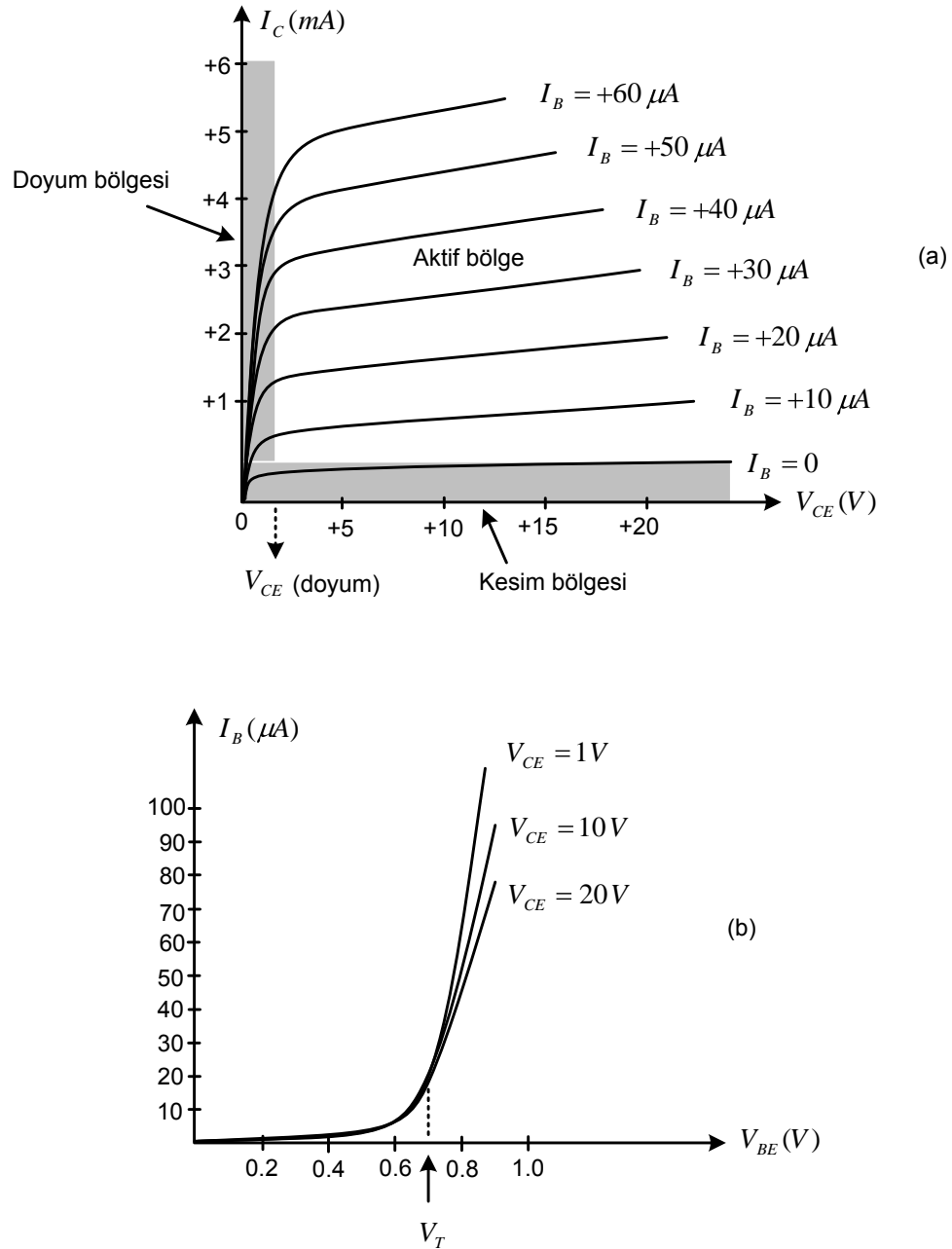
3.2 Ortak emetörlü devre

Şekil 3.5 de gösterildiği gibi, emetörün, hem giriş hem de çıkış uçlarında ortak olması nedeniyle bu tip devreye ortak emetörlü devre denir.



Şekil 3.5 Ortak emetörlü devre

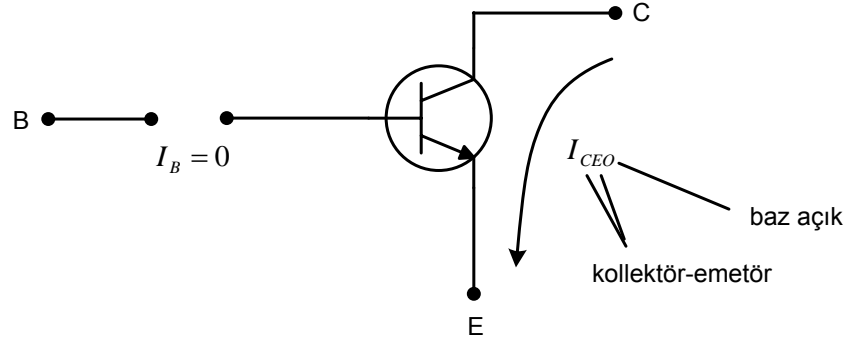
Ortak emetörlü devrenin çıkış karakteristiği, şekil 3.6(a) da gösterildiği gibi, (I_B) giriş akımının değer aralığı için, (I_C) çıkış akımının, (V_{CE}) çıkış gerilimine göre grafiği olacaktır. Giriş karakteristikleri ise, yine şekil 3.6(b) de gösterildiği gibi, (V_{CE}) çıkış geriliminin değer aralığı için, (I_B) giriş akımının (V_{BE}) giriş gerilimine göre grafiği olacaktır.



Şekil 3.6 Ortak emetörlü devrenin (a)çıkış ve (b)giriş karakteristikleri

Ortak emetörlü devrenin yükseltme faktörü β ile gösterilir ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

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



Şekil 3.7

Transistor maksimum anma değerleri olarak en az üç maksimum anma değerinden bahsedilir. Bunlar;

- Kollektör kaybı $P_{C\max}(mW)$
- Kollektör gerilimi $V_{CE\max}(V)$ (Ortak emetörlü devre için)
- Kollektör akımı $I_{C\max}(mA)$

Güç veya kayıp anma değeri, kollektör gerilimi ve kollektör akımının çarpımından oluşur. Kollektör kaybı, ortak emetörlü ve ortak bazlı devre için devre için aşağıdaki gibi verilir.

$$P_{C\max} = V_{CE} \cdot I_C$$

$$P_{C\max} = V_{CB} \cdot I_C$$

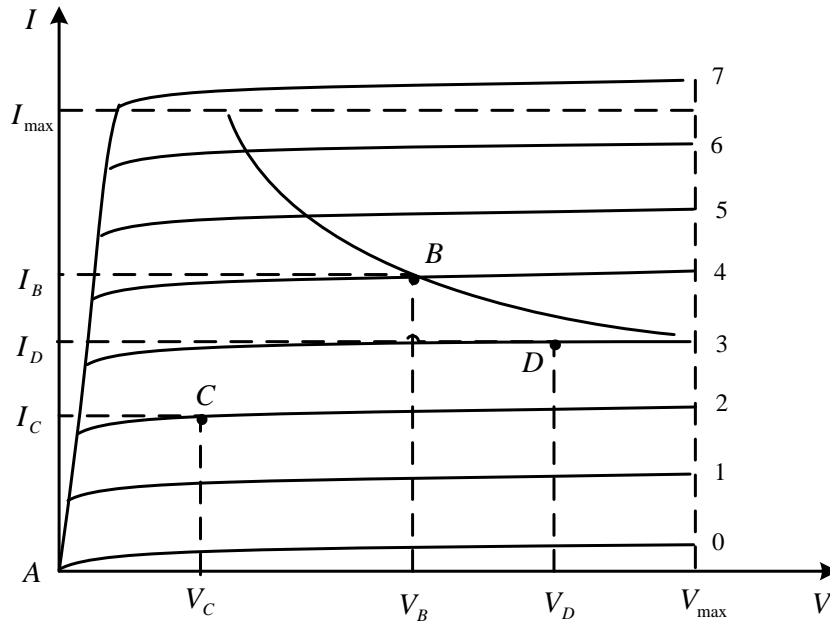
3.3 DC öngerilimlemede BJT ler

BJT lerin gerilim ve akım yükseltme veya kontrol(açma-kapama) elemanı olarak kullanabilmek için önce transistorun öngerilimlenmesi gerekir. Öngerilimlemenin nedeni genelde transistoru açık duruma getirmek ve özelde transistoru karakteristiğinin en doğrusal çalıştığı bir bölgesinde çalıştırmaktır.

DC öngerilimleme, transistordan sabit bir akım geçirmek ve transistor üzerinde istenilen bir sabit gerilim düşümü sağlamakla ilgili olduğundan, bu statik bir işlemdir.

Öngerilimlemenin amacı, çalışma noktası(sükûnet veya Q) denen belli bir düzeyde akım ve gerilim sağlamak olduğundan, bu noktanın, transistor karakteristiği üzerinden nasıl seçildiği önemlidir.

Öngerilimleme devresi, transistorun şekil 3.8 de verilen çalışma noktalarından herhangi birinde veya çalışma bölgesinin herhangi bir noktasında çalışmasını sağlayacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Çalışma bölgesi, söz konusu transistorün akım veya gerilim yönünden maksimum sınırlar içindeki alanıdır. Bu sınırlar şekilde V_{max} ve I_{max} ile belirlenmiştir. Bu çalışma noktalarından B noktası doğrusal kazanç veya mümkün olan en büyük gerilim ve akım salınımı açısından en iyi çalışma noktası olarak görünür.



Şekil 3.8 Transistorun çalışma bölgeleri

Sıcaklık, transistor akım kazancı ve transistor kaçak akımı gibi transistor karakteristiklerinin değişmesine yol açar. Bu nedenle öngerilim devresinin, devreye belli bir oranda "sıcaklık kararlılığı" sağlayarak transistordeki sıcaklık değişimlerinin çalışma noktasında yarattığı değişmeyi en aza indirmelidir. Çalışma noktasının bu şekilde korunması "kararlılık faktörü(S)" gibi bir parametre ile belirtilebilir. Bu, çalışma noktası akımında sıcaklığa bağlı değişmeyi gösterir.

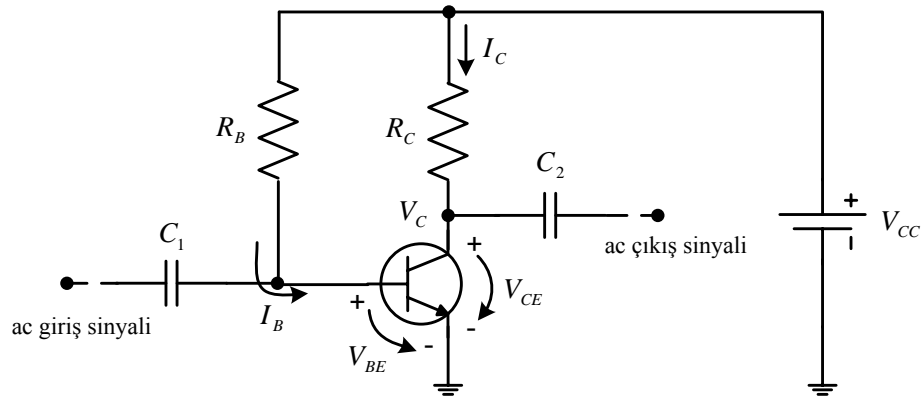
➤ BJT nin doğrusal veya aktif çalışma bölgesinde;

Baz-emetör ileri öngerilimlenir, baz-kollektör ters öngerilimlenir.

- BJT nin kesim bölgesinde;
Baz-emetör ters öngerilimlenir.
- BJT nin doyum bölgesinde;
Baz-emetör ileri öngerilimlenir, baz-kollektör ileri öngerilimlenir.

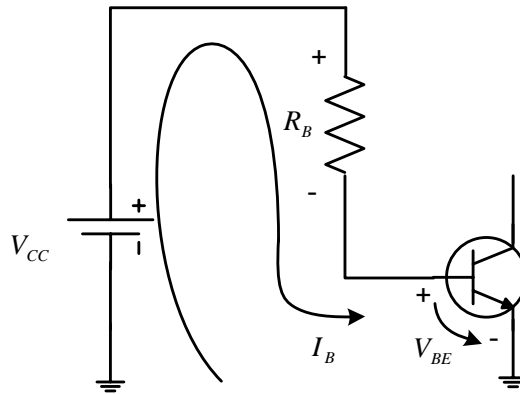
3.4 Sabit öngerilimli devre

BJT nin öngerilimlenmesi baz-emetör ve baz-kollektör dc öngerilimleme çevre denklemleri ayrı ayrı ele alınarak analiz edilir. Aşağıdaki devrede transistorün baz ve kollektörünün dc öngerilim akım ve gerilimlerinin nasıl bulunduğunu inceleyelim.



Şekil 3.9 Ortak emetörlü sabit öngerilimli transistor devresi

Baz-emetör ileri öngerilimlenmesinde, baz-emetör devresine ait çevre denklemi, şekil 3.10 dan da görüleceği üzere aşağıdaki denklem yazılabilir.



Şekil 3.10 Baz-emetör devresi çevresi

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

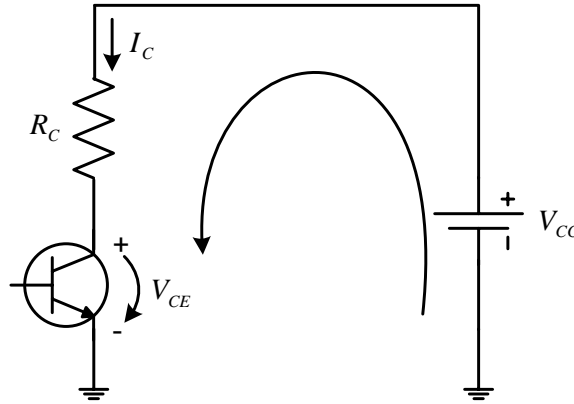
Bu denklemden I_B baz akımı çekilerek aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

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

Kaynak gerilimi V_{CC} ve baz-emetör gerilimi V_{BE} sabit gerilim değerleri olduğundan, bir baz öngerilim direncinin seçilmesi, baz akımının değerini sabit tutar. Çoğu durumda $V_{CC} \gg V_{BE}$

olduğundan, $I_B \cong \frac{V_{CC}}{R_B}$ yazılabilir.

Baz-kollektör ileri öngerilimlenmesinde, kollektör-emetör devresi çevre denklemi şekil 3.11 den de görüleceği üzere aşağıdaki gibi yazılabilir.



Şekil 3.11 Kollektör-emetör devresi çevresi

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

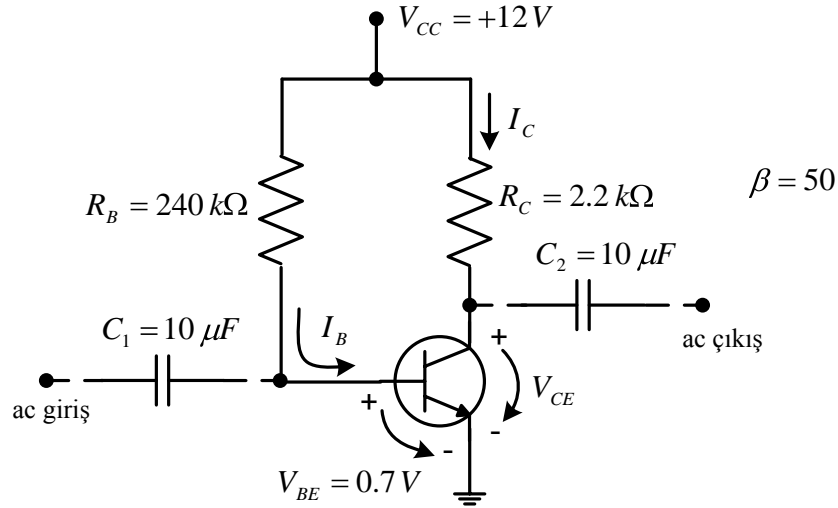
Bu denklemden V_{CE} kollektör-emetör gerilimini çekilerek aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

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

$I_E = I_C + I_B$ olup, I_B akımı da, I_C ve I_E ye göre çok küçük olduğundan, $I_E \cong I_C$ yazılabilir. Transistor akım kazancı β veya h_{FE} , daha önce ifade edildiği gibi, $\beta = \frac{I_C}{I_B} = h_{FE}$ olarak verilmişti.

Devrenin analiz yöntemi: Baz akımı biraz önce yazılan $I_B = V_{CC} / R_B$ denkleminde elde edilir. Daha sonra $\beta = I_C / I_B$ bağıntısı ile I_C akımı ve daha sonrada $V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C$ denklemi ile V_{CE} kollektör-emetör gerilimi elde edilir.

Örnek: Şekil 3.12 deki devrede dc öngerilimleme gerilim ve akımını bulunuz.



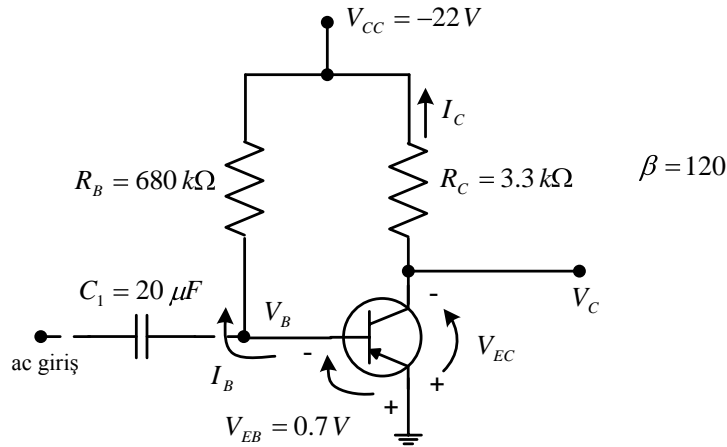
Şekil 3.12

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0.7) V}{240 k\Omega} = 47.08 \mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 50 \times 47.08 \mu A = 2.35 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 V - 2.2 k\Omega \times 2.35 mA = 6.83 V$$

Örnek: Şekil 3.13 deki devrede V_C kollektör gerilimi ve I_C kollektör akımını bulunuz.



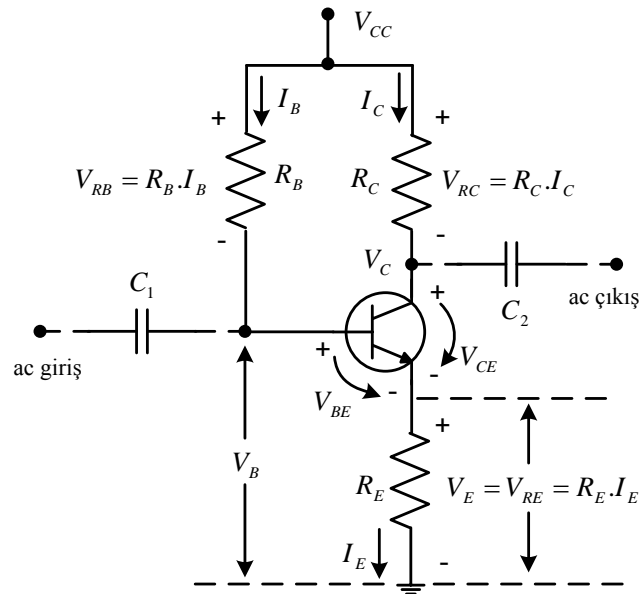
Şekil 3.13

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(22 - 0.7)V}{680 k\Omega} = 31.32 \mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 120 \times 31.32 \mu A = 3.76 mA$$

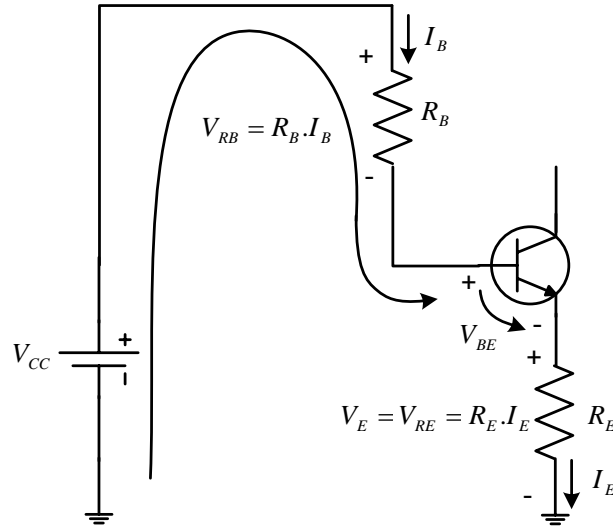
$$V_C = V_{CE} = -(V_{CC} - R_C \cdot I_C) = -[22 V - 3.3 k\Omega \times 3.76 mA] = -9.6 V$$

3.5 Emetörü dirençli dc öngerilimleme devresi



Şekil 3.14 Emetörü dirençli dc öngerilimleme devresi

Bu devreye ait baz-emetör çevre denklemini şekil 3.15 deki devreden yazacak olursak,



Şekil 3.15 Baz-emetör çevresi

$$-V_{CC} + R_B \cdot I_B + V_{BE} + R_E \cdot I_E = 0$$

Aynı zamanda $I_E = I_C + I_B$ ve $I_C = \beta \cdot I_B$ idi. Bu durumda $I_E = \beta \cdot I_B + I_B = (\beta + 1) \cdot I_B$ olur.

Bu ifadeyi yukarıdaki denklemde yerine koyacak olursak,

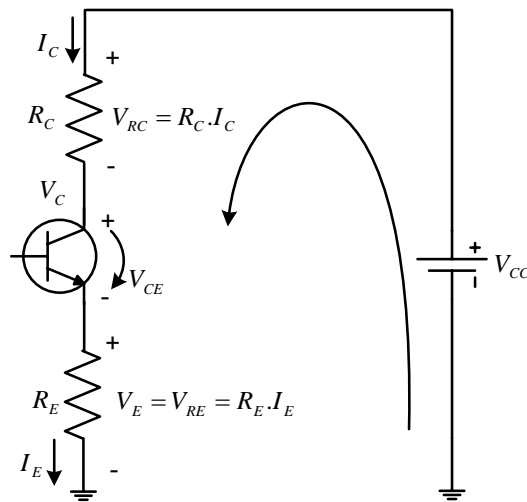
$$-V_{CC} + R_B \cdot I_B + V_{BE} + R_E \cdot (\beta + 1) \cdot I_B = 0$$

ifadesini elde ederiz. Buradan I_B baz akımını çekecek olursak,

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

ifadesini elde ederiz. $I_C = \beta \cdot I_B$ bağıntısını kullanmak suretiyle de I_C kollektör akımını bulabiliriz.

Bu devreye ait kollektör-emetör çevre denklemini şekil 3.16 daki devreden yazacak olursak,



Şekil 3.16 Kollektör-emetör çevresi

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

$I_E \cong I_C$ idi. Bu bağıntıyı yukarıdaki denklemde kullanırsak aşağıdaki sonuca geliriz.

$$V_{CE} \cong V_{CC} - (R_C + R_E) \cdot I_C$$

Son ifadeyi başka yoldan giderek hesaplayacak olursak emetörden toprağa ölçülen gerilim,

$$V_E = R_E \cdot I_E \cong R_E \cdot I_C$$

olarak yazılabilir. Aynı zamanda kollektörden toprağa ölçülen gerilim için de,

$$-V_{CC} + R_C \cdot I_C + V_C = 0$$

ifadesini yazabiliriz. Bu ifadeden V_C kollektör gerilimini çekecek olursak,

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

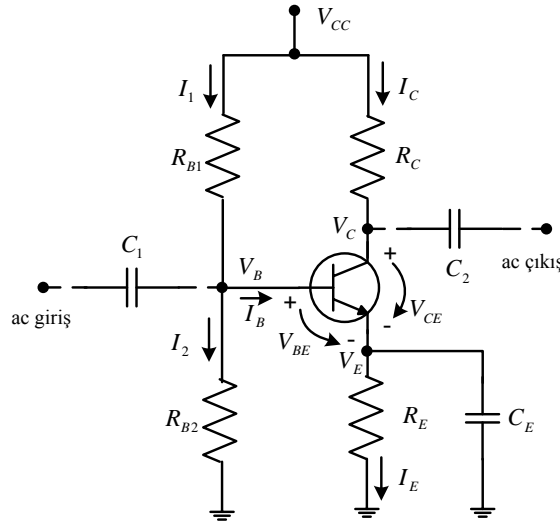
İki nokta arasındaki potansiyel farkına ait ifadeden de aşağıdaki sonucunu elde edebiliriz.

$$V_{CE} = V_C - V_E = V_{CC} - R_C \cdot I_C - R_E \cdot I_C = V_{CC} - (R_C + R_E) \cdot I_C$$

Açıklama: BJT nin dc öngerilimlenmesine bir emetör direncinin ilave edilmesi kararlılığı artırır. Yani, sıcaklık, kaynak gerilimi ve β değişse bile, dc öngerilim akım ve gerilimleri devre tarafından belirlenen değerlere yakın kalır.

3.6 Beta(β) dan bağımsız dc öngerilimleme devresi (Yaklaşık Analiz)

Daha önce incelediğimiz öngerilim değerlerinde kollektörün öngerilim akım ve gerilim değerleri, transistorün akım kazancına(β) bağılıydı. Ancak β değeri, özellikle silisyum transistorlerde sıcaklığa karşı duyarlıdır. Ayrıca β nın anma değeri de iyi tanımlanmış olmadığından, bu ve başka nedenlerden dolayı(transistorün bir başka transistorle değiştirilmesi), transistorün β değerinden bağımsız bir dc öngerilim devresi tasarımı gerekir. Şekil 3.17 deki devre, bu gereksinimleri karşılayan bir devredir.



Şekil 3.17 Beta(β) dan bağımsız dc öngerilimleme devresi

Bazı gören $R_{giriş}$ direnci, R_{B2} direncinden çok büyükse, baz gerilimi R_{B1} ve R_{B2} gerilim bölücü dirençler tarafından belirlenir.

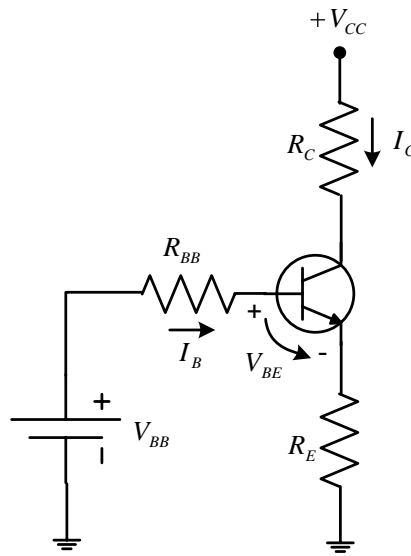
$$I = \frac{V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}} \text{ ve } I = \frac{V_B}{R_{B2}}$$

$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC}$ (Baz toprak gerilimi olup, gerilim bölücü devresi ve kaynak tarafından belirlenir)

Tam Analiz

Gerilim bölücünün Thevenin eşdeğeri kullanılarak tam analiz yapılabilir. Buna göre R_{B1} ve R_{B2} dirençlerinin Thevenin R_{BB} eşdeğer direnci ve V_{BB} eşdeğer gerilimi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$R_{BB} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad \text{ve} \quad V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC}$$



Böylece analiz edilecek devre yukarıdaki gibi yeniden çizilebilir. Bu devre üzerinde baz-emetör çevre denklemi yazılmak suretiyle I_B baz akımı, ardından da bu değer akım kazancı ile çarpılmak suretiyle $I_C = \beta I_B$ kollektör akımı elde edilir.

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

Ardından da kolektör-emetör çevre denklemini yazmak suretiyle V_{CE} kolektör emetör gerilimi elde edilir.

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

Örnek: Şekil 3.17 deki devrede $V_{CC} = 22\text{ V}$, $V_{BE} = 0.7\text{ V}$, $\beta = 140$, $R_{B1} = 39\text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 3.9\text{ k}\Omega$, $R_C = 10\text{ k}\Omega$, $R_E = 1.5\text{ k}\Omega$, $C_1 = C_2 = C_E = 50\text{ }\mu\text{F}$ olduğuna göre I_C akımı ile V_{CE} gerilimini önce yaklaşık analiz ardından tam analiz ile hesaplayınız.

Çözüm:

a.) Yaklaşık analiz ile devre aşağıdaki gibi çözülür.

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} = \frac{3.9}{39 + 3.9} \cdot (22) = 2\text{ Volt}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2\text{ V} - 0.7\text{ V} = 1.3\text{ Volt}$$

$$I_C = I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.3\text{ V}}{1.5\text{ k}\Omega} = 0.867\text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 22 - (0.867\text{ mA})(10\text{ k}\Omega) = 13.33\text{ Volt}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 13.33\text{ V} - 1.3\text{ V} = 12.03\text{ Volt}$$

Tam analiz ile devre aşağıdaki gibi çözülür.

$$R_{BB} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{39 \times 3.9}{39 + 3.9} = 3.55\text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} = \frac{3.9}{39 + 3.9} \cdot 22 = 2\text{ Volt}$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta)R_E} = \frac{2\text{ V} - 0.7\text{ V}}{3.55\text{ k}\Omega + 141 \times (1.5\text{ k}\Omega)} = 6.05\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 140 \times 6.05\text{ }\mu\text{A} = 0.85\text{ mA} \cong I_E$$

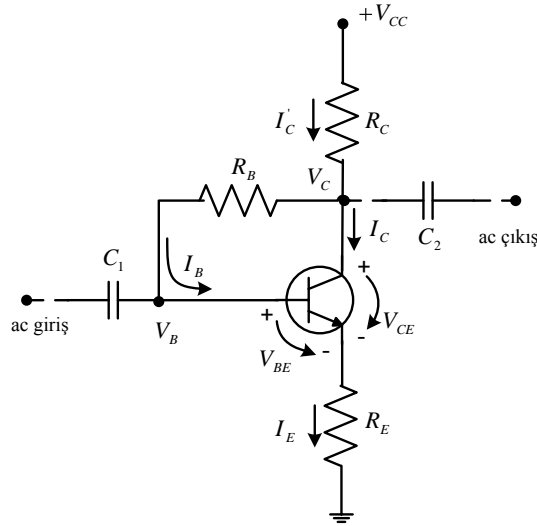
$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) \cdot I_C = 22\text{ V} - 0.85\text{ mA} \times (10\text{ k}\Omega + 1.5\text{ k}\Omega) = 22\text{ V} - 9.8\text{ V} = 12.2\text{ V}$$

Tam ve yaklaşık analiz sonuçlarını kıyaslayacak olursak aşağıdaki sonuçları elde ederiz.

	$I_C\text{ (mA)}$	$V_{CE}\text{ (V)}$
Yaklaşık analiz	0.867	12.03
Tam analiz	0.85	12.2

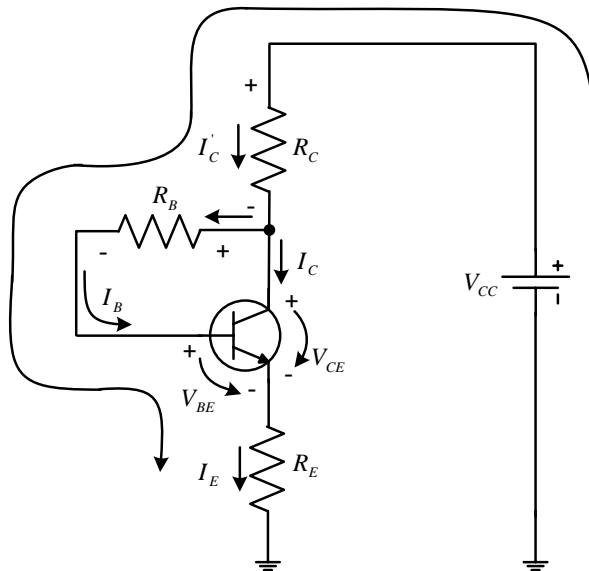
3.7 Geri beslemeli dc öngerilimleme devresi

Emetöre direnç bağlanmasının yanısıra, geribesleme yapmak suretiyle de öngerilimleme kararlılığı artırılabilir. Şimdi ise, şekil 3.19 da verilen bu tarz bir geri beslemeli dc öngerilim devresi incelenip, dc akım ve geriliminin nasıl hesaplanacağı gösterilecektir.



Şekil 3.19 Geri beslemeli dc öngerilimleme devresi

Şekil 3.20 den, baz-emetör çevresini inceleyecek olursak;



Şekil 3.20 Geri beslemeli dc öngerilimleme devresine ait baz-emetör çevresi

$$-V_{CC} + R_C \cdot I_C' + R_B \cdot I_B + V_{BE} + R_E \cdot I_E = 0$$

$$I'_C = I_C + I_B = I_E = \beta I_B + I_B = (\beta + 1)I_B$$

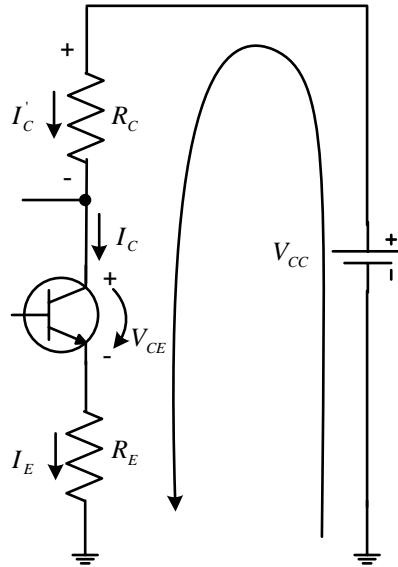
I'_C ve I_E ifadelerini yukarıdaki denklemde yerine koyacak olursak, aşağıdaki bağıntıyı elde ederiz.

$$-V_{CC} + R_C.(\beta + 1)I_B + R_B.I_B + V_{BE} + R_E.(\beta + 1)I_B = 0$$

Yukarıdaki denklemden I_B baz akımını çekecek olursak aşağıdaki sonuçları elde ederiz.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1).(R_C + R_E)} \quad \text{ve} \quad I_C = \beta I_B$$

Şekil 3.21 den, kollektör-emetör çevresine ait denklemi yazacak olursak;



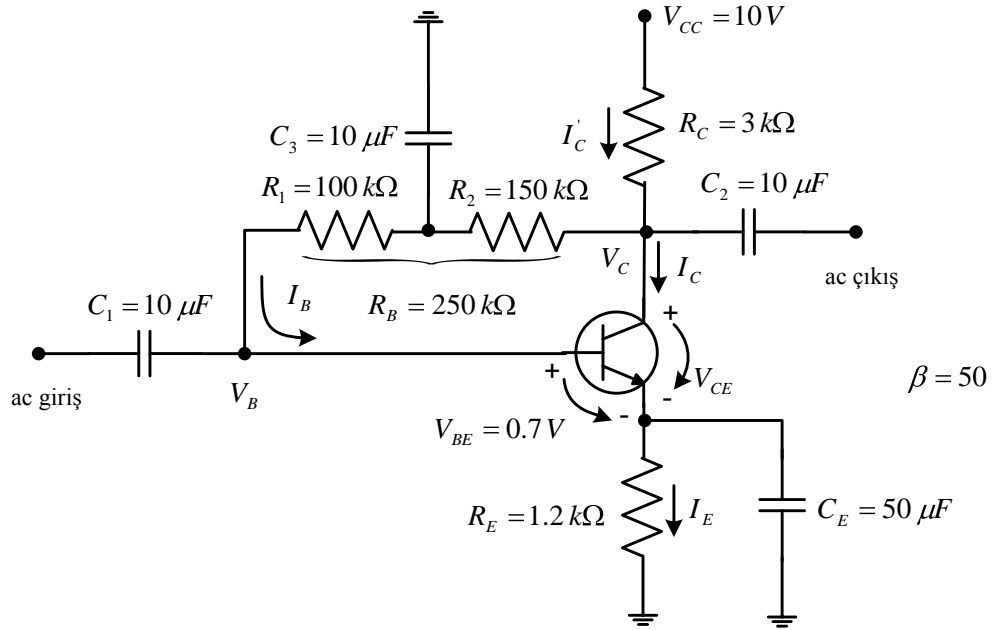
Şekil 3.21 Geri beslemeli dc öngerilimleme devresine ait kollektör-emetör çevresi

$$-V_{CC} + R_C.I'_C + V_{CE} + R_E.I_E = 0$$

$I'_C = I_E$ olduğunu hatırlayacak olursak, ifade aşağıdaki hale gelir.

$$V_{CE} = V_{CC} - I_E.(R_C + R_E)$$

Örnek: Şekil 3.22 deki devrede, I_C ve I_E akımları ile V_{CE} ve V_C gerilimlerini hesaplayınız.



Şekil 3.22

Açıklama: C_3 kondansatörü, geribesleme sinyalinin durdurulmasını veya zayıflatılmasını temin etmekte olup, dc öngerilim hesabı üzerine etkisini yoktur.

Daha önce çıkardığımız formülden aşağıdaki ifadeyi yazabiliriz.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) \cdot (R_C + R_E)} = \frac{(10 - 0.7) V}{250 k\Omega + (51) \times (3 k\Omega + 1.2 k\Omega)} = 20.03 \mu A$$

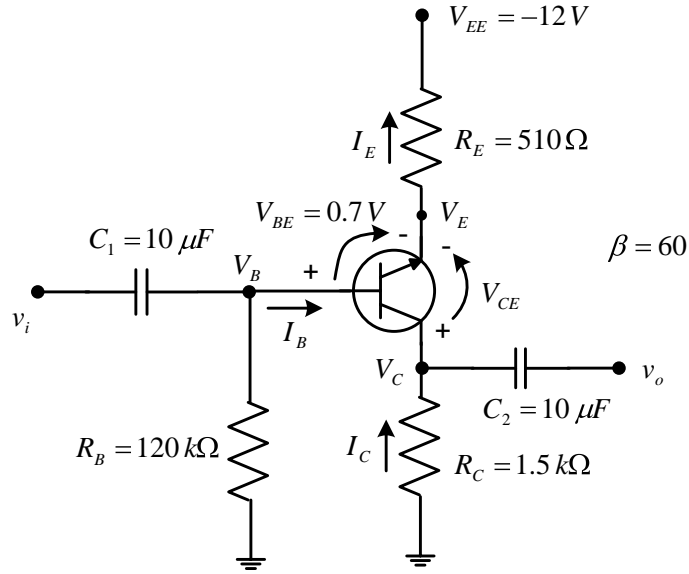
$$I_C = \beta \cdot I_B = 50 \times 20.03 \mu A = 1.0015 mA$$

$$I_E = (\beta + 1) \cdot I_B = 51 \times 20.03 \mu A = 1.02 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_E \cdot (R_C + R_E) = 10 V - 1.02 mA \times (3 k\Omega + 1.2 k\Omega) = 10 V - 4.28 V = 5.72 V$$

$$V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 10 V - 3 k\Omega \times 1.02 mA = 10 V - 3.06 V = 6.94 V$$

Örnek: Şekil 3.23 deki devrede I_C akımını ve V_{CE} gerilimini hesaplayınız.



Şekil 3.23

Baz-emetör çevre denklemini yazacak olursak;

$$-V_{EE} + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

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

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{(\beta + 1) R_E + R_B} = \frac{(12 - 0.7) V}{(61) \times (0.510 k\Omega) + 120 k\Omega} = 74.78 \mu A$$

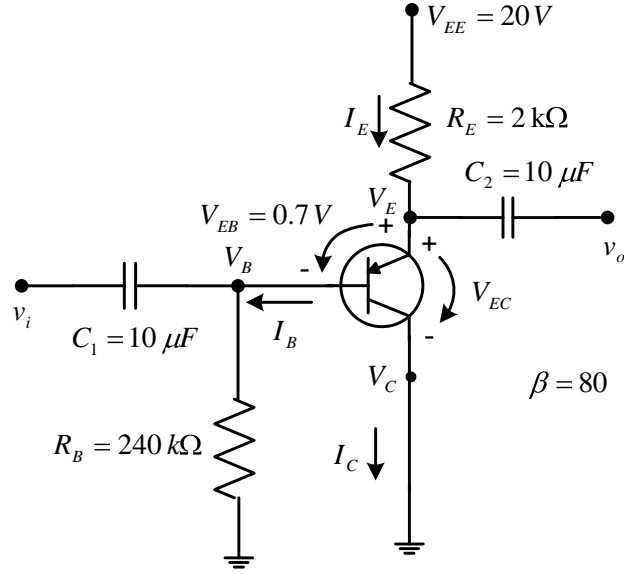
$$I_C = \beta I_B = 60 \times 74.78 \mu A = 4.48 mA$$

Kollektör-emetör çevre denklemini yazacak olursak;

$$-V_{EE} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0 \quad (I_E \cong I_C) \text{ olduğundan;}$$

$$V_{CE} = V_{EE} - (R_C + R_E) I_C = 12 V - (1.5 k\Omega + 0.51 k\Omega) \times 4.48 mA = 2.9952 V$$

Örnek: Şekil 3.24 deki devrede I_C akımını ve V_E gerilimini bulunuz.



Şekil 3.24

Baz-emetör çevre denklemini ve ayrıca I_C , I_E ve I_B akımları arasındaki ilişkiyi yazarsak;

$$-V_{EE} + R_E I_E + V_{EB} + R_B I_B = 0$$

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

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{EB}}{(\beta + 1) R_E + R_B} = \frac{(20 - 0.7) V}{(81) \times (2 k\Omega) + 240 k\Omega} = 48.01 \mu A$$

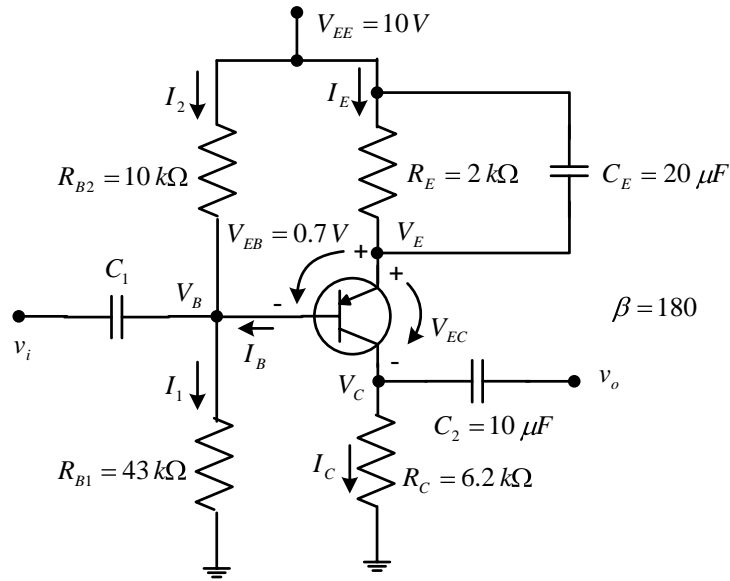
$$I_C = \beta I_B = 80 \times 48.01 \mu A = 3.84 mA \cong I_E$$

($V_E = V_{EC}$) olduğunu gözönünde bulundurarak, kollektör-emetör çevre denklemini yazarsak;

$$-V_{EE} + R_E I_E + V_E = 0$$

$$V_E = V_{EE} - R_E I_E = 20 V - (2 k\Omega) \times (3.84 mA) = 12.32 V \text{ bulunur.}$$

Örnek: Şekil 3.25 deki devrede V_C kolektör gerilimini, yaklaşık gerilim bölücü metodunu kullanarak hesaplayınız.



Şekil 3.25

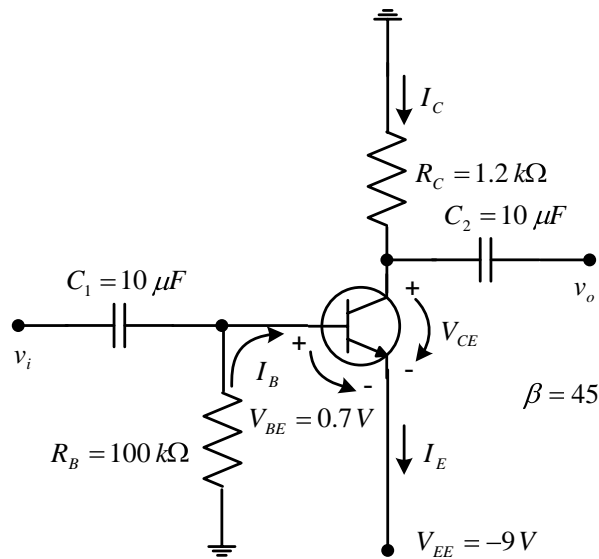
$$\frac{V_{EE}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{V_B}{R_{B1}} \Rightarrow V_B = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{EE} = \frac{43 \text{ k}\Omega}{43 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} \times 10 \text{ V} = 8.11 \text{ V}$$

$$V_{EB} = V_E - V_B \Rightarrow V_E = V_{EB} + V_B = 8.11 \text{ V} + 0.7 \text{ V} = 8.81 \text{ V} \text{ (pn-p transistor olduğundan } V_{EB})$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_E}{R_E} = \frac{10 \text{ V} - 8.81 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 0.595 \text{ mA} \cong I_C$$

$$V_C = R_C \cdot I_C = 6.2 \text{ k}\Omega \times 0.595 \text{ mA} = 3.69 \text{ V}$$

Örnek: Şekil 3.26 daki devrenin V_C gerilimini ve I_C akımını bulunuz.



Şekil 3.26

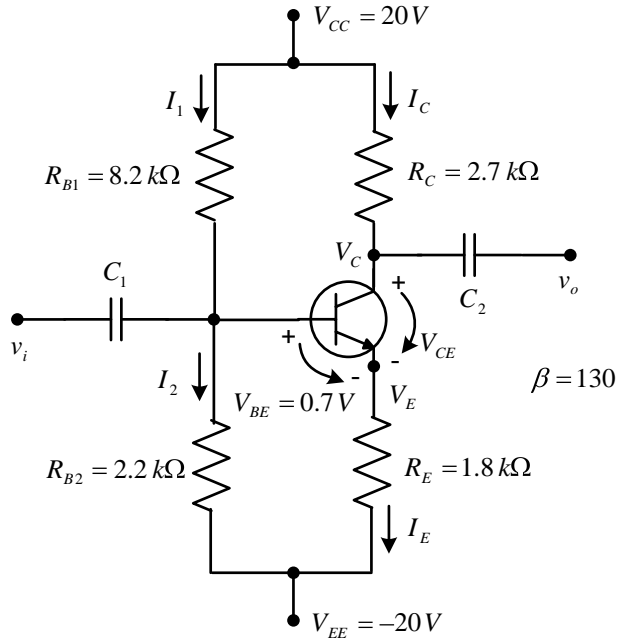
$$-V_{EE} + R_B \cdot I_B + V_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(9 - 0.7) V}{100 k\Omega} = 83 \mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 45 \times 83 \mu A = 3.735 mA$$

$$V_C = -R_C \cdot I_C = -1.2 k\Omega \times 3.735 mA = -4.48 V$$

Örnek: Şekil 3.27 deki devrenin I_E akımını ve V_C gerilimini hesaplayınız.



Şekil 3.27

$$R_{BB} = \frac{R_{B1} \times R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{8.2 k\Omega \times 2.2 k\Omega}{8.2 k\Omega + 2.2 k\Omega} = 1.735 k\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{2.2 k\Omega}{8.2 k\Omega + 2.2 k\Omega} \times (20 V) + \frac{8.2 k\Omega}{8.2 k\Omega + 2.2 k\Omega} \times (-20 V) = 4.23 V - 15.77 V = -11.54 V$$

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

$$I_B = \frac{V_{EE} + V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (\beta + 1)R_E} = \frac{(20 - 11.54 - 0.7) V}{1.735 k\Omega + (131) \times (1.8 k\Omega)} = 32.67 \mu A$$

$$I_E = I_C + I_B = \beta \cdot I_B + I_B = (\beta + 1) \cdot I_B = 131 \times 32.67 \mu A = 4.28 mA \cong I_C$$

$$V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 20 - 2.7 k\Omega \times 4.28 mA = 8.4 V$$

3.8 Kararlılık faktörü

Kararlılık faktörü sıcaklıktan ötürü her bir parametrede meydana gelen değişiklik nedeniyle kolektör akımında görülen değişimin sayısal ölçüsüdür.

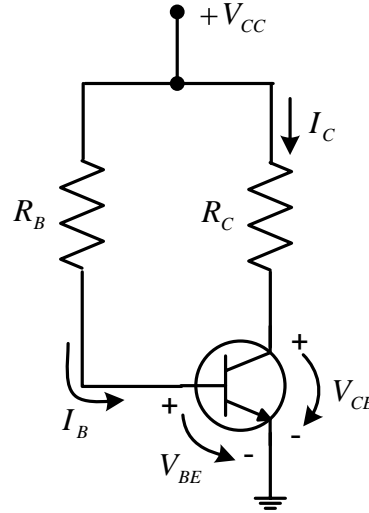
$$I_C \cong I_C(V_{BE}, \beta, I_{CBO})$$

İdealde kolektör akımının en genel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CBO}$$

Şimdiye kadar I_{CBO} (ters doyma akımı) terimi yaklaşık sıfır alınmıştı. Kararlılık hesaplamaları hassas analizler olduğu için burada $I_{CBO} \neq 0$ alınacaktır. O halde şimdiye kadar gördüğümüz devrelerde bunu analiz edelim.

3.8.1 Sabit öngerilimli transistor devresi



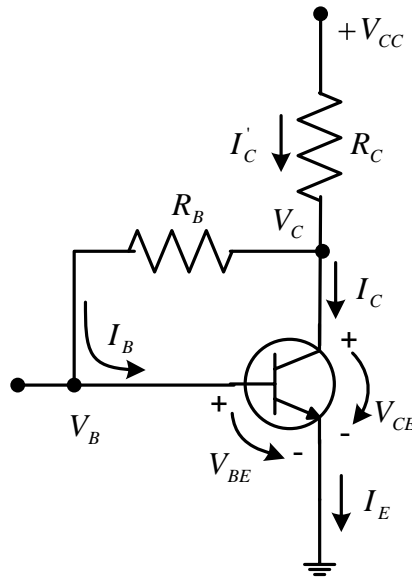
Şekil 3.28 Sabit öngerilimli transistor devresi

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \text{ idi. Yukarıda yerine koyarsak.}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \cdot \beta + (\beta + 1) I_{CBO} \text{ elde ederiz.}$$

- $S(\beta) = S'' = \frac{\partial I_C}{\partial \beta} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} + I_{CBO}$
- $S(V_{BE}) = S' = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} = -\frac{\beta}{R_B}$
- $S(I_{CBO}) = S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}} = (\beta + 1)$

3.8.2 Geri beslemeli dc öngerilimleme devresi



Şekil 3.29 Geri beslemeli dc öngerilimleme devresi

$$I_C' = I_C + I_B$$

$$V_{CC} = R_C(I_C + I_B) + R_B I_B + V_{BE} \text{ idi.}$$

$$V_{CC} = (R_C + R_B)I_B + R_C I_C + V_{BE}$$

$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{CBO}$ ifadesini yukarıda yerine koyacak olursak aşağıdaki ifadeye geliriz.

$$V_{CC} - V_{BE} = (R_C + R_B)I_B + R_C [\beta I_B + (\beta + 1)I_{CBO}]$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(\beta + 1)R_C + R_B} - \frac{(\beta + 1)R_C}{(\beta + 1)R_C + R_B} \cdot I_{CB0}$$

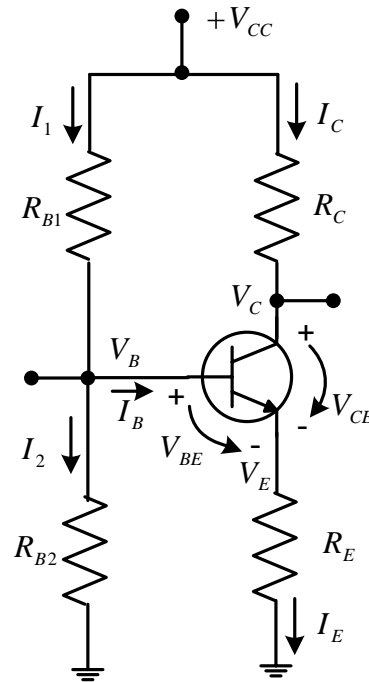
$$I_C = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(\beta + 1)R_C + R_B} - \frac{\beta \cdot (\beta + 1)R_C}{(\beta + 1)R_C + R_B} \cdot I_{CB0} + (\beta + 1)I_{CB0}$$

$$I_C = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(\beta + 1)R_C + R_B} - (\beta + 1) \cdot \frac{R_C + R_B}{(\beta + 1)R_C + R_B} \cdot I_{CB0}$$

- $S(\beta) = S'' = (R_C + R_B) \cdot \frac{[V_{CC} - V_{BE} + R_B \cdot I_{CB0}]}{[(\beta + 1)R_C + R_B]^2}$
- $S(V_{BE}) = S' = -\frac{\beta}{(\beta + 1)R_C + R_B}$
- $S(I_{CB0}) = S = \frac{(\beta + 1) \cdot (R_C + R_B)}{(\beta + 1)R_C + R_B}$

Açıklama: Emetöre direnç ilave edildiğinde V_{CC} terimine olarak $R_E \cdot I_E$ terimi eklenecektir.

3.8.3 Beta(β) dan bağımsız dc öngerilimleme devresi



Şekil 3.30 Beta(β) dan bağımsız dc öngerilimleme devresi

$$R_{BB} = R_{B1} // R_{B2}$$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2} \cdot V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

Yukarıdaki işlemler şekil 3.30 daki devreye uygulandığında, I_C için aşağıdaki ifade elde edilir.

$$I_C = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{(\beta + 1)R_E + R_{BB}} + (\beta + 1) \cdot \frac{(R_{BB} + R_E)}{(\beta + 1)R_E + R_{BB}} \cdot I_{CB0}$$

- $S(\beta) = S'' = (R_{BB} + R_E) \cdot \frac{[V_{BB} - V_{BE} + R_{BB}I_{CB0}]}{[(\beta + 1)R_E + R_{BB}]^2}$
- $S(V_{BE}) = S' = -\frac{\beta}{(\beta + 1)R_E + R_{BB}}$
- $S(I_{CB0}) = S = \frac{(\beta + 1)(R_{BB} + R_E)}{(\beta + 1)(R_E + R_{BB})}$

Çalışma noktasında kolektör akımı β ya bağımlıdır. β nın bağıl değişimine karşılık kolektör akımında da bağıl bir değişim vardır. Bu iki değişimin oranı, yeni kolektör akımındaki bağıl değişimin β daki bağıl değişimine oranı, I_C nin β ya olan normalize (bağıl) duyarlılığı olarak adlandırılır.

$$\int_{\beta}^{I_{CQ}} = S(I_{CQ}, \beta) \cong \frac{\frac{\Delta I_C}{I_{CQ}}}{\frac{\Delta \beta}{\beta}} = \frac{d \cdot \ln I_{CQ}}{d \cdot \ln \beta} = \frac{\beta}{I_{CQ}} \cdot \frac{dI_{CQ}}{d\beta}$$

$$I_{CQ} = \beta \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} + (\beta + 1)I_{CB0}$$

1.devre için I_{CBO} ihmal edildiğinde,

$$I_{CQ} \cong \beta \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$\int_{\beta}^{I_{CQ}} = \frac{\beta}{I_{CQ}} \cdot S'' = \frac{\beta}{\beta \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}} \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 1$$

2. devre için I_{CBO} terimi ihmal edildiğinde,

$$I_{CQ} \cong \beta \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(\beta + 1)R_C + R_B} \quad \beta \gg 1 \text{ ve } R_B \gg R_C \text{ dir.}$$

$$\int_{\beta}^{I_{CQ}} = \frac{\beta}{I_{CQ}} \cdot S'' = \frac{\beta}{\beta \cdot \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{(\beta + 1)R_C + R_B}} \cdot \frac{(R_C + R_B) \cdot (V_{CC} - V_{BE})}{[(\beta + 1)R_C + R_B]^2} = \frac{R_C + R_B}{(\beta + 1)R_C + R_B}$$

3. devre için I_{CBO} terimi ihmal edildiğinde;

$$I_{CQ} \cong \beta \cdot \frac{V_{BB} - V_{BE}}{(\beta + 1)R_E + R_{BB}}$$

$$\int_{\beta}^{I_{CQ}} = \frac{\beta}{I_{CQ}} \cdot S'' = \frac{R_E + R_{BB}}{(\beta + 1)R_E + R_{BB}}$$