

4. TRANSİSTOR MODELLEME VE BJT NİN KÜÇÜK İŞARET ANALİZİ

Transistorlu devrelerin küçük sinyal ac analizinde çoğunlukla kullanılan iki model vardır. Karma eşdeğeri ve r_e modelidir. Küçük sinyal yaklaşımına çözüm yolu, eşdeğer devre modellerinin kullanılmasıdır. (Transistor yerine eşdeğer devre koymak)

Karma parametrelili eşdeğer devre hala kullanılabilirliğini sürdürmekle birlikte, şimdilerde transistorun çalışma koşullarından doğrudan türetilen r_e eşdeğer devre (modeli) daha etkindir. Üreticiler, belirli çalışma bölgesi için, bilgi sayfalarında karma parametreleri yayınlanmaya devam etmektedir. r_e modelinin parametreleri (veya elemanları) bu bölge için doğrudan doğruya karma parametrelerinden elde edilebilir. Bununla birlikte karma eşdeğer devre, doğru sonuç verebilmesi için belirli çalışma koşullarıyla kısıtlıdır. Diğer r_e eşdeğer devresinin parametreleri, iletim bölgesi içinde, herhangi bir çalışma bölgesi için hesaplanabilir. Ancak buna karşılık r_e modeli, elemanın çıkış empedans düzeyini ve çıkıştan girişe geri besleme etkisini belirleyen bir parametreye sahip değildir.

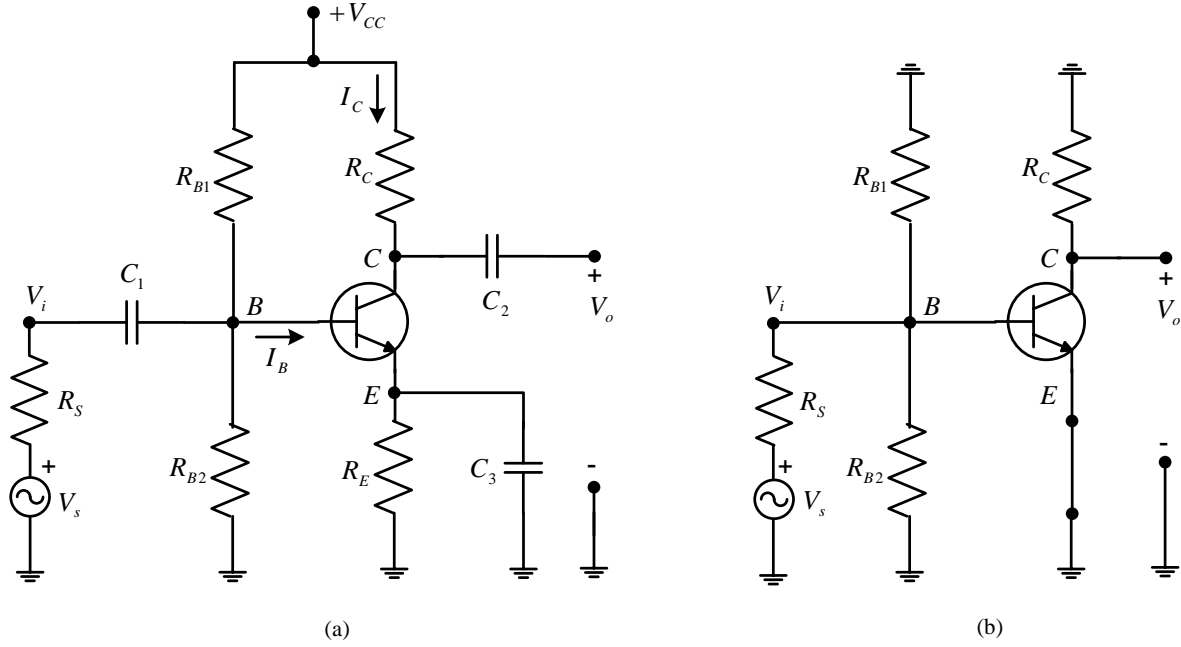
Yalnızca devrenin ac cevabıyla ilgilendiğimiz için, bütün dc kaynakları yerine sıfır potansiyelli eşdeğer (kısa devre) elemanı konulabilir. Çünkü dc kaynaklar, çıkış geriliminin yalnızca dc veya sükûnet düzeyini belirler ve ac çıkışının salınım genliğinde herhangi bir değişikliğe sebep olmaz. DC düzeyleri yalnızca uygun bir Q çalışma noktasını belirlemek için önemlidir.

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ olup bu ifade kondansatörün direnci (reaktansı veya empedansı) dır.

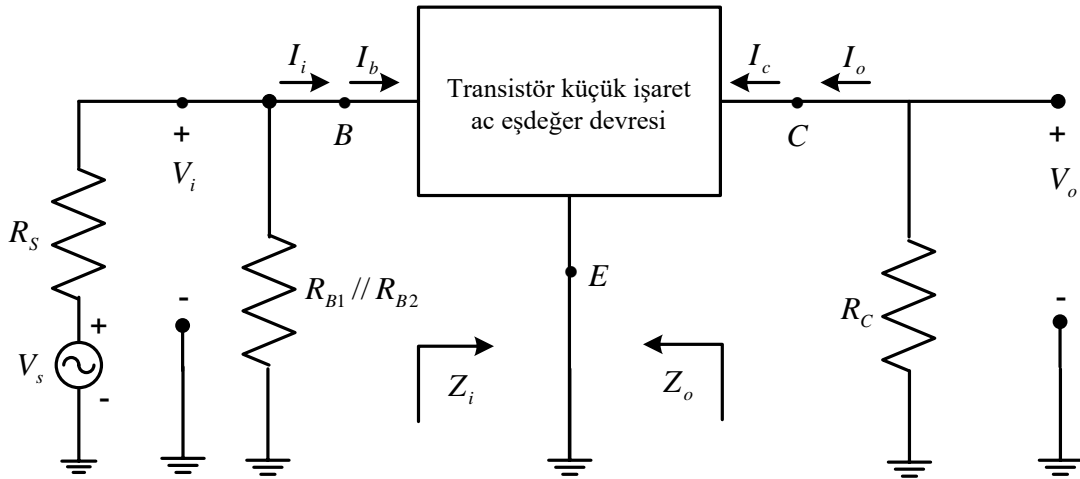
Formülden de görüldüğü gibi bu ifade frekansa bağlıdır. Yani kondansatör farklı frekanslarda farklı direnç gösterir. Bu nedenle çok yüksek frekanslarda $X_C = 0$ alınabilir.

C_1 , C_2 kuplaj kondansatörleri ve C_3 köprüleme kondansatörü çalışma frekansında çok küçük reaktansa sahip olacak şekilde seçilir. Bu nedenle pratikte bunların yerine düşük dirençli bir yol (kısa devre) konabilir. Bu durumda R_E nin kısa devre edildiği gözden kaçmamalıdır (şekil

4.1). Ortak topraklar birleştirilirse R_{B1} ve R_{B2} paralel hale gelecek ve R_C kollektör-emetör arasında görülecektir (şekil 4.2).



Şekil 4.1 Eşdeğer devre (a)



Şekil 4.2 Eşdeğer devre (b)

Eşdeğer devre direnç ve kontrollü kaynaklardan oluştuğundan, istenilen değerleri elde etmek için, süper pozisyon ve Thevenin teoremi gibi analiz yöntemleri kullanılabilir.

Bilmek istediklerimiz;

Z_i = Giriş empedansı

Z_o = Çıkış empedansı

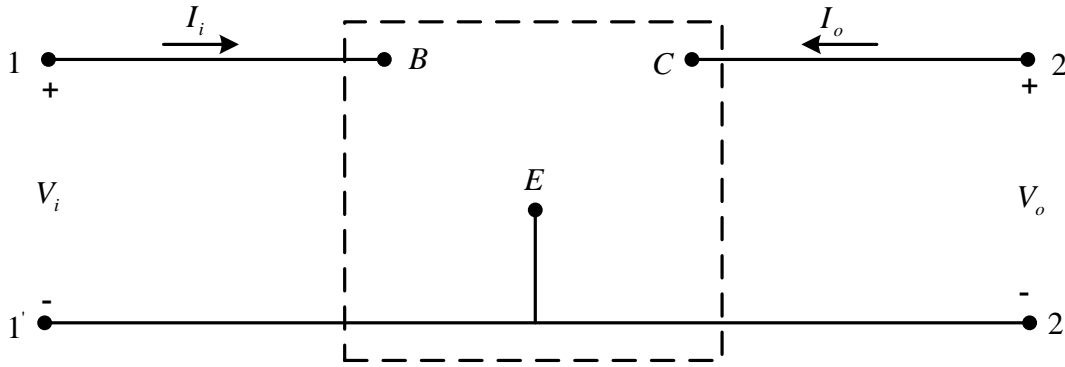
V_i = Giriş gerilimi
 V_o = Çıkış gerilimi

$$\left. \begin{array}{l} V_i = \text{Giriş gerilimi} \\ V_o = \text{Çıkış gerilimi} \end{array} \right\} A_v = \frac{V_o}{V_i} = \text{Gerilim kazancı}$$

$I_i = I_b$ Baz akımı
 $I_o = I_c$ Kollektör akımı

$$\left. \begin{array}{l} I_i = I_b \text{ Baz akımı} \\ I_o = I_c \text{ Kollektör akımı} \end{array} \right\} A_i = \frac{I_o}{I_i} = \text{Akım kazancı}$$

4.1 Transistorun karma eşdeğer devre modeli



Şekil 4.3 Transistorun karma eşdeğer devre modeli

(1) denklemi $V_i = h_{11} \cdot I_i + h_{12} \cdot V_o$

(2) denklemi $I_o = h_{21} \cdot I_i + h_{22} \cdot V_o$

$$\begin{bmatrix} V_i \\ I_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_i \\ V_o \end{bmatrix}$$

(1) denkleminden, $V_o = 0$ (çıkış kısa devre); $h_{11} = \left. \frac{V_i}{I_i} \right|_{V_o=0}^{(ohm)} = \text{Kısa devre giriş empedansı}$

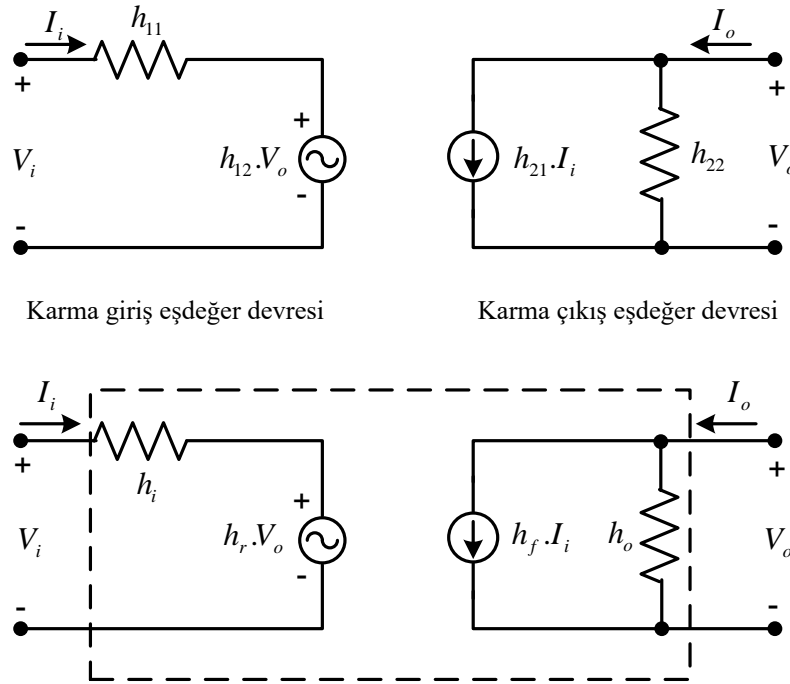
(1) denkleminden, $I_i = 0$ (giriş uçları açık devre); $h_{12} = \left. \frac{V_i}{V_o} \right|_{I_i=0}^{(birimsiz)} = \text{Açık devre ters yönde}$

gerilim transfer oranı

(2) denkleminde, $V_o = 0$ (çıkış kısa devre); $h_{21} = \frac{I_o}{I_i} \Big|_{V_o=0}^{(\text{birimsiz})} = \text{İleri yönde akım transfer oranı}$

(2) denkleminde, $I_i = 0$ (giriş uçları açık devre); $h_{22} = \frac{I_o}{V_o} \Big|_{I_i=0}^{(mho)} = \text{Açık devre çıkış admitansı}$

(1) denklemin Volt biriminde olduğundan Kirchoff gerilim yasası uygulandığında, hakeza (2) denklemin de Amper biriminde olduğundan Kirchoff akım yasası uygulandığında aşağıdaki devreler elde edilir.



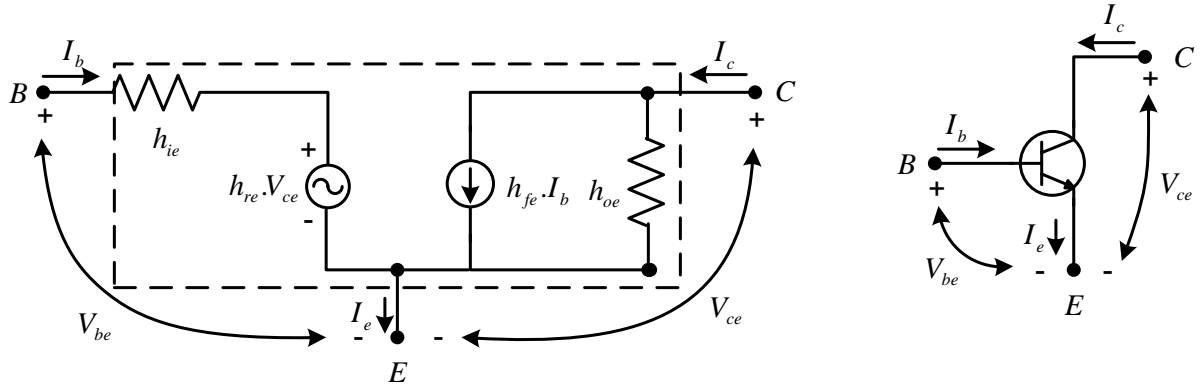
Şekil 4.4 Transistorun tam karma eşdeğer devre modeli

$h_{11} \rightarrow \text{giriş (input) direnci} \rightarrow h_i$

$h_{12} \rightarrow \text{ters (reverse) gerilim transfer oranı} \rightarrow h_r$

$h_{21} \rightarrow \text{ileri (forward) akım transfer oranı} \rightarrow h_f$

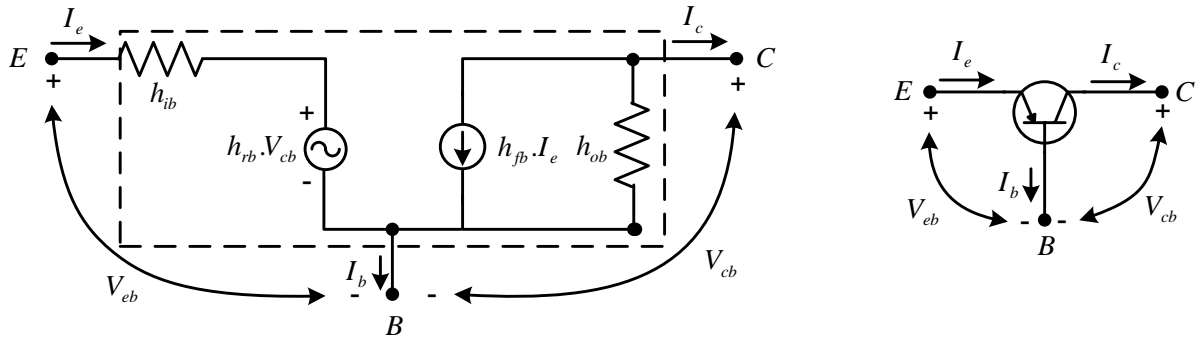
$h_{22} \rightarrow \text{çıkış (output) iletkenliği} \rightarrow h_o$



Şekil 4.5 Ortak emetörlü transistorun tam karma eşdeğer devre modeli

h parametreleri her bir devre düzeneği için değişecektir (yani ortak emetörlü, ortak bazlı veya ortak kollektörlü). Hangi devrenin kullanıldığını göstermek için, h parametre sembolüne ikinci bir indis eklenir. Mesela, ortak emetörlü devre için, h_{ie} , h_{re} , h_{fe} ve h_{oe} gibi olmak üzere. Yine ortak emetörlü devrede $I_i = I_b$, $I_o = I_c$, $V_{be} = V_i$ ve $V_{ce} = V_o$ olacaktır.

Ortak bazlı pnp transistor için karma eşdeğer devre ise;

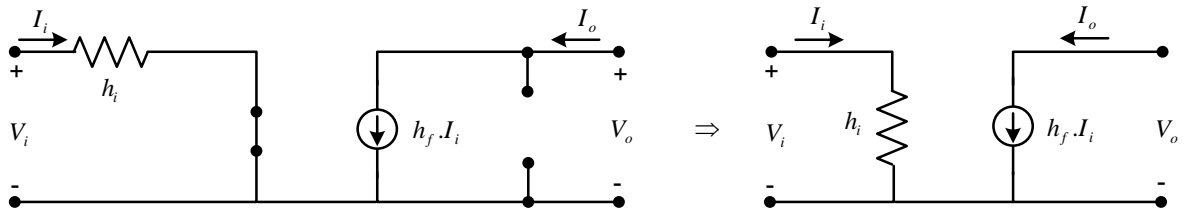


Şekil 4.6 Ortak bazlı transistorun tam karma eşdeğer devre modeli

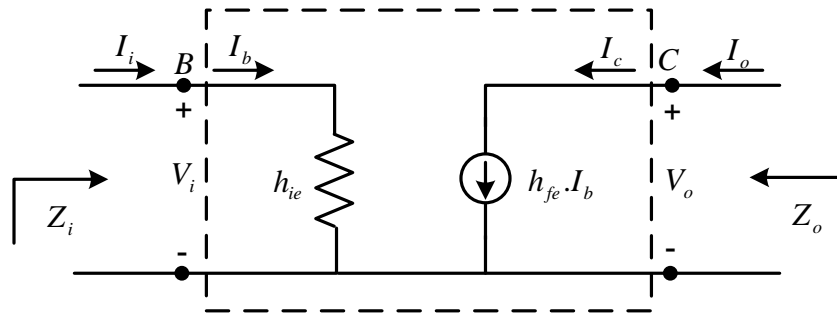
Ortak emetörlü ve ortak bazlı devrelerde h_r ve h_o değerleri, çoğu zaman öylesine küçüktür ki; Z_i , Z_o , A_v ve A_i gibi önemli parametreler için elde edilen sonuçlar, modelde h_r ve h_o kullanılması halinde çok az etkilenir.

$$h_r \cong 0 \rightarrow h_r \cdot V_o = 0 \text{ (Bunun yerine kısa devre elemanı kullanılır)}$$

$$\frac{1}{h_o} \cong \infty \rightarrow \text{(Açık devre elemanı)}$$



Şekil 4.7 Transistorun yaklaşık karma eşdeğer devre modeli



Şekil 4.8 Ortak emetörlü transistorun yaklaşık karma eşdeğer devre modeli

$$I_i = I_b$$

$$Z_i = h_{ie}$$

$$I_o = I_c = h_{fe} \cdot I_b$$

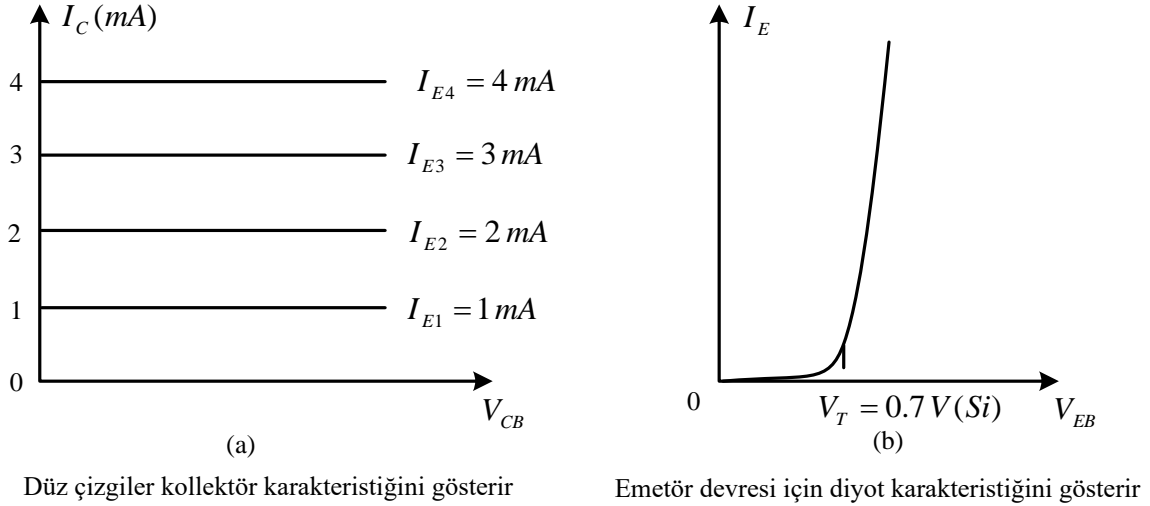
$V_i = 0$ (kısa devre) yapıldığında, $V_i = I_b \cdot h_{ie}$ den $I_b \cdot h_{ie} = 0$ ve dolayısıyla $I_b = 0$ olmak zorundadır. Bu durumda $I_o = I_c = h_{fe} \cdot I_b = 0$ olacağından akım kaynağı açık devre olur. Sonuç olarak $Z_o \cong \infty (\Omega)$, yani açık devre olur.

4.2 r_e eşdeğer devre modeli

Çalışma koşullarının ($I_C \cong I_E$ düzeyi), transistor bilgi sayfasında belirtilenden farklı olması halinde, verilen h_{ie} değerinin ne olacağı sorusu karşımıza çıkar. İşte r_e eşdeğer devresi, devrenin dc çalışma koşullarını kullanmak suretiyle, imalatçının sağladığı verilerle sınırlı kalmaksızın, eşdeğer bir h_{ie} devresinin belirlenmesini mümkün kılar.

4.2.1 Ortak bazlı devre için r_e eşdeğer devre modeli

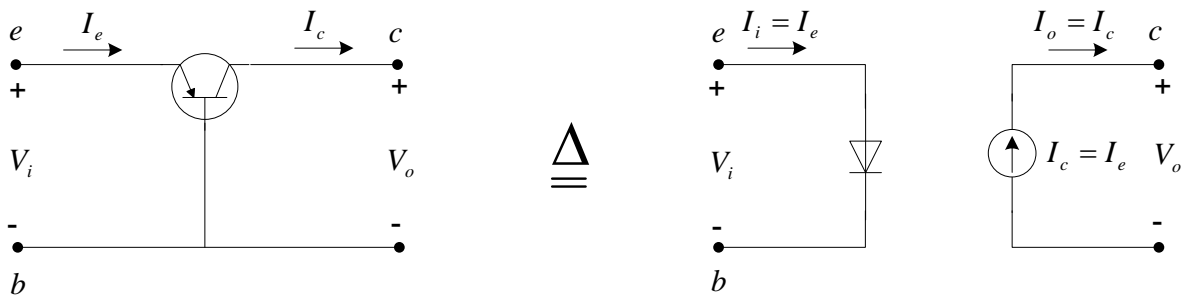
Ortak bazlı bir transistorda karakteristikler şekil 4.9 daki gibi idi.



Şekil 4.9 Ortak bazlı bir transistorda çıkış ve giriş karakteristikleri

AC koşulları için, ortak bazlı transistörün emetöründeki giriş empedansı, diyodun dinamik direnci için verilen ifadeye eşittir. Diyot akımı emetör akımına denk olacağından, direnç r_e ile

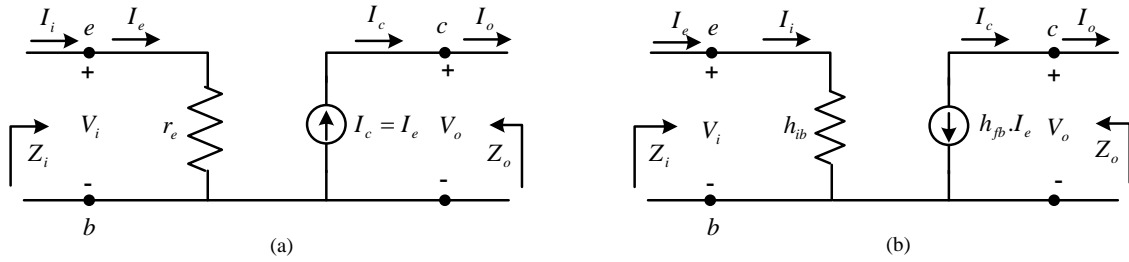
gösterilmek suretiyle, $r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} [\Omega]$ şeklinde hesaplanır.



Şekil 4.10 Ortak bazlı bir transistorda çıkış ve giriş karakteristiklerinin gösterimi

Karma eşdeğer devre ile karşılaştırıldığında sonuç, $h_{ib} = r_e$ ve $h_{fb} = -1$ olacaktır.

Kollektör karakteristiklerinin yatay çizgilerle yaklaşık olarak gösterilmesi ($I_C \cong I_E$), $1/h_{ob} \cong \infty(\Omega)$ veya transistorun çıkışının açık devre eşdeğeri olmasını gerektirir. r_e eşdeğer devre modeli için her zaman $h_{rb} = h_{ob} = 0$ yaklaşık değerleri varsayılmaktadır.



Şekil 4.11 Ortak bazlı (a) r_e eşdeğer devre modeli, (b) yaklaşık karma eşdeğer devre modeli

Ortak bazlı devrenin r_e eşdeğer devre modeli için aşağıdakileri yazabiliriz:

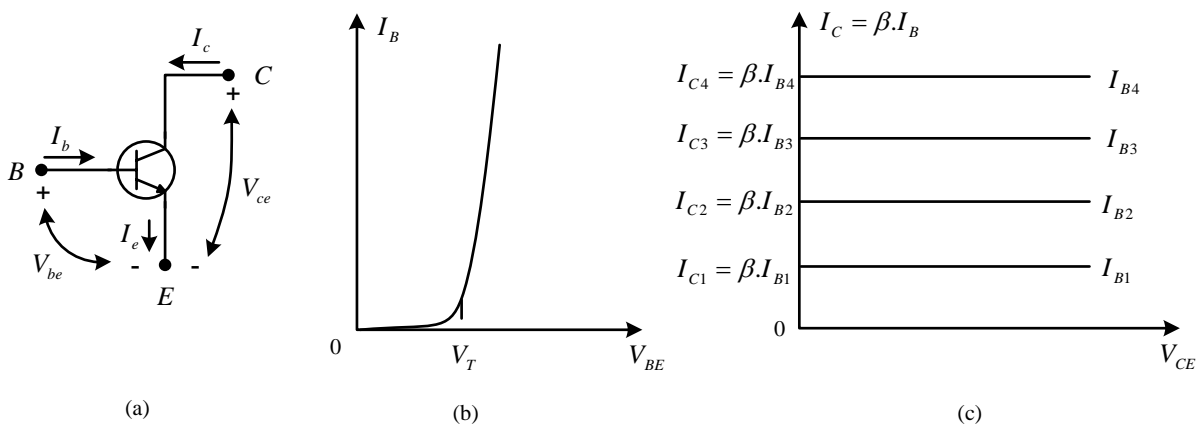
$$I_i = I_e$$

$$Z_i = r_e$$

$Z_o = \infty(\Omega)$ (Giriş kısa devre $V_i = V_{eb} = 0$ yapıldığında, $V_{eb} = V_i = r_e \cdot I_i$ dan $I_i = I_e = 0$ olmak zorundadır. $I_e = I_c$ bağıntısından da $I_c = I_e = 0$ olduğu görülür.)

$$I_o = I_c = I_e$$

4.2.2 Ortak emetörlü devre için r_e eşdeğer devre modeli



Şekil 4.12 Ortak emetörlü bir transistorda çıkış ve giriş karakteristikleri

$$r_{ac} = \frac{26\text{ mV}}{I_B} [\Omega]$$

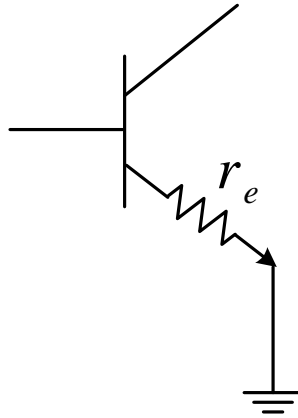
Burada baz karakteristiği \cong dc diyod karakteristiği

$$I_E \cong I_C = \beta \cdot I_B \text{ ve } I_B = \frac{I_E}{\beta}$$

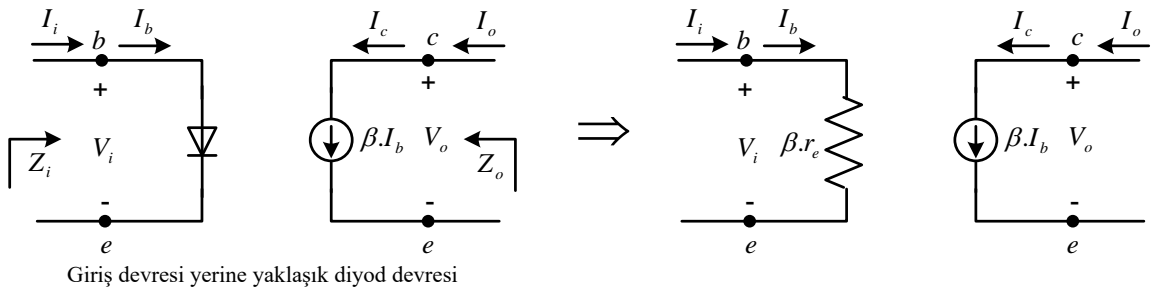
$$r_{ac} = \frac{26\text{ mV}}{\frac{I_E}{\beta}} = \beta \cdot \underbrace{\left(\frac{26\text{ mV}}{I_E} \right)}_{r_e}$$

Sonuç olarak;

Ortak emetörlü bir transistorün giriş direnci $= (\beta) \times$ Ortak bazlı bir transistorün giriş direnci, yani $r_{ac} \cong \beta \cdot r_e$ olacaktır (şekil 4.13).

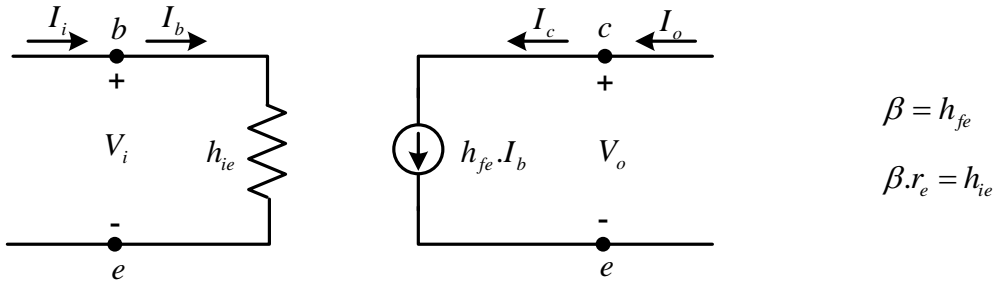


Şekil 4.13 Ortak emetörlü devrede r_e direncinin gösterimi



Şekil 4.14 Ortak emetörlü devrede r_e eşdeğer devresi

Yaklaşık karma eşdeğer devre modeli ile karşılaştırıldığında;



Ortak emetörlü devre için yaklaşık karma eşdeğer devre modeli

Şekil 4.15 Ortak emetörlü devrenin yaklaşık karma ve r_e eşdeğer devre modelinin kıyası

4.3 Hangi model hangi durumda kullanılmalı

r_e eşdeğer devre modelinin açık avantajı, yaklaşık ac analizi için sadece β nın bilinmesinin gerekliliğidir. Bu değer de kataloglarda mevcuttur.

Bununla beraber r_e eşdeğer devre modelinde, $h_{re} = h_{oe} \cong 0$ alınması gibi bir kusur mevcuttur. Örneğin V_o ve h_{re} yeterince büyükse, karma modelin giriş eşdeğer devresindeki geri besleme elemanı $h_{re} \cdot V_o$, giriş baz akımını %10 dan fazla oranda azaltabilir ve sistem kazancı üzerinde belirgin bir etki yaratabilir. Şayet $1/h_{oe}$ değerinin, çıkış uçlarına bağlı R_L yüküne oranı, 10:1 den az ise $1/h_{oe}$ nin etkisinin hesaba katılması gerekir.

Şartların h_{re} ve $1/h_{oe}$ etkilerinin ihmal edilmesine elverişli olması halinde, iki modelin temel yapısı birbiri ile aynı olacaktır. $\beta(h_{fe})$ bilindiği takdirde, yaklaşık eşdeğer devre modeli her bir devre tipi (ortak emetörlü veya ortak bazlı) için hemen hemen biliniyor demektir.

4.4 h parametrelerinin grafik olarak bulunması:

$$h_{ie} = \frac{\partial V_i}{\partial I_i} = \frac{\partial V_{be}}{\partial I_b} \cong \left. \frac{\Delta V_{be}}{\Delta I_b} \right|_{V_{ce} = \text{sabit}}$$

$$h_{re} = \frac{\partial V_i}{\partial V_o} = \frac{\partial V_{be}}{\partial V_{ce}} \cong \left. \frac{\Delta V_{be}}{\Delta V_{ce}} \right|_{I_b = \text{sabit}}$$

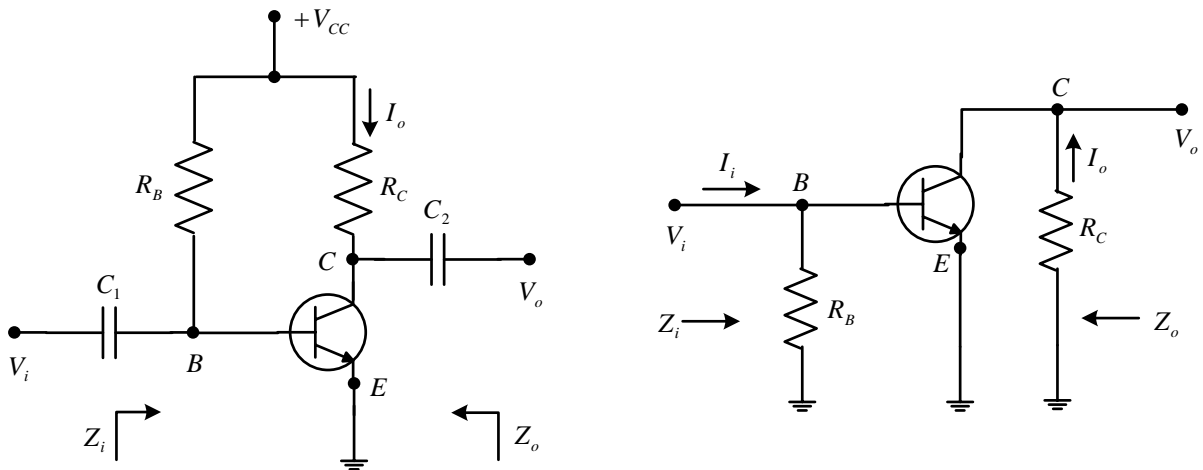
$$h_{fe} = \frac{\partial I_o}{\partial I_i} = \frac{\partial I_c}{\partial I_b} \cong \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \bigg|_{V_{ce}=\text{sabit}}$$

$$h_{oe} = \frac{\partial I_o}{\partial V_o} = \frac{\partial I_c}{\partial V_{ce}} \cong \frac{\Delta I_c}{\Delta V_{ce}} \bigg|_{I_b=\text{sabit}}$$

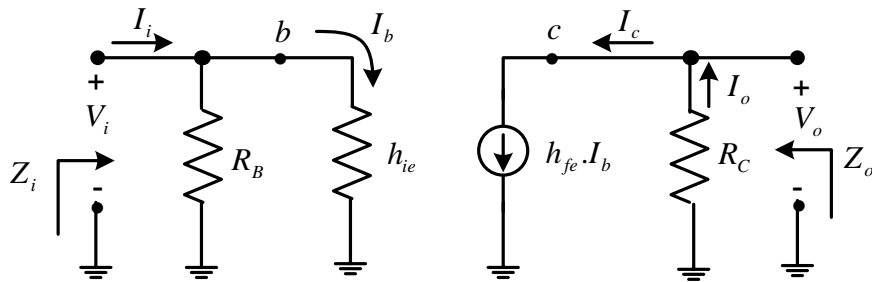
4.5 BJT küçük işaret analizi

4.5.1 Ortak emetörlü sabit öngerilimli devre

Küçük işaret analizinde daha önce anlattığımız gibi dc kaynaklar devre dışı (kısa devre) ve kapasiteler, yüksek frekans çalışma bölgesinden dolayı hakeza yine kısa devre kabul edilir. Daha sonra transistor yaklaşık karma eşdeğer devresini, transistor yerine devreye monte etmek suretiyle şekil 4.16 daki devreye ulaşırız.



Şekil 4.16 Ortak emetörlü sabit öngerilimli devre modeli (a)



Şekil 4.17 Ortak emetörlü sabit öngerilimli devre modeli (b)

(*) $Z_i = R_B // h_{ie}$ olduğundan, R_B nin h_{ie} nin 10 katından daha büyük olduğu durumlarda (bu tipik bir durumdur), $Z_i \cong h_{ie}$ yazılabilir.

r_e eşdeğer devre modelini kullandığımızda, $Z_i \cong \beta \cdot r_e$ yazabiliriz.

(*) Z_o ($V_i = 0$ iken $I_i = I_b = 0$ olacağından dolayı $h_{fe} I_b = 0$ olur. O halde bağımlı akım kaynağı açık devre olur. Bu durumda, $Z_o = R_C$ yazılabilir.

$$h_{12} = \left. \frac{V_i}{V_o} \right|_{I_i=0} \Rightarrow V_{be} = h_{re} \cdot V_{ce} (I_i = I_b = 0) \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{h_{re}} \text{ idi. (sadece transistor için)}$$

$$(*) A_v = \frac{V_o}{V_i} \text{ (ileri yönde gerilim kazancı} = \frac{1}{h_{re}} \text{)}$$

$R_B \gg h_{ie}$ ise $I_b \cong I_i$ yazabiliriz.

$$V_o = -R_C \cdot I_o = -R_C \cdot I_c = -R_C \cdot h_{fe} \cdot I_b = -R_C \cdot h_{fe} \cdot I_i$$

Aynı zamanda $I_i = \frac{V_i}{h_{ie}}$ yerine konacak olursa, ($h_{re} \cong 0$ yani yaklaşık karma eşdeğer devre)

$$V_o = -R_C \cdot \left(\frac{V_i}{h_{ie}} \right) \cdot h_{fe} \Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C \cdot h_{fe}}{h_{ie}} \text{ elde edilir.}$$

r_e eşdeğer devre modeli için ise, $h_{fe} = \beta$ ve $h_{ie} = \beta \cdot r_e$ konacak olursa;

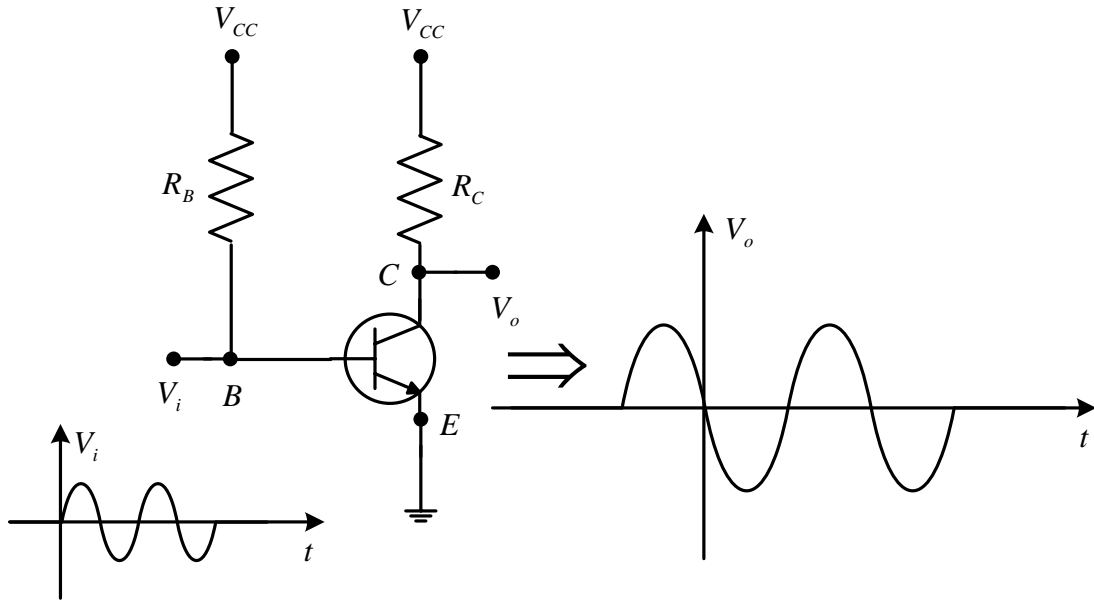
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C \cdot \beta}{\beta \cdot r_e} = -\frac{R_C}{r_e}$$

$$(*) A_i = \frac{I_o}{I_i} \text{ (ileri yönde akım kazancı} = h_{fe} \text{)}$$

$$I_c = I_o = h_{fe} I_b \cong h_{fe} I_i$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} \cong h_{fe}$$

r_e eşdeğer devre modeli için ise, $A_i \cong \beta$



Şekil 4.18 Ortak emetörlü sabit öngerilimli devre modelinde giriş ve çıkış işaretleri

Örnek: Aynı devrede $R_B = 560 \text{ k}\Omega$, $R_C = 3 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

$C_1 = C_2 = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$ ve $I_C = 2 \text{ mA}$ de, $h_{fe} = 100$, $h_{ie} = 1300 \Omega$ olduğuna göre;

- a) Yaklaşık karma eşdeğer devre parametrelerini kullanarak Z_i , Z_o , A_v ve A_i yi bulunuz.
b) r_e eşdeğer devre modelini kullanarak Z_i , Z_o , A_v ve A_i yi bulunuz.

Çözüm:

a) $R_B = 560 \text{ k}\Omega \gg h_{ie} = 1300 \Omega$ olduğundan,

$$(*) Z_i \cong h_{ie} = 1300 \Omega$$

$$(*) Z_o = R_C = 3 \text{ k}\Omega$$

$$(*) A_v = -\frac{h_{fe} \cdot R_C}{h_{ie}} = -\frac{(100) \times (3 \text{ k}\Omega)}{(1.3 \text{ k}\Omega)} = -230.77$$

$$(*) A_i = h_{fe} = 100$$

$$\text{b) } I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0.7) \text{ V}}{560 \text{ k}\Omega} \cong 20 \text{ }\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \times 20 \text{ }\mu\text{A} = 2 \text{ mA} = I_E$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{2 \text{ mA}} = 13 \Omega$$

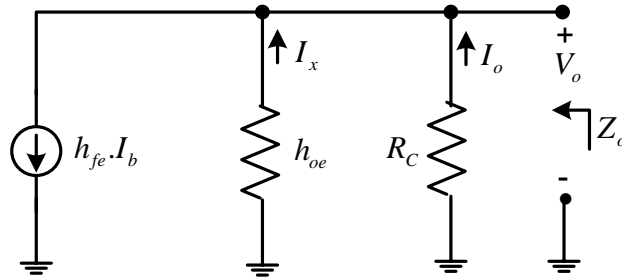
$$(*) Z_i \cong \beta \cdot r_e = 100 \times 13 \Omega = 1300 \Omega$$

$$(*) Z_o = R_C = 3 k\Omega$$

$$(*) A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{3 k\Omega}{13 \Omega} = -230.77$$

$$(*) A_i \cong \beta = 100$$

h_{oe} nin etkisini hesaplayacak olursak;



Şekil 4.19 Ortak emetörlü sabit öngerilimli devre modelinde h_{oe} nin etkisinin gösterimi

Çıkış empedansı;

$$Z_o = R_C // \frac{1}{h_{oe}}$$

İleri yön gerilim kazancı;

$$I_b \cong I_i = \frac{V_i}{h_{ie}}$$

$$V_o = -h_{fe} \cdot I_b \left(R_C // \frac{1}{h_{oe}} \right) \Rightarrow A_v = -\frac{h_{fe}}{h_{ie}} \left(R_C // \frac{1}{h_{oe}} \right)$$

İleri yön akım kazancı;

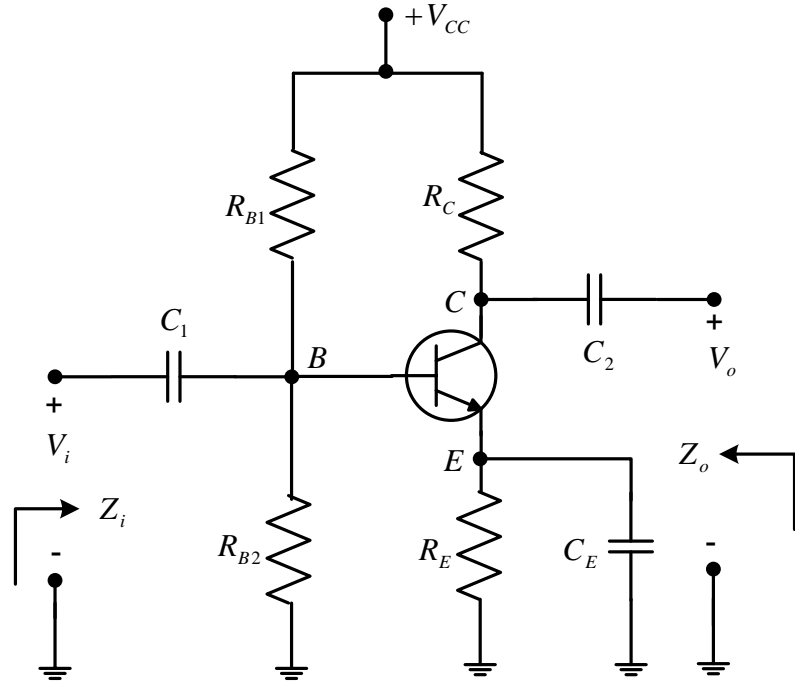
$$h_{fe} I_b = I_x + I_o \Rightarrow h_{fe} I_i = V_o \cdot h_{oe} + \frac{V_o}{R_C} = V_o \cdot \left(h_{oe} + \frac{1}{R_C} \right)$$

$$h_{fe} \cdot I_i = R_C \cdot I_o \left(h_{oe} + \frac{1}{R_C} \right)$$

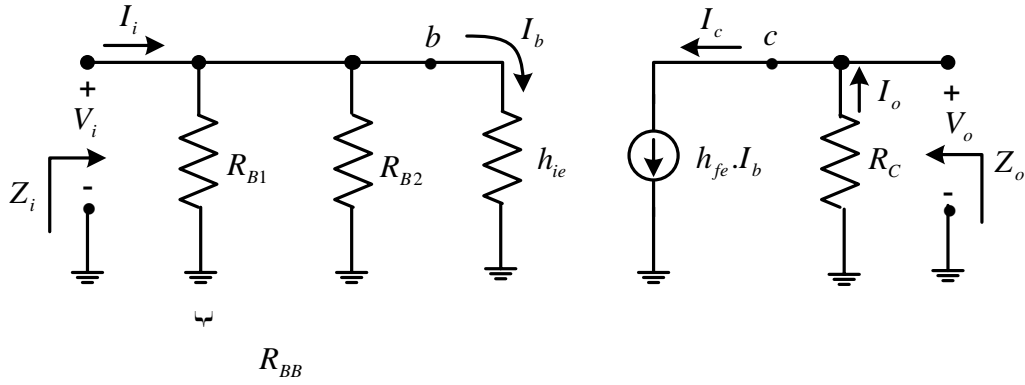
$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{h_{fe}}{R_C h_{oe} + 1}$$

(h_{oe} nin hesaplamalara dahil edilmesinden Z_i hiç etkilenmez.)

4.5.2 Gerilim bölücü ile öngerilimleme devresi



Şekil 4.20 Gerilim bölücü ile öngerilimleme devre modeli (a)



Şekil 4.21 Gerilim bölücü ile öngerilimleme devre modeli (b)

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

(*) $Z_i = R_{BB} // h_{ie}$ (yaklaşık karma eşdeğer devre için)

(*) r_e eşdeğer devre modeli için $Z_i = R_{BB} // \beta \cdot r_e$

(*) $Z_o = R_C$ ($V_i = 0$ için $I_i \cong I_b = 0$)

(*) Yaklaşık karma eşdeğer devre için A_v yi bulacak olursak,

$$V_o = -I_o R_C = -I_c R_C = -h_{fe} I_b R_C = -h_{fe} \cdot \frac{V_i}{h_{ie}} \cdot R_C = -\frac{h_{fe}}{h_{ie}} \cdot V_i \cdot R_C$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$$

(*) r_e eşdeğer devre modeli için, $A_v = -\frac{R_C}{r_e}$

(*) R_{BB} direnci çoğu durumda, h_{ie} büyüklüğüne ihmal edilmeyecek kadar yakın olduğundan, R_{BB} nin etkisi akım kazancı denkleminde dikkate alınmalıdır.

$$I_i = I_{bb} + I_b = \frac{V_i}{R_{BB}} + \frac{V_i}{h_{ie}} = V_i \left(\frac{1}{R_{BB}} + \frac{1}{h_{ie}} \right) = h_{ie} I_b \left(\frac{R_{BB} + h_{ie}}{R_{BB} h_{ie}} \right)$$

$$\frac{I_i}{I_b} = \frac{R_{BB} + h_{ie}}{R_{BB}} \quad \text{veya} \quad \frac{I_b}{I_i} = \frac{R_{BB}}{R_{BB} + h_{ie}} \quad \text{yazılabilir.}$$

Çıkış için, $I_o = I_c = h_{fe} I_b \Rightarrow \frac{I_o}{I_b} = h_{fe}$ yazılabilir. Bu iki ifadeyi oranlarsak;

$$A_i = \frac{\frac{I_o}{I_b}}{\frac{I_i}{I_b}} = \frac{h_{fe} R_{BB}}{R_{BB} + h_{ie}}$$

Şayet $R_{BB} \gg h_{ie}$ ise, $A_i = h_{fe}$ olur.

(*) r_e eşdeğer devre modeli için ise;

$$A_i = \frac{R_{BB} \beta}{R_{BB} + \beta r_e} = h_{fe}$$

Örnek: Yukarıdaki devrede $R_{B1} = 56 \, k\Omega$, $R_{B2} = 5.6 \, k\Omega$, $R_C = 10 \, k\Omega$, $R_E = 1.5 \, k\Omega$, $C_1 = C_2 = C_E = 1 \, \mu F$, $\beta = 90$, $V_{CC} = 22 \, V$ olmak üzere, r_e eşdeğer devre modeli kullanarak Z_i , Z_o , A_v ve A_i yi bulunuz.

Çözüm:

I_E yi bulmak için dc analiz yapmak zorundayız.

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} = \frac{5.6 \text{ k}\Omega \times 22 \text{ V}}{5.6 \text{ k}\Omega + 56 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ V}$$

$$R_{BB} = R_{B1} // R_{B2} = 56 \text{ k}\Omega // 5.6 \text{ k}\Omega = 5.09 \text{ k}\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1 + \beta) R_E} = \frac{(2 - 0.7) \text{ V}}{5.09 \text{ k}\Omega + (1 + 90) \times 1.5 \text{ k}\Omega} = 9.18 \text{ }\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 90 \times 9.18 \text{ }\mu\text{A} = 0.826 \text{ mA} = I_E$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{0.826 \text{ mA}} \cong 31.5 \text{ }\Omega$$

$$(*) Z_i = R_{BB} // \beta r_e = 5.09 \text{ k}\Omega // (90 \times 31.5 \text{ }\Omega) = 1.821 \text{ k}\Omega$$

$$(*) Z_o = R_C = 10 \text{ k}\Omega$$

$$(*) A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{10 \text{ k}\Omega}{31.5 \text{ }\Omega} = -317.5$$

$$(*) A_i = \frac{R_{BB} \beta}{R_{BB} + \beta r_e} = \frac{5.09 \text{ k}\Omega \times 90}{5.09 \text{ k}\Omega + 90 \times 31.5 \text{ }\Omega} = 57.8$$

h_{oe} nin etkisinin hesaba katılması:

h_{oe} ve R_C birbirlerine paralel olduğundan;

Çıkış empedansının bulunuşu;

$$(*) Z_o = R_C // \frac{1}{h_{oe}}$$

İleri yön gerilim transfer oranının bulunuşu;

Doçent Doktor Kürşat Ayan

$$(*) A_v = -\frac{h_{fe}}{h_{ie}} \cdot \left(R_C \parallel \frac{1}{h_{oe}} \right)$$

İleri yön akım transfer oranının bulunuşu;

$$(*) I_o = \frac{(1/h_{oe}) \cdot h_{fe} \cdot I_b}{1/h_{oe} + R_C} \quad \frac{I_o}{I_b} = \frac{(1/h_{oe}) \cdot h_{fe}}{1/h_{oe} + R_C}$$

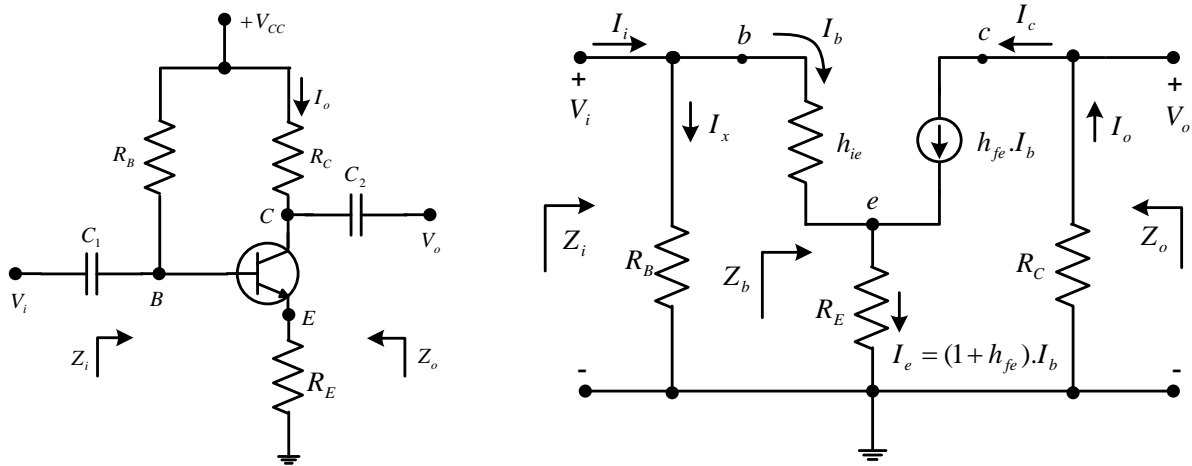
$$\frac{I_i}{I_b} = \frac{R_{BB} + h_{ie}}{R_{BB}} \text{ olarak bulunmuş idi. İkisini birbirine oranlarsak;}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_o}{I_b} \cdot \frac{I_b}{I_i} = \frac{(1/h_{oe}) \cdot h_{fe}}{1/h_{oe} + R_C} \cdot \frac{R_{BB}}{R_{BB} + h_{ie}}$$

$$A_i = \frac{h_{fe} \cdot R_{BB}}{(1 + h_{oe} \cdot R_C) \cdot (R_{BB} + h_{ie})}$$

Ödev: Aynı devrede, emetör direnci köprülenmemiş durumdaki Z_i , Z_o , A_v ve A_i yi bulunuz.

4.5.3 Ortak emetörlü ve emetörü köprülenmemiş öngerilimli devre



Şekil 4.22 Ortak emetörlü ve emetörü köprülenmemiş öngerilimli devre modeli

Transistor yaklaşık karma eşdeğerli devreye Kirchhoff gerilim yasasını uygularsak;

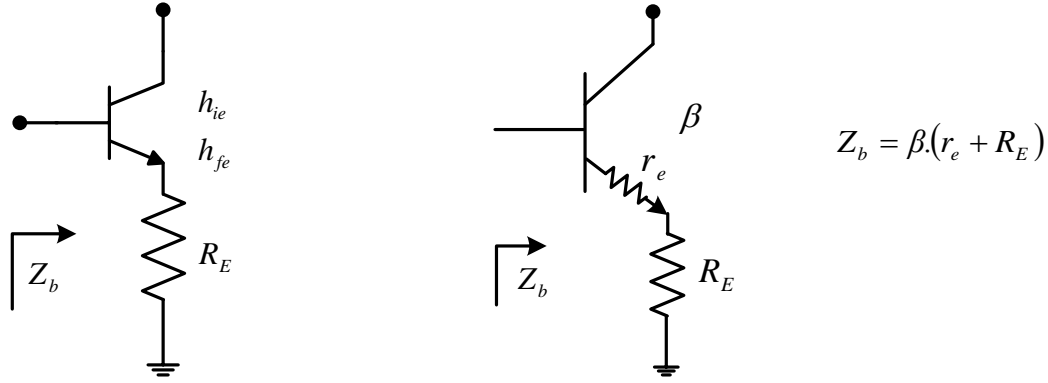
$$V_i = I_b \cdot h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot I_b \cdot R_E$$

$$Z_b = \frac{V_i}{I_b} = h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot R_E$$

$h_{fe} \gg 1$ olduğundan, $Z_b \cong h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E$ olur.

Birçok uygulamada $h_{fe} \gg h_{ie}$ olduğundan, $Z_b \cong h_{fe} \cdot R_E$ olacaktır.

r_e devre modeli için ise;



Şekil 4.23 Ortak emetörlü ve emetörü köprülenmemiş öngerilimli devrede r_e nin gösterimi

$R_E \gg r_e$ olduğundan, $Z_b \cong \beta \cdot R_E$ olacaktır. O halde;

$Z_i = R_B // Z_b$ olur. (Hem yaklaşık karma eşdeğer hem de r_e eşdeğer devre modeli için bu sonuç geçerlidir.)

Z_o ı bulmak için; $V_i = 0$ alındığında $I_b = 0$ olur. $h_{fe} \cdot I_b$ yerine açık devre eşdeğeri konur. Bu durumda sonuç her iki model içinde;

$Z_o = R_C$ olur.

A_v yi bulmak için; $I_b = \frac{V_i}{Z_b}$ idi.

$$V_o = -I_o \cdot R_C = -I_c \cdot R_C = -h_{fe} \cdot I_b \cdot R_C = -h_{fe} \cdot \frac{V_i}{Z_b} \cdot R_C$$

Yaklaşık karma eşdeğer devre modeli için ileri yön gerilim transfer oranı;

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{h_{fe} \cdot R_C}{Z_b} = -\frac{h_{fe} \cdot R_C}{h_{ie} + h_{fe} \cdot R_E} \cong -\frac{R_C}{R_E}$$

r_e eşdeğer devre modeli için ileri yön gerilim transfer oranı;

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{h_{fe} \cdot R_C}{Z_b} = -\frac{h_{fe} \cdot R_C}{\beta(r_e + R_E)} = -\frac{R_C}{r_e + R_E} \cong -\frac{R_C}{R_E}$$

A_i yi bulmak için; R_B değeri genellikle Z_b ye ihmal edilemeyecek kadar yakındır. Bu nedenle giriş devresine akım bölücü kuralı uygulandığında;

$$I_i = I_x + I_b = \frac{V_i}{R_B} + \frac{V_i}{Z_b} = V_i \cdot \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{Z_b} \right) = Z_b \cdot I_b \cdot \left(\frac{R_B + Z_b}{R_B \cdot Z_b} \right)$$

$$I_i = I_b \cdot \left(\frac{R_B + Z_b}{R_B} \right) \text{ veya } I_b = \left(\frac{R_B}{R_B + Z_b} \right) \cdot I_i$$

Aynı zamanda $I_c = I_o = h_{fe} \cdot I_b$ idi.

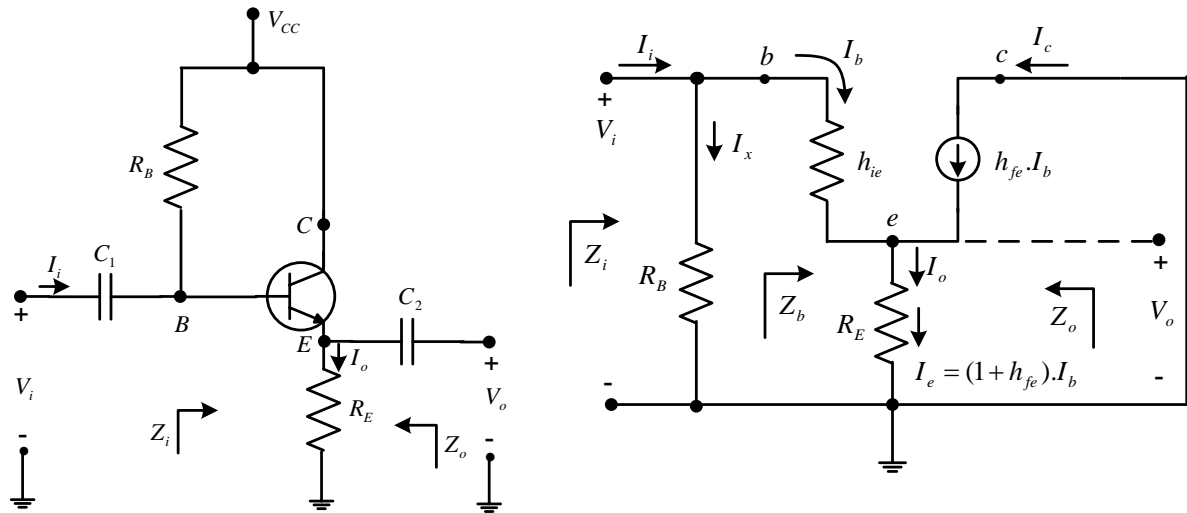
$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{h_{fe} \cdot I_b}{\left(\frac{R_B + Z_b}{R_B} \right) \cdot I_b} = \frac{h_{fe} \cdot R_B}{R_B + Z_b}$$

4.5.4 Emetör izleyici devresi

Burada çıkış gerilimi giriş sinyalinden her zaman biraz daha düşüktür. Ancak $A_v \cong 1$ seçilmesi genellikle iyi bir uygulamadır. Kollektör geriliminin aksine, emetör gerilimi V_i ile aynı fazdadır. V_o ın, V_i nin genliğini aynı fazda izlemesinden dolayı, emetör izleyici terimi uygun bir terimdir.

Aslında kollektör, ac analiz için topraklandığından dolayı, bu gerçekte bir ortak-kollektörlü devredir.

Emetör izleyici devresi, çoğunlukla empedans uydurma amaçları için kullanılır. Bu devre, standart sabit ön gerilimli devrenin tersine, girişte yüksek empedans, çıkışta düşük empedans gösterir. Sonuçta ortaya çıkan etki, sistemde maksimum güç transferi için, yükün kaynak empedansına uydurulduğu bir transformatörden elde edilen ile aynıdır.



Şekil 4.24 Emetör izleyici devre modeli

Z_i giriş empedansının bulunması;

$Z_i = R_B // Z_b$ (Z_b nin bulunması daha önce anlatılanlarla aynı yani $Z_b = h_{ie} + (1 + h_{fe})R_E$ dir)

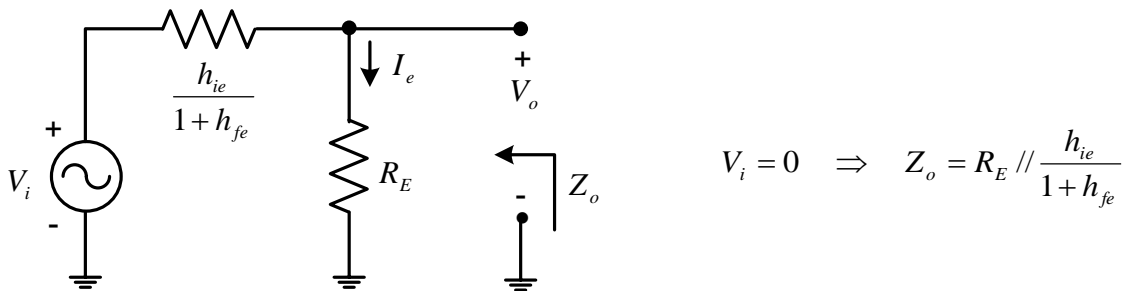
Z_o çıkış empedansının bulunması;

$$I_b = \frac{V_i}{Z_b} \text{ idi.}$$

$$I_e = (1 + h_{fe}) \cdot I_b = (1 + h_{fe}) \cdot \frac{V_i}{Z_b} = \frac{(1 + h_{fe}) \cdot V_i}{h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot R_E}$$

$$I_e = \frac{V_i}{\left[\frac{h_{ie}}{(1 + h_{fe})} \right] + R_E} = I_o$$

Bu denklem ile tanımlanan devreyi kurarsak ve burada $V_i = 0$ dersek;



$$V_i = 0 \Rightarrow Z_o = R_E // \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$$

Şekil 4.25 Emetör izleyici devre modelinde Z_o ın bulunması

A_v yi bulmak için;

$V_i = I_b \cdot Z_b$ ve buradan da $I_b = \frac{V_i}{Z_b}$ yazılabilir. Bu ifadeyi,

$V_o = (1 + h_{fe}) \cdot I_b \cdot R_E$ denkleminde yerine koyacak olursak;

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(1 + h_{fe}) \cdot I_b \cdot R_E}{\left[(1 + h_{fe}) \cdot R_E + h_{ie} \right] I_b} = \frac{R_E}{\frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}} + R_E} \text{ olacaktır.}$$

(-) işaretinin olmaması V_o ile V_i nin aynı fazda olduğunu gösterir. V_o ın V_i ye eşit olmamasının tek nedeni $\left(\frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}} \right)$ dir.

A_i yi bulmak için, akım bölücü kuralı uygulandığında;

$$I_i = I_b \cdot \left(\frac{R_B + Z_b}{R_B} \right) \text{ bulunur. (Daha önce yapıldı)}$$

$$I_o = I_e = (1 + h_{fe}) \cdot I_b \text{ idi.}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{(1 + h_{fe}) \cdot I_b}{\left(\frac{R_B + Z_b}{R_B} \right) \cdot I_b} = \frac{R_B \cdot (1 + h_{fe})}{R_B + Z_b}$$

$h_{ie} = \beta \cdot r_e$ ve $h_{fe} = \beta$ yerine konmak suretiyle, r_e eşdeğer devre modeline ait eşitlikler doğrudan yukarıdaki denklemlerden elde edilir.

$\beta \gg 1$ için;

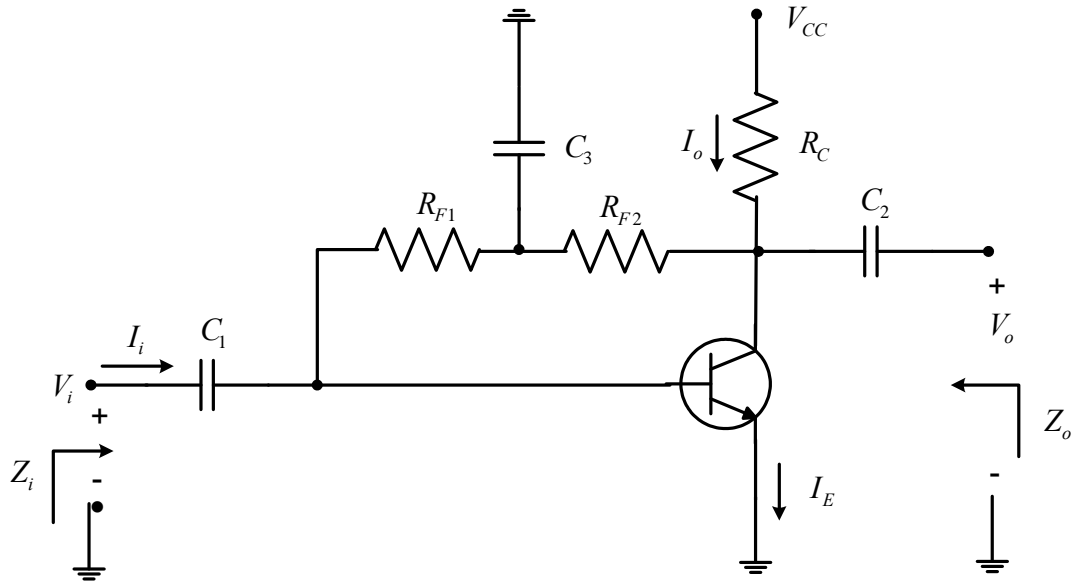
$$Z_o = R_E // r_e$$

$$A_v = \frac{R_E}{R_E + r_e}$$

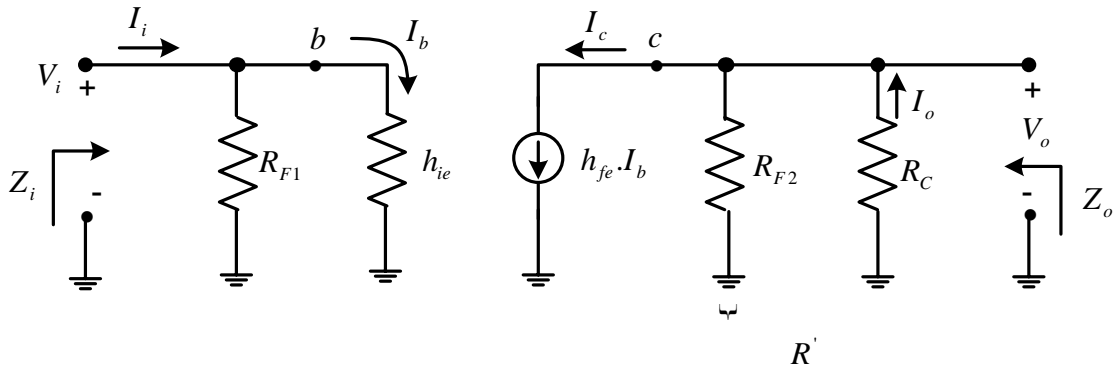
$$A_i = \frac{\beta \cdot R_B}{R_B + Z_b} \rightarrow Z_b = \beta \cdot (r_e + R_E) \text{ dir.}$$

4.5.5 Kollektör geri beslemeli fark yükseltici devresi

Devreye kararlılığı arttırmak için bir dc geri besleme direnci eklenmiştir. Ancak C_3 kondansatörü bu dc geri besleme direncinin bir bölümünü ac domenindeki devrenin giriş ve çıkışına kaydıracaktır. Girişe ve çıkışa kaydırılan R_F oranı, arzu edilen ac giriş ve çıkış direnç seviyeleriyle belirlenecektir.



Şekil 4.26 Kollektör geri beslemeli fark yükseltici devre modeli (a)



Şekil 4.27 Kollektör geri beslemeli fark yükseltici devre modeli (b)

Z_i nin bulunması;

$$Z_i = R_{F1} // h_{ie}$$

Doçent Doktor Kürşat Ayan

Z_o in bulunması;

$$Z_o = R_C // R_{F2}$$

A_v nin bulunması;

$$V_o = -I_c \cdot R' = -h_{fe} \cdot I_b \cdot R' = -h_{fe} \cdot \frac{V_i}{h_{ie}} \cdot R'$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{h_{fe} \cdot R'}{h_{ie}}$$

A_i nin bulunması, akım bölücü kuralından;

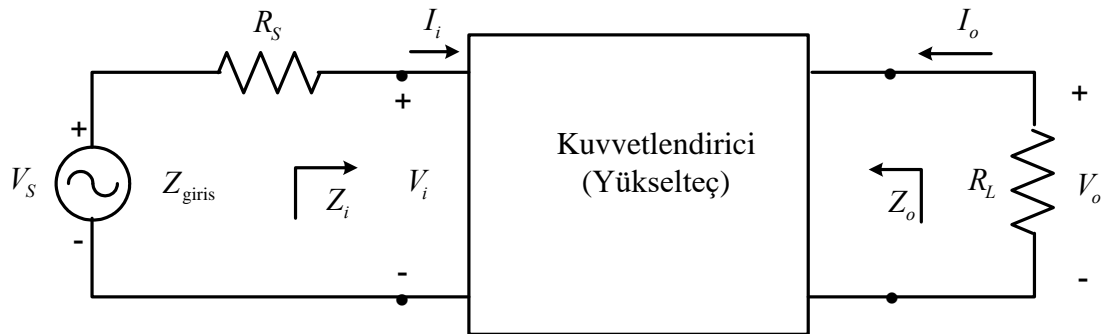
$$I_i = I_b \cdot \frac{R_{F1} + h_{ie}}{R_{F1}} \Rightarrow I_b = I_i \cdot \frac{R_{F1}}{R_{F1} + h_{ie}}$$

$$I_o = I_b \cdot \frac{R_{F2} \cdot h_{fe}}{R_{F2} + R_C} \Rightarrow I_b = I_o \cdot \frac{R_{F2} + R_C}{R_{F2} \cdot h_{fe}}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{R_{F2} \cdot h_{fe}}{R_{F2} + R_C} \cdot \frac{R_{F1}}{R_{F1} + h_{ie}} = \frac{h_{fe} \cdot R_{F1} \cdot R_{F2}}{(R_{F1} + h_{ie}) \cdot (R_{F2} + R_C)}$$

4.5.6 R_S kaynak direnci ve R_L yük direncinin devrelere etkisi

Pratikte bütün kaynaklar bir R_S iç direncine sahiptir. Aynı zamanda yükler kuvvetlendiricinin (yükseltecin) çıkış uçlarına bağlanır.



Şekil 4.28 R_S kaynak direnci ve R_L yük direncinin devrelere etkisinin gösterimi

Giriş tarafındaki Z_{giris} in bulunması;

$$Z_{\text{giris}} = R_S + Z_i$$

V_i gerilimi, gerilim bölücü üzerinden V_S ye bağlıdır.

$$V_i = \frac{Z_i \cdot V_S}{Z_i + R_S} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_i}{V_S} = \frac{Z_i}{Z_i + R_S}$$

Sistemin toplam gerilim kazancı;

$$A_{vs} = \frac{V_o}{V_S} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_S} = A_v \cdot \frac{Z_i}{Z_i + R_S}$$

Giriş akımı;

$$I_i = \frac{V_S}{R_S + Z_i} = \frac{V_i}{Z_i}$$

Çıkış kısmı için V_o gerilimi, üzerinden I_o akımı akan R_L uçlarında tanımlanır. Yani;

$$V_o = I_o \cdot R_L \text{ olur.}$$

$$|A_{is}| = \left| \frac{I_o}{I_i} \right| = \left| \frac{\left(\frac{V_o}{R_L} \right)}{\left(\frac{V_i}{Z_i} \right)} \right| = \left(\frac{Z_i}{R_L} \right) |A_v|$$