

# **Elektronik Aygıtlar**

## **BÖLÜM 5 BJT TRANSİSTÖRLERİN AC ANALİZİ**

**BMB2012 – Elektronik Devreler ve Aygıtlar  
Ders Notları  
Bursa Uludağ Üniversitesi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
2023-2024 Bahar Yarıyılı**

**Çeviren ve Düzenleyen: Prof. Dr. Kemal FİDANBOYLU**

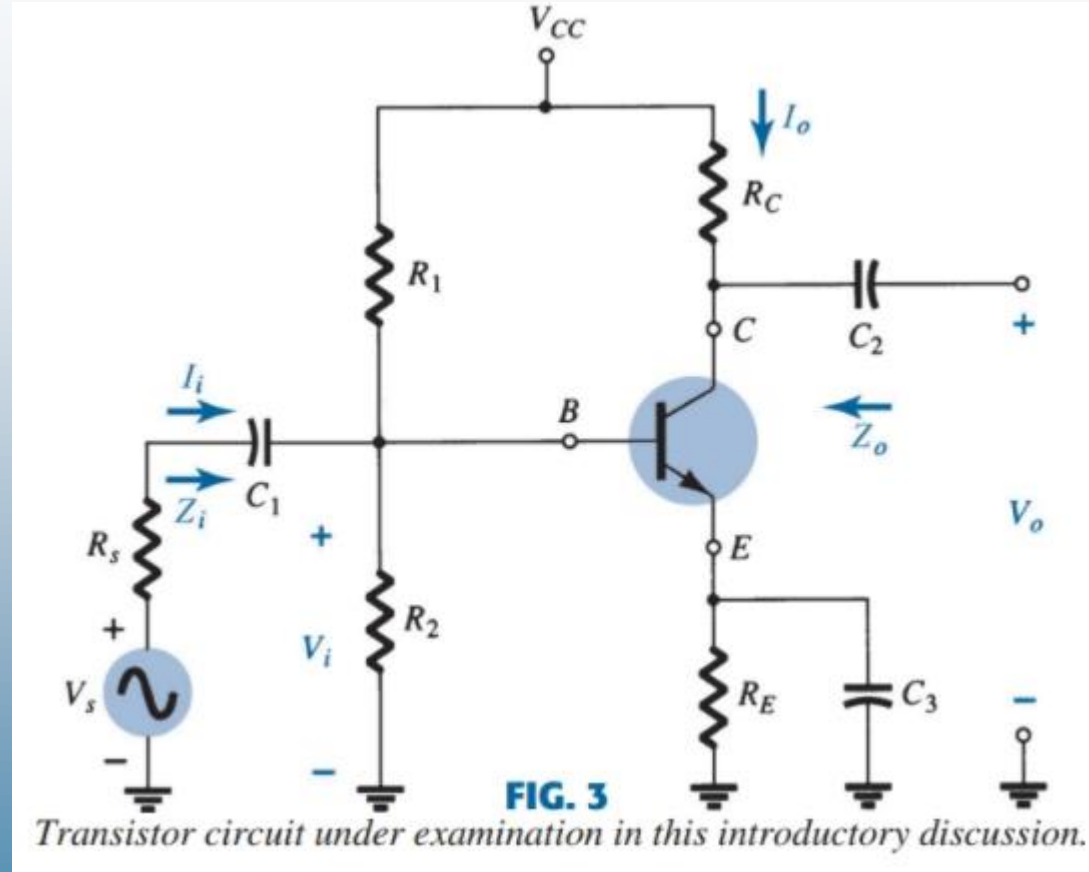
# BJT Transistör Modellemesi (1)

- Model, transistörün AC özelliklerini temsil eden eşdeğer bir devredir.
- Bir model, transistörün davranışına yaklaşan devre elemanlarını kullanır.
- Bir transistörün küçük sinyal AC analizinde yaygın olarak kullanılan iki tür model vardır:
  - **$r_e$  modeli**
  - **Hibrit eşdeğer modeli**

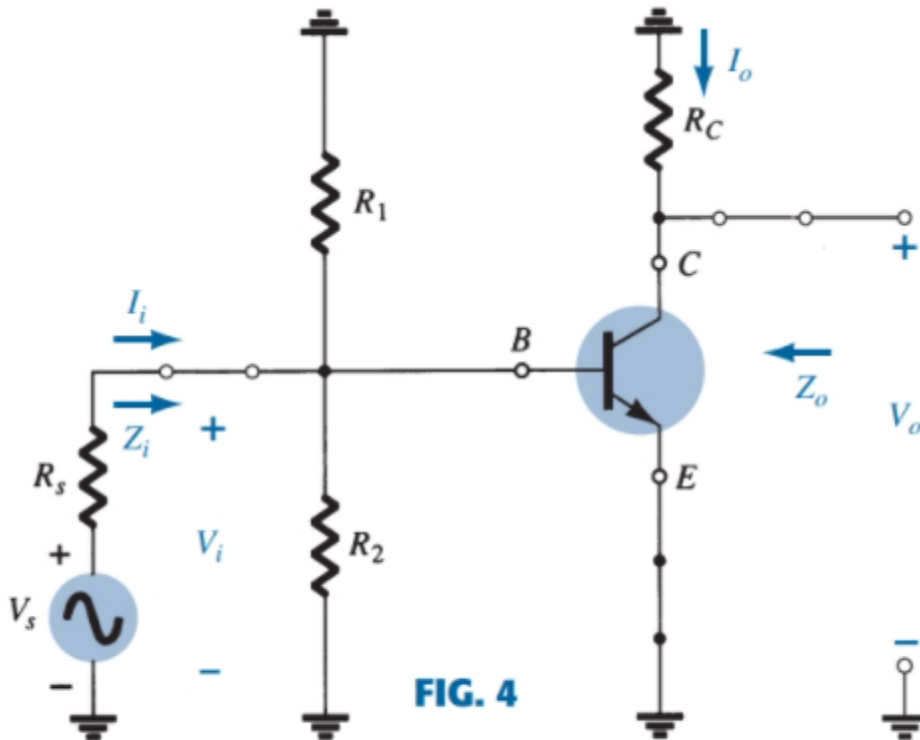
# BJT Transistör Modellemesi (2)

- Bir transistör devresinin ac eşdeğeri modelini elde etmek için aşağıdaki adımlar uygulanır:

1. Tüm dc kaynaklarını sıfırlayıp, kısa devre eşdeğeri ile değiştirin.
2. Tüm kapasitörleri kısa devre eşdeğeri ile değiştirin.
3. Adım 1 ve 2'deki kısa devre eşdeğerleri tarafından baypas edilen elemanları kaldırın.
4. Devreyi daha uygun ve mantıklı bir biçimde yeniden çizin.

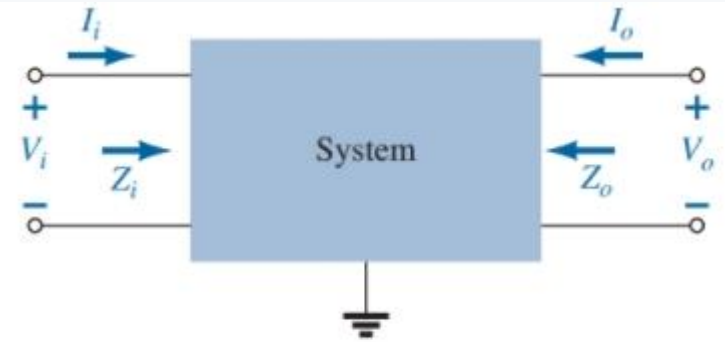


# BJT Transistör Modellemesi (3)



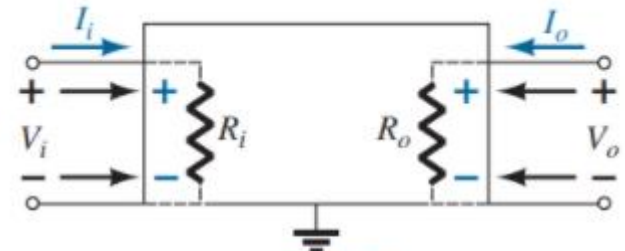
**FIG. 4**

The network of Fig. 3 following removal of the dc supply and insertion of the short-circuit equivalent for the capacitors.



**FIG. 5**

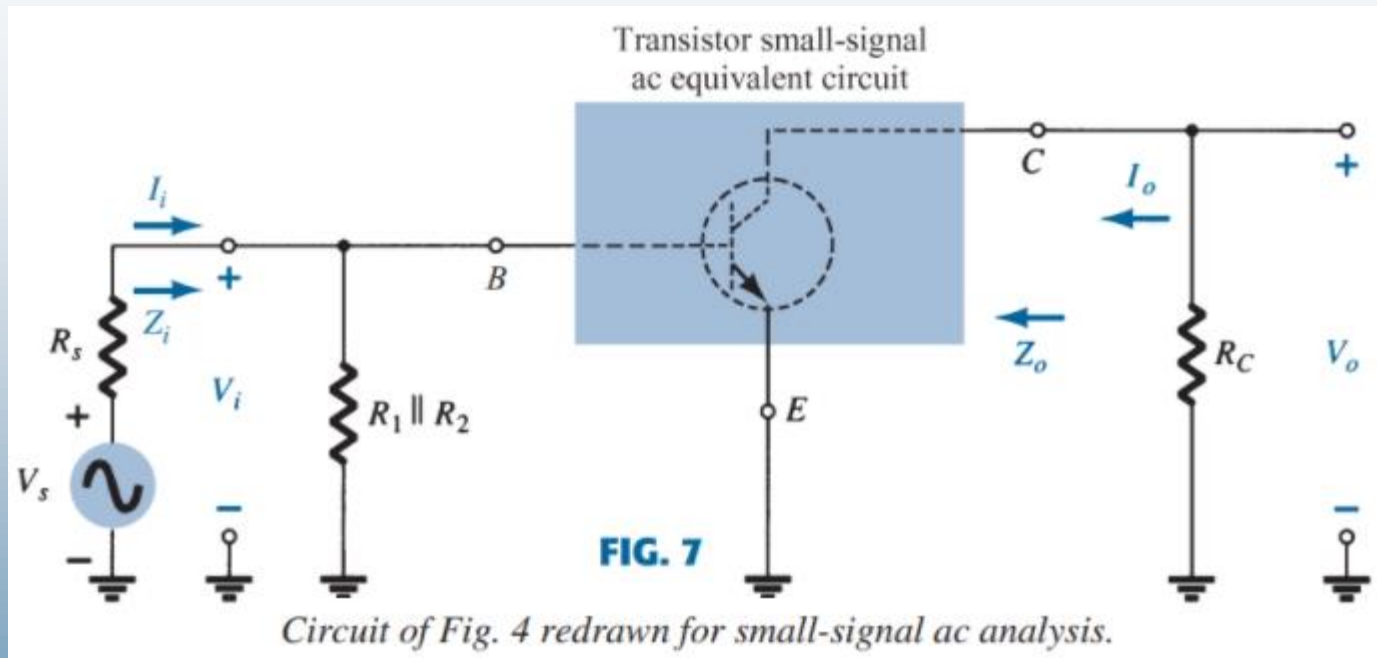
Defining the important parameters of any system.



**FIG. 6**

Demonstrating the reason for the defined directions and polarities.

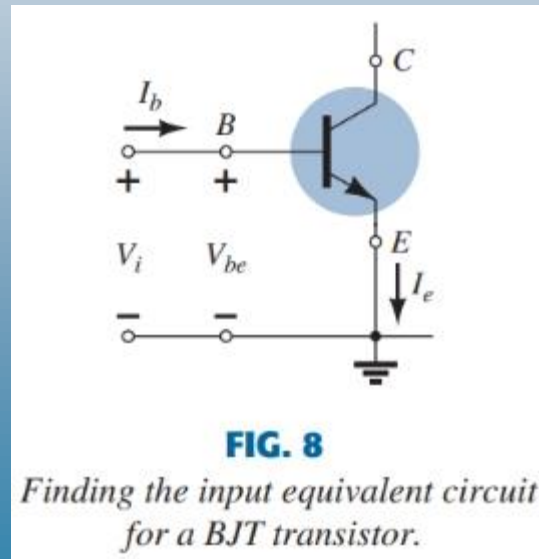
# BJT Transistör Modellemesi (4)



# $r_e$ Transistör Modeli (1)

## Ortak-Emitör Konfigürasyonu

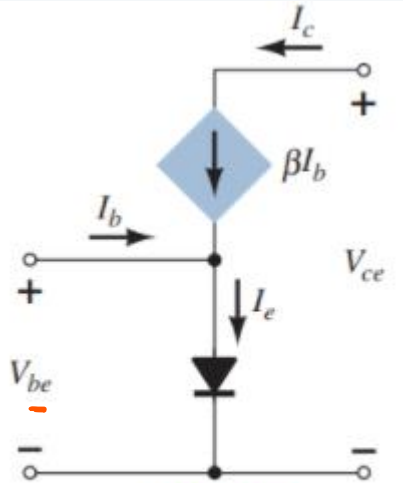
- BJT'ler temel olarak akım kontrollü cihazlardır; bu nedenle  $r_e$  modeli, transistörün davranışını modellemek için bir diyot ve bir akım kaynağı kullanır.
- Bu modelin bir dezavantajı, DC değerlerine olan duyarlılığıdır. Bu model belirli devre koşulları için tasarlanmıştır.



$Z = R + jS$   
 $Z$  = Empedans  
 $R$  = Rezistans  
 $S$  = Admittans

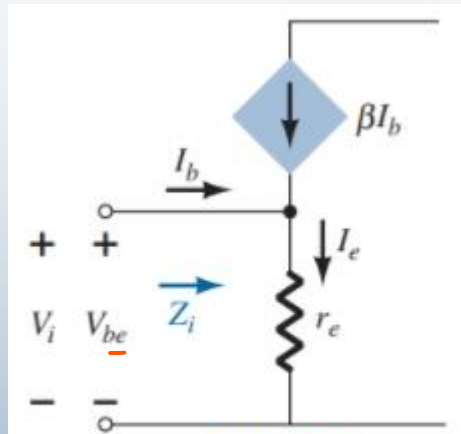
$r$   
 $A_v$  = Voltaj kazancı  
 $Z$  = Giriş empedansı  
 $Z$  = Çıkış empedansı

# $r_e$ Transistör Modeli (2) Ortak-Emitör Konfigürasyonu



**FIG. 12**

*BJT equivalent circuit.*



**FIG. 13**

*Defining the level of  $Z_i$ .*

$$Z_i = \frac{V_i}{I_b} = \frac{V_{be}}{I_b}$$

$$V_{be} = I_e r_e = (I_c + I_b) r_e = (\beta I_b + I_b) r_e$$

$$= (\beta + 1) I_b r_e$$

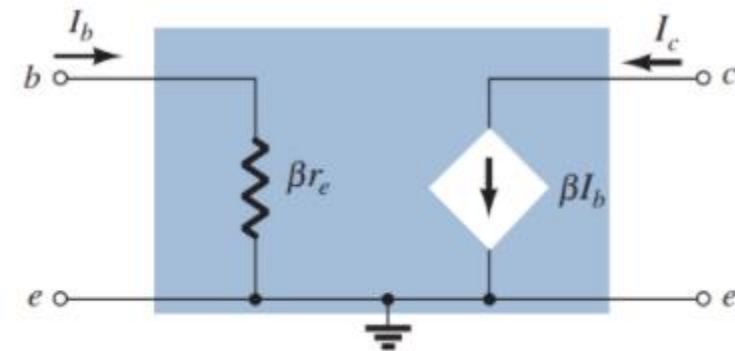
$$Z_i = \frac{V_{be}}{I_b} = \frac{(\beta + 1) I_b r_e}{I_b}$$

$$Z_i = (\beta + 1) r_e \cong \beta r_e$$

- Ortak-Emitör konfigürasyonu için, giriş ve çıkış gerilimleri arasında 180°'lik bir faz kayması vardır.

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_e}$$

Alt simgeler küçük AC demektir.

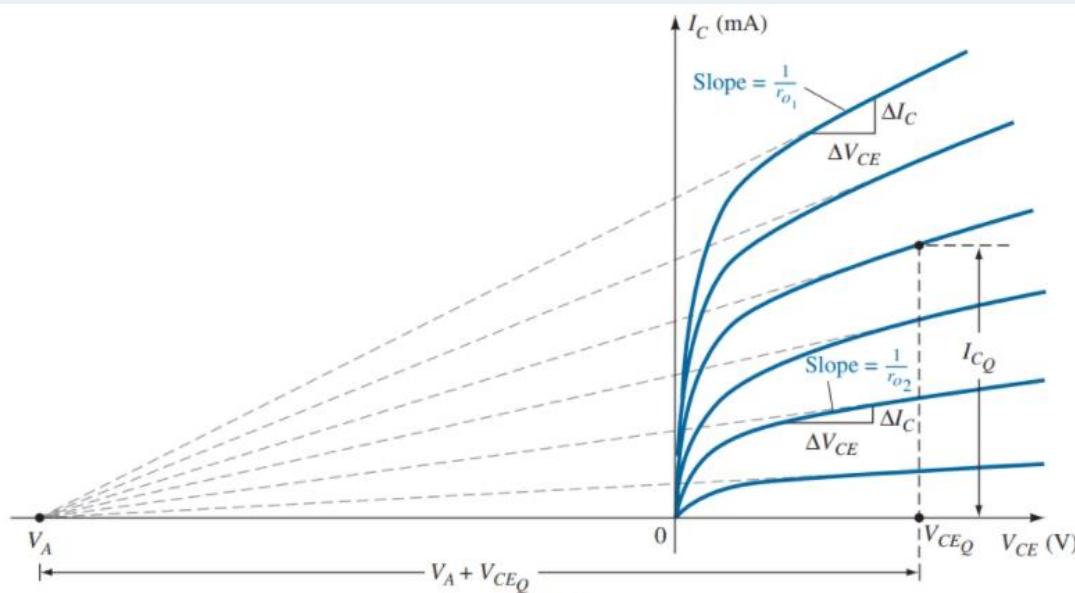


**FIG. 14**

*Improved BJT equivalent circuit.*

# $r_e$ Transistör Modeli (3)

## Ortak-Emitör Konfigürasyonu

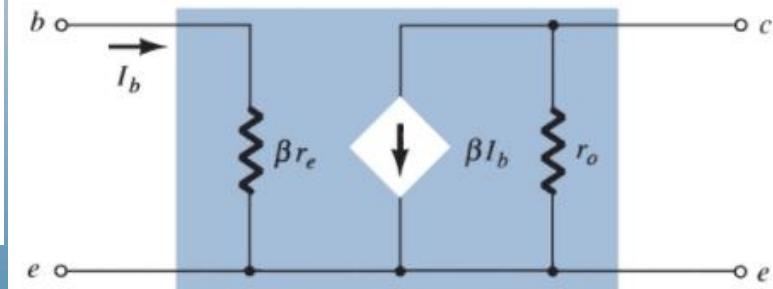


**FIG. 15**

Defining the Early voltage and the output impedance of a transistor.

$$r_o = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_A + V_{CEQ}}{I_{CQ}}$$

$$r_o = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \quad r_o \cong \frac{V_A}{I_{CQ}}$$



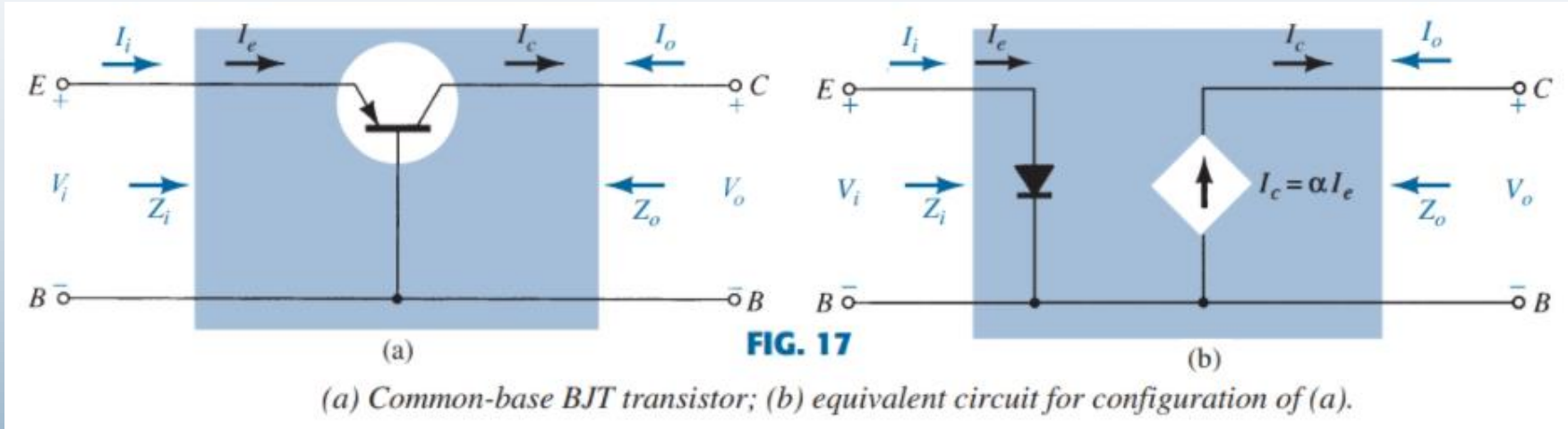
**FIG. 16**

$r_e$  model for the common-emitter transistor configuration including effects of  $r_o$ .

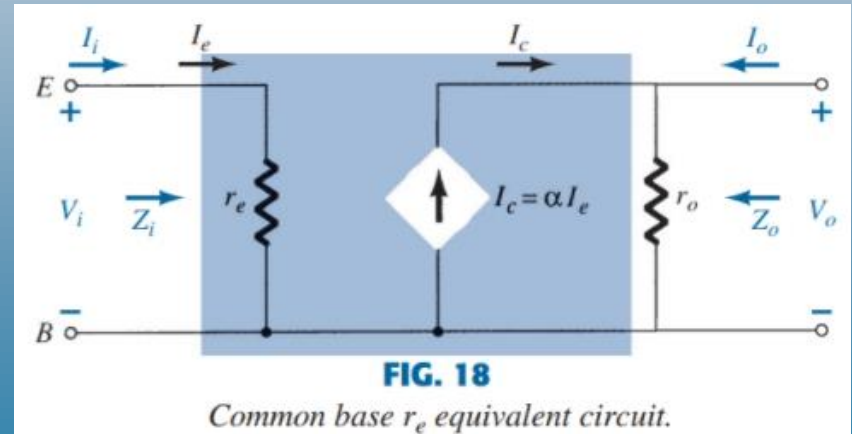


# $r_e$ Transistör Modeli (4)

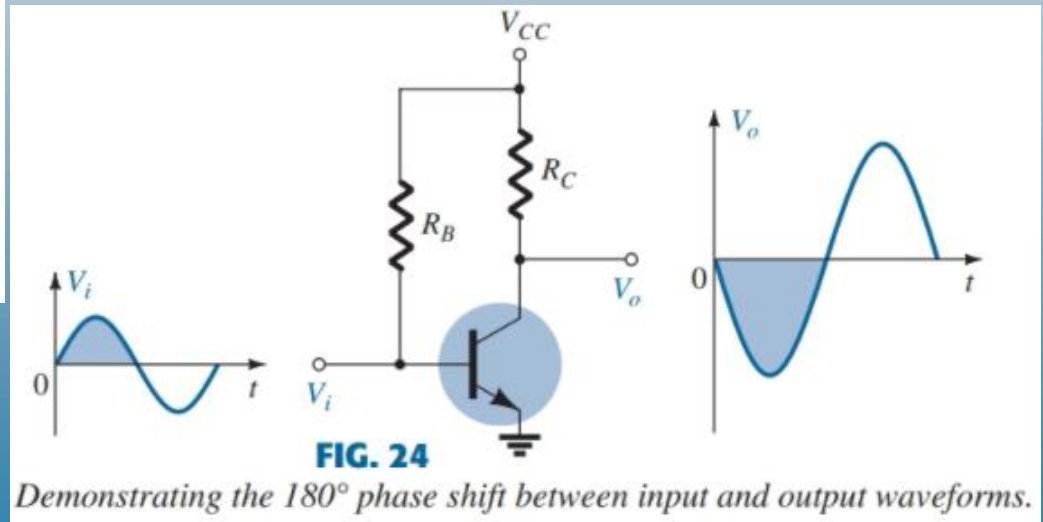
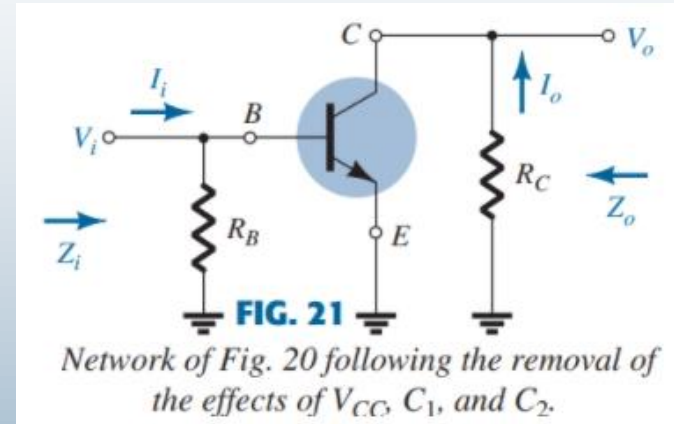
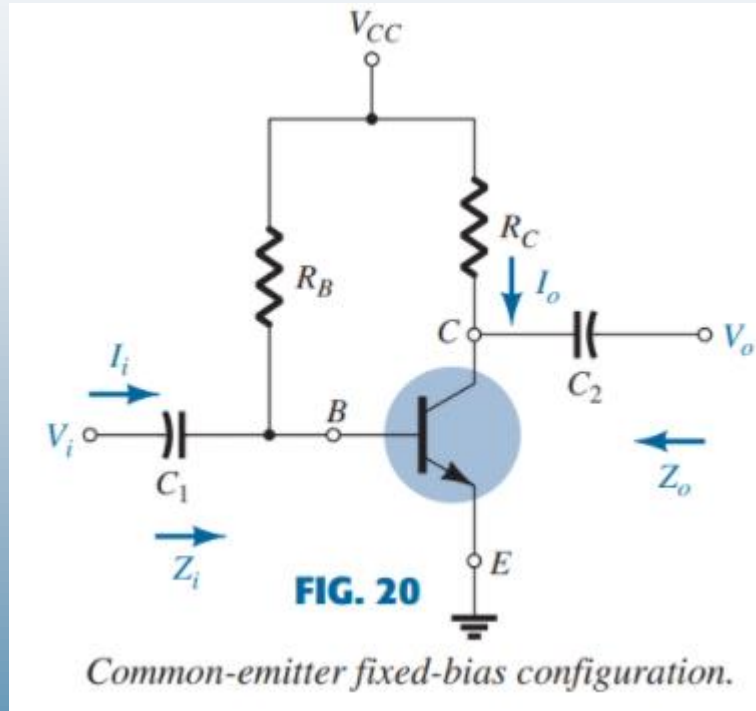
## Ortak-Baz Konfigürasyonu



- Ortak-Baz konfigürasyonu için giriş ve çıkış gerilimleri arasında faz kayması yoktur.



# Ortak-Emitör Sabit Polarlama Konfigürasyonu (1)



# Ortak-Emitör Sabit Polarlama Konfigürasyonu (2)

- Giriş Empedansı  $Z_i$ :**

$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e$$

- Eğer  $R_B \geq 10\beta r_e$  ise:

$$Z_i \cong \beta r_e \quad R_B \geq 10\beta r_e$$

- Çıkış Empedansı  $Z_o$ :**

$$Z_o = R_C \parallel r_o$$

- Eğer  $r_o \geq 10R_C$  ise:

$$Z_o \cong R_C \quad r_o \geq 10R_C$$

- Voltaj Kazancı  $A_v$ :**

$$V_o = -\beta I_b (R_C \parallel r_o)$$

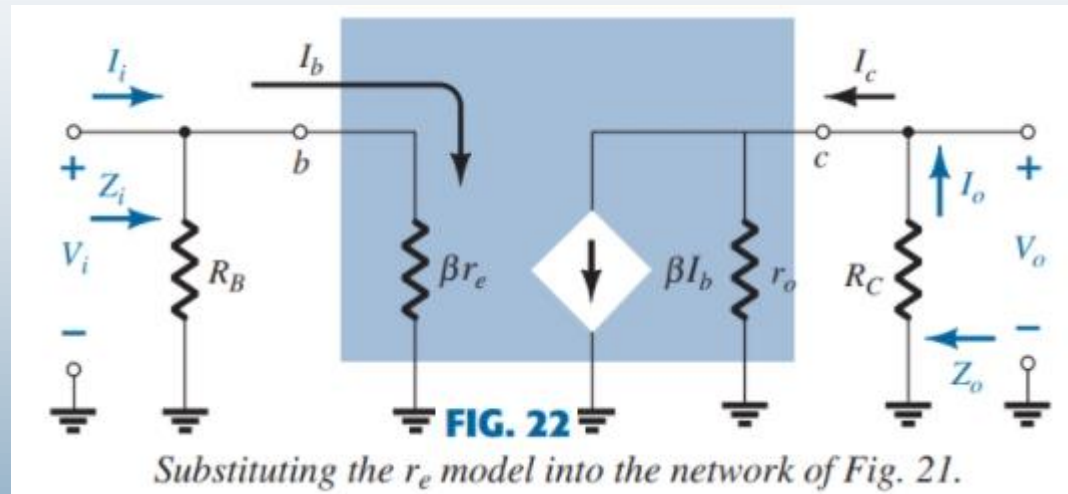
$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left( \frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \parallel r_o)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{(R_C \parallel r_o)}{r_e}$$

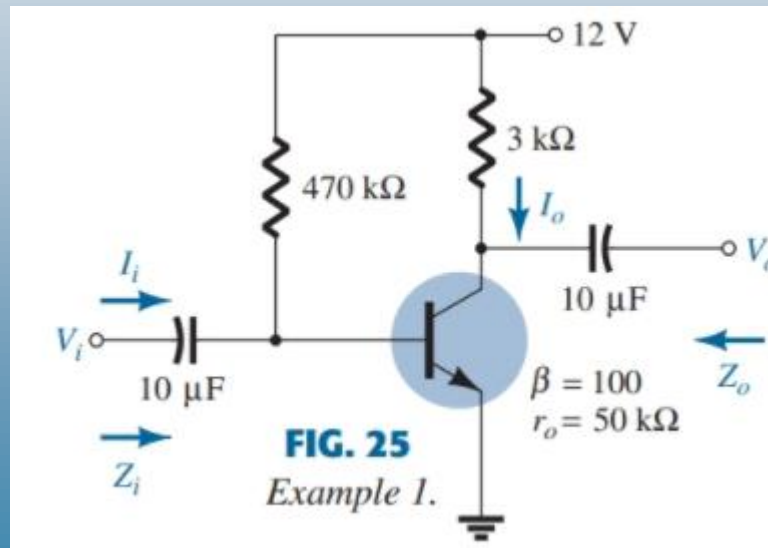
- Eğer  $r_o \geq 10R_C$  ise:

$$A_v = -\frac{R_C}{r_e} \quad r_o \geq 10R_C$$



# Ortak-Emitör Sabit Polarlama Konfigürasyonu (3)

- **Örnek 1:** Şekil 25'teki devre için aşağıdakileri hesaplayın: (a)  $r_e$ ; (b)  $Z_i$  ( $r_o = \infty$  için); (c)  $Z_o$  ( $r_o = \infty$  için); (d)  $A_v$  ( $r_o = \infty$  için); (e)  $r_o = 50 \text{ k}\Omega$  için (c) ve (d) şıklarını yeniden hesaplayın ve sonuçları karşılaştırın.
- **Çözüm:**



# Ortak-Emitör Sabit Polarlama Konfigürasyonu (4)

- **Örnek 1: (Devamı)**

- DC Analizi:

$$\begin{aligned} \text{a. } I_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{470 \text{ k}\Omega} = 24.04 \mu\text{A} \\ I_E &= (\beta + 1)I_B = (101)(24.04 \mu\text{A}) = 2.428 \text{ mA} \\ r_e &= \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{2.428 \text{ mA}} = \mathbf{10.71 \Omega} \end{aligned}$$

$$\text{b. } \beta r_e = (100)(10.71 \Omega) = 1.071 \text{ k}\Omega$$

$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e = 470 \text{ k}\Omega \parallel 1.071 \text{ k}\Omega = \mathbf{1.07 \text{ k}\Omega}$$

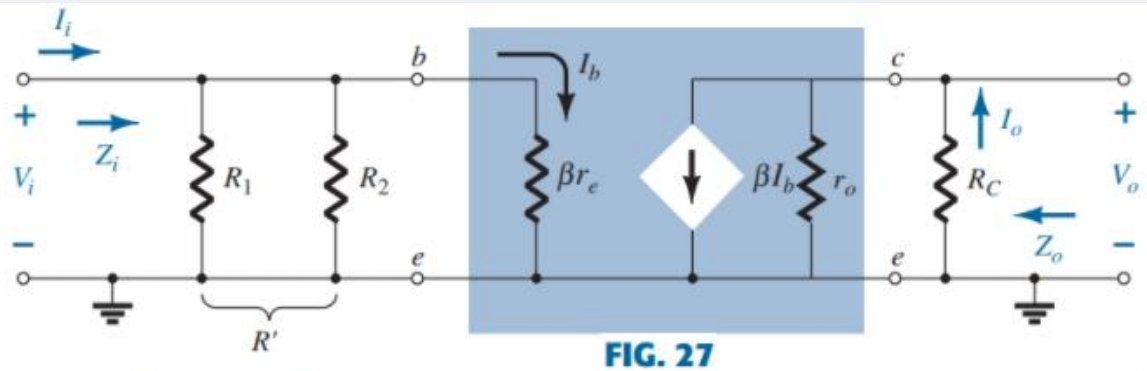
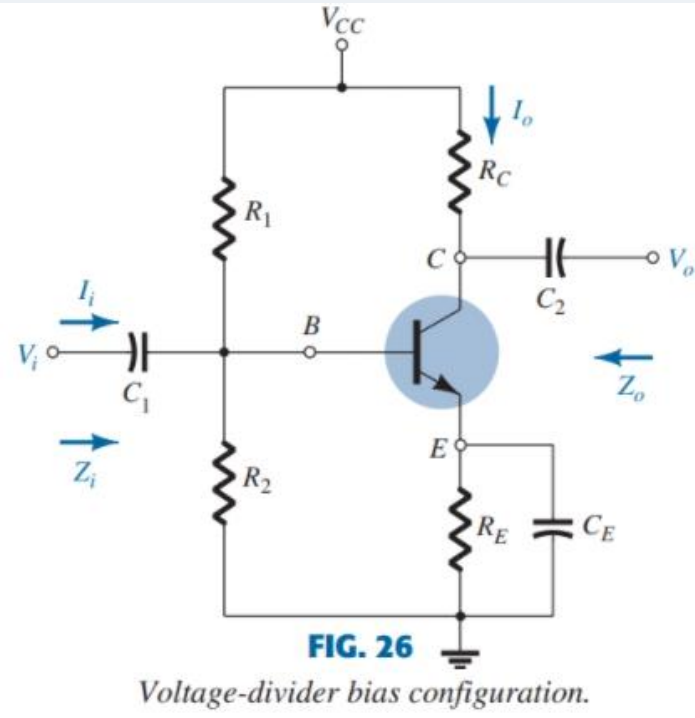
$$\text{c. } Z_o = R_C = \mathbf{3 \text{ k}\Omega}$$

$$\text{d. } A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{3 \text{ k}\Omega}{10.71 \Omega} = \mathbf{-280.11}$$

$$\text{e. } Z_o = r_o \parallel R_C = 50 \text{ k}\Omega \parallel 3 \text{ k}\Omega = \mathbf{2.83 \text{ k}\Omega} \text{ vs. } 3 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = -\frac{r_o \parallel R_C}{r_e} = \frac{2.83 \text{ k}\Omega}{10.71 \Omega} = \mathbf{-264.24} \text{ vs. } -280.11$$

# Ortak-Emitör Voltaj Bölücü Polarlama Konfigürasyonu (1)



*Substituting the  $r_e$  equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 26.*

- Şekil 27'den  $Z_i$ 'nin bulunması:

$$R' = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$Z_i = R' \parallel \beta r_e$$

# Ortak-Emitör Voltaj Bölücü Polarlama Konfigürasyonu (2)

- Şekil 27'de  $V_i = 0$  V olarak alırsak,  $I_b = 0$  mA ve  $\beta I_b = 0$  mA olur. Böylece,  $Z_o$  aşağıdaki gibi bulunur:

$$Z_o = R_C \parallel r_o$$

- Eğer  $r_o \geq 10R_C$  ise:

$$Z_o \cong R_C \quad r_o \geq 10R_C$$

- $A_v$ 'nin bulunması için,  $R_C$  ve  $r_o$  dirençlerinin paralel olduğuna dikkat edersek:

$$\begin{aligned} V_o &= -(\beta I_b)(R_C \parallel r_o) \\ I_b &= \frac{V_i}{\beta r_e} \\ V_o &= -\beta \left( \frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \parallel r_o) \\ A_v &= \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C \parallel r_o}{r_e} \end{aligned}$$

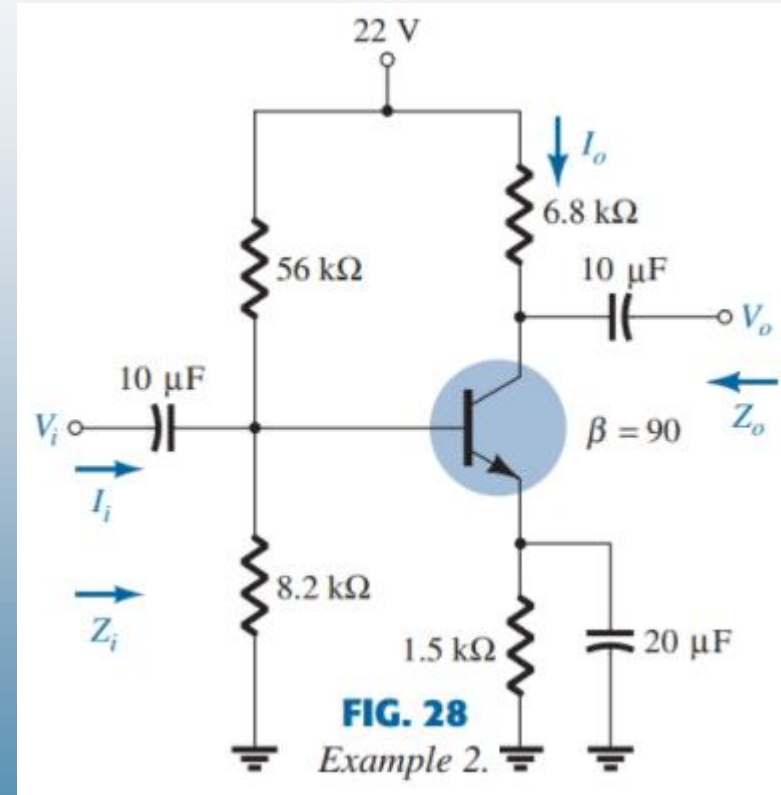
- Eğer  $r_o \geq 10R_C$  ise:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{R_C}{r_e} \quad r_o \geq 10R_C$$

- Negatif işaret,  $V_o$  ve  $V_i$  arasında  $180^\circ$ 'lik bir faz kaymasını gösterir.

# Ortak-Emitör Voltaj Bölücü Polarlama Konfigürasyonu (3)

- **Örnek 2:** Şekil 28'teki devre için aşağıdakileri hesaplayın: (a)  $r_e$ ; (b)  $Z_i$ ; (c)  $Z_o$  ( $r_o = \infty$  için); (d)  $A_v$  ( $r_o = \infty$  için); (e)  $r_o = 50 \text{ k}\Omega$  için (c) ve (d) şıklarını yeniden hesaplayın ve sonuçları karşılaştırın.
- **Çözüm:**





# Ortak-Emitör Voltaj Bölücü Polarlama Konfigürasyonu (4)

- **Örnek 2: (Devamı)**

- DC Analizi:

$$\begin{aligned} \text{a. Test: } \beta R_E &> 10R_2, \\ (90)(1.5 \text{ k}\Omega) &> 10(8.2 \text{ k}\Omega) \\ 135 \text{ k}\Omega &> 82 \text{ k}\Omega \text{ Sağlandı.} \end{aligned}$$

- Yaklaşık yaklaşımı kullanarak aşağıdaki sonuçları elde ederiz:

$$\begin{aligned} V_B &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{(8.2 \text{ k}\Omega)(22 \text{ V})}{56 \text{ k}\Omega + 8.2 \text{ k}\Omega} = 2.81 \text{ V} \\ V_E &= V_B - V_{BE} = 2.81 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 2.11 \text{ V} \\ I_E &= \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.11 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = 1.41 \text{ mA} \\ r_e &= \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{1.41 \text{ mA}} = \mathbf{18.44 \text{ }\Omega} \end{aligned}$$

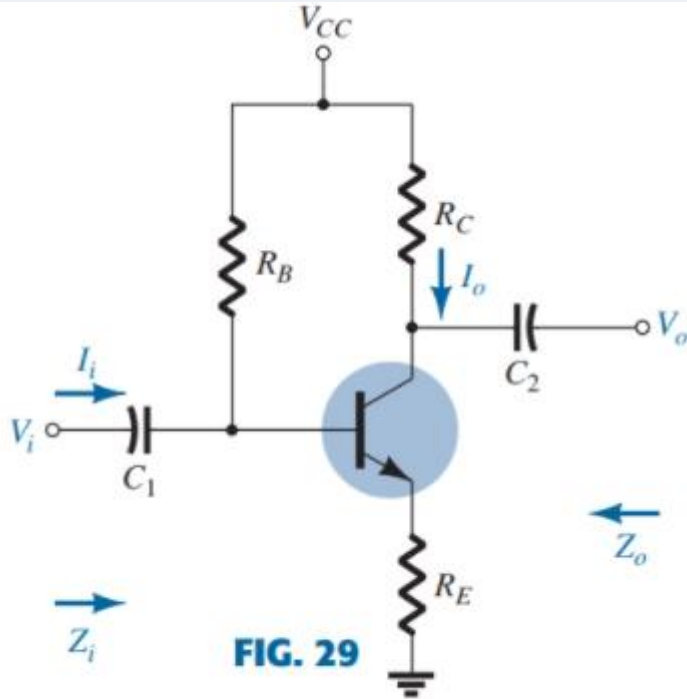
# Ortak-Emitör Voltaj Bölücü Polarlama Konfigürasyonu (5)

- Örnek 2: (Devamı)

$$\begin{aligned}\text{b. } R' &= R_1 \parallel R_2 = (56 \text{ k}\Omega) \parallel (8.2 \text{ k}\Omega) = 7.15 \text{ k}\Omega \\ Z_i &= R' \parallel \beta r_e = 7.15 \text{ k}\Omega \parallel (90)(18.44 \text{ }\Omega) = 7.15 \text{ k}\Omega \parallel 1.66 \text{ k}\Omega \\ &= \mathbf{1.35 \text{ k}\Omega} \\ \text{c. } Z_o &= R_C = \mathbf{6.8 \text{ k}\Omega} \\ \text{d. } A_v &= -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{6.8 \text{ k}\Omega}{18.44 \text{ }\Omega} = \mathbf{-368.76} \\ \text{e. } Z_i &= \mathbf{1.35 \text{ k}\Omega} \\ Z_o &= R_C \parallel r_o = 6.8 \text{ k}\Omega \parallel 50 \text{ k}\Omega = \mathbf{5.98 \text{ k}\Omega} \text{ vs. } 6.8 \text{ k}\Omega \\ A_v &= -\frac{R_C \parallel r_o}{r_e} = -\frac{5.98 \text{ k}\Omega}{18.44 \text{ }\Omega} = \mathbf{-324.3} \text{ vs. } -368.76\end{aligned}$$

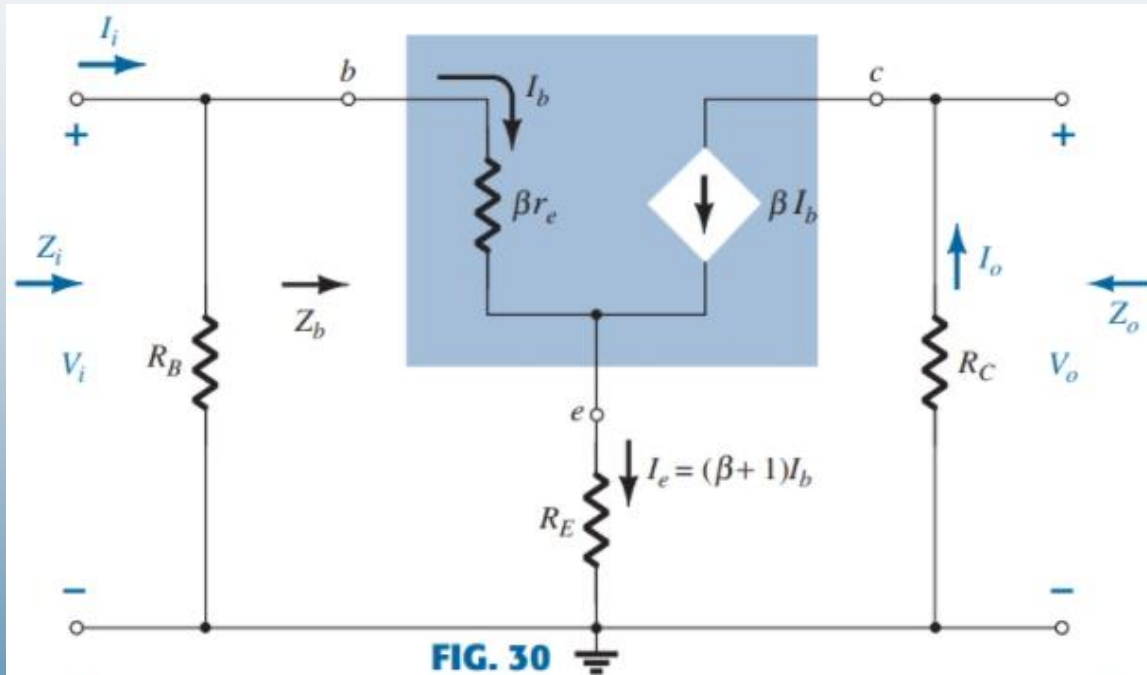
- $Z_o$  ve  $A_v$  için sonuçlarda ölçülebilir bir fark vardır, çünkü  $r_o \geq 10R_C$  koşulu karşılanmadı.
- $\beta$ 'nin varyasyonunda bir bağımsızlık gösteren  $A_v$  denkleminde  $\beta$ 'nin olmadığına dikkat edin.

# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (1)



**FIG. 29**

*CE emitter-bias configuration.*



**FIG. 30**

*Substituting the  $r_e$  equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 29.*

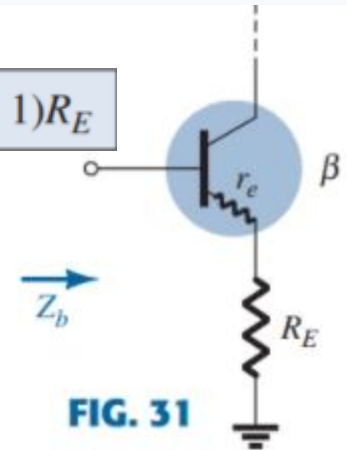
# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (2)

$$V_i = I_b \beta r_e + I_e R_E$$

$$V_i = I_b \beta r_e + (\beta + 1) I_b R_E$$

$$Z_b = \frac{V_i}{I_b} = \beta r_e + (\beta + 1) R_E$$

$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1) R_E$$



**FIG. 31**

*Defining the input impedance of a transistor with an unbypassed emitter resistor.*

- $\beta$  normalde 1'den çok daha büyük olduğundan, yaklaşık denklem şu şekildedir:  $Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$
- $R_E$  genellikle  $r_e$ 'den büyük olduğu için  $Z_b$  şu şekilde yazılabilir:  $Z_b \cong \beta R_E$
- Şekil 30'dan  $Z_i$  şu şekilde yazılabilir:  $Z_i = R_B \parallel Z_b$
- $V_i$  sıfıra eşit olduğunda,  $I_b = 0$  ve  $\beta I_b$  bir açık devre eşdeğeri ile değiştirilebilir. Dolayısıyla  $Z_o$  şu şekilde yazılabilir:  $Z_o = R_C$
- $A_v$  aşağıdaki gibi bulunur:

$$I_b = \frac{V_i}{Z_b}$$

$$V_o = -I_o R_C = -\beta I_b R_C = -\beta \left( \frac{V_i}{Z_b} \right) R_C$$

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

- $Z_b \approx \beta(r_e + R_E)$  ikamesi şunu verir:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{R_C}{r_e + R_E}$$

- $Z_b \approx \beta R_E$  ikamesi şunu verir:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{R_C}{R_E}$$

# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (3)

- $r_o$ 'nun etkisi:

$$Z_b = \beta r_e + \left[ \frac{(\beta + 1) + R_C/r_o}{1 + (R_C + R_E)/r_o} \right] R_E$$

- $R_C > r_o$  oranı her zaman  $(\beta + 1)$ 'den çok daha küçük olduğu için,  $Z_b$  aşağıdaki gibi yazılabilir:

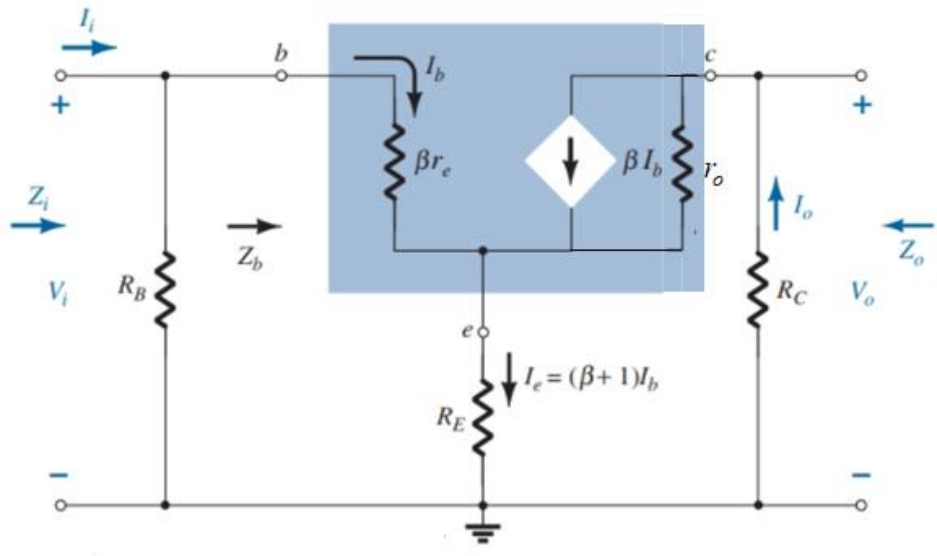
$$Z_b \cong \beta r_e + \frac{(\beta + 1)R_E}{1 + (R_C + R_E)/r_o}$$

- $r_o \geq 10(R_C + R_E)$  durumu için,  $Z_b$  aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Z_b \cong \beta r_e + (\beta + 1)R_E$$

- $\beta + 1 \approx \beta$  durumu için,  $Z_b$  aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Z_b \cong \beta(r_e + R_E) \quad r_o \geq 10(R_C + R_E)$$



# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (4)

- $r_o$ 'nun etkisi:

$Z_o$

$$Z_o = R_C \parallel \left[ r_o + \frac{\beta(r_o + r_e)}{1 + \frac{\beta r_e}{R_E}} \right]$$

- $r_o \gg r_e$  olduğuna göre,  $Z_o$  aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Z_o \cong R_C \parallel r_o \left[ 1 + \frac{\beta}{1 + \frac{\beta r_e}{R_E}} \right] \cong R_C \parallel r_o \left[ 1 + \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{r_e}{R_E}} \right]$$

- Tipik olarak  $1/\beta$  ve  $r_e/R_E$  birden küçüktür ve toplam genellikle birden küçüktür. Sonuç,  $r_o$ 'nın birden büyük bir sayıyla çarpılmasını içerir. Dolayısıyla,  $Z_o$  aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

$$Z_o \cong R_C \quad \text{Any level of } r_o$$

$A_v$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\frac{\beta R_C}{Z_b} \left[ 1 + \frac{r_e}{r_o} \right] + \frac{R_C}{r_o}}{1 + \frac{R_C}{r_o}}$$

- $r_e/r_o \ll 1$  olduğuna göre,  $A_v$  şu şekilde yazılabilir:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong \frac{-\frac{\beta R_C}{Z_b} + \frac{R_C}{r_o}}{1 + \frac{R_C}{r_o}}$$

- $r_o \geq 10R_C$  durumu için,  $A_v$  şu şekilde yazılabilir:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{\beta R_C}{Z_b} \quad r_o \geq 10R_C$$

# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (5)

- **Örnek 3:** Şekil 32'deki devre için aşağıdakileri hesaplayın ( $C_E$  kapasitörü olmadan): (a)  $r_e$ ; (b)  $Z_i$ ; (c)  $Z_o$ ; (d)  $A_v$ .

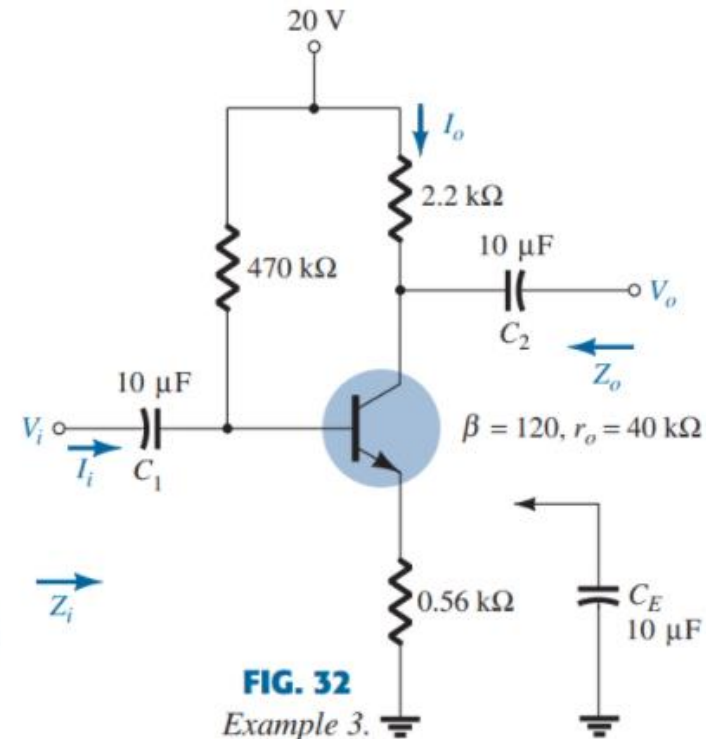
## • Çözüm:

- DC Analizi:

$$a. I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{470 \text{ k}\Omega + (121)0.56 \text{ k}\Omega} = 35.89 \mu\text{A}$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B = (121)(35.89 \mu\text{A}) = 4.34 \text{ mA}$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{4.34 \text{ mA}} = \mathbf{5.99 \Omega}$$





# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (6)

- Örnek 3: (Devamı)

b. Test:  $r_o \geq 10(R_C + R_E),$   
 $40 \text{ k}\Omega \geq 10(2.2 \text{ k}\Omega + 0.56 \text{ k}\Omega)$   
 $40 \text{ k}\Omega \geq 10(2.76 \text{ k}\Omega) = 27.6 \text{ k}\Omega$  Sağlandı.  
 $Z_b \cong \beta(r_e + R_E) = 120(5.99 \Omega + 560 \Omega)$   
 $= 67.92 \text{ k}\Omega$   
 $Z_i = R_B \parallel Z_b = 470 \text{ k}\Omega \parallel 67.92 \text{ k}\Omega$   
 $= \mathbf{59.34 \text{ k}\Omega}$

c.  $Z_o = R_C = \mathbf{2.2 \text{ k}\Omega}$

d. Test:  $r_o \geq 10(R_C + R_E),$   
 $40 \text{ k}\Omega \geq 10(2.2 \text{ k}\Omega) = 22 \text{ k}\Omega$  Sağlandı.  
 $A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{\beta R_C}{Z_b} = -\frac{(120)(2.2 \text{ k}\Omega)}{67.92 \text{ k}\Omega}$   
 $= \mathbf{-3.89}$

- Yaklaşık olarak:  $A_v \cong -R_C/R_E = -3.93$



# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (7)

- **Örnek 4:** Örnek 3'ü  $C_E$  kapasitörü  $R_E$  direncine paralel olarak bağlı olarak tekrar edin.
- **Çözüm:**

a. DC Analizi Örnek 3'te olduğu gibidir. Böylece,  $r_e$ 'nin değeri  $5.99 \Omega$  olur.

b.  $R_E$ , ac analizi için  $C_E$  tarafından "kısa devre" edilir. Böylelikle,

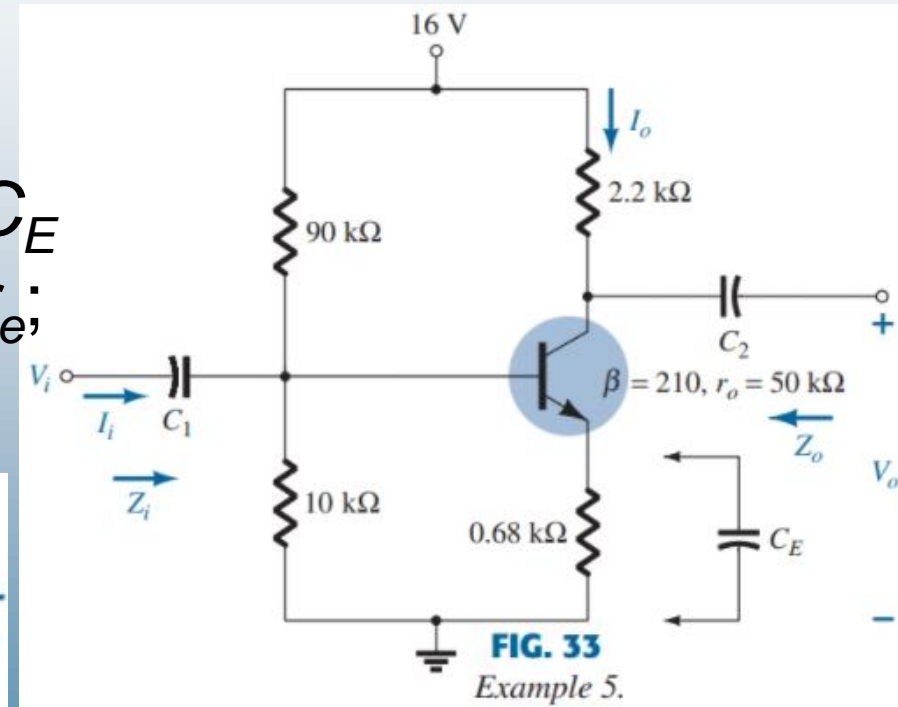
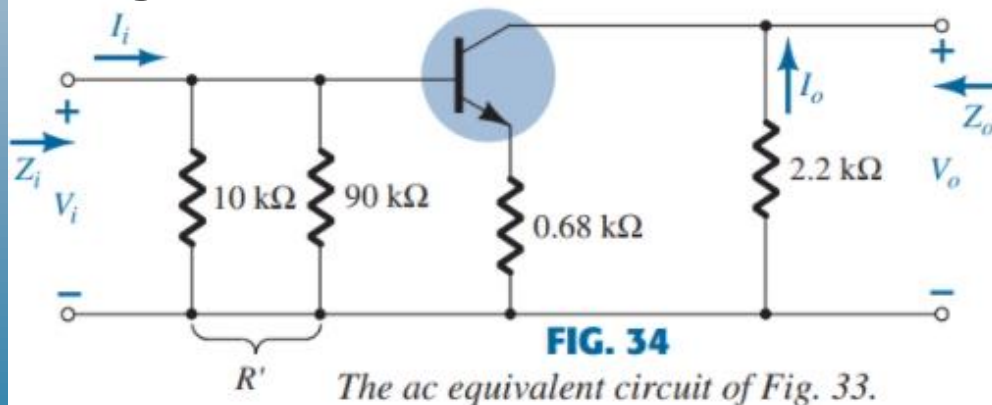
$$\begin{aligned} Z_i &= R_B \| Z_b = R_B \| \beta r_e = 470 \text{ k}\Omega \| (120)(5.99 \Omega) \\ &= 470 \text{ k}\Omega \| 718.8 \Omega \cong \mathbf{717.70 \Omega} \end{aligned}$$

c.  $Z_o = R_C = \mathbf{2.2 \text{ k}\Omega}$

d.  $A_v = -\frac{R_C}{r_e}$   
 $= -\frac{2.2 \text{ k}\Omega}{5.99 \Omega} = \mathbf{-367.28}$  (Örnek 3'e göre önemli bir artış)

# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (8)

- Örnek 5: Şekil 33'deki devre için uygun yaklaşımları kullanarak aşağıdakileri hesaplayın ( $C_E$  kapasitörü olmadan) : (a)  $r_e$ ; (b)  $Z_i$ ; (c)  $Z_o$ ; (d)  $A_v$ .
- Çözüm:



# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (9)

- Örnek 5: (Devamı)

a. Test:  $\beta R_E > 10R_2$ ,

$$(210)(0.68 \text{ k}\Omega) > 10(10 \text{ k}\Omega)$$

$$142.8 \text{ k}\Omega > 100 \text{ k}\Omega \text{ (Sağlandı)}$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{90 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} (16 \text{ V}) = 1.6 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1.6 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 0.9 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{0.9 \text{ V}}{0.68 \text{ k}\Omega} = 1.324 \text{ mA}$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{1.324 \text{ mA}} = \mathbf{19.64 \Omega}$$

b. AC eşdeğer devresi Şekil 34'te verilmiştir. Ortaya çıkan konfigürasyon, Şekil 30'dan yalnızca şu gerçeğiyle farklıdır:

$$R_B = R' = R_1 \parallel R_2 = 9 \text{ k}\Omega$$

# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (10)

- **Örnek 5: (Devamı)**
- $r_o \geq 10(R_C + R_E)$  ve  $r_o \geq 10R_C$  test koşulları sağlanmıştır. Uygun yaklaşımların kullanılması aşağıdaki sonucu verir:

$$Z_b \cong \beta R_E = 142.8 \text{ k}\Omega$$

$$Z_i = R_B \parallel Z_b = 9 \text{ k}\Omega \parallel 142.8 \text{ k}\Omega \\ = \mathbf{8.47 \text{ k}\Omega}$$

$$\text{c. } Z_o = R_C = \mathbf{2.2 \text{ k}\Omega}$$

$$\text{d. } A_v = -\frac{R_C}{R_E} = -\frac{2.2 \text{ k}\Omega}{0.68 \text{ k}\Omega} = \mathbf{-3.24}$$

# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (11)

- **Örnek 6:** Örnek 5'i  $C_E$  kapasitörü  $R_E$  direncine paralel olarak bağlı olarak tekrar edin.
- **Çözüm:**

a. DC Analizi Örnek 5'te olduğu gibidir. Böylece,  $r_e$ 'nin değeri  $19.64 \Omega$  olur.

b.  $Z_b = \beta r_e = (210)(19.64 \Omega) \cong 4.12 \text{ k}\Omega$

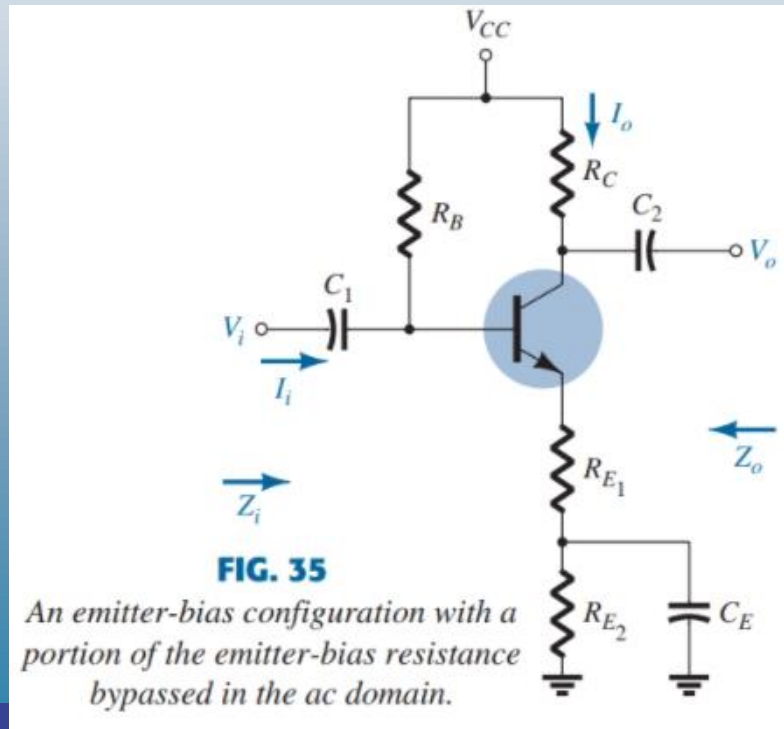
$$Z_i = R_B \parallel Z_b = 9 \text{ k}\Omega \parallel 4.12 \text{ k}\Omega \\ = \mathbf{2.83 \text{ k}\Omega}$$

c.  $Z_o = R_C = \mathbf{2.2 \text{ k}\Omega}$

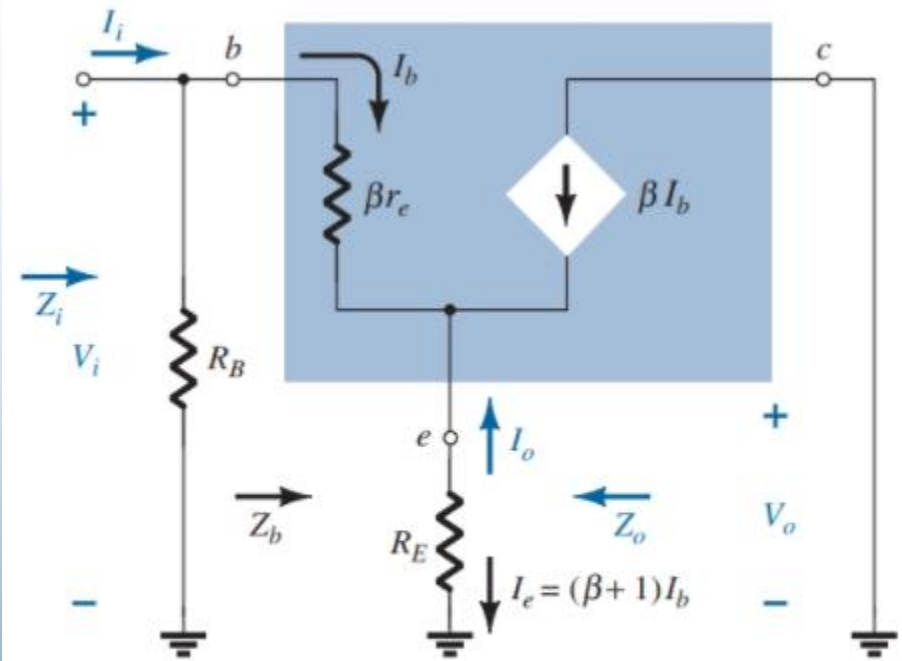
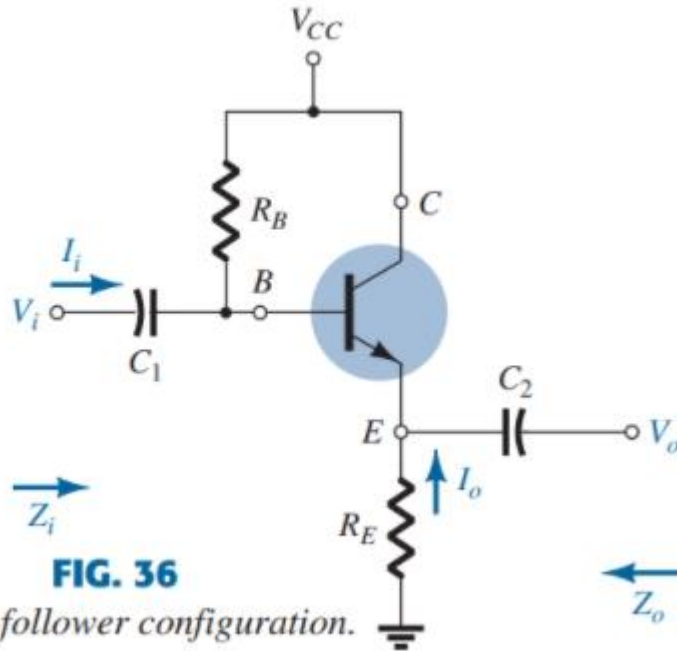
d.  $A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{2.2 \text{ k}\Omega}{19.64 \Omega} = \mathbf{-112.02}$  (Örnek 5'e göre önemli bir artış)

# Ortak-Emitör Emitör Polarlama Konfigürasyonu (12)

- Emitör polarlama konfigürasyonunun başka bir varyasyonu Şekil 35'te gösterilmektedir. DC analizi için, Şekil 29'a ait ilgili denklemlerde emitör direnci  $R_E$  yerine  $R_{E1} + R_{E2}$  konacak. AC analizi için ise, Şekil 29'a ait ilgili denklemlerde emitör direnci  $R_E$  yerine  $R_{E1}$  konacak, çünkü  $R_{E2}$  direnci  $C_E$  kapasitörü ile baypas edildiğinden dolayı kısa devre olacak.



# Emitör-Sürücü Konfigürasyonu (1)



- Bazdan emitöre olan düşüş nedeniyle çıkış voltajı her zaman giriş sinyalinden biraz daha düşüktür, ancak  $A_v \approx 1$  kabul edilebilir.  $V_o$ 'nun  $V_i$ 'nin büyüklüğünü eş fazlı bir ilişkiyle “takip etmesi”, emitör sürücü adının nereden geldiğini açıklar.

# Emitör-Sürücü Konfigürasyonu (2)

**$Z_i$**

$$Z_i = R_B \parallel Z_b$$

$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R_E$$

$$Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$$

$$Z_b \cong \beta R_E \quad R_E \gg r_e$$

**$Z_o$**

$$I_b = \frac{V_i}{Z_b}$$

$$I_e = (\beta + 1)I_b = (\beta + 1)\frac{V_i}{Z_b}$$

$$I_e = \frac{(\beta + 1)V_i}{\beta r_e + (\beta + 1)R_E}$$

$$I_e = \frac{V_i}{[\beta r_e / (\beta + 1)] + R_E}$$

$$(\beta + 1) \cong \beta$$

$$\frac{\beta r_e}{\beta + 1} \cong \frac{\beta r_e}{\beta} = r_e$$

$$I_e \cong \frac{V_i}{r_e + R_E}$$

$$Z_o = R_E \parallel r_e$$

$$Z_o \cong r_e$$

**$A_v$**

$$V_o = \frac{R_E V_i}{R_E + r_e}$$

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

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong 1$$

- Emitör-Sürücü konfigürasyonu için,  $V_o$  ve  $V_i$  aynı fazdadır.



# Emitör-Sürücü Konfigürasyonu (3)

- $r_o$ 'nun etkisi:

$Z_i$

$$Z_b = \beta r_e + \frac{(\beta + 1)R_E}{1 + \frac{R_E}{r_o}}$$

$$Z_b \cong \beta(r_e + R_E) \quad r_o \geq 10R_E$$

$Z_o$

$$Z_o = r_o \parallel R_E \parallel \frac{\beta r_e}{(\beta + 1)}$$

$$Z_o = r_o \parallel R_E \parallel r_e$$

$$Z_o \cong R_E \parallel r_e \quad \text{Any } r_o$$

$A_v$

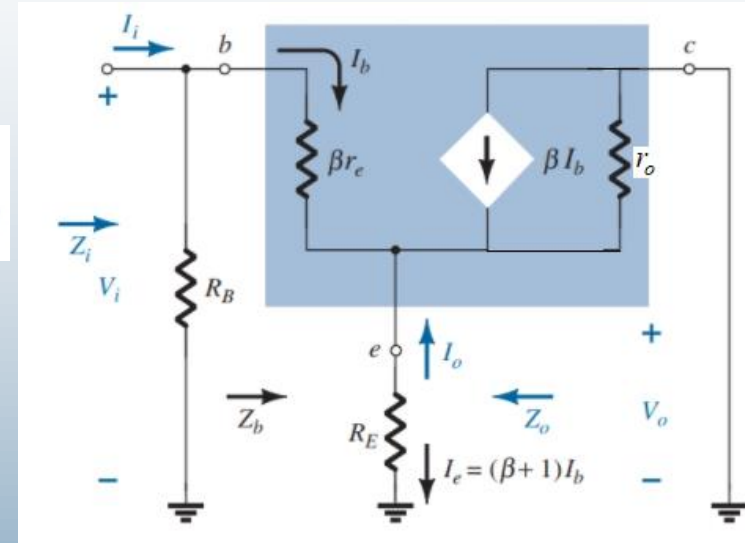
$$A_v = \frac{(\beta + 1)R_E/Z_b}{1 + \frac{R_E}{r_o}}$$

$$A_v \cong \frac{\beta R_E}{Z_b}$$

$$Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$$

$$A_v \cong \frac{\beta R_E}{\beta(r_e + R_E)}$$

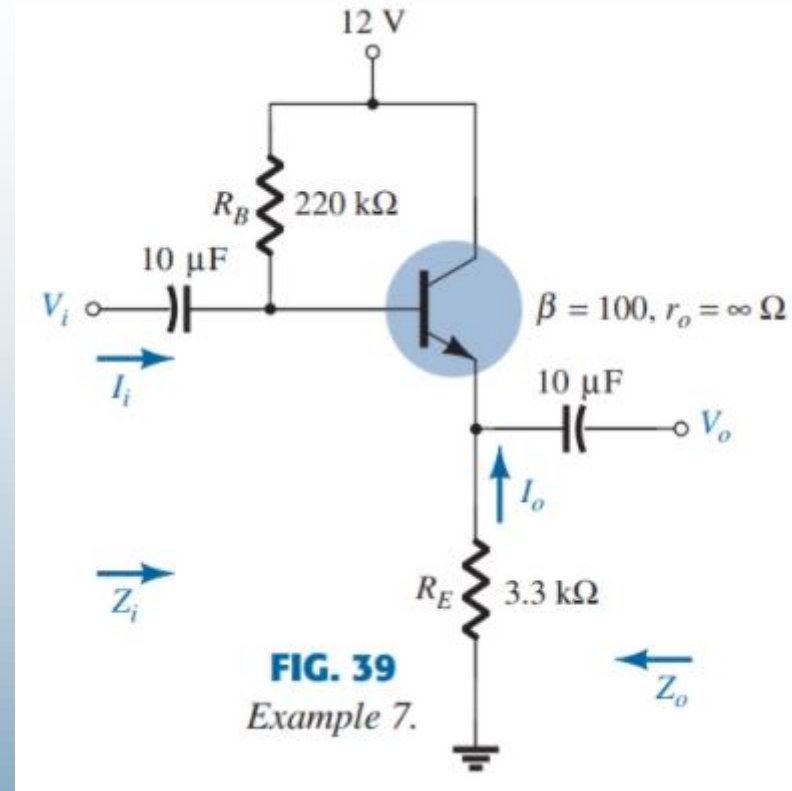
$$A_v \cong \frac{R_E}{r_e + R_E} \quad r_o \geq 10R_E$$



# Emitör-Sürücü Konfigürasyonu (4)

- **Örnek 7:** Şekil 39'daki devre için aşağıdakileri hesaplayın (a)  $r_e$ ; (b)  $Z_i$ ; (c)  $Z_o$ ; (d)  $A_v$ ; (e)  $r_o = 25 \text{ k}\Omega$  için (b), (c) ve (d) şıklarını yeniden hesaplayın ve sonuçları karşılaştırın.
- **Çözüm:**

$$\begin{aligned} \text{a. } I_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} \\ &= \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{220 \text{ k}\Omega + (101)3.3 \text{ k}\Omega} = 20.42 \mu\text{A} \\ I_E &= (\beta + 1)I_B \\ &= (101)(20.42 \mu\text{A}) = 2.062 \text{ mA} \\ r_e &= \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{2.062 \text{ mA}} = \mathbf{12.61 \Omega} \end{aligned}$$



- Genel olarak,  $r_o \geq 10R_E$  koşulu sağlanmasa bile,  $Z_o$  ve  $A_v$  için sonuçlar aynıdır,  $Z_i$  yalnızca biraz daha azdır. Sonuçlar, çoğu uygulama için, bu konfigürasyon için  $r_o$ 'nun etkilerini basitçe göz ardı ederek iyi bir yaklaşım elde edilebileceğini gösterir.

# Emitör-Sürücü Konfigürasyonu (5)

## • Örnek 7: (Devamı)

$$\begin{aligned} \text{b. } Z_b &= \beta r_e + (\beta + 1)R_E \\ &= (100)(12.61 \, \Omega) + (101)(3.3 \, \text{k}\Omega) \\ &= 1.261 \, \text{k}\Omega + 333.3 \, \text{k}\Omega \\ &= 334.56 \, \text{k}\Omega \cong \beta R_E \\ Z_i &= R_B \parallel Z_b = 220 \, \text{k}\Omega \parallel 334.56 \, \text{k}\Omega \\ &= \mathbf{132.72 \, \text{k}\Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } Z_o &= R_E \parallel r_e = 3.3 \, \text{k}\Omega \parallel 12.61 \, \Omega \\ &= \mathbf{12.56 \, \Omega} \cong r_e \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } A_v &= \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + r_e} = \frac{3.3 \, \text{k}\Omega}{3.3 \, \text{k}\Omega + 12.61 \, \Omega} \\ &= \mathbf{0.996} \cong 1 \end{aligned}$$

e. Test:  $r_o \geq 10R_E$ ,  $25 \, \text{k}\Omega \geq 10(3.3 \, \text{k}\Omega) = 33 \, \text{k}\Omega$  (Sağlanmadı)

$$Z_b = \beta r_e + \frac{(\beta + 1)R_E}{1 + \frac{R_E}{r_o}} = (100)(12.61 \, \Omega) + \frac{(100 + 1)3.3 \, \text{k}\Omega}{1 + \frac{3.3 \, \text{k}\Omega}{25 \, \text{k}\Omega}} = 1.261 \, \text{k}\Omega + 294.43 \, \text{k}\Omega = 295.7 \, \text{k}\Omega$$

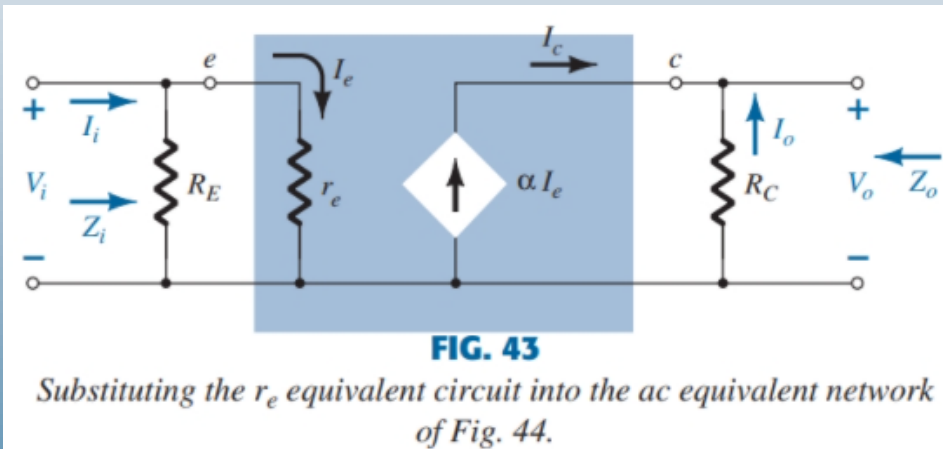
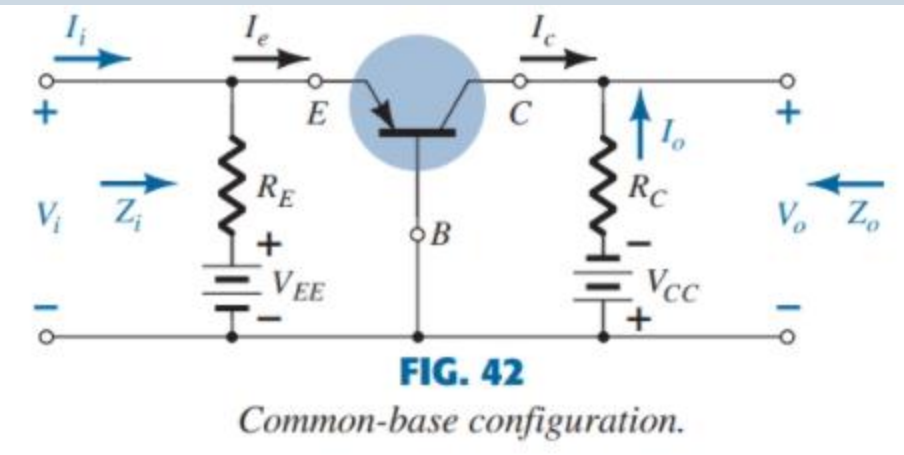
$$Z_i = R_B \parallel Z_b = 220 \, \text{k}\Omega \parallel 295.7 \, \text{k}\Omega = \mathbf{126.15 \, \text{k}\Omega} \text{ vs. } 132.72 \, \text{k}\Omega$$

$$Z_o = R_E \parallel r_e = \mathbf{12.56 \, \Omega}$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{(\beta + 1)R_E / Z_b}{\left[1 + \frac{R_E}{r_o}\right]} = \frac{(100 + 1)(3.3 \, \text{k}\Omega) / 295.7 \, \text{k}\Omega}{\left[1 + \frac{3.3 \, \text{k}\Omega}{25 \, \text{k}\Omega}\right]} \\ &= \mathbf{0.996} \cong 1 \end{aligned}$$

# Ortak-Baz Konfigürasyonu (1)

- Ortak-Baz konfigürasyonu, nispeten düşük bir giriş ve yüksek bir çıkış empedansına ve 1'den az bir akım kazancına sahiptir. Bununla birlikte, voltaj kazancı oldukça büyük olabilir.



# Ortak-Baz Konfigürasyonu (2)

$Z_i$

$$Z_i = R_E \parallel r_e$$

$Z_o$

$$Z_o = R_C$$

$A_v$

$$V_o = -I_o R_C = -(-I_c) R_C = \alpha I_e R_C$$

$$I_e = \frac{V_i}{r_e}$$

$$V_o = \alpha \left( \frac{V_i}{r_e} \right) R_C$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\alpha R_C}{r_e} \cong \frac{R_C}{r_e}$$

$A_i$

$R_E \gg r_e$  olduğunu varsayarsak:

$$I_e = I_i$$

$$I_o = -\alpha I_e = -\alpha I_i$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = -\alpha \cong -1$$

- **Faz ilişkisi:**  $A_v$ 'nin pozitif bir sayı olması, ortak-baz konfigürasyonu için  $V_o$  ve  $V_i$ 'nin aynı fazda olduğunu gösterir.
- **$r_o$ 'nun etkisi:** Ortak-baz konfigürasyonu için  $r_o = 1/h_{ob}$  megaohm seviyesindedir ve  $R_C$ 'den büyüktür. Böylelikle,  $r_o \parallel R_C \approx R_C$  yaklaşık olarak alınabilir.

# Ortak-Baz Konfigürasyonu (3)

- **Örnek 8:** Şekil 44'deki devre için aşağıdakileri hesaplayın: (a)  $r_e$ ; (b)  $Z_i$ ; (c)  $Z_o$ ; (d)  $A_v$ ; (e)  $A_i$ .
- **Çözüm:**

a. 
$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{2 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = \frac{1.3 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 1.3 \text{ mA}$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{1.3 \text{ mA}} = \mathbf{20 \text{ }\Omega}$$

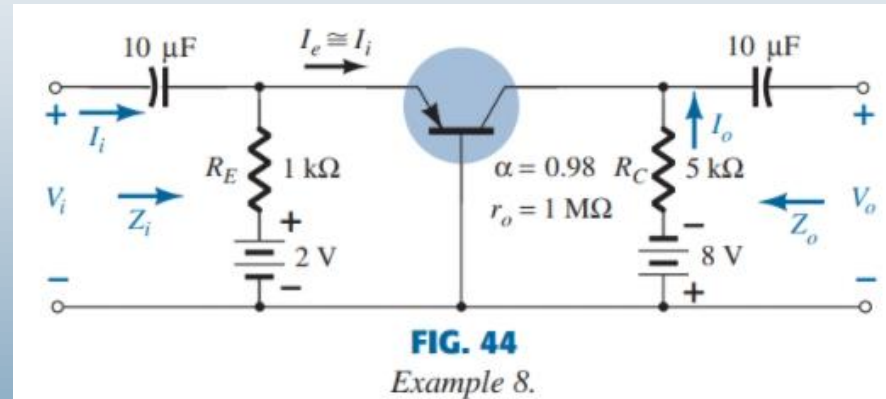
b. 
$$Z_i = R_E \parallel r_e = 1 \text{ k}\Omega \parallel 20 \text{ }\Omega$$
  

$$= \mathbf{19.61 \text{ }\Omega} \cong r_e$$

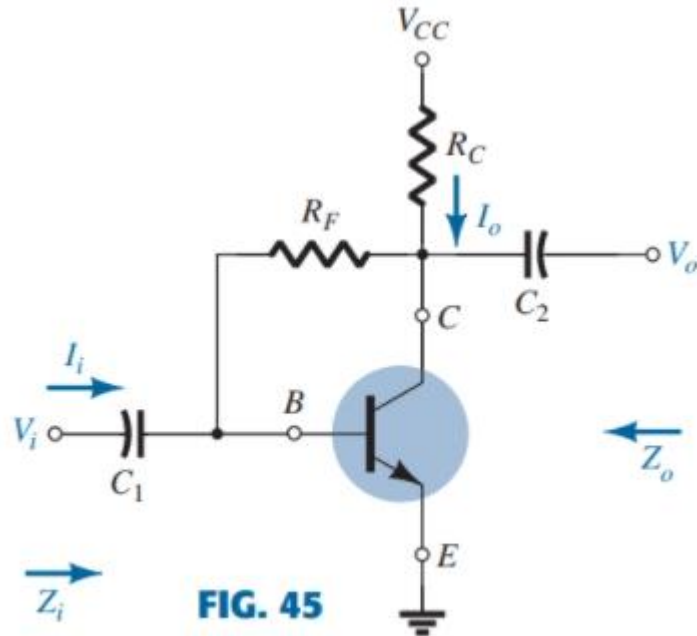
c. 
$$Z_o = R_C = \mathbf{5 \text{ k}\Omega}$$

d. 
$$A_v \cong \frac{R_C}{r_e} = \frac{5 \text{ k}\Omega}{20 \text{ }\Omega} = \mathbf{250}$$

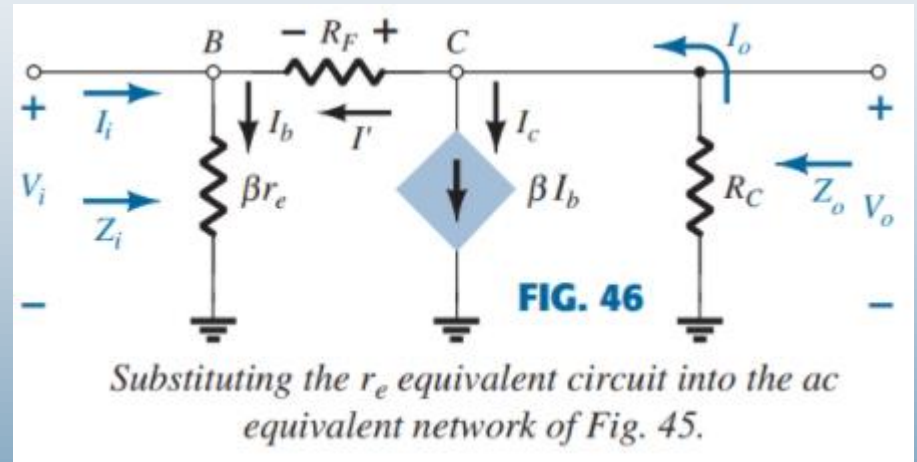
e. 
$$A_i = \mathbf{-0.98} \cong -1$$



# Kolektör Geri Besleme Konfigürasyonu (1)



Collector feedback configuration.





# Kolektör Geri Besleme Konfigürasyonu (2)

**$Z_i$**

$$I_o = I' + \beta I_b \quad I' = \frac{V_o - V_i}{R_F} \quad V_o = -I_o R_C = -(I' + \beta I_b) R_C \quad V_i = I_b \beta r_e$$

$$I' = -\frac{(I' + \beta I_b) R_C - I_b \beta r_e}{R_F} = -\frac{I' R_C}{R_F} - \frac{\beta I_b R_C}{R_F} - \frac{I_b \beta r_e}{R_F} \quad I' \left( 1 + \frac{R_C}{R_F} \right) = -\beta I_b \frac{(R_C + r_e)}{R_F}$$

$$I' = -\beta I_b \frac{(R_C + r_e)}{R_C + R_F} \quad I_i = I_b - I' = I_b + \beta I_b \frac{(R_C + r_e)}{R_C + R_F} \quad I_i = I_b \left( 1 + \beta \frac{(R_C + r_e)}{R_C + R_F} \right)$$

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{I_b \beta r_e}{I_b \left( 1 + \beta \frac{(R_C + r_e)}{R_C + R_F} \right)} = \frac{\beta r_e}{1 + \beta \frac{(R_C + r_e)}{R_C + R_F}}$$

$R_C \gg r_e$  olduğunu göre:

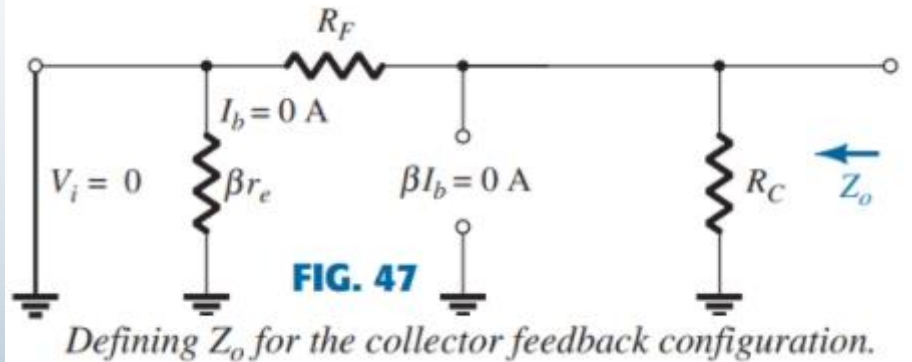
$$Z_i = \frac{\beta r_e}{1 + \frac{\beta R_C}{R_C + R_F}}$$

$$Z_i = \frac{r_e}{\frac{1}{\beta} + \frac{R_C}{R_C + R_F}}$$



# Kolektör Geri Besleme Konfigürasyonu (3)

**Z<sub>o</sub>**  $Z_o$ 'yu bulmak için  $V_i$ 'yi sıfıra eşitlersek, devre Şekil 47'deki gibi görünür. Böylece,  $\beta r_e$ 'nin etkisi ortadan kalkar ve  $R_F$ ,  $R_C$ 'ye paralel olur.



$$Z_o \cong R_C \parallel R_F$$

**A<sub>v</sub>**

$$\begin{aligned} V_o &= -I_o R_C = -(I' + \beta I_b) R_C \\ &= -\left(-\beta I_b \frac{(R_C + r_e)}{R_C + R_F} + \beta I_b\right) R_C \\ V_o &= -\beta I_b \left(1 - \frac{(R_C + r_e)}{R_C + R_F}\right) R_C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\beta I_b \left(1 - \frac{(R_C + r_e)}{R_C + R_F}\right) R_C}{\beta r_e I_b} \\ &= -\left(1 - \frac{(R_C + r_e)}{R_C + R_F}\right) \frac{R_C}{r_e} \end{aligned}$$

$R_C \gg r_e$  olduğunu varsayarsak:  $A_v = -\left(1 - \frac{R_C}{R_C + R_F}\right) \frac{R_C}{r_e}$

$$A_v = -\frac{(R_C + R_F - R_C) R_C}{R_C + R_F r_e}$$

$$A_v = -\left(\frac{R_F}{R_C + R_F}\right) \frac{R_C}{r_e}$$

$R_F \gg R_C$  olduğunu varsayarsak:

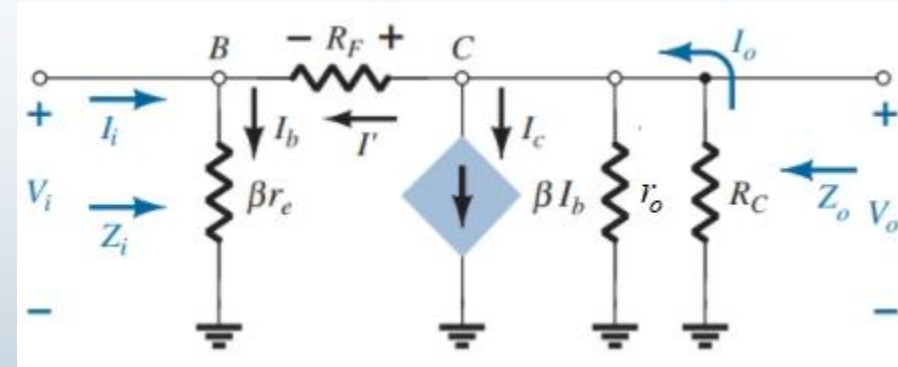
$$A_v \cong -\frac{R_C}{r_e}$$

# Kolektör Geri Besleme Konfigürasyonu (4)

- $r_o$ 'nun etkisi:

$Z_i$

$$Z_i = \frac{1 + \frac{R_C \parallel r_o}{R_F}}{\frac{1}{\beta r_e} + \frac{1}{R_F} + \frac{R_C \parallel r_o}{\beta r_e R_F} + \frac{R_C \parallel r_o}{R_F r_e}}$$



$r_o \geq 10R_C$  olduğunu varsayarsak:

$$Z_i = \frac{1 + \frac{R_C}{R_F}}{\frac{1}{\beta r_e} + \frac{1}{R_F} + \frac{R_C}{\beta r_e R_F} + \frac{R_C}{R_F r_e}} = \frac{r_e \left[ 1 + \frac{R_C}{R_F} \right]}{\frac{1}{\beta} + \frac{1}{R_F} \left[ r_e + \frac{R_C}{\beta} + R_C \right]}$$

$R_C \gg r_e$  olduğunu göre:

$$Z_i \cong \frac{r_e \left[ 1 + \frac{R_C}{R_F} \right]}{\frac{1}{\beta} + \frac{R_C}{R_F}} = \frac{r_e \left[ \frac{R_F + R_C}{R_F} \right]}{\frac{R_F + \beta R_C}{\beta R_F}} = \frac{r_e}{\frac{1}{\beta} \left( \frac{R_F}{R_F + R_C} \right) + \frac{R_C}{R_C + R_F}}$$

# Kolektör Geri Besleme Konfigürasyonu (5)

**$Z_i$**

$R_F \gg R_C$  olduğunu göre:

$$R_F + R_C \cong R_F \text{ ve } \frac{R_F}{R_F + R_C} = 1$$

$$Z_i \cong \frac{r_e}{\frac{1}{\beta} + \frac{R_C}{R_C + R_F}}$$

**$Z_o$**

$$Z_o = r_o \parallel R_C \parallel R_F$$

$r_o \geq 10R_C$  olduğunu varsayarsak:

$$Z_o \cong R_C \parallel R_F$$

$r_o \geq 10R_C$

$R_F \gg R_C$  olduğunu göre:

$$Z_o \cong R_C$$

$r_o \geq 10R_C, R_F \gg R_C$

**$A_v$**

$$A_v = -\left(\frac{R_F}{R_C \parallel r_o + R_F}\right) \frac{R_C \parallel r_o}{r_e}$$

$r_o \geq 10R_C$  olduğunu varsayarsak:

$$A_v \cong -\left(\frac{R_F}{R_C + R_F}\right) \frac{R_C}{r_e}$$

$r_o \geq 10R_C$

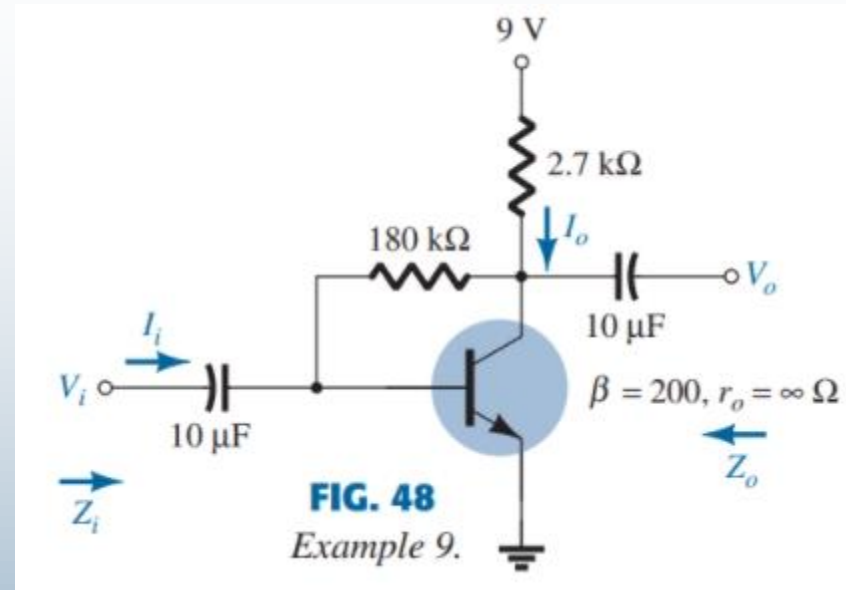
$R_F \gg R_C$  olduğunu göre:

$$A_v \cong -\frac{R_C}{r_e}$$

$r_o \geq 10R_C, R_F \geq R_C$

# Kolektör Geri Besleme Konfigürasyonu (6)

- Örnek 9: Şekil 48'deki devre için aşağıdakileri hesaplayın: (a)  $r_e$ ; (b)  $Z_i$ ; (c)  $Z_o$ ; (d)  $A_v$ ; (e)  $r_o = 20 \text{ k}\Omega$  için (b), (c) ve (d) şıklarını yeniden hesaplayın ve sonuçları karşılaştırın.



$$\begin{aligned} \text{a. } I_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_F + \beta R_C} = \frac{9 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{180 \text{ k}\Omega + (200)2.7 \text{ k}\Omega} \\ &= 11.53 \mu\text{A} \\ I_E &= (\beta + 1)I_B = (201)(11.53 \mu\text{A}) = 2.32 \text{ mA} \\ r_e &= \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{2.32 \text{ mA}} = \mathbf{11.21 \Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } Z_i &= \frac{r_e}{\frac{1}{\beta} + \frac{R_C}{R_C + R_F}} = \frac{11.21 \Omega}{\frac{1}{200} + \frac{2.7 \text{ k}\Omega}{182.7 \text{ k}\Omega}} \\ &= \frac{11.21 \Omega}{0.005 + 0.0148} = \frac{11.21 \Omega}{0.0198} = \mathbf{566.16 \Omega} \end{aligned}$$

$$\text{c. } Z_o = R_C \parallel R_F = 2.7 \text{ k}\Omega \parallel 180 \text{ k}\Omega = \mathbf{2.66 \text{ k}\Omega}$$

$$\text{d. } A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{2.7 \text{ k}\Omega}{11.21 \Omega} = \mathbf{-240.86}$$

# Kolektör Geri Besleme Konfigürasyonu (7)

## • Örnek 9: (Devamı)

**$Z_i$**   $r_o \geq 10R_C$  koşulu sağlanmadığı için:

$$Z_i = \frac{1 + \frac{R_C \parallel r_o}{R_F}}{\frac{1}{\beta r_e} + \frac{1}{R_F} + \frac{R_C \parallel r_o}{\beta r_e R_F} + \frac{R_C \parallel r_o}{R_F r_e}} = \frac{1 + \frac{2.7 \text{ k}\Omega \parallel 20 \text{ k}\Omega}{180 \text{ k}\Omega}}{\frac{1}{(200)(11.21)} + \frac{1}{180 \text{ k}\Omega} + \frac{2.7 \text{ k}\Omega \parallel 20 \text{ k}\Omega}{(200)(11.21 \text{ }\Omega)(180 \text{ k}\Omega)} + \frac{2.7 \text{ k}\Omega \parallel 20 \text{ k}\Omega}{(180 \text{ k}\Omega)(11.21 \text{ }\Omega)}}$$

$$= \frac{1 + \frac{2.38 \text{ k}\Omega}{180 \text{ k}\Omega}}{0.45 \times 10^{-3} + 0.006 \times 10^{-3} + 5.91 \times 10^{-6} + 1.18 \times 10^{-3}} = \frac{1 + 0.013}{1.64 \times 10^{-3}} = \mathbf{617.7 \text{ }\Omega}$$

566.16  $\Omega$

**$Z_o$ :**

$$Z_o = r_o \parallel R_C \parallel R_F = 20 \text{ k}\Omega \parallel 2.7 \text{ k}\Omega \parallel 180 \text{ k}\Omega$$

$$= \mathbf{2.35 \text{ k}\Omega} \text{ vs. } 2.66 \text{ k}\Omega \text{ above}$$

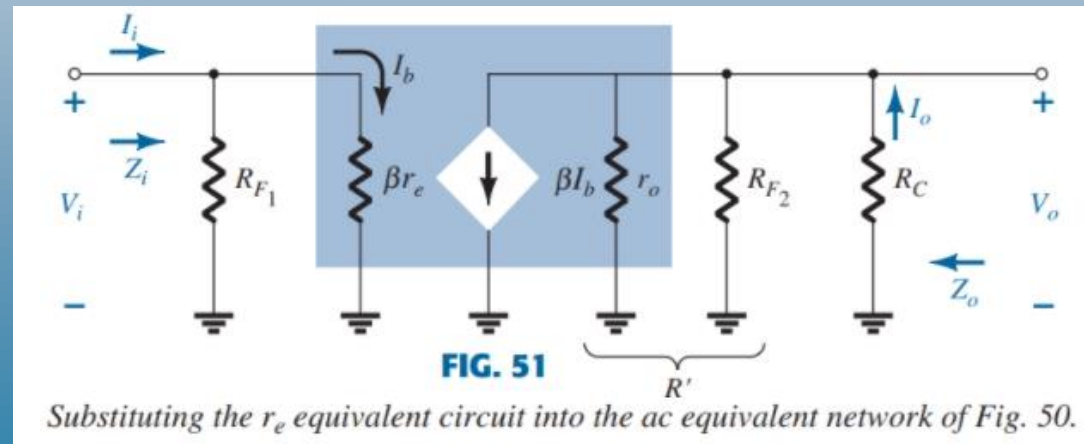
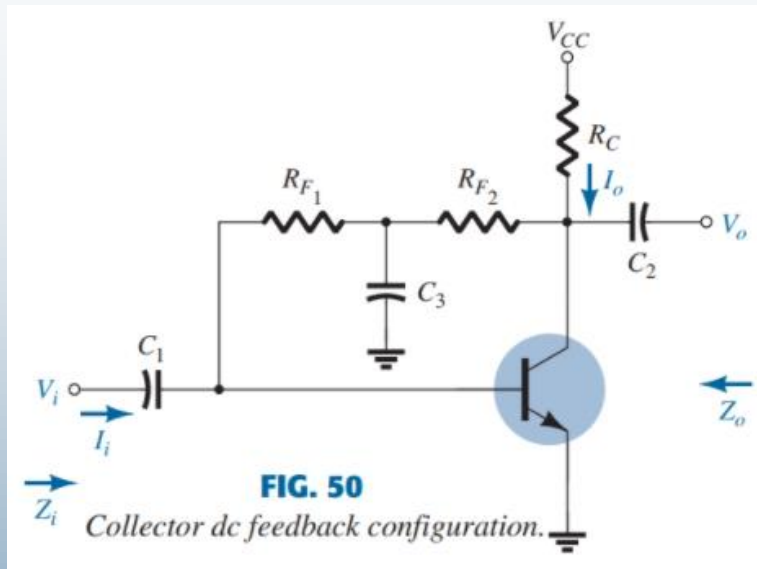
**$A_v$ :**

$$= -\left(\frac{R_F}{R_C \parallel r_o + R_F}\right) \frac{R_C \parallel r_o}{r_e} = -\left[\frac{180 \text{ k}\Omega}{2.38 \text{ k}\Omega + 180 \text{ k}\Omega}\right] \frac{2.38 \text{ k}\Omega}{11.21}$$

$$= -[0.987] 212.3$$

$$= \mathbf{-209.54}$$

# Kolektör DC Geri Besleme Konfigürasyonu (1)



# Kolektör DC Geri Besleme Konfigürasyonu (2)

$Z_i$

$$Z_i = R_{F_1} \parallel \beta r_e$$

$Z_o$

$$Z_o = R_C \parallel R_{F_2} \parallel r_o$$

$$r_o \geq 10R_C$$

olduğunu varsayarsak:

$$Z_o \cong R_C \parallel R_{F_2} \quad r_o \geq 10R_C$$

$A_v$

$$R' = r_o \parallel R_{F_2} \parallel R_C$$

$$V_o = -\beta I_b R'$$

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \frac{V_i}{\beta r_e} R'$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{r_o \parallel R_{F_2} \parallel R_C}{r_e}$$

$$r_o \geq 10R_C$$

olduğunu varsayarsak:

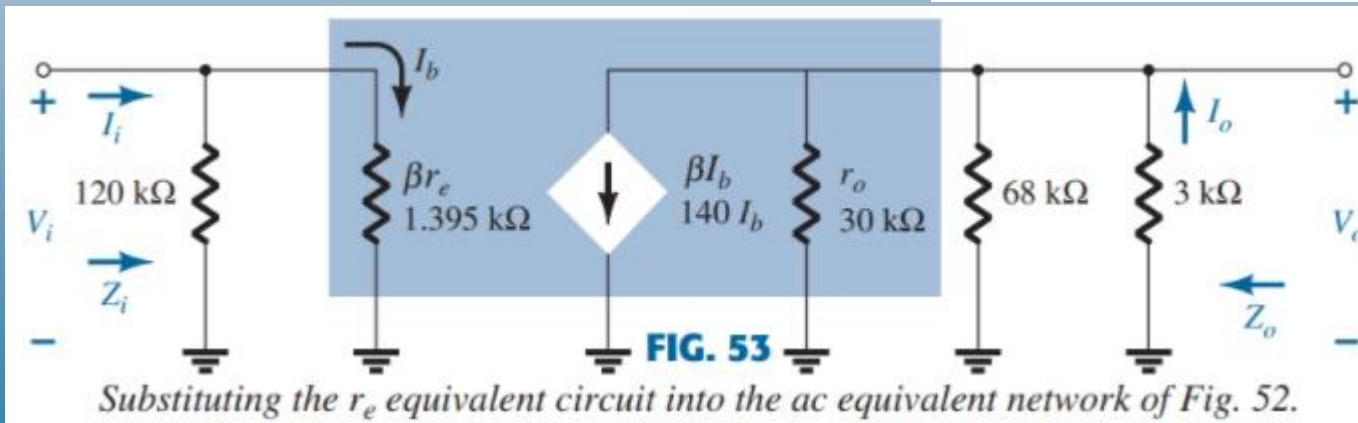
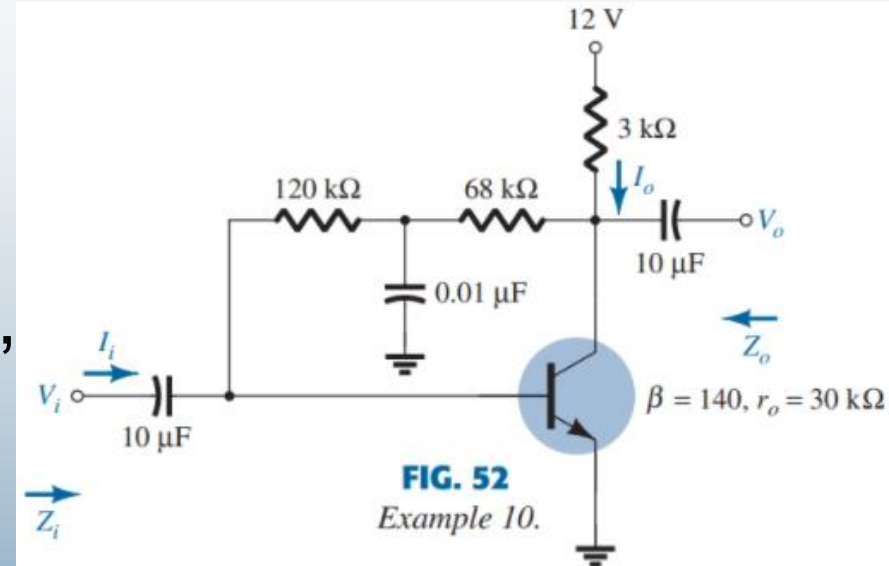
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{R_{F_2} \parallel R_C}{r_e}$$

$$r_o \geq 10R_C$$



# Kolektör DC Geri Besleme Konfigürasyonu (3)

- **Örnek 10:** Şekil 52'deki devre için aşağıdakileri hesaplayın: (a)  $r_e$ ; (b)  $Z_i$ ; (c)  $Z_o$ ; (d)  $A_v$ ; (e)  $V_i = 2 \text{ mV}$  için,  $V_o$ 'nun değeri.
- **Çözüm:**





# Kolektör DC Geri Besleme Konfigürasyonu (4)

## • Örnek 10: (Devamı)

a. DC Analizi:

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_F + \beta R_C} \\ &= \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{(120 \text{ k}\Omega + 68 \text{ k}\Omega) + (140)3 \text{ k}\Omega} \\ &= \frac{11.3 \text{ V}}{608 \text{ k}\Omega} = 18.6 \mu\text{A} \\ I_E &= (\beta + 1)I_B = (141)(18.6 \mu\text{A}) \\ &= 2.62 \text{ mA} \\ r_e &= \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{2.62 \text{ mA}} = \mathbf{9.92 \Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. } |A_v| &= 289.3 = \frac{V_o}{V_i} \\ V_o &= 289.3V_i = 289.3(2 \text{ mV}) = \mathbf{0.579 \text{ V}} \end{aligned}$$

b. AC eşdeğer devresi Şekil 53'te görülmektedir.

$$\begin{aligned} \beta r_e &= (140)(9.92 \Omega) = 1.39 \text{ k}\Omega \\ Z_i &= R_{F1} \parallel \beta r_e = 120 \text{ k}\Omega \parallel 1.39 \text{ k}\Omega \\ &\cong \mathbf{1.37 \text{ k}\Omega} \end{aligned}$$

c. Test:  $r_o \geq 10R_C$ ,  $30 \text{ k}\Omega \geq 10(3 \text{ k}\Omega) = 30 \text{ k}\Omega$  (Sağlandı)

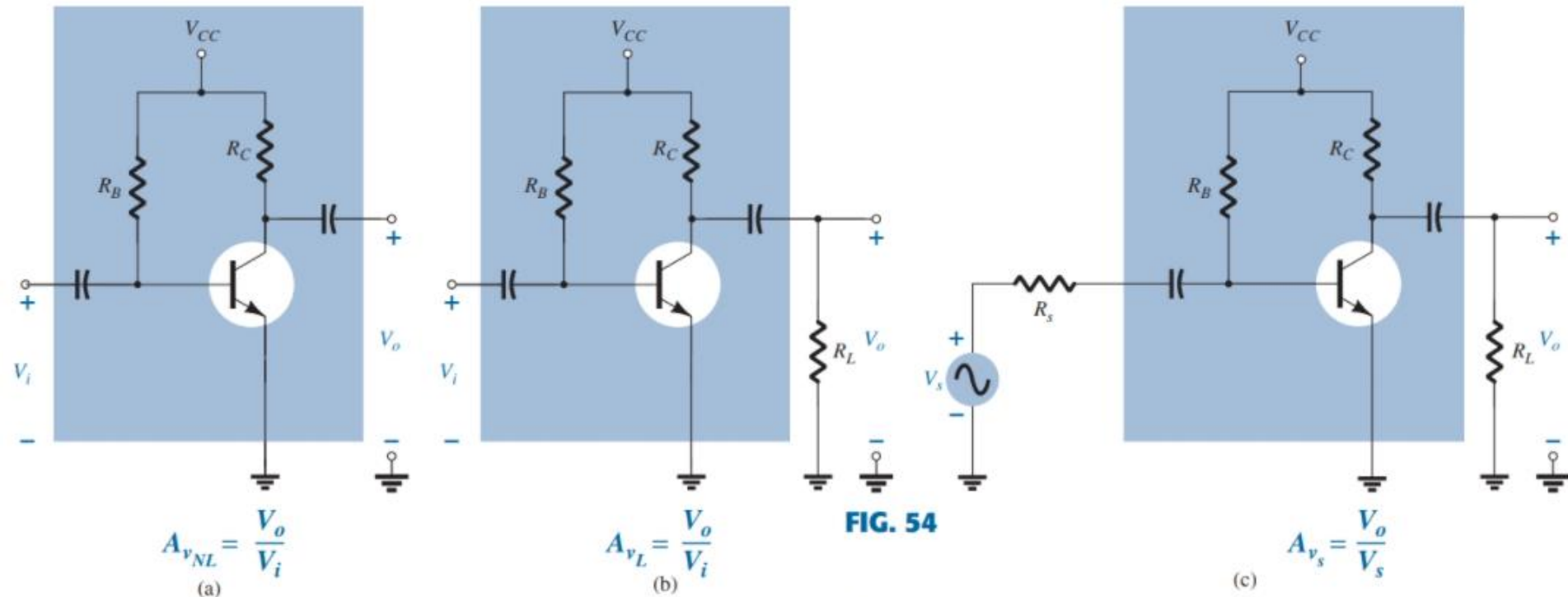
$$\begin{aligned} Z_o &\cong R_C \parallel R_{F2} = 3 \text{ k}\Omega \parallel 68 \text{ k}\Omega \\ &= \mathbf{2.87 \text{ k}\Omega} \end{aligned}$$

d.  $r_o \geq 10R_C$  olduğunu varsayarsak:

$$A_v \cong -\frac{R_{F2} \parallel R_C}{r_e} = -\frac{68 \text{ k}\Omega \parallel 3 \text{ k}\Omega}{9.92 \Omega} \cong -\frac{2.87 \text{ k}\Omega}{9.92 \Omega} \cong \mathbf{-289.3}$$

# $R_L$ ve $R_S$ Dirençlerinin Etkisi (1)

## Sabit Polarlama Konfigürasyonu



Amplifier configurations: (a) unloaded; (b) loaded; (c) loaded with a source resistance.

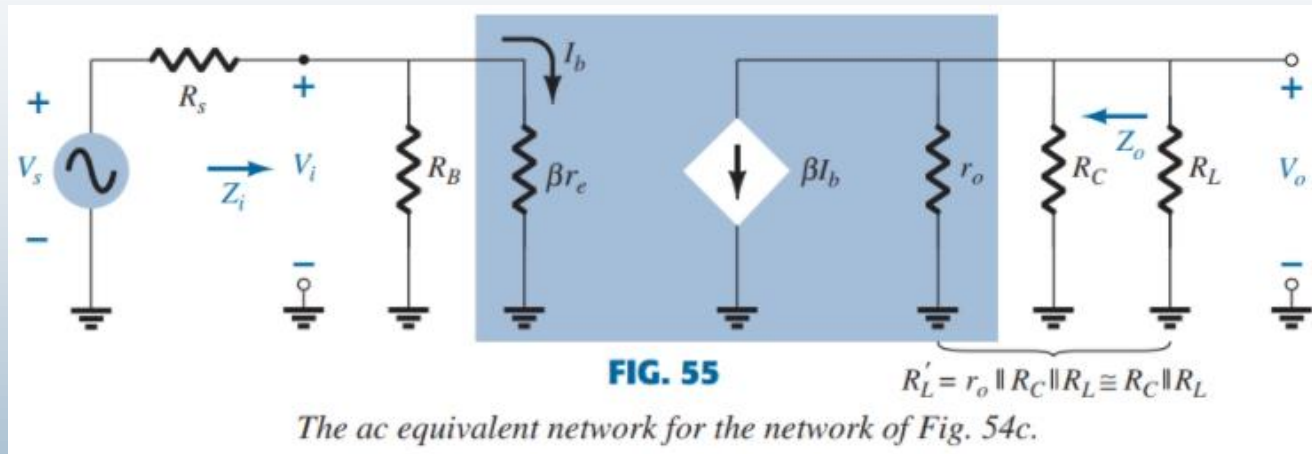
# $R_L$ ve $R_S$ Dirençlerinin Etkisi (2)

## Sabit Polarlama Konfigürasyonu

- Kaynak direnci yerindeyken elde edilen kazanç, kaynak direnci boyunca uygulanan voltajın düşmesi nedeniyle her zaman yüklü veya yüksüz koşullar altında elde edilenden daha az olacaktır.
- Aynı konfigürasyon için:  $A_{vNL} > A_{vL} > A_{vS}$ .
- Belirli bir tasarım için,  $R_L$  seviyesi ne kadar büyük olursa, ac kazancı seviyesi de o kadar yüksek olur.
- Belirli bir yükselteç için, sinyal kaynağının iç direnci ne kadar küçükse, genel kazanç o kadar büyük olur.
- Şekil 54'te gösterilenler gibi kuplaj kapasitörlerine sahip herhangi bir devre için, kaynak ve yük direnci dc polarlama seviyelerini etkilemez.

# $R_L$ ve $R_S$ Dirençlerinin Etkisi (3)

## Sabit Polarlama Konfigürasyonu



$$R'_L = r_o \parallel R_C \parallel R_L \cong R_C \parallel R_L$$

$$V_o = -\beta I_b R'_L = -\beta I_b (R_C \parallel R_L)$$

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left( \frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \parallel R_L)$$

$$A_{v_L} = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C \parallel R_L}{r_e}$$

$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e$$

$$Z_o = R_C \parallel r_o$$

$$V_i = \frac{Z_i V_s}{Z_i + R_s}$$

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{Z_i}{Z_i + R_s}$$

$$A_{v_S} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = A_{v_L} \frac{Z_i}{Z_i + R_s}$$

$$A_{v_S} = \frac{Z_i}{Z_i + R_s} A_{v_L}$$

# $R_L$ ve $R_S$ Dirençlerinin Etkisi (4)

- **Örnek 10:**  $R_L = 4,7 \text{ k}\Omega$  ve  $R_S = 0,3 \text{ k}\Omega$  ile Örnek 1'deki sabit polarlamalı konfigürasyon için verilen parametre değerlerini kullanarak, aşağıdakileri bulun ve yüksüz değerlerle karşılaştırın: : (a)  $A_{vL}$ ; (b)  $A_{vS}$ ; (c)  $Z_i$ ; (d)  $Z_o$ .

- **Çözüm:**

$$\text{a. } A_{vL} = -\frac{R_C \parallel R_L}{r_e} = -\frac{3 \text{ k}\Omega \parallel 4.7 \text{ k}\Omega}{10.71 \Omega} = -\frac{1.831 \text{ k}\Omega}{10.71 \Omega} = -170.98$$

Bu değer, -280.11'lik yüksüz kazançtan önemli ölçüde daha azdır.

$$\text{b. } A_{vS} = \frac{Z_i}{Z_i + R_S} A_{vL}$$

Örnek 1'den  $Z_i = 1.07 \text{ k}\Omega$  değerini kullanırsak,

$$A_{vS} = \frac{1.07 \text{ k}\Omega}{1.07 \text{ k}\Omega + 0.3 \text{ k}\Omega} (-170.98) = -133.54$$

Bu değer yine  $A_{vNL}$  veya  $A_{vL}$ 'den önemli ölçüde daha düşüktür.

$$\text{c. } Z_i = 1.07 \text{ k}\Omega$$

yüksüz durum için elde edildiği gibi.

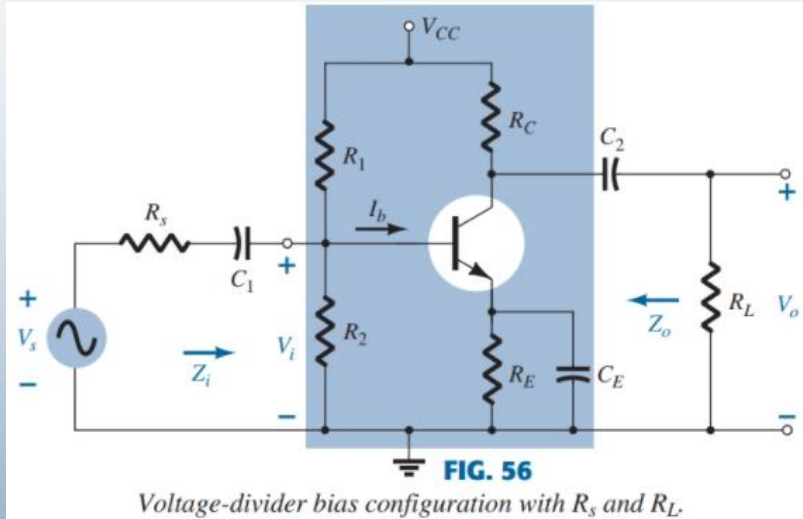
$$\text{d. } Z_o = R_C = 3 \text{ k}\Omega$$

yüksüz durum için elde edildiği gibi.

Bu örnek  $A_{vNL} > A_{vL} > A_{vS}$  olduğunu açıkça göstermektedir.

# $R_L$ ve $R_S$ Dirençlerinin Etkisi (5)

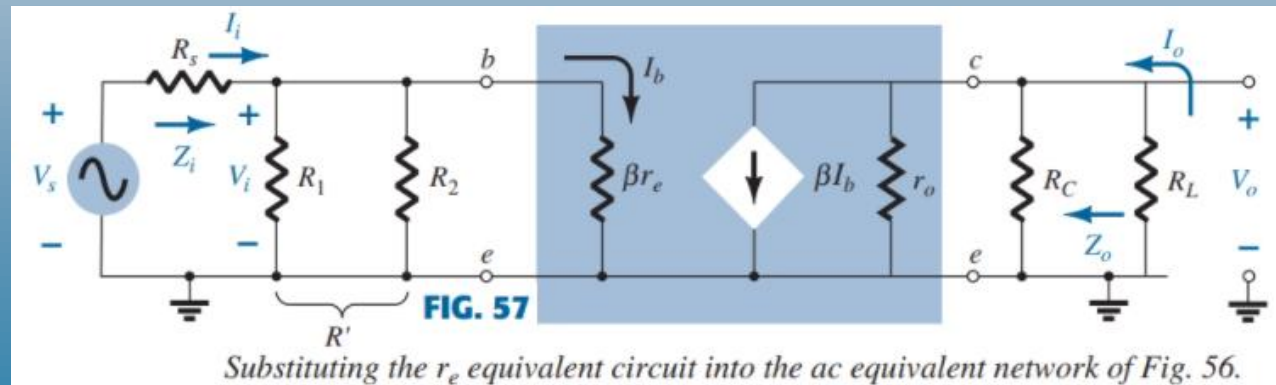
## Voltaj Bölücü Polarlama Konfigürasyonu



$$A_{vL} = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_C \parallel R_L}{r_e}$$

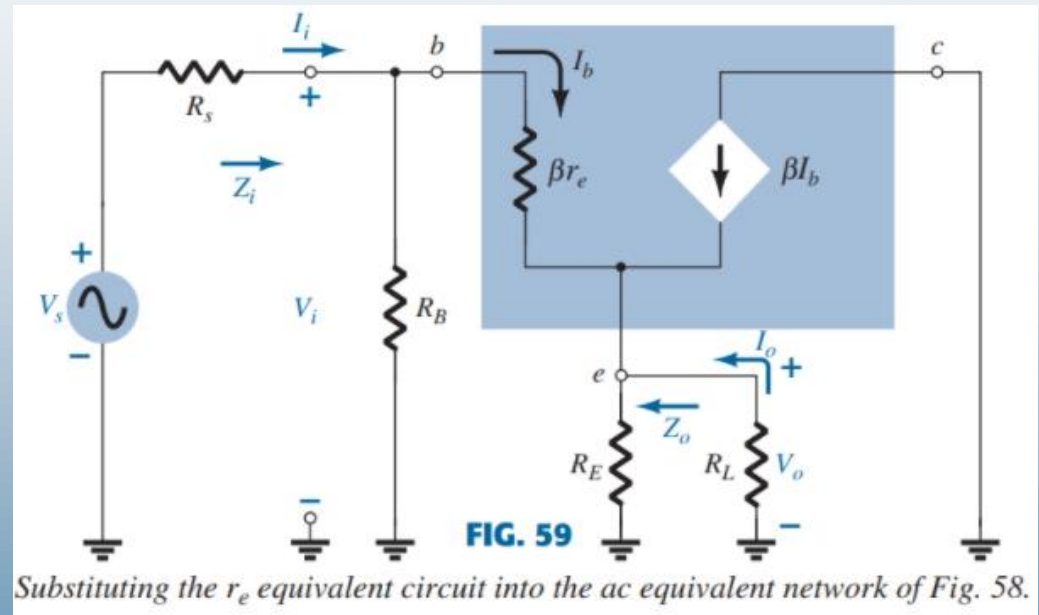
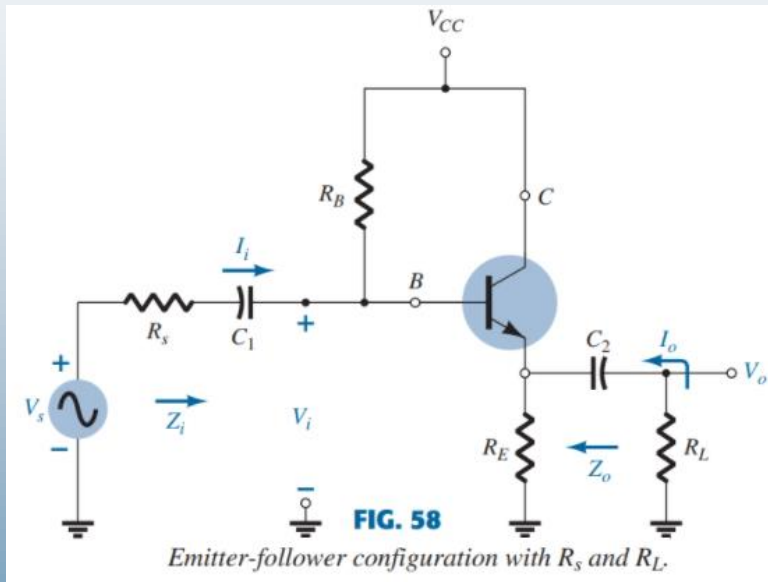
$$Z_i = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$$

$$Z_o = R_C \parallel r_o$$



# $R_L$ ve $R_S$ Dirençlerinin Etkisi (6)

## Emitör-Sürücü Konfigürasyonu



$$A_{v_L} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E \parallel R_L}{R_E \parallel R_L + r_e}$$

$$Z_i = R_B \parallel Z_b$$

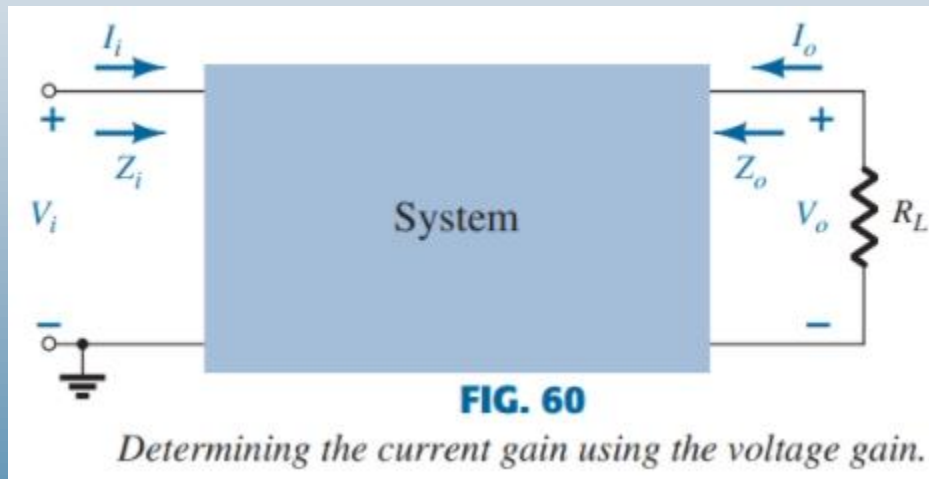
$$Z_b \cong \beta(R_E \parallel R_L)$$

$$Z_o \cong r_e$$



# Akım Kazancının Belirlenmesi

- Her transistör konfigürasyonu için, akım kazancı doğrudan voltaj kazancı, tanımlanan yük ve giriş empedansından belirlenebilir.



$$A_i = \frac{I_o}{I_i}$$

$$I_i = \frac{V_i}{Z_i}$$

$$I_o = -\frac{V_o}{R_L}$$

$$A_{i_L} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{-\frac{V_o}{R_L}}{\frac{V_i}{Z_i}} = -\frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{Z_i}{R_L}$$

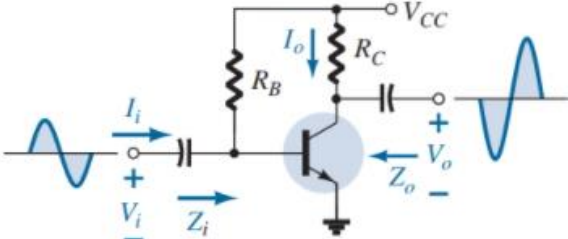
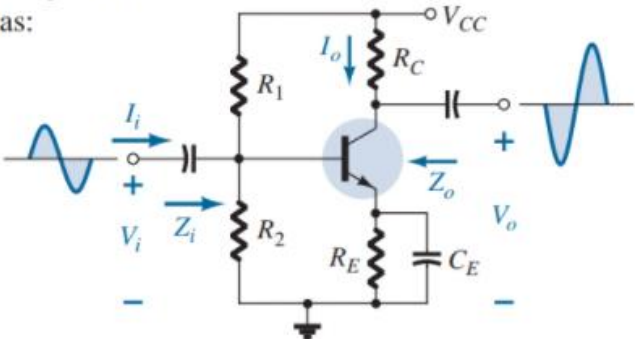
$$A_{i_L} = -A_{v_L} \frac{Z_i}{R_L}$$



# Özet Tablolar (1)

**TABLE 1**

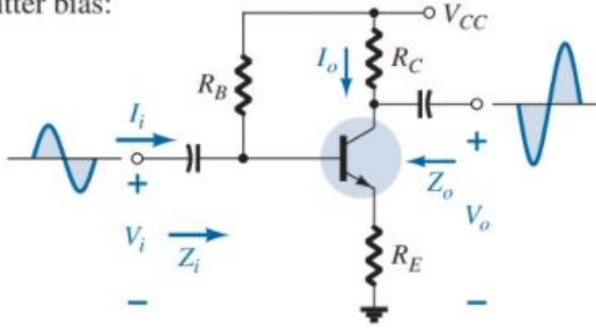
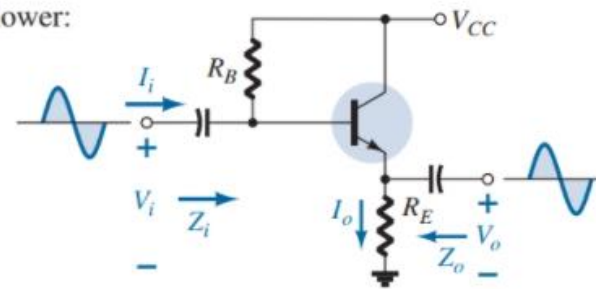
*Unloaded BJT Transistor Amplifiers*

Configuration	$Z_i$	$Z_o$	$A_v$	$A_i$
<p>Fixed-bias:</p> 	<p>Medium (1 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_B \parallel \beta r_e$ $\cong \beta r_e$ <p><math>(R_B \geq 10\beta r_e)</math></p>	<p>Medium (2 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_C \parallel r_o$ $\cong R_C$ <p><math>(r_o \geq 10R_C)</math></p>	<p>High (-200)</p> $= -\frac{(R_C \parallel r_o)}{r_e}$ $\cong -\frac{R_C}{r_e}$ <p><math>(r_o \geq 10R_C)</math></p>	<p>High (100)</p> $= \frac{\beta R_B r_o}{(r_o + R_C)(R_B + \beta r_e)}$ $\cong \beta$ <p><math>(r_o \geq 10R_C,</math> <math>R_B \geq 10\beta r_e)</math></p>
<p>Voltage-divider bias:</p> 	<p>Medium (1 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$	<p>Medium (2 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_C \parallel r_o$ $\cong R_C$ <p><math>(r_o \geq 10R_C)</math></p>	<p>High (-200)</p> $= -\frac{R_C \parallel r_o}{r_e}$ $\cong -\frac{R_C}{r_e}$ <p><math>(r_o \geq 10R_C)</math></p>	<p>High (50)</p> $= \frac{\beta(R_1 \parallel R_2)r_o}{(r_o + R_C)(R_1 \parallel R_2 + \beta r_e)}$ $\cong \frac{\beta(R_1 \parallel R_2)}{R_1 \parallel R_2 + \beta r_e}$ <p><math>(r_o \geq 10R_C)</math></p>

# Özet Tablolar (2)

**TABLE 1**

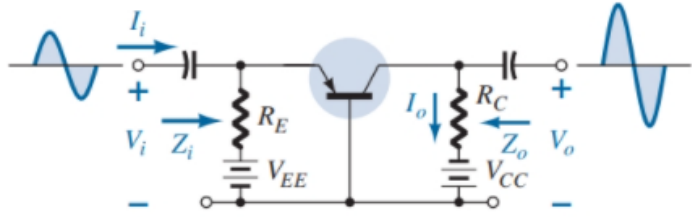
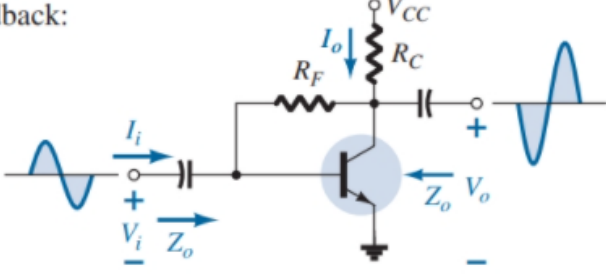
*Unloaded BJT Transistor Amplifiers*

Configuration	$Z_i$	$Z_o$	$A_v$	$A_i$
<p>Unbypassed emitter bias:</p> 	<p>High (100 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_B \parallel Z_b$ $Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$ $\cong R_B \parallel \beta R_E$ <p>(<math>R_E \gg r_e</math>)</p>	<p>Medium (2 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_C$ <p>(any level of <math>r_o</math>)</p>	<p>Low (<math>-5</math>)</p> $= -\frac{R_C}{r_e + R_E}$ $\cong -\frac{R_C}{R_E}$ <p>(<math>R_E \gg r_e</math>)</p>	<p>High (50)</p> $\cong \frac{\beta R_B}{R_B + Z_b}$
<p>Emitter-follower:</p> 	<p>High (100 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_B \parallel Z_b$ $Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$ $\cong R_B \parallel \beta R_E$ <p>(<math>R_E \gg r_e</math>)</p>	<p>Low (20 <math>\Omega</math>)</p> $= R_E \parallel r_e$ $\cong r_e$ <p>(<math>R_E \gg r_e</math>)</p>	<p>Low (<math>\cong 1</math>)</p> $= \frac{R_E}{R_E + r_e}$ $\cong 1$	<p>High (<math>-50</math>)</p> $\cong \frac{\beta R_B}{R_B + Z_b}$

# Özet Tablolar (3)

**TABLE 1**

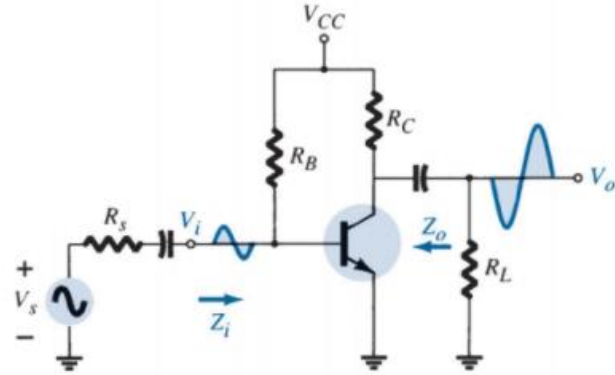
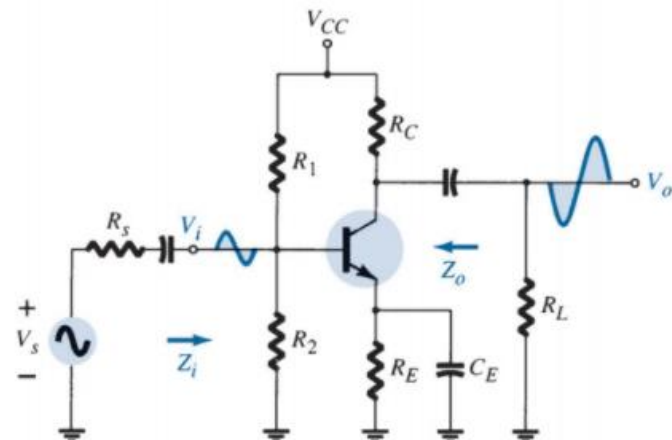
*Unloaded BJT Transistor Amplifiers*

Configuration	$Z_i$	$Z_o$	$A_v$	$A_i$
<p>Common-base:</p> 	<p>Low (20 <math>\Omega</math>)</p> $= R_E \parallel r_e$ $\cong r_e$ <p>(<math>R_E \gg r_e</math>)</p>	<p>Medium (2 k<math>\Omega</math>)</p> $= R_C$	<p>High (200)</p> $\cong \frac{R_C}{r_e}$	<p>Low (-1)</p> $\cong -1$
<p>Collector feedback:</p> 	<p>Medium (1 k<math>\Omega</math>)</p> $= \frac{r_e}{\frac{1}{\beta} + \frac{R_C}{R_F}}$ <p>(<math>r_o \geq 10R_C</math>)</p>	<p>Medium (2 k<math>\Omega</math>)</p> $\cong R_C \parallel R_F$ <p>(<math>r_o \geq 10R_C</math>)</p>	<p>High (-200)</p> $\cong -\frac{R_C}{r_e}$ <p>(<math>r_o \geq 10R_C</math>) (<math>R_F \gg R_C</math>)</p>	<p>High (50)</p> $= \frac{\beta R_F}{R_F + \beta R_C}$ $\cong \frac{R_F}{R_C}$

# Özet Tablolar (4)

**TABLE 2**

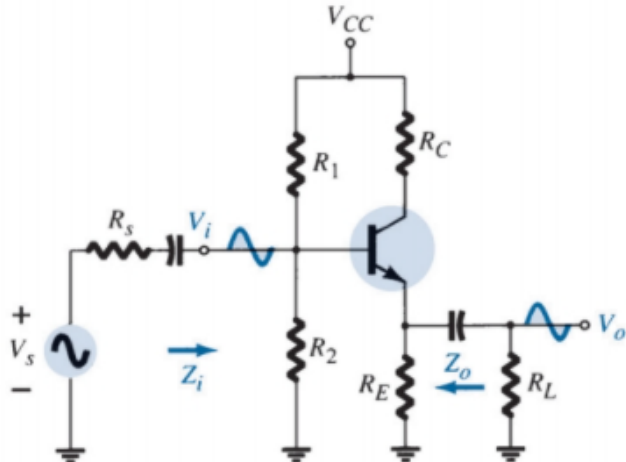
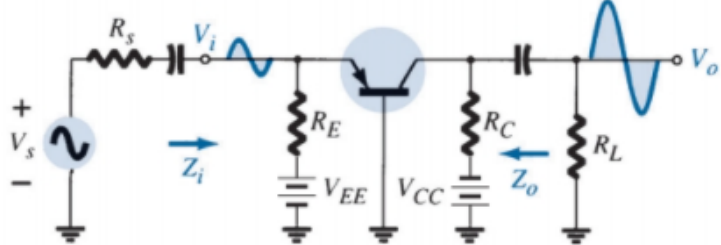
*BJT Transistor Amplifiers Including the Effect of  $R_s$  and  $R_L$*

Configuration	$A_{v_L} = V_o/V_i$	$Z_i$	$Z_o$
	$\frac{-(R_L \parallel R_C)}{r_e}$	$R_B \parallel \beta r_e$	$R_C$
	Including $r_o$ : $\frac{-(R_L \parallel R_C \parallel r_o)}{r_e}$	$R_B \parallel \beta r_e$	$R_C \parallel r_o$
	$\frac{-(R_L \parallel R_C)}{r_e}$	$R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$	$R_C$
	Including $r_o$ : $\frac{-(R_L \parallel R_C \parallel r_o)}{r_e}$	$R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$	$R_C \parallel r_o$

# Özet Tablolar (5)

**TABLE 2**

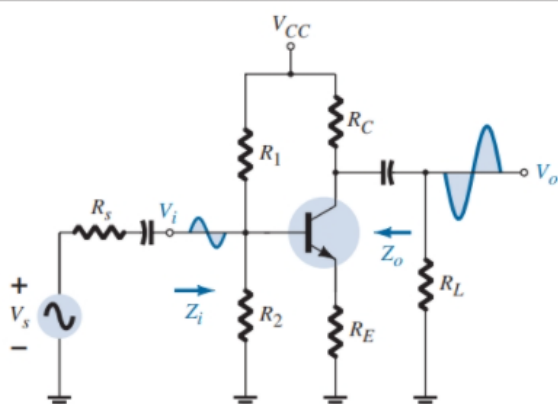
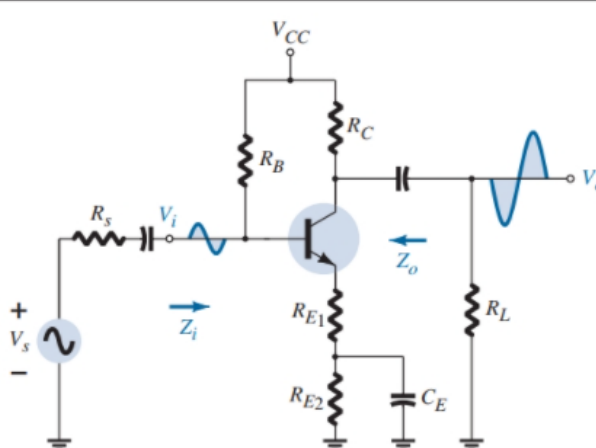
*BJT Transistor Amplifiers Including the Effect of  $R_s$  and  $R_L$*

Configuration	$A_{v_L} = V_o/V_i$	$Z_i$	$Z_o$
	$\cong 1$	$R'_E = R_L \parallel R_E$ $R_1 \parallel R_2 \parallel \beta(r_e + R'_E)$	$R'_s = R_s \parallel R_1 \parallel R_2$ $R_E \parallel \left( \frac{R'_s}{\beta} + r_e \right)$
	Including $r_o$ : $\cong 1$	$R_1 \parallel R_2 \parallel \beta(r_e + R'_E)$	$R_E \parallel \left( \frac{R'_s}{\beta} + r_e \right)$
	$\cong \frac{-(R_L \parallel R_C)}{r_e}$	$R_E \parallel r_e$	$R_C$
	Including $r_o$ : $\cong \frac{-(R_L \parallel R_C \parallel r_o)}{r_e}$	$R_E \parallel r_e$	$R_C \parallel r_o$

# Özet Tablolar (6)

**TABLE 2**

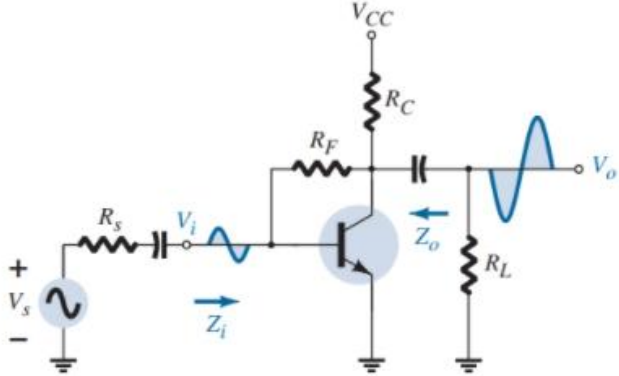
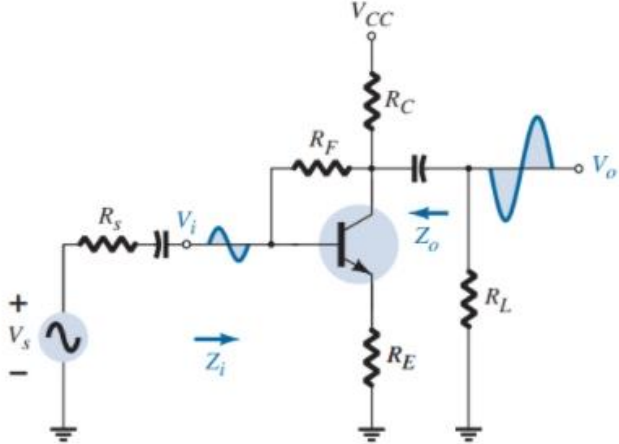
*BJT Transistor Amplifiers Including the Effect of  $R_s$  and  $R_L$*

Configuration	$A_{v_L} = V_o/V_i$	$Z_i$	$Z_o$
	$\frac{-(R_L \parallel R_C)}{R_E}$	$R_1 \parallel R_2 \parallel \beta(r_e + R_E)$	$R_C$
	Including $r_o$ : $\frac{-(R_L \parallel R_C)}{R_E}$	$R_1 \parallel R_2 \parallel \beta(r_e + R_e)$	$\cong R_C$
	$\frac{-(R_L \parallel R_C)}{R_{E1}}$	$R_B \parallel \beta(r_e + R_{E1})$	$R_C$
	Including $r_o$ : $\frac{-(R_L \parallel R_C)}{R_{E1}}$	$R_B \parallel \beta(r_e + R_E)$	$\cong R_C$

# Özet Tablolar (7)

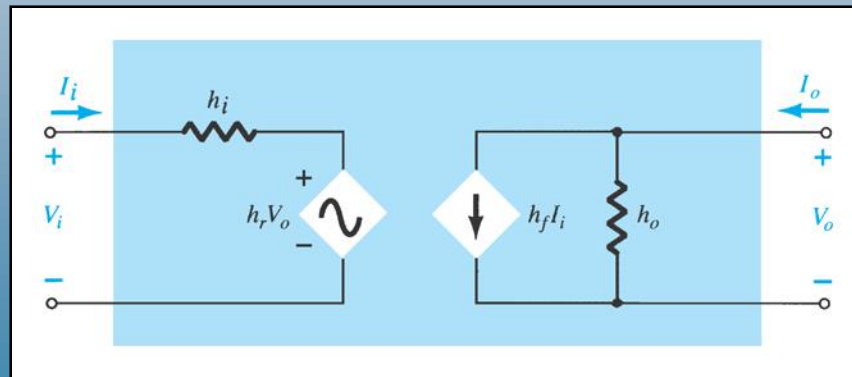
**TABLE 2**

*BJT Transistor Amplifiers Including the Effect of  $R_s$  and  $R_L$*

Configuration	$A_{v_L} = V_o/V_i$	$Z_i$	$Z_o$
	$\frac{-(R_L \parallel R_C)}{r_e}$	$\beta r_e \parallel \frac{R_F}{ A_v }$	$R_C$
	Including $r_o$ : $\frac{-(R_L \parallel R_C \parallel r_o)}{r_e}$	$\beta r_e \parallel \frac{R_F}{ A_v }$	$R_C \parallel R_F \parallel r_o$
	$\frac{-(R_L \parallel R_C)}{R_E}$	$\beta R_E \parallel \frac{R_F}{ A_v }$	$\cong R_C \parallel R_F$
	Including $r_o$ : $\cong \frac{-(R_L \parallel R_C)}{R_E}$	$\cong \beta R_E \parallel \frac{R_F}{ A_v }$	$\cong R_C \parallel R_F$

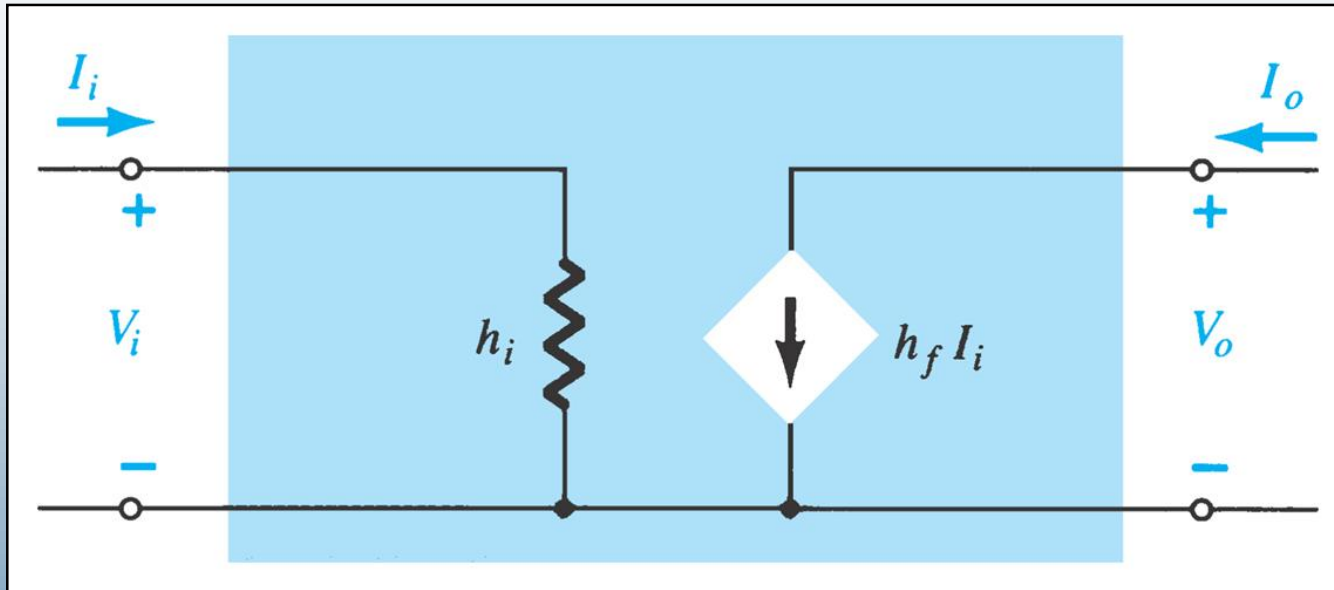
# Hibrit Eşdeğer Modeli

- Transistörün modellenmesi için hibrit parametreler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu parametreler, bir transistörün teknik özellikler sayfasında bulunabilir:
  - $h_i$  = giriş direnci
  - $h_r$  = ters transfer voltaj oranı ( $V_f/V_o$ )  $\cong 0$
  - $h_f$  = ileri transfer akım oranı ( $I_o/I_i$ )
  - $h_o$  = çıkış iletkenliği





# Basitleştirilmiş Genel h-Parametre Modeli



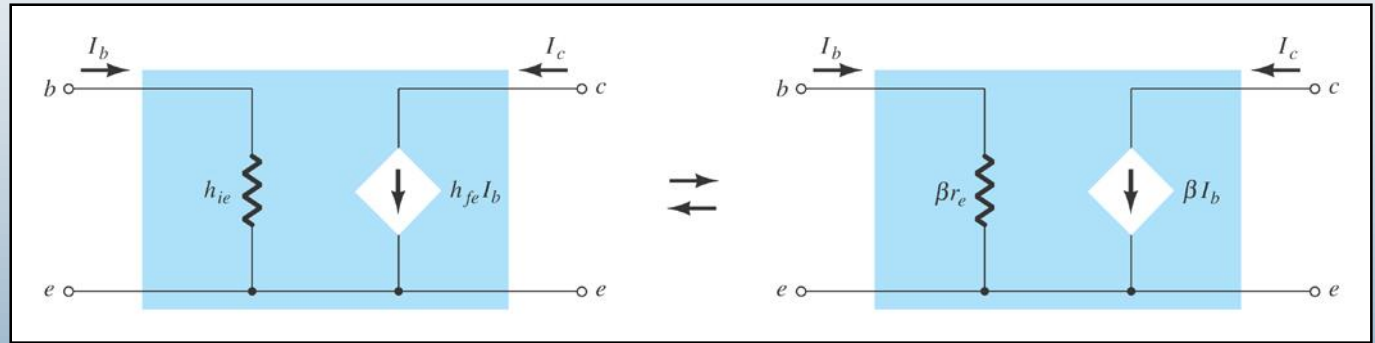
- $h_i$  = giriş direnci
- $h_f$  = ileri transfer akım oranı ( $I_o/I_i$ )

# $r_e$ Modelinin h-Parametre Modeli ile Karşılaştırması

- Ortak-Emitör

$$h_{ie} = \beta r_e$$

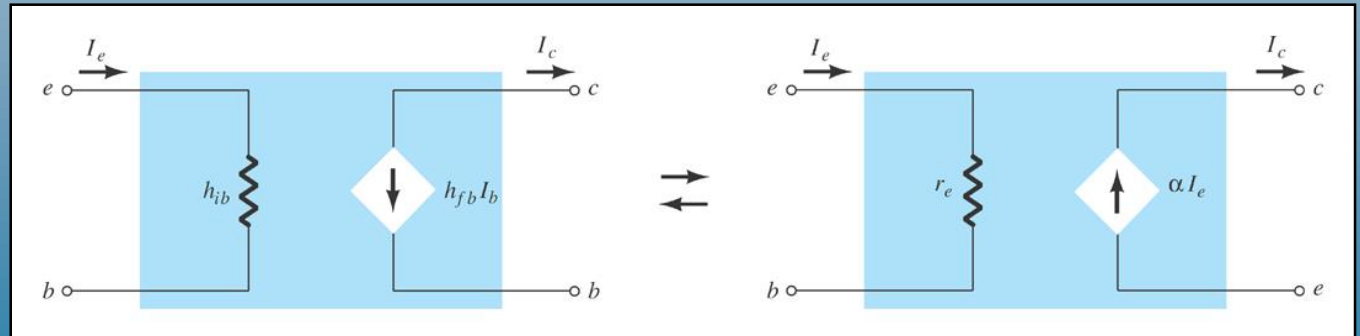
$$h_{fe} = \beta_{ac}$$



- Ortak-Baz

$$h_{ib} = r_e$$

$$h_{fb} = -\alpha \cong -1$$



# Arıza Tespit Yaklaşımları

- DC polarlamasını kontrol edin:
  - Doğru değilse, güç kaynağını, dirençleri, transistörü kontrol edin. Ayrıca yükselteç aşamaları arasındaki kuplaj kapasitörünü de kontrol edin.
- AC voltajlarını kontrol edin:
  - Doğru değilse transistörü, kapasitörleri ve bir sonraki aşamanın yükleme etkisini kontrol edin.