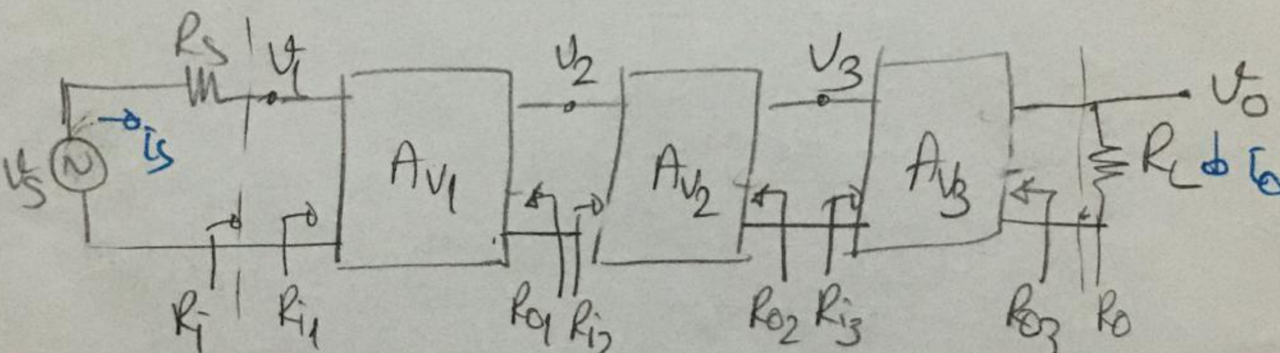
$$i_x = v_x\left(\frac{1}{r_o}+\frac{1}{R_E}\right) - \frac{(1+\beta)}{r_\pi}\, v_\pi$$

$$i_x = v_x\left(\frac{1}{r_o}+\frac{1}{R_E}\right) + \frac{(1+\beta)}{r_\pi + R_S // R_B}\cdot v_x$$

$$\frac{v_x}{i_x} = R_o = \frac{1}{\frac{1}{r_o}+\frac{1}{R_E}+\frac{(1+\beta)}{r_\pi + R_S // R_B}} = \left(\frac{r_\pi + R_S // R_B}{1+\beta}\right) // r_o // R_E$$

ÇOK KATLI DEVRELERİN AC ANALİZİ



$$A_{v_1} = \frac{v_2}{v_1}, \quad A_{v_2} = \frac{v_3}{v_2}, \quad A_{v_3} = \frac{v_o}{v_3}$$

$$A_{v_s} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_3}\cdot\frac{v_3}{v_2}\cdot\frac{v_2}{v_1}\cdot\frac{v_1}{v_s}$$

$$A_{v_s} = A_{v_3}\cdot A_{v_2}\cdot A_{v_1}\cdot\frac{R_i}{R_i + R_s}$$ ⇒ Çok katlı kuvvetlendiricinin toplam kazancı her katın kazancının çarpımından oluşur.

$R_i = R_{i_1}$

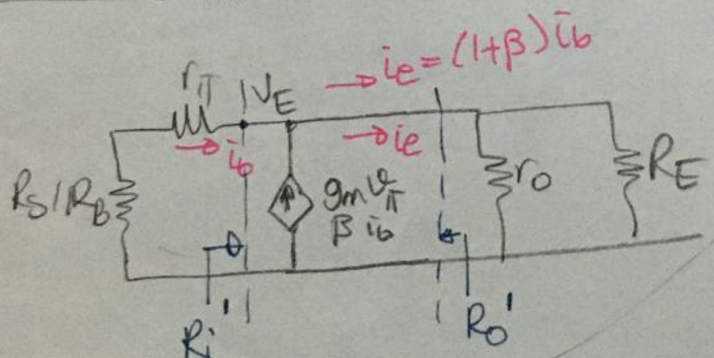
$R_o = R_{o3}$

R_{o_1} birinci kuvv. çıkış direnci ikinci kuvv. kaynak direnci R_S olarak alınacak. Benzer şekilde R_{o_2} de 3. kuvv. R_S'i olarak alınacak.

R_{i_3} ise ikinci kuvv. yük direnci R_L yerine geçecek, benzer şekilde R_{i_2} de 1. kuvvetlendiricinin yük direnci olacaktır.

$$A_I = \frac{i_o}{i_S} = \frac{\frac{v_o}{R_L}}{\frac{v_s}{R_i+R_S}} = \frac{v_o}{v_s}\cdot\frac{R_i+R_S}{R_L} = A_{v_S}\cdot\frac{R_i+R_S}{R_L}$$

89. sayfaya ek bilgi:



Bunun için

$v_E = r_o // R_E \cdot i_e$

$v_E = r_o // R_E (1+\beta) i_b$

v_E, i_b cinsinden

$v_E = R_i' i_b \Rightarrow R_i' = r_o // R_E (1+\beta)$

$R_i' = (1+\beta) \cdot r_o // R_E$ → eşdeğer direnç akım kaynağının soluna yansıtılacaksa $(1+\beta)$ ile çarpılır (Direnç yansıtma kuralı veya akım kaynağını yoketme kuralı)

(mantık da v_E geriliminin sabit kalması)

$$R_o' = \frac{R_S // R_B + r_\pi}{(1+\beta)}$$ → eşdeğer direnç akım kaynağının sağına yansıtılacaksa $(1+\beta)$'ya bölünür (Ters direnç yansıtma kuralı veya akım kay. yoketme kuralı)

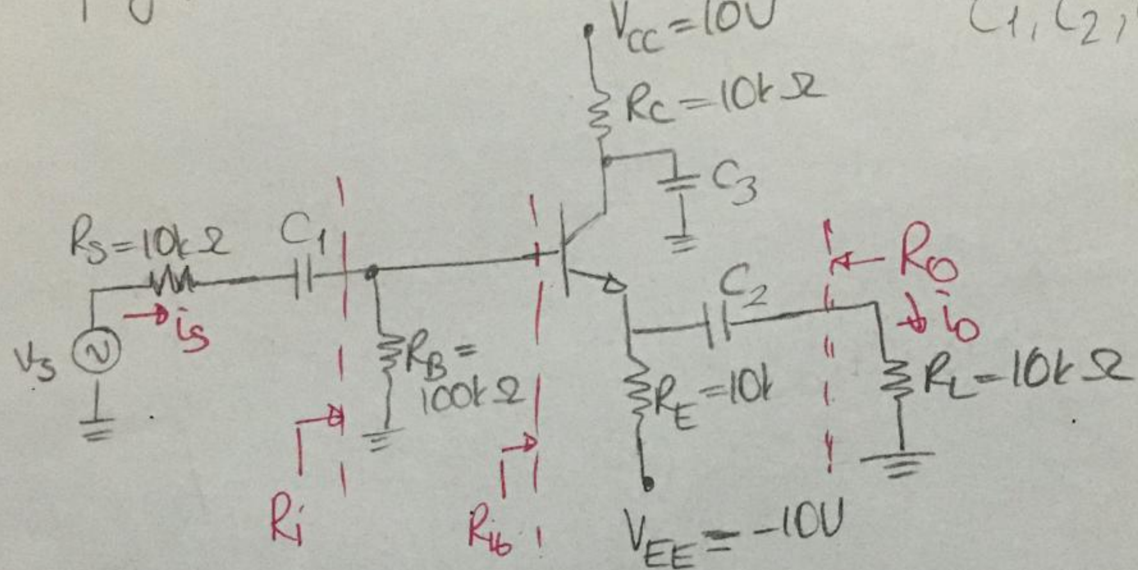
Örnek: Şekildeki devrede transistör $\beta=130$, $V_{BEon}=0.7V$ 91

$V_A \to \infty$ ile tanımlanmaktadır. AC eşdeğer devre parametreleri ise $h_{ie}=4k\Omega$, $h_{fe}=134$, $h_{re}=0$, $h_{oe}=12\mu \frac{A}{V}$

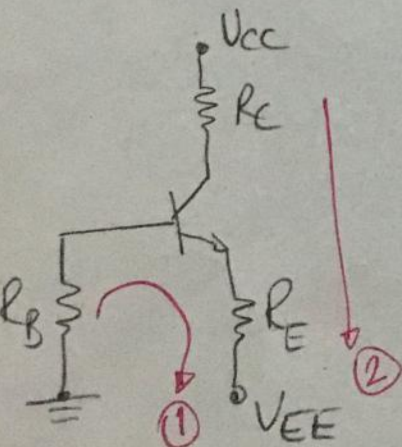
ile tanımlanmaktadır. $A_{VS}=\frac{v_o}{v_s}$, $A_I=\frac{i_o}{i_s}$, R_i ve R_o değerlerini

hesaplayınız.

$C_1, C_2, C_3 \to \infty$



DC analiz



Tr. aktif bölgede kabul ediyoruz

1 kolundan:

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

$$I_{BQ} = \frac{-V_{EE}-V_{BE}}{R_B+(1+\beta)R_E} = \frac{-(-10)-0.7}{100k+131.10k} = 6.6\mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 130.6,6\mu A = 0.857mA$$

$$I_{EQ} = (1+\beta) I_{BQ} \cong 0.865mA$$

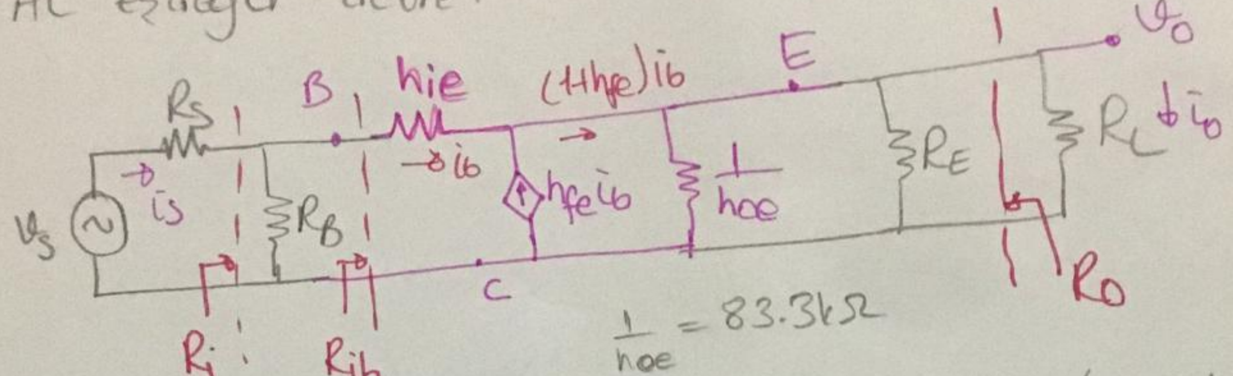
2 kolundan

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

$$V_{CE} = 20 - 8.57 - 8.65 = 2.98V$$

$V_{CE} > V_{BE}$ aktif bölge kabulü doğru.

AC eşdeğer devre:



$\frac{1}{h_{oe}} = 83.3k\Omega$

$$R_{ib} = h_{ie} + (1+h_{fe})\underbrace{\left(\frac{1}{h_{oe}} // R_E // R_L\right)}_{4.72k\Omega} = 4 + 135.(83.3k // 10k // 10k)$$

$R_{ib} = 641k\Omega$

$R_i = R_{ib} // R_B = 641k // 100k = 86.5k\Omega$

$$v_o = (1+h_{fe})\,i_b \cdot \left[\frac{1}{h_{oe}} // R_E // R_L\right]$$

$$v_B = i_b R_{ib} = i_b \cdot \left[h_{ie} + (1+h_{fe})\left(\frac{1}{h_{oe}} // R_E // R_L\right)\right]$$

$$v_B = \frac{R_i}{R_i+R_s} \cdot v_s \Rightarrow v_s = \frac{R_i+R_s}{R_i} \cdot i_b \cdot R_{ib}$$

$$A_{vs} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{(1+h_{fe}) \cdot \left[\frac{1}{h_{oe}} // R_E // R_L\right]}{\left[h_{ie} + (1+h_{fe})\left(\frac{1}{h_{oe}} // R_E // R_L\right)\right]} \cdot \frac{R_i}{R_i+R_s}$$

$$A_{vs} = \frac{135 \cdot 4.72k\Omega}{4+135\ 4.72k} \cdot \frac{86.5k}{96.5k} = 0.891$$

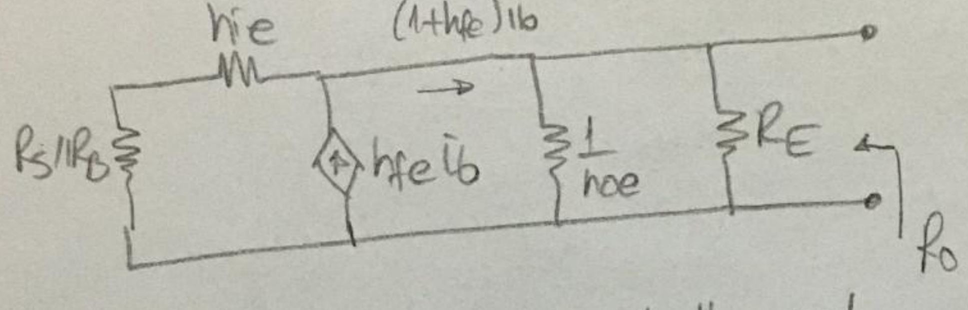
$$A_I = \frac{R_i+R_s}{R_L} A_{vs} = \frac{(1+h_{fe})\left(\frac{1}{h_{oe}} // R_E // R_L\right)}{h_{ie} + (1+h_{fe})\left(\frac{1}{h_{oe}} // R_E // R_L\right)} \cdot \frac{R_i}{\cancel{R_i+R_s}} \cdot \frac{\cancel{R_i+R_s}}{R_L}$$

$$A_I = \frac{135(4.72k)}{641k\Omega} \cdot \frac{86.5k}{10k} = 8.598$$

R_i, A_{vs} hesabı için bulunmuştu

$R_i = R_{ib} // R_B = 86.5k\Omega$

R_o hesabı için $V_s = 0$:



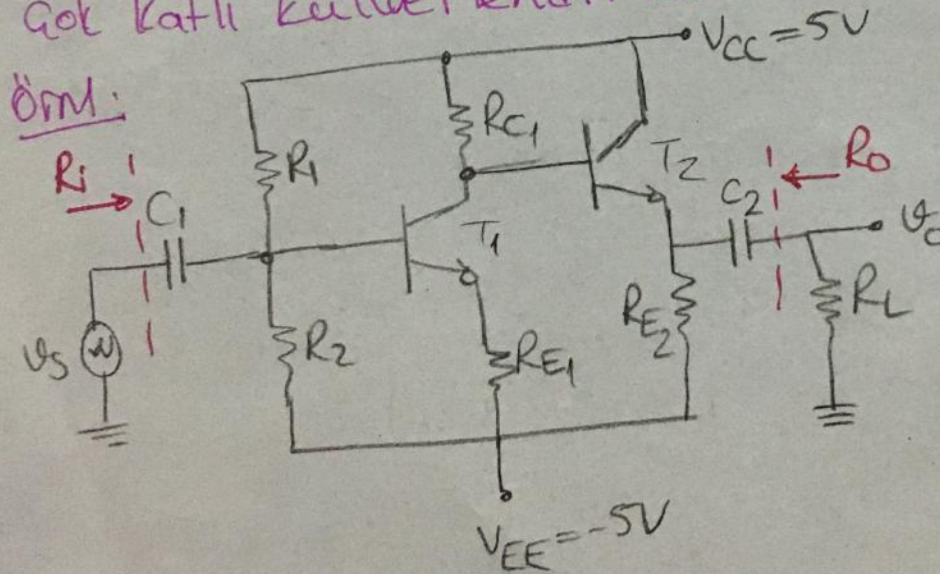
direnç yansıtma kuralını kullanarak

$$R_o = \frac{h_{ie} + R_S // R_B}{1 + h_{fe}} // \frac{1}{h_{oe}} // R_E = \frac{4 + 10k // 100k}{135} // 83.3k // 10k$$

$R_o = 96\Omega$

Çok katlı kuvvetlendirici örnekleri:

Örn:



$R_1 = 70k\Omega$
$R_2 = 6k\Omega$
$R_{C_1} = 5k\Omega$
$R_{E_1} = 0.2k\Omega$
$R_{E_2} = 1.5k$
$R_L = 10k$
$C_1, C_2 \to \infty$

Tr parametreleri: $\beta = 125$, $V_{BEon} = 0.7V$, $V_A = \infty$

(a) çalışma noktası?

(b) $A_v = \frac{v_o}{v_s} = ?$ (c) $R_i, R_o = ?$

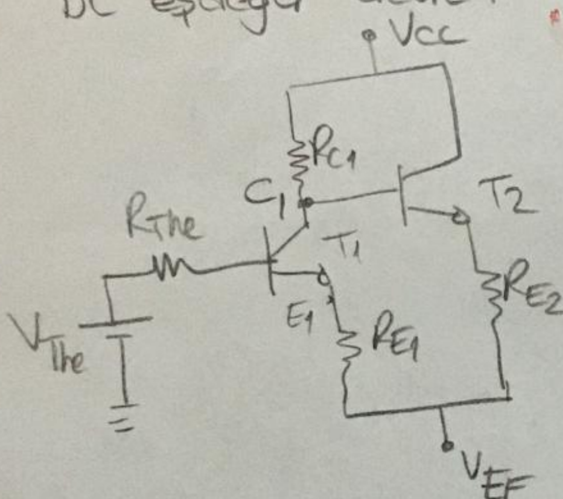
(94)

1. katın bazına Thévenin eşdeğeri uygulayalım:

$R_{The} = R_1 // R_2 = 5.53k\Omega$

$V_{The} = \frac{R_2}{R_1+R_2}(V_{CC}+V_{EE}) + V_{EE} = \frac{6}{76} \cdot 10 - 5 = -4.2105V$

DC eşdeğer devre:



$I_{B1Q} = \frac{-V_{EE} - V_{The} - V_{BE1}}{R_{The} + (1+\beta)R_{E1}} = 2.9\mu A$

$I_{C1Q} = \beta I_{B1Q} = 0.364mA$

$I_{E1Q} = (1+\beta) I_{B1Q} = 0.368mA$

C1 noktasında:

$\frac{V_{CC} - V_{C1}}{R_{C1}} = I_{C1} + I_{B2}$

$I_{B2} = \frac{V_{C1} - V_{BE2} - V_{EE}}{(1+\beta)R_{E2}}$

$\frac{5 - V_{C1}}{5k} = 0.364 + \frac{V_{C1} - 0.7 + 5}{126 \cdot 1.5}$

$V_{C1} = 2.99V$

$V_{E1} = I_{E1}R_{E1} + V_{EE} = -4.93V$

$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 2.99 - (-4.93) = 7.92V$

$V_{CE1} > V_{BE1} \Rightarrow T_1$ aktif bölgede.

$I_{B2Q} = \frac{V_{C1} - 0.7 + 5}{126 \cdot 1.5} = 38.57\mu A$

$I_{C2Q} = \beta_2 \cdot I_{B2Q} = 4.82mA$,

$I_{E2Q} = 4.86mA$

$-V_{CC} + V_{CE2} + I_{E2}R_{E2} + V_{EE} = 0$

$V_{CE2} = V_{CC} - V_{EE} - I_{E2}R_{E2} = 2.71V \Rightarrow T_2$ aktif

AC eşdeğer devre parametreleri

$g_{m1} = \frac{I_{CQ}}{V_{Th}} = \frac{0.364mA}{26mV}$

$g_{m1} = 14 mA/V$

$r_{\pi 1} = \beta_1 / g_{m1} = 8.93k\Omega$

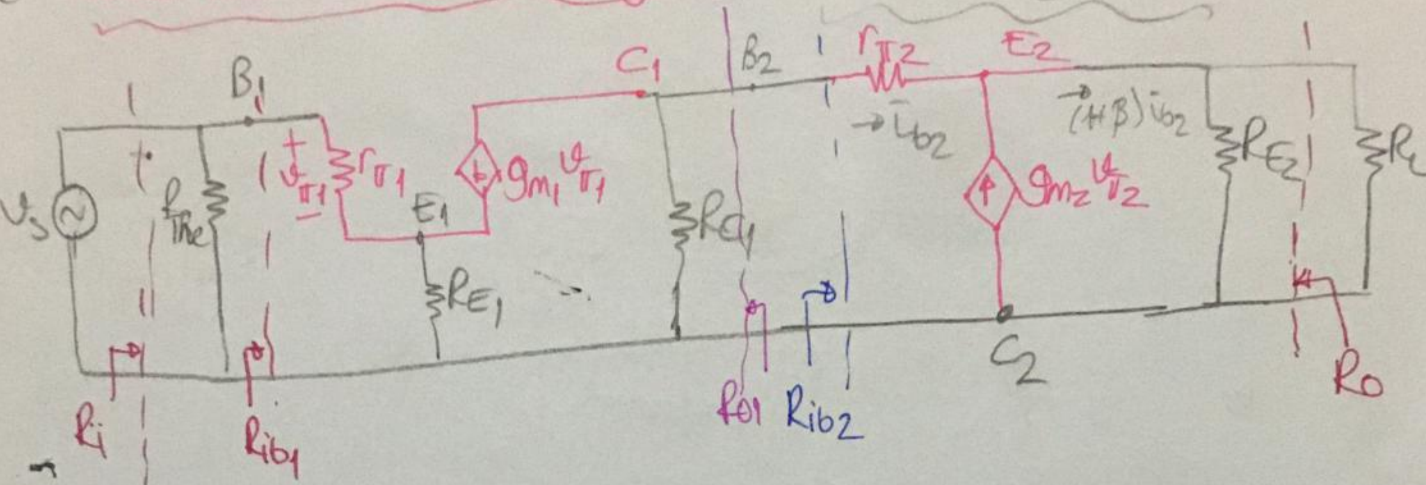
$r_{o1} = \frac{V_A}{I_{CQ}} = \infty$

$g_{m2} = \frac{I_{C2Q}}{V_{Th}} = 185 \frac{mA}{V}$

$r_{\pi 2} = \frac{\beta}{g_{m2}} = 0.674k\Omega$

$r_{o2} = \frac{V_A}{I_{C2Q}} = \infty$

ⓑ Kuvvetlendiricinin AC eşdeğeri: $T_1 - OE$, $T_2 - OC$



$$R_{ib_1} = r_{\pi_1} + (1+\beta) R_{E_1} = 8.93k + 126(0.2k) = 34.1k\Omega$$

$$R_{ib_2} = r_{\pi_2} + (1+\beta)(R_{E_2} // R_L) = 0.674 + 126 \cdot (1.5k // 10k) = 165k\Omega$$

$$v_o = (1+\beta) i_{b_2} (R_{E_2} // R_L)$$

$$i_{b_2} = \frac{R_{C_1}}{R_{C_1} + R_{ib_2}} \cdot (-g_{m1} v_{\pi_1})$$

$$V_{B_1} = V_S \Rightarrow V_{\pi_1} = \frac{r_{\pi_1}}{R_{ib_1}} \cdot V_S$$

$$A_{v_s} = \frac{v_o}{v_s} = (1+\beta)(R_{E_2} // R_L) \cdot \frac{R_{C1}}{R_{C1} + R_{ib2}} \cdot (-g_{m1}) \cdot \frac{r_{\pi 1}}{R_{ib1}}$$

β

$$A_{v_s} = -\beta (1+\beta) \cdot \frac{(R_{E_2} // R_L)}{R_{ib1}} \cdot \frac{R_{C1}}{R_{C1} + R_{ib_2}} = -125 \cdot 126 \cdot \frac{(1.5k // 10k)}{34.1k} \cdot \frac{5k}{5k + 165k}$$

$$A_{v_s} = -17.7$$

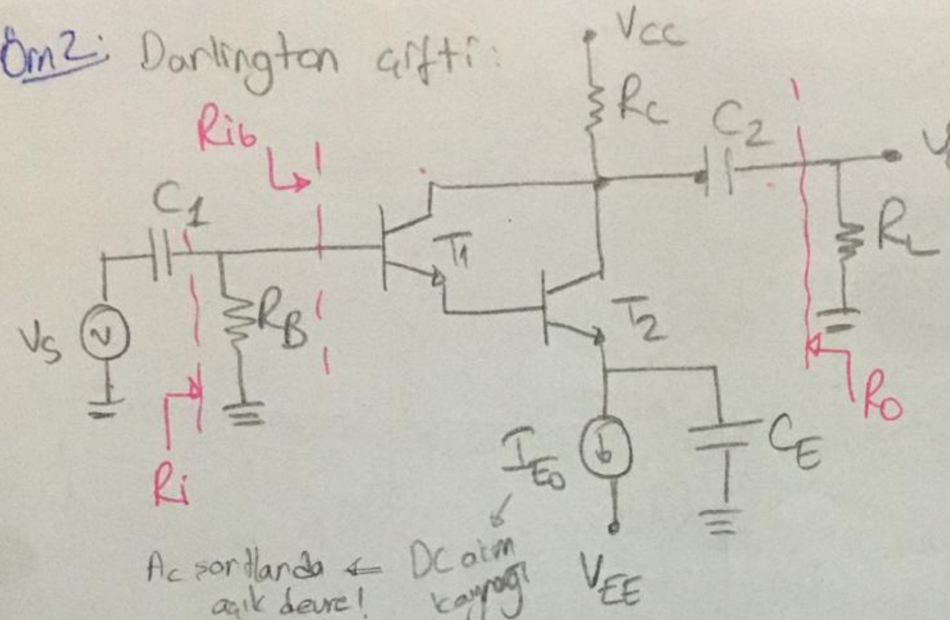
ⓒ $R_i = R_{i1} = R_{ib_1} // R_{The} = 34.1k // 5.53k = 4.76k\Omega$

$$R_o = R_{o2} = \left(\frac{R_{o1} + r_{\pi 2}}{1+\beta}\right) // R_{E_2}$$

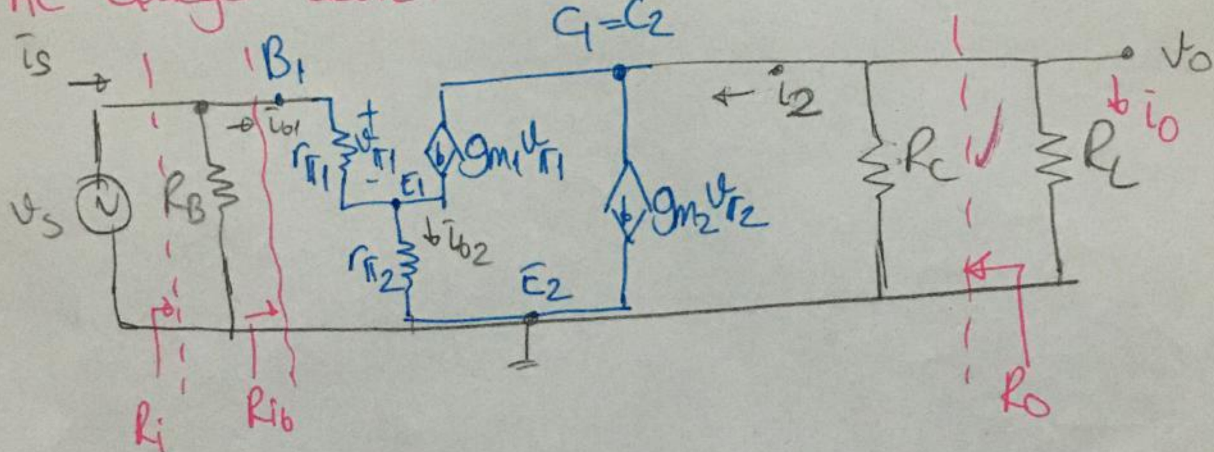
$$R_{o1} = R_{C1} \Rightarrow R_o = R_{o2} = \frac{R_{C1} + r_{\pi 2}}{1+\beta} // R_{E_2} = 43.7\Omega$$

Örn2: Darlington çifti:

$C_1, C_2, C_E \rightarrow \infty$



AC Eşdeğer devre:



$$v_{\pi_1} = i_{b_1} r_{\pi_1} \quad , \quad g_{m_1} v_{\pi_1} = g_{m_1} r_{\pi_1} i_{b_1} = \beta_1 i_{b_1}$$

$$i_{b_2} = i_{e_1} = (1+\beta_1) i_{b_1} \quad , \quad v_{\pi_2} = i_{b_2} r_{\pi_2} = (1+\beta_1) r_{\pi_2} i_{b_1}$$

$$g_{m_2} v_{\pi_2} = (1+\beta_1) \underbrace{g_{m_2} r_{\pi_2}} i_{b_1} = (1+\beta_1) \beta_2 i_{b_1}$$

$$i_2 = g_{m_1} v_{\pi_1} + g_{m_2} v_{\pi_2} = \beta_1 i_{b_1} + (1+\beta_1) \beta_2 i_{b_1}$$

$$v_o = - R_C // R_L \cdot i_2$$

$$v_o = - \left[\beta_1 + (1+\beta_1) \beta_2 \right] R_C // R_L \cdot i_{b_1}$$

$$v_s = v_B = i_{b_1} \cdot r_{\pi_1} + (1+\beta) i_{b_1} \cdot r_{\pi_2} = i_{b_1} \overbrace{\left[r_{\pi_1} + (1+\beta) r_{\pi_2} \right]}^{R_{ib_1}}$$

$$A_{v_s} = \frac{v_o}{v_s} = - \frac{R_C // R_L \cdot \left[\beta_1 + (1+\beta_1) \beta_2 \right]}{r_{\pi_1} + (1+\beta) r_{\pi_2}}$$

$$R_{ib} = r_{\pi_1} + (1+\beta)\, r_{\pi_2}$$

$$R_i = R_B \,//\, R_{ib}$$

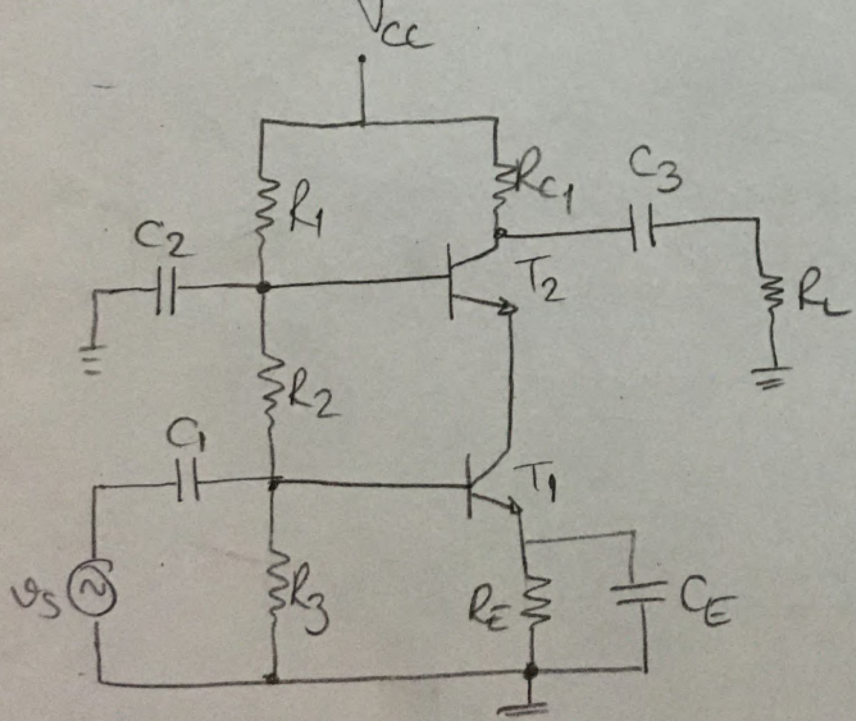
$$i_o = -\frac{R_C}{R_C+R_L} \cdot i_2 \quad , \quad i_2 = \left[\beta_1 + (1+\beta_1)\beta_2\right] i_{b_1}$$

$$i_{b_1} = \frac{R_B}{R_B+R_{ib}}\, i_s$$

$$A_I = \frac{i_o}{i_s} = -\left[\beta_1 + (1+\beta_1)\beta_2\right] \cdot \frac{R_C}{R_C+R_L} \cdot \frac{R_B}{R_B+R_{ib}}$$

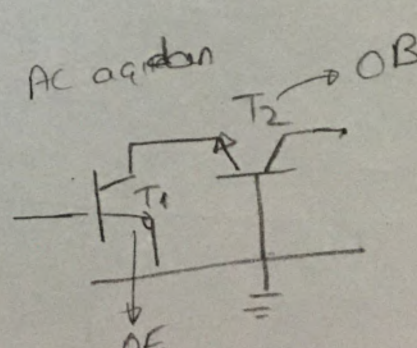
$R_B \gg R_{ib}$ ve $R_C \gg R_L$ için $A_I \cong -\beta_1 \cdot \beta_2$ Darlington çiftinin akım kazancı T_1 ve T_2'nin akım kazançlarının çarpımıdır.

Örn3:

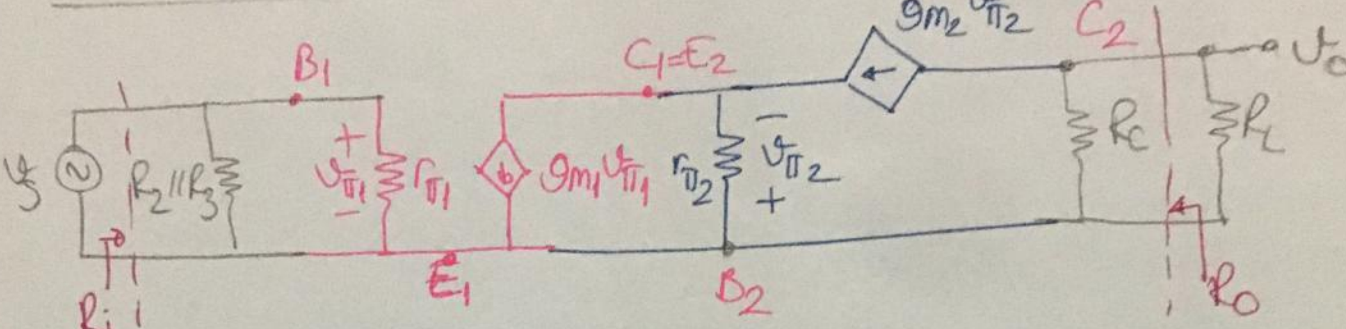


$C_1, C_2, C_3, C_E \to \infty$

AC açıdan



AC eşdeğer devre:



$$v_{\pi_1} = v_{B_1} = v_s$$

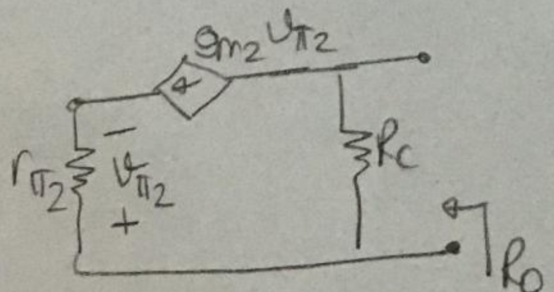
$$g_{m1} v_{\pi_1} = g_{m2} v_{\pi 2} + \frac{v_{\pi_2}}{r_{\pi_2}} = \frac{v_{\pi 2}}{r_{\pi 2}}(1+\beta_2) \Rightarrow v_{\pi_2} = \frac{g_{m1} r_{\pi 2}}{(1+\beta_2)} v_{\pi_1}$$

$$v_o = -g_{m2} v_{\pi_2} (R_C // R_L)$$

$$\frac{v_o}{v_s} = A_{vs} = -g_{m2}(R_C // R_L) \cdot \frac{g_{m1} r_{\pi_2}}{(1+\beta_2)} = -g_{m1}\frac{\beta_2}{(1+\beta_2)}(R_C // R_L)$$

$$R_i = R_2 // R_3 // r_{\pi_1}$$

R_o için $v_s = 0$ yapılırsa $\Rightarrow v_{\pi_1} = 0$, $g_m v_{\pi 1} = 0$ (açık devre)



devreden:

$$\frac{v_{\pi 2}}{r_{\pi 2}} + g_{m2} v_{\pi_2} = 0$$

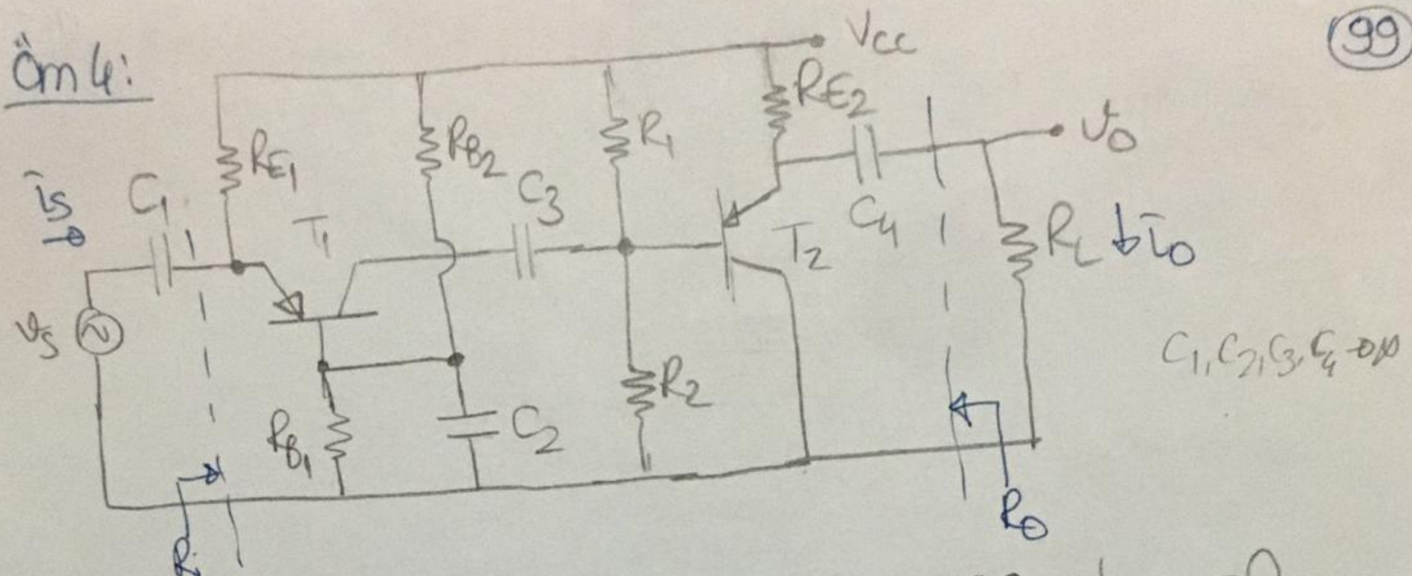
$$v_{\pi_2}\underbrace{\left(\frac{1}{r_{\pi 2}} + g_{m_2}\right)}_{\neq 0} = 0$$

$v_{\pi_2} = 0 \Rightarrow g_{m2} v_{\pi_2} = 0$ (açık d.)

dolayısıyla

$$R_o = R_C$$

Örn 4:



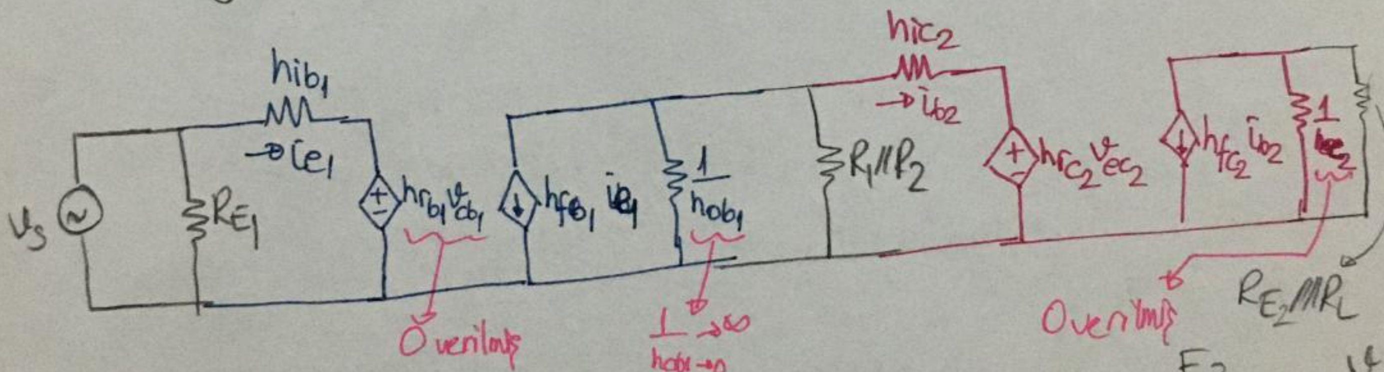
$T_1 \to h_{ib_1} = 50\Omega$, $h_{rb_1} = 0$, $h_{fb_1} = -0.99$, $h_{ob_1} = 0$

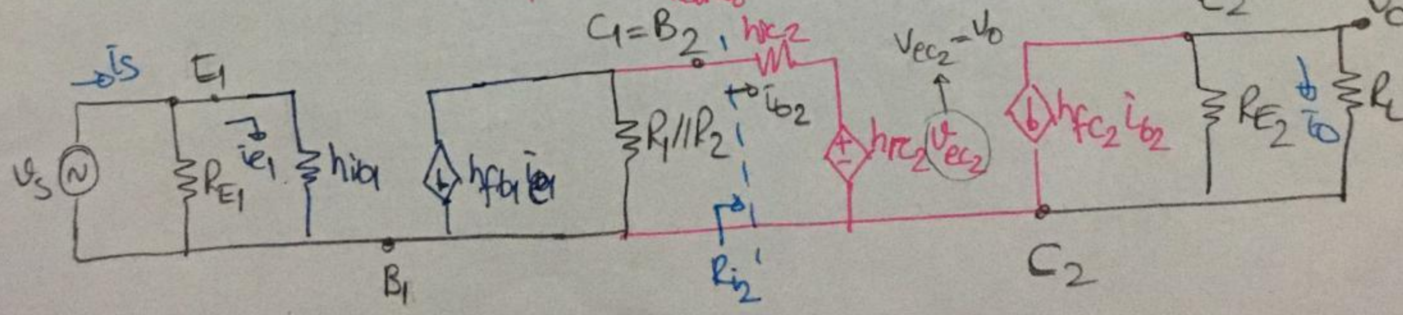
$T_2 \to h_{ic_2} = 500\Omega$, $h_{rc_2} = 1$, $h_{fc_2} = -100$, $h_{oc_2} = 0$

$R_L = R_{E_2} = 2k\Omega$, $R_{B_1} = 30k\Omega$, $R_{B_2} = 60k\Omega$, $R_1 = 50k\Omega$, $R_2 = 100k\Omega$

$R_{E_1} = 5k\Omega$

AC eşdeğer devre (veya k.g.a.i.e.d – küçük genlikli alternatif işaretler için geçerli eşd. dev.)





$$v_o = -h_{fc_2} \, i_{b_2} \cdot (R_{E_2} // R_L)$$

$$v_{c_1} = v_{B_2} = h_{ic_2} \, i_{b_2} + h_{rc_2} \cdot v_o = i_{b_2} \left[h_{ic_2} - h_{rc_2} h_{fc_2} (R_{E_2} // R_L) \right]$$

$$R_{i_2} = \frac{v_{B_2}}{i_{b_2}} = h_{ic_2} - h_{rc_2} h_{fc_2} (R_{E_2} // R_L) = 500 + 100 \cdot 1k = 100.5k$$

$$i_{b_2} = -h_{fb_1} \cdot i_{e_1} \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{i_2}}$$

$$v_s = i_{e_1} \cdot h_{ib_1}$$

$$\frac{v_o}{v_s} = A_{vs} = -h_{fc_2} (R_{E_2} // R_L)(-h_{fb_1}) \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{i_2}} \cdot \frac{1}{h_{ib_1}}$$

$$A_{vs} = \frac{h_{fc_2} \cdot h_{fb_1}}{h_{ib_1}} (R_{E_2} // R_L) \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{i_2}}$$

$$R_1 // R_2 = 100k // 50k = 33.33k$$

$$A_{vs} = \frac{(-100) \cdot (-0.99)}{50\Omega} \cdot (1k) \cdot \frac{33.33k}{133.83k} = 493.11$$

$$A_I = \frac{i_o}{i_s} = ?$$

$$i_o = -h_{fc_2} i_{b_2} \frac{R_{E_2}}{R_{E_2} + R_L}$$

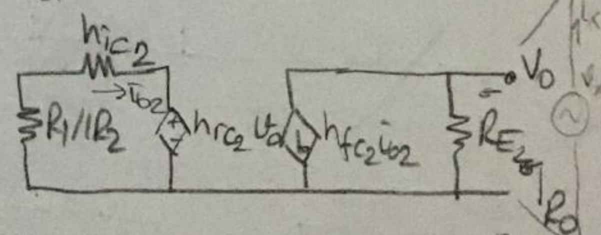
$$i_{b_2} = -h_{fb_1} i_{e_1} \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{i_2}}$$

$$i_{e_1} = \frac{R_{E_1}}{R_{E_1} + h_{ib_1}} \cdot i_s$$

$R_i = R_{E_1} // h_{ib_1}$

R_o hesabı için $V_s = 0, i_{e_1} = 0$

$h_{fb_1} i_{e_1} = 0$

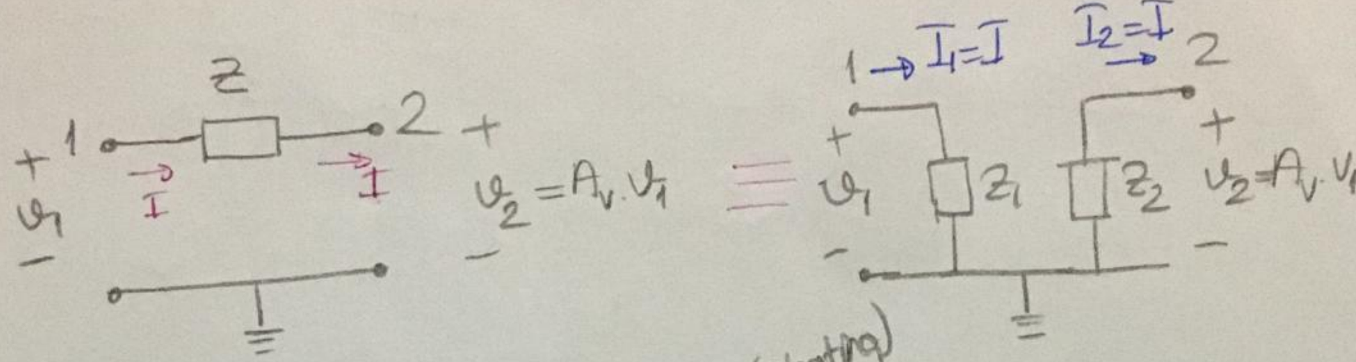


$$R_o = \frac{v_x}{i_x} = R_{E_2} // \left[\frac{h_{ic_2} + R_1 // R_2}{h_{rc_2}(-h_{fc_2})} \right]$$

$$\frac{i_o}{i_s} = A_I = -h_{fc_2} \cdot \frac{R_{E_2}}{R_{E_2} + R_L} \cdot (-h_{fb_1}) \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{i_2}} \cdot \frac{R_{E_1}}{R_{E_1} + h_{ib_1}}$$

$$A_I = h_{fc_2} h_{fb_1} \cdot \frac{R_{E_2}}{R_{E_2} + R_L} \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{i_2}} \cdot \frac{R_{E_1}}{R_{E_1} + h_{ib_1}} = 12.21$$

MILLER TEOREMİ



1 ve 2 uçları arasında yer alan (floating) bir direnç (veya daha genel halde bir empedans) büyüklüğünü 1 ve toprak arasında Z_1 ve 2 ile toprak arasında Z_2 gibi bir empedansa nasıl bölebileceğimizi tanımlayan teoremdir. Z yerine Z_1 ve Z_2 konulduğunda V_1 ve V_2'den çekilen akım değerleri değişmemelidir. v_2 ve v_1 arasında da $V_2 = A_v \cdot v_1$ gibi bir kazanç ilişkisi olduğu biliniyorsa:

$I_1 = I$ olması için:

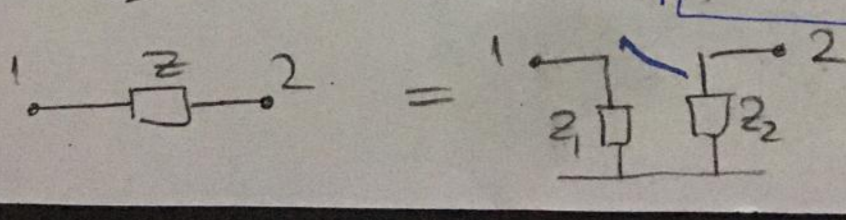
$$\frac{v_1}{Z_1} = \frac{v_1 - \overset{A_v \cdot v_1}{v_2}}{Z} \Rightarrow \boxed{Z_1 = \frac{Z}{1 - A_v}}$$

2 numaralı düğüme giren akımın da aynı olması şartından:

$$v_2 = A_v v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{v_2}{A_v}$$

$$I_2 = \frac{-V_2}{Z_2} = I = \frac{V_1 - V_2}{Z}$$

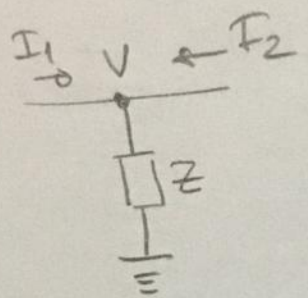
$$\frac{-V_2}{Z_2} = \frac{-V_2\left(1 - \frac{1}{A_v}\right)}{Z} \Rightarrow \boxed{Z_2 = \frac{Z}{1 - \frac{1}{A_v}}}$$



$Z_1 = \frac{Z}{1 - A_v}$, $A_v = \frac{v_2}{v_1}$

$Z_2 = \frac{Z}{1 - 1/A_v}$

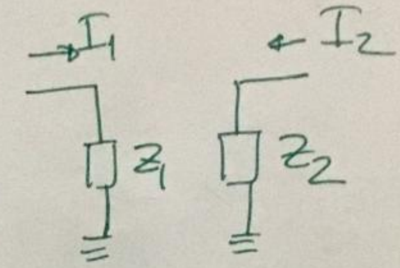
→ Dual Miller Teoremi



$I_2 = A_I I_1$

$\frac{I_2}{I_1} = A_I$

$\equiv$



$$(I_1+I_2).Z = V = I_1 . Z_1$$

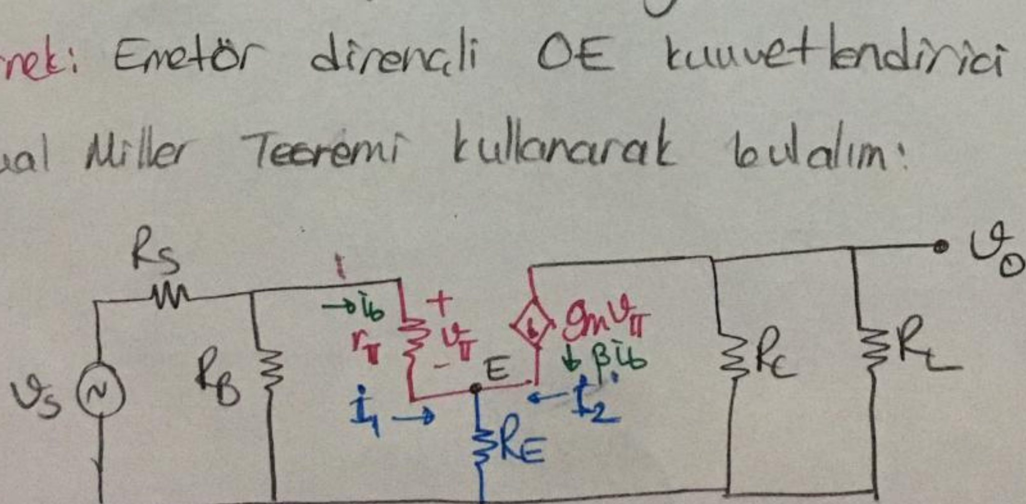
$$\boxed{Z_1 = Z.\left(1+\frac{I_2}{I_1}\right) = Z.(1+A_I)}$$

$$(I_1+I_2)Z = V = I_2 . Z_2$$

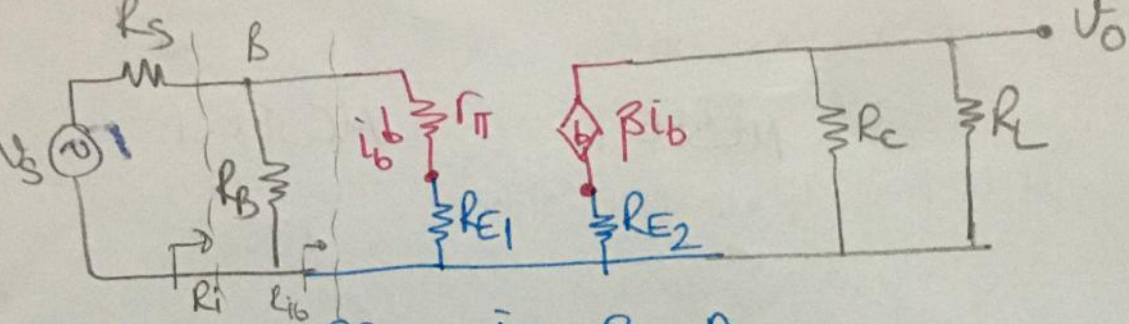
$$\boxed{Z_2 = Z.\left(1+\frac{I_1}{I_2}\right) = Z.\left(1+\frac{1}{A_I}\right)}$$

Miller teoremi kullanılırken iki düğüm arasındaki gerilim (veya dual miller T. için akım) kazancının sabit kalması gerekir. Bir kuvvetlendiricinin çıkış direnci hesaplanırken Miller teoremi kullanılamaz çünkü çıkış direnci hesabı için $v_s = 0$ yapıldığından düğümler arası kazanç ifadeleri değişmiş olur.

Örnek: Emetör dirençli OE kuvvetlendirici kazancını dual Miller Teoremi kullanarak bulalım:



Dual Miller T. kullanarak R_E'yi R_{E1} ve R_{E2} gibi iki eşdeğer dirence böleceğiz.



$i_1 = i_b \ , \ i_2 = \beta i_b \qquad \frac{i_2}{i_1} = \beta = A_I$

$R_{E1} = R_E \cdot (1 + A_I) = R_E (1+\beta)$

$R_{E2} = R_E \cdot \left(1 + \frac{1}{A_I}\right) = R_E \cdot \left(1 + \underbrace{\frac{1}{\beta}}_{\cong 0}\right) \cong R_E$

$v_o = -\beta i_b \cdot (R_C /\!/ R_L)$

$v_B = i_b \cdot (r_\pi + R_{E1}) = i_b \cdot (r_\pi + (1+\beta) R_E) \Rightarrow i_b = \frac{v_B}{r_\pi + (1+\beta) R_E}$

$R_i = R_B /\!/ (\overbrace{r_\pi + (1+\beta) R_E}^{R_{ib}})$

$v_B = \frac{R_i}{R_i + R_S} \cdot v_S$

$A_{vs} = \frac{v_o}{v_s} = -\beta (R_C /\!/ R_L) \cdot \frac{1}{r_\pi + (1+\beta) R_E} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_S}$ (daha önce bulunan kazanç ifadesinin aynısı)

Miller Teoremi genellikle yüksek frekans analizinde eşdeğer Miller kapasitesinin bulunmasında kullanılır. ED1 dersinde bu konuya değinilecektir.