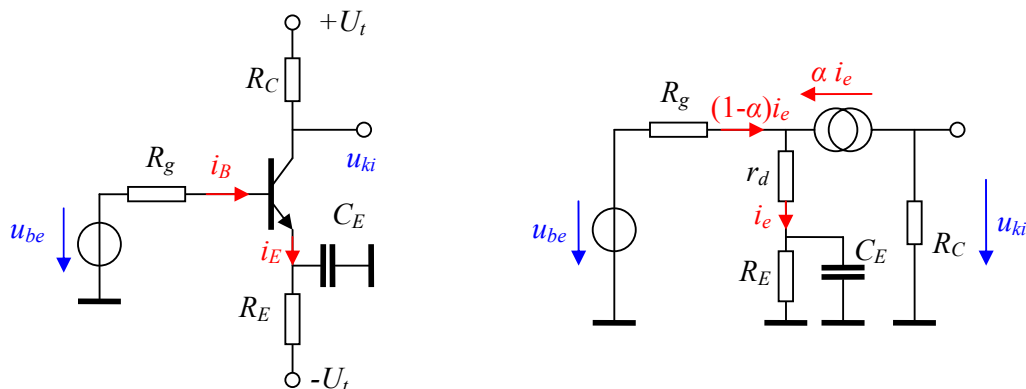


1. Ismertesse az emitterkondenzátor hatását a fokozat átviteli függvényére (a FE fokozat kapcsolási rajza a véges generátor ellenállással és emitterkondenzátorral, a kapcsolás kisjelű modellje, az emitterkondenzátor által létrehozott pólus és zérus értéke, Bode-diagram)!



$$u_{ki} = -\alpha R_C i_e$$

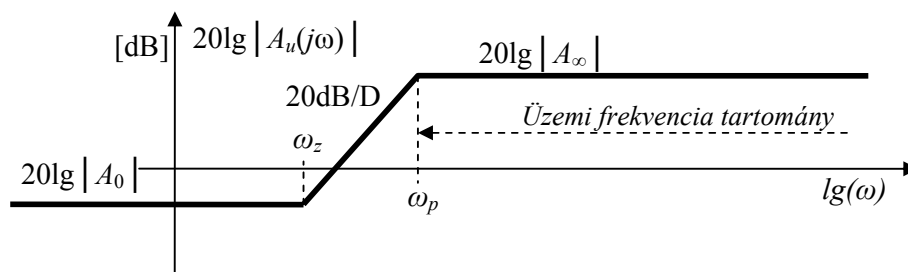
- a.) $C_E \rightarrow \infty$ $u_{be} = [(1-\alpha)R_g + r_d] i_e \rightarrow A_\infty = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{\alpha R_C}{(1-\alpha)R_g + r_d}$
- b.) $C_E = 0$ $u_{be} = [(1-\alpha)R_g + r_d + R_E] i_e \rightarrow A_0 = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{\alpha R_C}{(1-\alpha)R_g + r_d + R_E}$
- c.) C_E $u_{be} = [(1-\alpha)R_g + r_d + Z_E(s)] i_e \rightarrow A_u(s) = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{\alpha R_C}{(1-\alpha)R_g + r_d + Z_E(s)}$

$$\text{Ahol: } Z_E(s) = R_E \times \frac{1}{sC_E} = \frac{R_E}{1 + sC_ER_E} = \frac{R_E}{1 + s/\omega_z} \rightarrow \omega_z = \frac{1}{R_EC_E}$$

Hozzuk Bode-alakra!

$$A_u(s) = -\frac{\alpha R_C (1 + s/\omega_z)}{[(1-\alpha)R_g + r_d](1 + s/\omega_z) + R_E} = A_0 \frac{1 + s/\omega_z}{1 + \frac{s}{\omega_z} \frac{(1-\alpha)R_g + r_d}{(1-\alpha)R_g + r_d + R_E}} = A_0 \frac{1 + s/\omega_z}{1 + s/\omega_p}$$

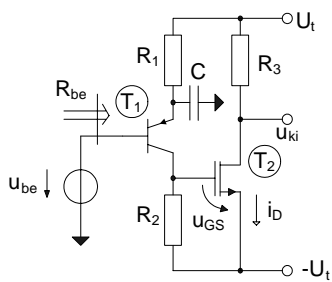
$$\text{Ahol: } \omega_p = \omega_z \frac{(1-\alpha)R_g + r_d + R_E}{(1-\alpha)R_g + r_d} = \omega_z \frac{A_\infty}{A_0}$$



2. Határozza meg az alábbi kapcsolás munkapontját és kisjelű paramétereit!

T₁ p-n-p tranzisztor, $U_{EB0} = 0.6 V$, $\beta = B = 99$,

T₂ n-csatornás növekményes MOS FET, $I_{D00} = 4 mA$, $U_P = 4 V$,



a.) $I_{E0} = ?$, $I_{D0} = ?$,

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $C \rightarrow \infty$,

c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $C = 0$,

d.) $R_{be} = ?$, $C \rightarrow \infty$,

$U_t = 15 V$, $R_1 = 7,2 k\Omega$, $R_2 = 3/0,99 k\Omega$, $R_3 = 15 k\Omega$

Megoldás:

a.) $I_{E0} = ?$, $I_{D0} = ?$,

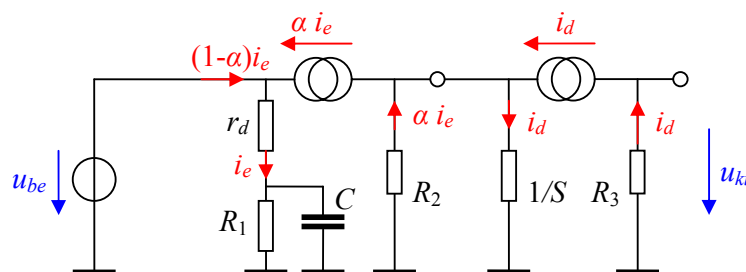
$$U_t = I_{E0} R_1 + U_{EB0} \quad I_{E0} = \frac{U_t - U_{EB0}}{R_1} = \frac{15 - 0.6}{7.2} = 2 \text{ mA}$$

$$U_{GS0} = A I_{E0} R_2 = \frac{B}{1+B} I_{E0} R_2 = 0.99 * 2 * 3/0.99 = 6 \text{ V}$$

$$I_{D0} = I_{D00} \left(\frac{U_{GS0} - U_P}{U_P} \right)^2 = 4 \left(\frac{2}{4} \right)^2 = 1 \text{ mA}$$

$$r_d = \frac{U_T}{I_{E0}} = \frac{26mV}{2mA} = 13\Omega$$

$$S = 2 \frac{I_{D0}}{U_{GS0} - U_P} = \frac{2}{6-4} = 1 \text{ mS}$$



b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $C \rightarrow \infty$,

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \left(-\frac{\alpha R_2}{r_d} \right) (-S R_3) = \frac{0.99 * 3/0.99}{0.013} * 15 = \frac{45}{0.013} = 3461$$

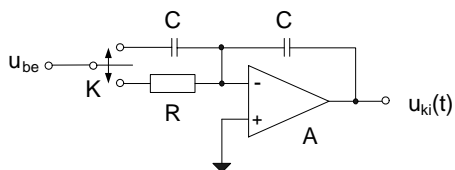
c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $C = 0$,

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \left(-\frac{\alpha R_2}{r_d + R_1} \right) (-S R_3) = \frac{0.99 * 3/0.99}{7.213} * 15 = \frac{45}{7.213} = 6.24$$

d.) $R_{be} = ?$, $C \rightarrow \infty$,

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{r_d i_e}{(1-\alpha) i_e} = (1+\beta) r_d = 100 * 13 = 1300 \Omega$$

3. Határozza meg az alábbi műveleti erősítő kapcsolás paramétereit!



Az erősítő ideális

- a.) $u_{ki} = ?$, a K kapcsoló az alsó helyzetbe kerül a $t = 0$ időpillanatban, $u_{be}(0) = U_0$, $u_{ki}(0) = 0$,
- b.) $u_{ki} = ?$, a K kapcsoló a felső helyzetbe kerül a $t = 0$ időpillanatban, $u_{be}(0) = U_0$, $u_{ki}(0) = 0$,
- c.) $u_{ki}(T) = ?$, a K kapcsoló alsó helyzetben van, $u_{be}(t) = U_0$, $u_{be}(-0) = 0$, $T = RC$,
- d.) $u_{ki}(T) = ?$, a K kapcsoló felső helyzetben van, $u_{be}(t) = U_0$, $u_{be}(-0) = 0$, $T = RC$

Megoldás:

- a.) $u_{ki} = ?$, a K kapcsoló az alsó helyzetbe kerül a $t = 0$ időpillanatban, $u_{be}(0) = U_0$, $u_{ki}(0) = 0$,

Az erősítő negatív bemenete a bekapcsolás után is végig föld-potenciálán marad. Az ellenálláson konstans áram folyik: $i_0 = U_0/R$. Ez az áram tölti a C kondenzátort:

$$u_{ki}(t) = -u_c(t) = -\frac{Q(t)}{C} = -\frac{i_0 t}{C} = -\frac{U_0 t}{RC} = -U_0 \frac{t}{T} \quad t \geq 0$$

(Az eredmény a kivezérelhetőség határáig érvényes. $|u_{ki}| \leq U_{kimax}$)

- b.) $u_{ki} = ?$, a K kapcsoló a felső helyzetbe kerül a $t = 0$ időpillanatban, $u_{be}(0) = U_0$, $u_{ki}(0) = 0$,

Az erősítő negatív bemenete a bekapcsolás után is végig föld-potenciálán marad. A kapcsolás pillanatában folyó végtelen nagy áram pillanat-szerűen feltölti mindkét kondenzátort U_0 feszültségre.

$$u_{ki}(t) = -U_0 \quad t \geq 0$$

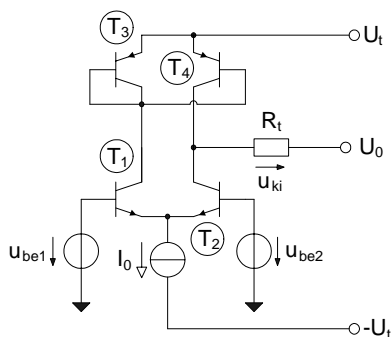
- c.) $u_{ki}(T) = ?$, a K kapcsoló alsó helyzetben van, $u_{be}(t) = U_0$, $u_{be}(-0) = 0$, $T = RC$,

Az a.) alapján:
$$u_{ki}(T) = -U_0 \frac{T}{T} = -U_0$$

- d.) $u_{ki}(T) = ?$, a K kapcsoló felső helyzetben van, $u_{be}(t) = U_0$, $u_{be}(-0) = 0$, $T = RC$

A b.) alapján:
$$u_{ki}(T) = -U_0$$

4. Határozza meg a következő kapcsolás kisjelű paramétereit!



$$I_0 = 2 \text{ mA}, U_t = 12 \text{ V}, R_t = 10 \text{ k}\Omega, T_1 \equiv T_2$$

T_1, T_2 n-p-n tranzisztorok, $\beta_1 = B_1 = \beta_2 = B_2 = 99$, $U_{BE0} = 0,6 \text{ V}$,
 T_3, T_4 p-n-p tranzisztorok, $\beta_3 = B_3 = \beta_4 = B_4 = 98$, $U_{EB0} = 0,6 \text{ V}$,

- a.)** $A_D = ?$, ha $T_1 \equiv T_2, T_3 \equiv T_4$,
b.) $A_K = ?$, ha $T_1 \equiv T_2, T_3 \equiv T_4$,
c.) $U_{off} = ?$, ha a T_1 és T_2 tranzisztor felületeinek aránya:
 $F_2 = 1,1 \cdot F_1, T_3 \equiv T_4$,
d.) $U_{off} = ?$, ha a T_3 és T_4 tranzisztor felületeinek aránya:
 $F_3 = 1,1 \cdot F_4, T_1 \equiv T_2$,

Megoldás:

a.) $A_D = ?$, ha $T_1 \equiv T_2$ és $T_3 \equiv T_4 \rightarrow r_{d2} = r_{d1}$ és $r_{d4} = r_{d3}$

$$i_{e1} = i_{e2} = \frac{u_{be1} - u_{be2}}{2r_{d1}} = \frac{u_d}{2r_{d1}}$$

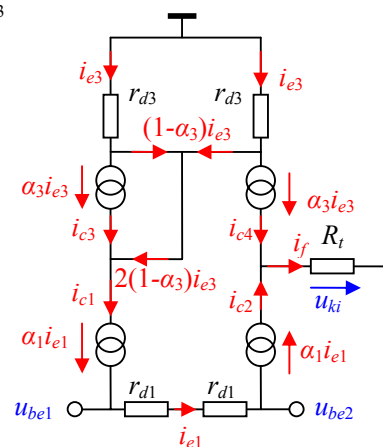
$$i_{c1} = i_{c2} = \alpha_1 i_{e1}$$

$$i_{c1} = i_{c3} + 2(1 - \alpha_3) i_{e3} = \alpha_3 i_{e3} + 2(1 - \alpha_3) i_{e3} = i_{e3} (2 - \alpha_3)$$

$$i_{c3} = i_{c4} = \alpha_3 i_{e3} = \frac{\alpha_3}{2 - \alpha_3} \alpha_1 i_{e1}$$

$$u_{ki} = i_f R_t = (i_{c2} + i_{c4}) R_t = \alpha_1 \left(1 + \frac{\alpha_3}{2 - \alpha_3} \right) R_t i_{e1}$$

$$A_D = \frac{u_{ki}}{u_d} = \frac{\alpha_1 R_t}{2r_{d1}} \left(1 + \frac{\alpha_3}{2 - \alpha_3} \right) = \frac{0,99 \cdot 10^4}{2 \cdot 26} \left(1 + \frac{0,99}{1,01} \right) = 377$$



Mivel: $I_{E01} = I_{E02} = \frac{I_0}{2} = 1 \text{ mA}$ és $r_{d1} = \frac{U_T}{I_{E01}} = \frac{26 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 26 \Omega$

b.) $A_K = ?$, ha $T_1 \equiv T_2, T_3 \equiv T_4$

Ha $u_{be1} = u_{be2} = u_k$, akkor $i_{e1} = 0$ és így $u_{ki} = 0$, tehát a közös módusú erősítés: $A_K = 0$

c.) $U_{off} = ?$, ha a T_1 és T_2 tranzisztor felületeinek aránya: $F_2 = 1,1 \cdot F_1, T_3 \equiv T_4$,

d.) $U_{off} = ?$, ha a T_3 és T_4 tranzisztor felületeinek aránya: $F_3 = 1,1 \cdot F_4, T_1 \equiv T_2$,

A **c.)** és **d.)** pontban megkérdezett (egyenáramú) U_{off} feszültség megjelenésének 3 oka lehet:

1. A T_3 és T_4 tranzisztorok véges $B_3 = B_4$ -e miatt az áramtükör nem tökéletes. (**c.)** és **d.)**)
 2. A $T_1 \neq T_2$ miatt $I_{E02} = q_1 \cdot I_{E01}$ ahol: $q_1 = F_2 / F_1 = 1,1$ (**c.)** pontban)
 3. A $T_3 \neq T_4$ miatt $I_{E03} = q_2 \cdot I_{E04}$ ahol: $q_2 = F_3 / F_4 = 1,1$ (**d.)** pontban)
- (A 2. és 3. pontban kihasználtuk, hogy a nyitóirányú feszültség azért azonos a 2-2 tr.-n).

Az egyenáramú analízist az alábbi ábra segíti:

A felírható 2 csomóponti egyenlet:

$$I_0 = I_{E01} + I_{E02} = I_{E01}(1 + q_1)$$

$$I_{C01} = I_{C03} + I_{B03} + I_{B04} = I_{E03} + (1 - A_3)I_{E04} = [q_2 + 1 - A_3]I_{E04}$$

Ezekből:

$$I_{C01} = I_0 \frac{1}{1 + q_1}$$

$$I_{C04} = A_3 I_{E04} = I_0 \frac{A_3}{1 + q_1} \frac{1}{1 + q_2 - A_3}$$

Valamint: $I_{C02} = I_{E02} = q_1 I_{E01} = I_0 \frac{q_1}{1 + q_1}$

A terhelésen lévő feszültség:

$$U_{ki0} = (I_{C04} - I_{C02})R_t = \frac{I_0 R_t}{1 + q_1} \left[\frac{A_3}{1 + q_2 - A_3} - q_1 \right]$$

Ideális esetben: $A_3 = 1, q_1 = 1, q_2 = 1$ a fenti képlet zérust ad eredményül.

A c.) esetben: $A_3 = \frac{B_3}{1 + B_3} = 0.99, q_1 = 1.1$ és $q_2 = 1$

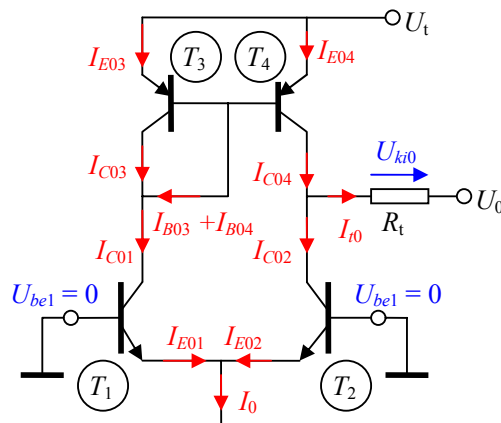
$$U_{ki0} = \frac{I_0 R_t}{1 + q_1} \left[\frac{A_3}{1 + q_2 - A_3} - q_1 \right] = \frac{2 * 10}{2.1} \left[\frac{0.99}{2 - 0.99} - 1.1 \right] = -1.14 \text{ V}$$

A d.) esetben: $A_3 = \frac{B_3}{1 + B_3} = 0.99, q_1 = 1$ és $q_2 = 1.1$

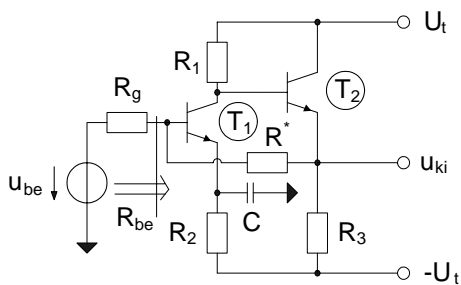
$$U_{ki0} = \frac{I_0 R_t}{1 + q_1} \left[\frac{A_3}{1 + q_2 - A_3} - q_1 \right] = \frac{2 * 10}{2} \left[\frac{0.99}{2.1 - 0.99} - 1 \right] = -1.08 \text{ V}$$

Feltételezve, hogy a fellépő aszimmetriák nem nagyon változtatják meg a differenciális erősítés értékét, a bemenetre visszszámolt offset feszültség:

$$U_{off} = \frac{U_{ki0}}{A_D} = \begin{cases} -3.0 \text{ mV} & \text{c.) esetben} \\ -2.9 \text{ mV} & \text{d.) esetben} \end{cases}$$



5. Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit!



$U_t = 10V, C \rightarrow \infty, R_1 = R_2 = 9,4k\Omega, R_3 = 2,5k\Omega,$

$I_{E01} = 1mA, I_{E02} = 4mA, R_g = 1k\Omega,$

T1, T2: n-p-n tranzisztorok, $\beta_1 = B_1 = \beta_2 = B_2 \rightarrow \infty,$

a.) A visszacsatolás típusa? Az R^* ellenállás véges,

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, az R^* ellenállás értéke végtelen,

c.) $(\beta A) = ?$, $R^* = 1k\Omega$, (r_{d2} közelíthető nullával),

d.) $R_{be} = ?$, $R^* = 1k\Omega$, (r_{d2} közelíthető nullával)

Megoldás:

a.) A visszacsatolás típusa? Az R^* ellenállás véges.

Párhuzamos, negatív, feszültség-visszacsatolás.

Avezérlés és a visszacsatolt jel azonos elektródán: párhuzamos v.cs.

A FE fokozat fázist forít, a FC nem fordít fázist: negatív v.cs.

A kimeneti feszültséggel arányos a v.cs.-t jel: feszültség v.cs.

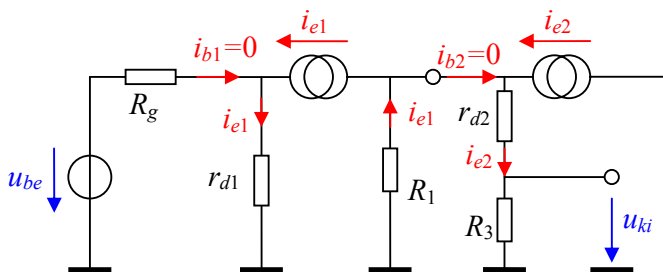
b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $R^* \rightarrow \infty, C \rightarrow \infty$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \left(-\frac{R_1}{r_{d1}} \right) \frac{R_3}{r_{d2} + R_3} \cong -\frac{R_1}{r_{d1}}$$

$$= -\frac{9400}{26} = -361.5$$

$$r_{d1} = \frac{U_T}{I_{E01}} = 26\Omega$$

$$r_{d2} = \frac{U_T}{I_{E02}} = 6.5\Omega \ll R_3 = 2500\Omega$$

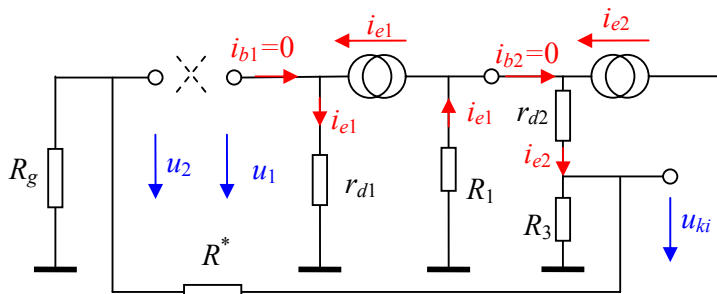


c.) $(\beta A) = ?$, $R^* = 1k\Omega$, (r_{d2} közelíthető nullával)

Felvágjuk a hurkot (úgy, hogy az impedancia viszonyok ne változzanak) és ebben a nyitott hurokban számítjuk a (βA) hurokerősítést. Mivel a bázisokban nem folyik áram, az első tranzisztor bázisába menő vezeték elvágva a viszonyok nem fognak változni.

Definíció szerint:

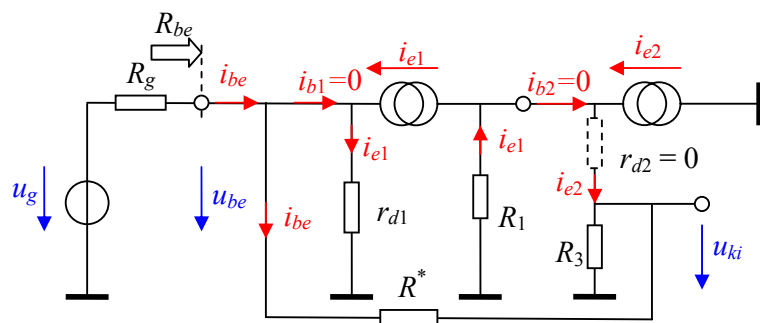
$$(\beta A) = -\frac{u_2}{u_1}$$



Az $r_{d2} = 0$ közelítéssel:

$$(\beta A) = -\frac{u_2}{u_1} = \frac{R_1}{r_{d1}} \frac{R_g}{R^* + R_g} = \frac{9400}{26} \frac{1}{1+1} = 361.5 \frac{1}{2} = 180.75$$

d.) $R_{be}=?$, $R^*=1\text{ k}\Omega$, (r_{d2} közelíthető nullával)



Ha $r_{d2} = 0$, akkor: $u_{ki} \cong -\frac{R_1}{r_{d1}} u_{be} = A u_{be} = -361.5 u_{be}$

$$i_{be} = \frac{u_{be} - u_{ki}}{R^*} = \frac{u_{be}(1 - A)}{R^*}$$

Amiből: $R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}} = \frac{R^*}{1 - A} = \frac{1000}{362.5} = 2.76 \Omega$