

FREKVENCIJSKA ANALIZA KOLA

Kada kolo sadrži jedan kondenzator u rednoj grani prenosna funkcija pojačanja ima isti oblik kao prenosna funkcija RC kola propusnika visokih frekvencija:

$$A_n(s) = A_{no} \cdot \frac{s \cdot \tau}{1 + s \cdot \tau}$$
$$\tau = R_{is} \cdot C_i \qquad \omega_d = \frac{1}{\tau}$$

Gde je A_n naponsko pojačanje na srednjim frekvencijama (kada se kratkospoji kondenzator), C_i kapacitivnost kondenzatora, R_{is} ekvivalentna otpornost koja se vidi sa krajeva kondenzatora. Granična frekvencija ovog kola, ω_d , je recipročna vrednost vremenske konstante $\omega_d = \frac{1}{\tau}$.

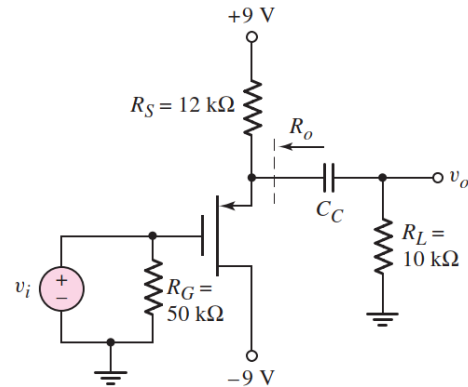
Za određivanje donje granične frekvencije često se primenjuje **metod vremenske konstante kratkog spoja**. Prema ovom metodu donja granična frekvencija kola se može približno odrediti kao:

$$\omega_L \approx \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{is} \cdot C_i}$$

Gde je n – broj kondenzatora u kolu, C_i kapacitivnost kondenzatora sa indeksom i , R_{is} ekvivalentna otpornost koja se vidi sa krajeva kondenzatora C_i kada se kratkospoje svi ostali kondenzatori u kolu.

1 ZADATAK

Parametri tranzistora u kolu sa slike su $A = 0,5 \text{ mA/V}^2$ i $V_t = -2 \text{ V}$, $\lambda = 0 \text{ V}^{-1}$. Odrediti kapacitivnost kondenzatora C_c tako da donja granična frekvencija iznosi $f_d = 20 \text{ Hz}$.



Rešenje:

Donja granična frekvencija je recipročna vrednost vremenske konstante:

$$\omega_d = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{C \cdot (R_o + R_L)}$$

Da bi odredili otpornost koja se vidi sa krajeva kondenzatora potrebno je odrediti izlaznu otpornost R_o .

$$(G) \quad \frac{V_S - V_{SS}}{R_S} + I_D = 0$$

$$V_{GS} = -V_S$$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_S = V_{SS} - I_D \cdot R_S$$

$$V_{GS} = -V_S = I_D \cdot R_S - V_{SS}$$

$$V_{GS} = R_S \cdot A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 - V_{SS}$$

$$V_x = V_{GS} - V_t$$

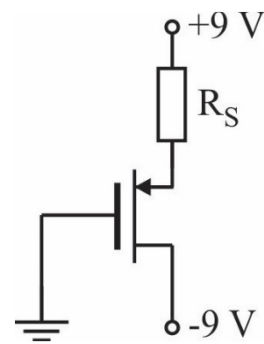
$$R_S \cdot A \cdot V_x^2 - V_x - V_t - V_{SS} = 0$$

$$6 \cdot V_x^2 - V_x - 7 = 0$$

$$V_x = \frac{1 \pm \sqrt{1 + 168}}{4}$$

$$V_{x1} = -1 \text{ V}$$

Mora da bude zadovoljen uslov da je $V_{GS} < V_t$ što je isto kao:

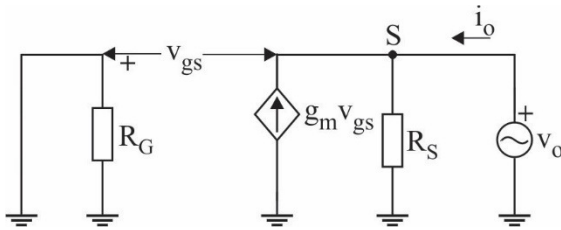


$$V_x < 0$$

Znači prihvatljivo rešenje je $V_{x1} = -1 \text{ V}$

$$I_D = A \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = A \cdot V_x^2 = 0,5 \text{ mA}$$

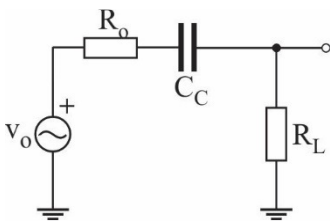
$$g_m = 2 \cdot \sqrt{A \cdot I_D} = 1 \text{ mS}$$



$$-i_o + \frac{v_o}{R_S} - g_m \cdot v_{gs} = 0$$

$$v_{gs} = -v_o$$

$$R_o = \frac{v_o}{i_o} = \frac{R_S}{1 + g_m \cdot R_S} = 0,92 \text{ k}\Omega$$

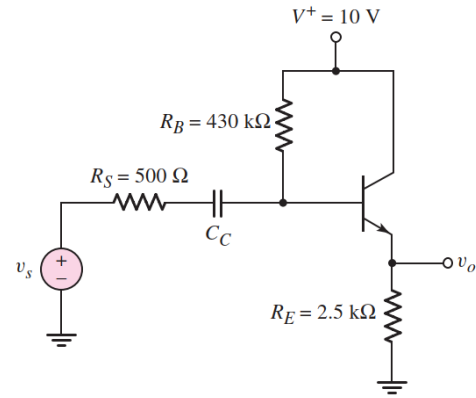


$$\tau = C_C \cdot (R_L + R_o)$$

$$\omega_d = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{C_C \cdot (R_L + R_o)}$$

$$C_C = \frac{1}{\omega_d \cdot (R_L + R_o)} = \frac{1}{6,28 \cdot 20 \cdot (10^4 + 920)} \text{ F} = 0,73 \mu\text{F}$$

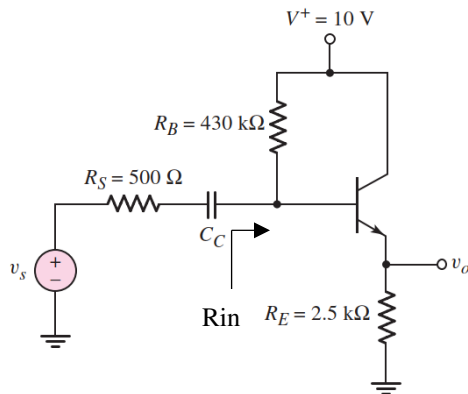
2) Kolo na slici je izlazni stepen audio pojačavača. Parametri tranzistora su: $V_{BE}=0,6$ V; $h_{21E}=\beta=200$; $h_{22E}=0$ S. Odrediti kapacitivnost kondenzatora C_C tako da donja granična frekvencija ovog kola iznosi 15 Hz.



Rešenje:

Da bi odredili otpornost koja se vidi sa krajeva kondenzatora potrebno je odrediti ulaznu otpornost R_{in} .

$$\tau = C_C \cdot (R_S + R_{in})$$

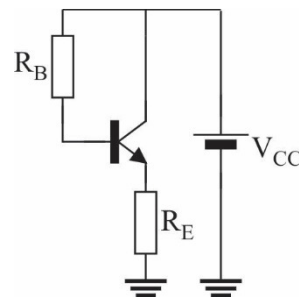


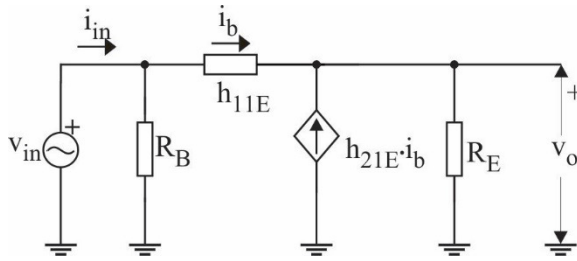
$$-V_{CC} + R_B \cdot I_B + V_{BE} + R_E \cdot I_E = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + R_E \cdot (1 + \beta)} = 11,3 \mu A$$

$$h_{11E} = r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \frac{26 \text{ mV}}{11,3 \mu A} = 2,3 \text{ k}\Omega$$

$$h_{21E} = \beta$$





$$-i_{in} + \frac{v_{in}}{R_B} + i_b = 0$$

$$-i_b - h_{21E} \cdot i_b + \frac{v_o}{R_E} = 0$$

$$i_b = \frac{v_{in} - v_o}{h_{11E}}$$

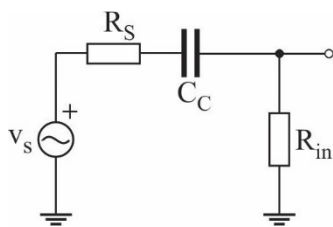
$$i_b \cdot h_{11E} = v_{in} - R_E \cdot (1 + h_{21E}) \cdot i_b$$

$$i_b = \frac{v_{in}}{h_{11E} + R_E \cdot (1 + h_{21E})}$$

$$R_t = \frac{v_{in}}{i_b} = h_{11E} + R_E \cdot (1 + h_{21E}) = 504,8 \text{ k}\Omega$$

$$i_{in} = \frac{v_{in}}{R_t} + \frac{v_{in}}{R_B}$$

$$R_{in} = R_B \parallel R_t = 232 \text{ k}\Omega$$

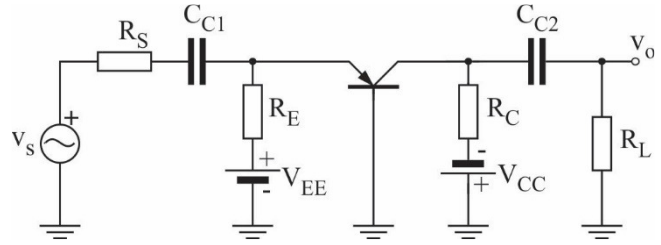


$$\tau = C_C \cdot (R_S + R_{in})$$

$$\omega_d = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{C_C \cdot (R_S + R_{in})}$$

$$C_C = \frac{1}{\omega_d \cdot (R_S + R_{in})} = \frac{1}{6,28 \cdot 15 \cdot (2,32 \cdot 10^5 + 500)} \text{ F} = 46 \text{ nF}$$

3) Parametri tranzistora u kolu sa slike su:
 $V_{BE} = -0,6 \text{ V}$; $h_{21E} = \beta = 90$; $h_{22E} = 0 \text{ S}$.
 $V_{CC} = 12 \text{ V}$; $V_{EE} = 12 \text{ V}$; $R_E = 10 \text{ k}\Omega$;
 $R_S = 1 \text{ k}\Omega$; $R_C = 6 \text{ k}\Omega$; $R_L = 10 \text{ k}\Omega$;
 $C_{C1} = 1 \mu\text{F}$ $C_{C2} = 0,2 \mu\text{F}$. Odrediti donju
graničnu frekvenciju kola.



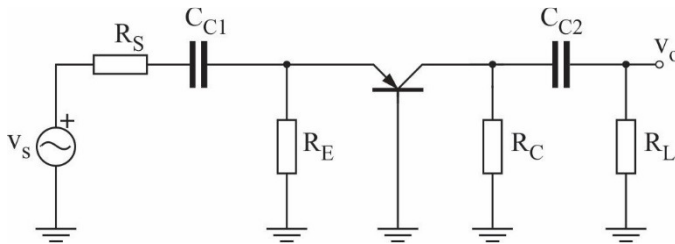
Rešenje:

$$V_E = -V_{BE}$$

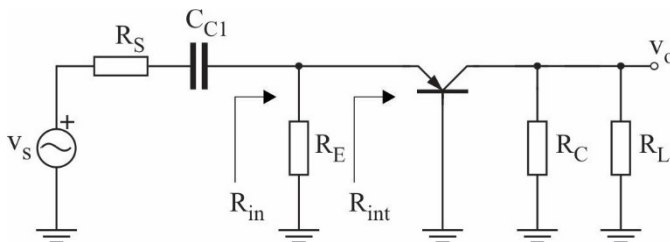
$$I_E = \frac{V_{EE} - V_E}{R_E} = \frac{V_{EE} + V_{BE}}{R_E} = 1,14 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = 12,5 \mu\text{A}$$

$$h_{11E} = \frac{V_T}{I_B} = \frac{26 \text{ mV}}{12,5 \mu\text{A}} = 2,08 \text{ k}\Omega$$



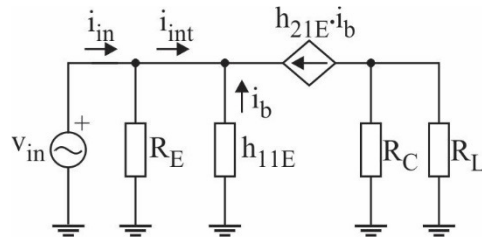
- Vremenska konstanta koja odgovara kondenzatoru C_{C1} , τ_1 određuje se iz kola koje je dole prikazano.



Odredjivanje izlazne otpornosti Rin

$$-i_{int} - i_b - h_{21E} \cdot i_b = 0$$

$$i_b = -\frac{v_{in}}{h_{11E}}$$



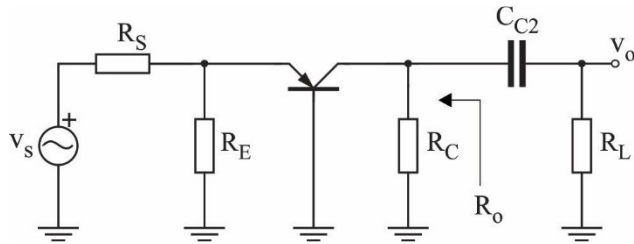
$$R_{int} = \frac{v_{in}}{i_{int}} = \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}} = 23 \Omega$$

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = R_S \parallel R_{int} \approx R_{int}$$

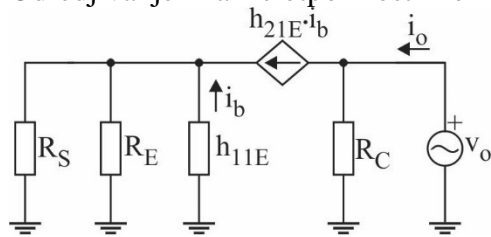
$$R_{in} \approx 23 \Omega$$

$$\tau_1 = C_{C1} \cdot (R_S + R_{in}) = 0,001 \text{ S}$$

- Vremenska konstanta koja odgovara kondenzatoru C_{C2} , τ_2 određuje se iz dole prikazanog kola.



Odredjivanje izlazne otpornosti Ro



$$R_o = R_C$$

$$\tau_2 = C_{C2} \cdot (R_o + R_L) = 0,0032 \text{ S}$$

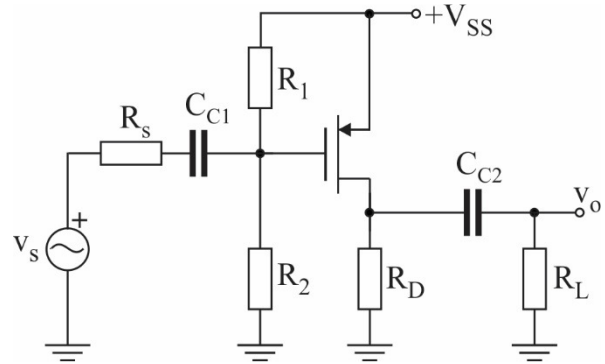
Donja granična frekvencija kola određuje se preko vremenskih konstanti:

$$\omega_d \approx \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} = 1312,5 \frac{rad}{s}$$

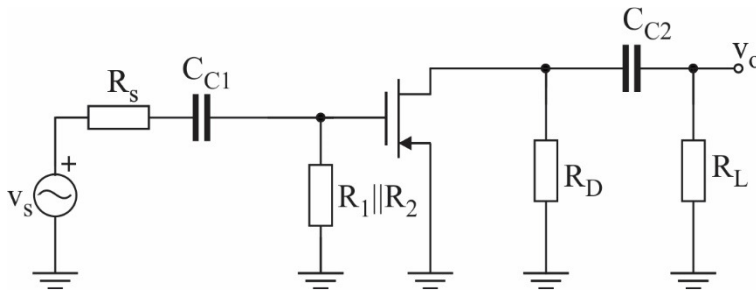
$$f_d = \frac{\omega_d}{2\pi} = 209 \text{ Hz}$$

4) Parametri tranzistora u kolu sa slike su:

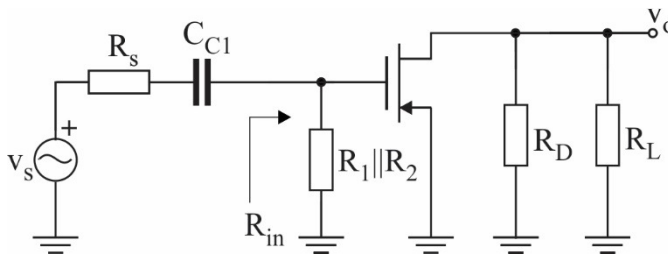
$A = 0,5 \text{ mA/V}^2$ i $V_t = -2 \text{ V}$, $\lambda = 0 \text{ V}^{-1}$. Poznati su elementi kola: $R_1 = 40 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 60 \text{ k}\Omega$; $R_D = 2 \text{ k}\Omega$; $R_L = 5 \text{ k}\Omega$; $C_{C1} = 1 \mu\text{F}$; $C_{C2} = 2 \mu\text{F}$; $V_{DD} = 12 \text{ V}$. Odrediti donju graničnu frekvenciju pojačavača.

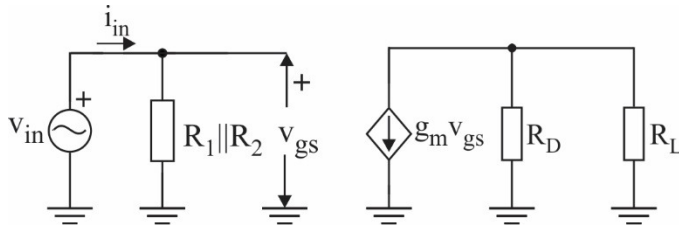


Rešenje:



- Vremenska konstanta koja odgovara kondenzatoru C_{C1} , τ_1 određuje se iz kola koje je dole prikazano.

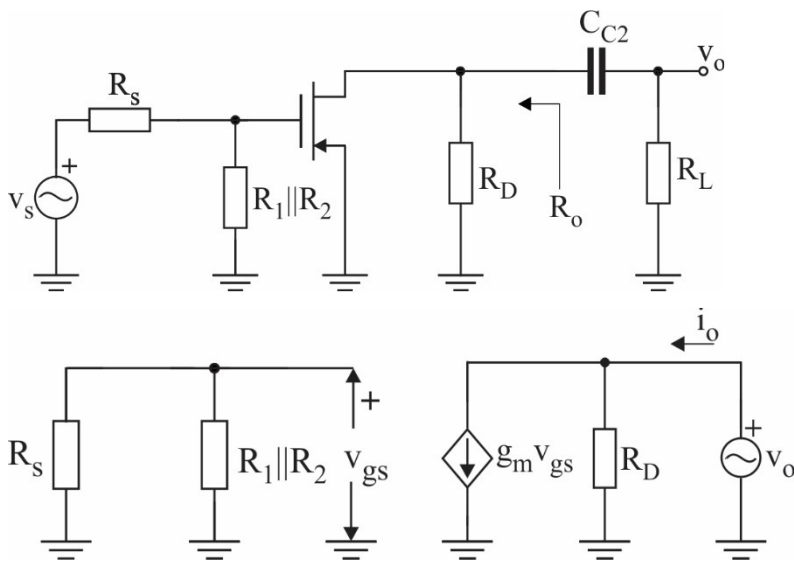




$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 = 24 \text{ k}\Omega$$

$$\tau_1 = C_{C1} \cdot (R_s + R_{in}) = 0,0245 \text{ S}$$

- Vremenska konstanta koja odgovara kondenzatoru C_{C2} , τ_2 određuje se iz dole prikazanog kola.



$$R_o = \frac{v_o}{i_o} = R_D = 2 \text{ k}\Omega$$

$$\tau_2 = C_{C2} \cdot (R_o + R_L) = 0,014 \text{ S}$$

$$\omega_d \approx \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} = 112,24 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$f_d = \frac{\omega_d}{2\pi} = 17,9 \text{ Hz}$$