Frekvencijski odziv pojačavača

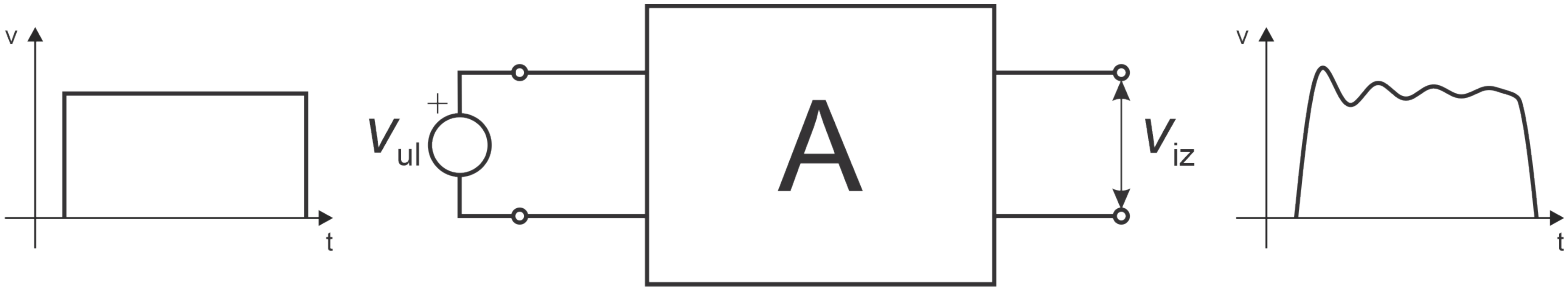
Marko Dimitrijević

Uvod

- U dosadašnjem razmatranju, nije uzimana u obzir frekvencija signala koja se pojačava.
- U kolu pojačavača postoje reaktivni elementi koji mogu da budu diskretne komponente ili parazitni parametri tranzistora, čije impedanse zavise od frekvencije, samim tim i parametri kola kao što su pojačanje, ulazne i izlazne impedanse zavise od frekvencije
- Reaktivni elementi utiču na brzinu odziva kola
- Pojačavači imaju različito pojačanje za signale različitih frekvencija

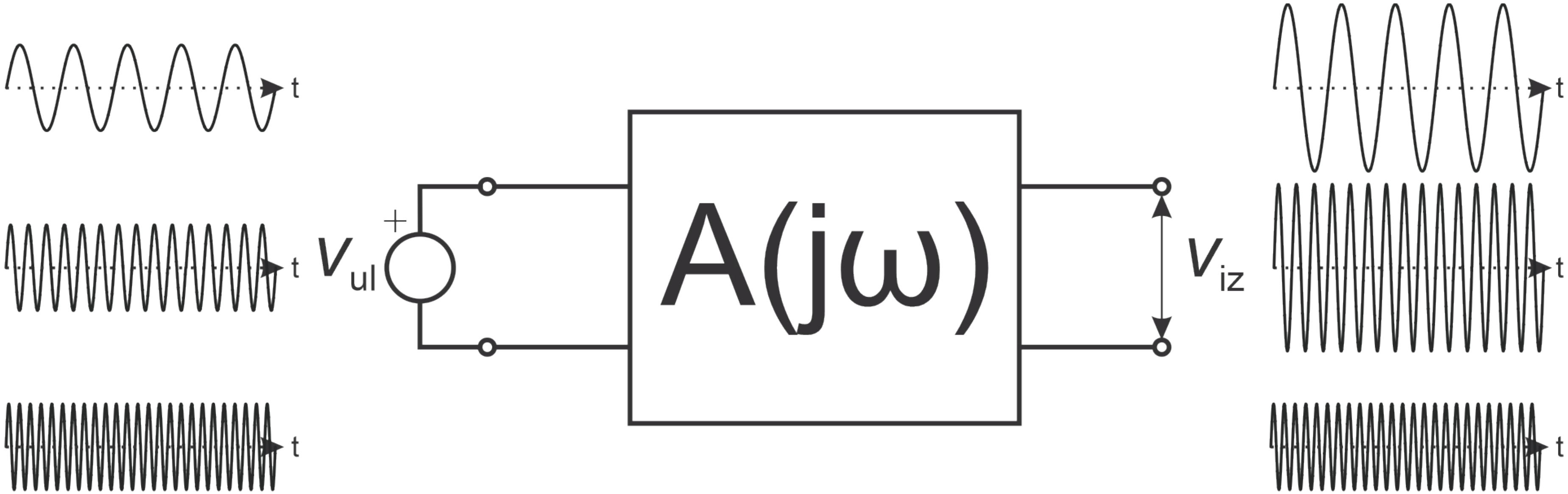
Vremenski domen

- Odziv kola predstavljen u vremenskom domenu



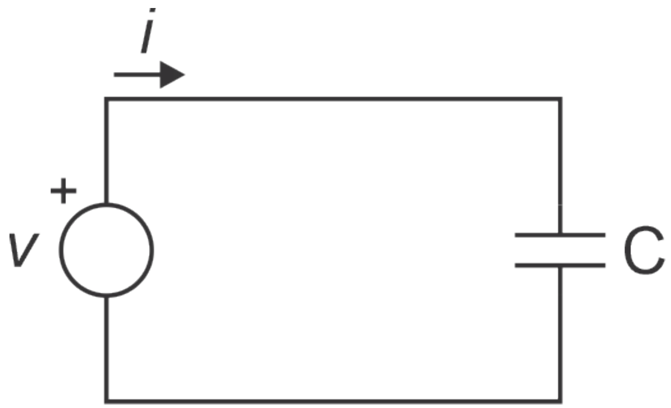
Frekvencijski domen

- Odziv kola predstavljen u frekvencijskom domenu



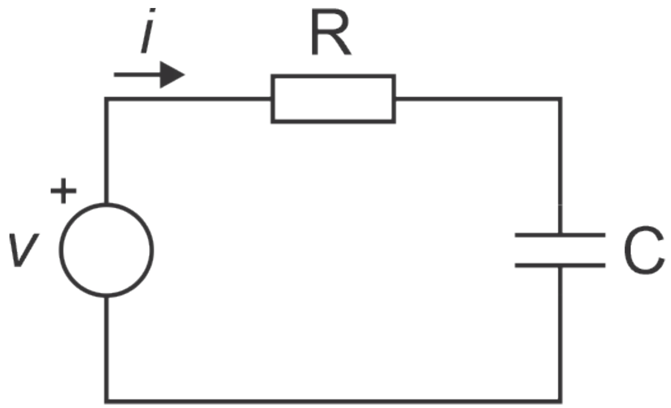
Domeni

- Kola se mogu analizirati u vremenskom i frekvencijskom domenu



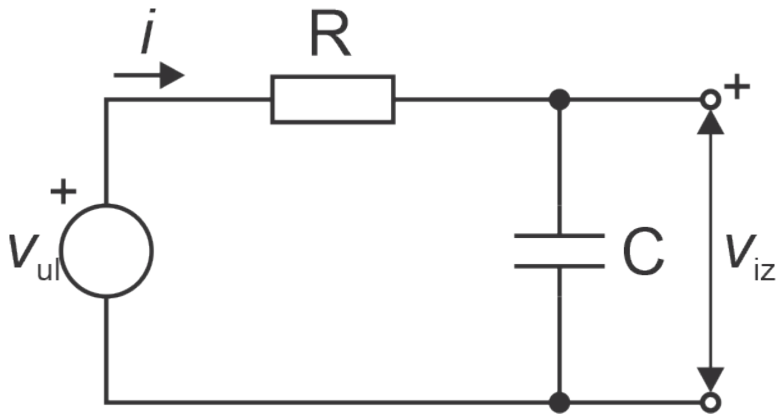
vremenski domen	frekvencijski domen
$v = \frac{1}{C}\int i dt$	$V = \frac{I}{j\omega C}$

Domeni



vremenski domen	frekvencijski domen
$v = iR + \frac{1}{C}\int i dt$	$V = IR + \frac{I}{\mathrm{j}\omega C}$

Domeni



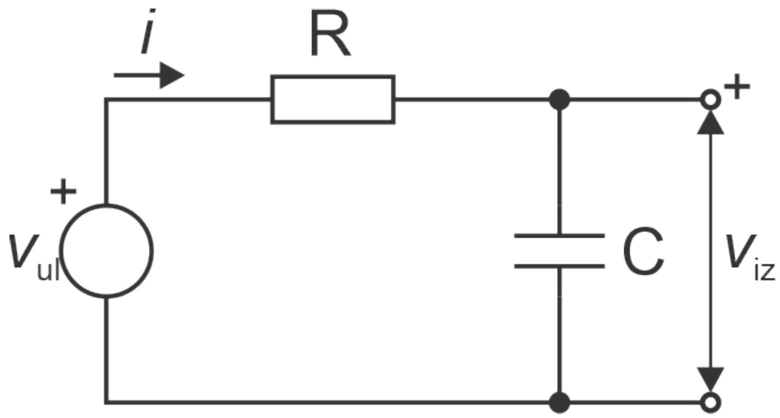
vremenski domen	frekvencijski domen
$RC\dfrac{dv_{iz}}{dt}+v_{iz}=v_{ul}$	$V_{iz}=\dfrac{1}{1+\mathrm{j}\omega RC}\cdot V_{ul}$

Domeni

- Prilikom analize kola u vremenskom domenu, potrebno je rešavati integro-diferencijalne jednačine.
- Prilikom analize kola u vremenskom domenu, potrebno je poznavati (zadati) početne vrednosti.
- Prilikom analize kola u frekvencijskom domenu, potrebno je rešavati (kompleksne) algebarske jednačine.
- Veza između domena je (inverzna) Furijeova (Fourier) transformacija.

Prenosna funkcija kola

- Prenosna funkcija kola kvantitativno određuje odnos amplituda (pojačanje ili slabljenje) i faznu razliku signala na različitim frekvencijama



$$H(j\omega) = \frac{V_{iz}(j\omega)}{V_{ul}(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

- Odziv pojačavača na prostoperiodični pobudni signal frekvencije ω potpuno je definisan ako je poznata prenosna funkcija.

Prenosna funkcija kola

- Prenosna funkcija kola je kompleksna funkcija **kružne frekvencije ω** [rad/s], koja se od **frekvencije *f*** [Hz] razlikuje za faktor 2π.

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

- Često se koristi i **kompleksna frekvencija**, ***s***. Ukoliko je pobuda kola prostoperiodična, *s* ima samo imaginarni deo

$$s = \mathrm{j}\omega$$

Prenosna funkcija kola

- Prenosna funkcija se najčešće predstavlja u polarnom koordinatnom sistemu preko **modula** i **faze**:

$$H(\mathrm{j}\omega) = \left|H(\mathrm{j}\omega)\right| \cdot e^{\mathrm{j}\varphi(\omega)}$$

- Kako ulazne i izlazne veličine četvoropola mogu biti naponi i struje, prenosna funkcija može biti **naponsko pojačanje** (V_{iz}/V_{ul}), **strujno pojačanje** (I_{iz}/I_{ul}), **transkonduktansa** (I_{iz}/V_{ul}) ili **transrezistansa** (V_{iz}/I_{ul}).

Prenosna funkcija kola

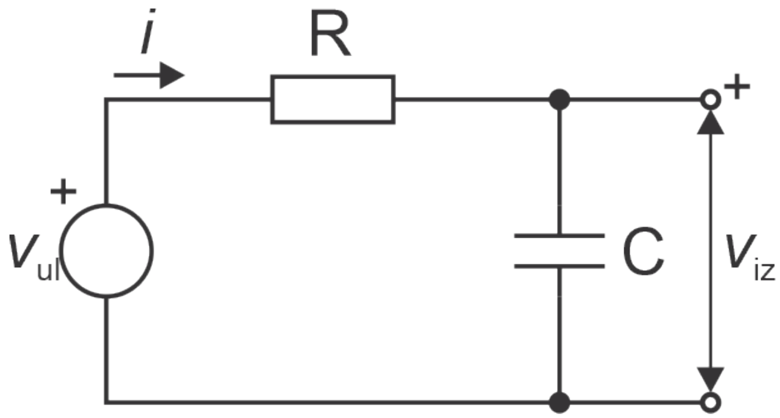
$$H(\mathrm{j}\omega) = \left|H(\mathrm{j}\omega)\right| \cdot e^{\mathrm{j}\varphi(\omega)}$$

$$H(\mathrm{j}\omega) = \mathrm{Re}\big(H(\mathrm{j}\omega)\big) + \mathrm{j} \cdot \mathrm{Im}\big(H(\mathrm{j}\omega)\big)$$

$$\left|H(\mathrm{j}\omega)\right| = \sqrt{\mathrm{Re}\big(H(\mathrm{j}\omega)\big)^2 + \mathrm{Im}\big(H(\mathrm{j}\omega)\big)^2}$$

$$\varphi(\omega) = \arg\big(H(\mathrm{j}\omega)\big) = \arctan\frac{\mathrm{Im}\big(H(\mathrm{j}\omega)\big)}{\mathrm{Re}\big(H(\mathrm{j}\omega)\big)}$$

Prenosna funkcija kola



$$H(\mathrm{j}\omega) = \frac{V_{iz}(\mathrm{j}\omega)}{V_{ul}(\mathrm{j}\omega)} = \frac{1}{1+\mathrm{j}\omega RC}$$

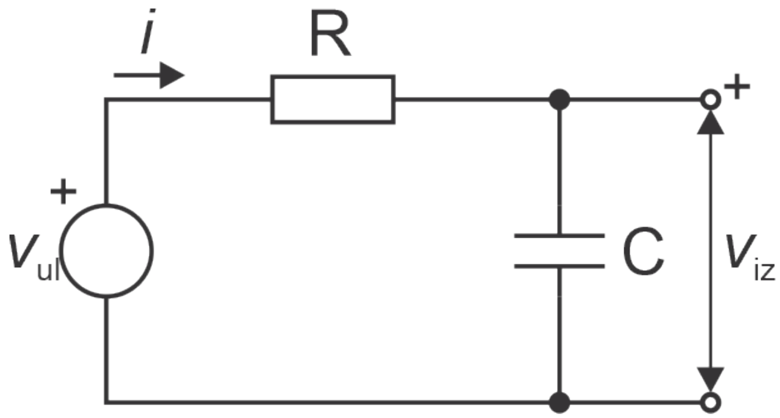
$$\left|H(\mathrm{j}\omega)\right| = \left|\frac{1}{1+\mathrm{j}\omega RC}\right| = \frac{1}{\left|1+\mathrm{j}\omega RC\right|} = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}}$$

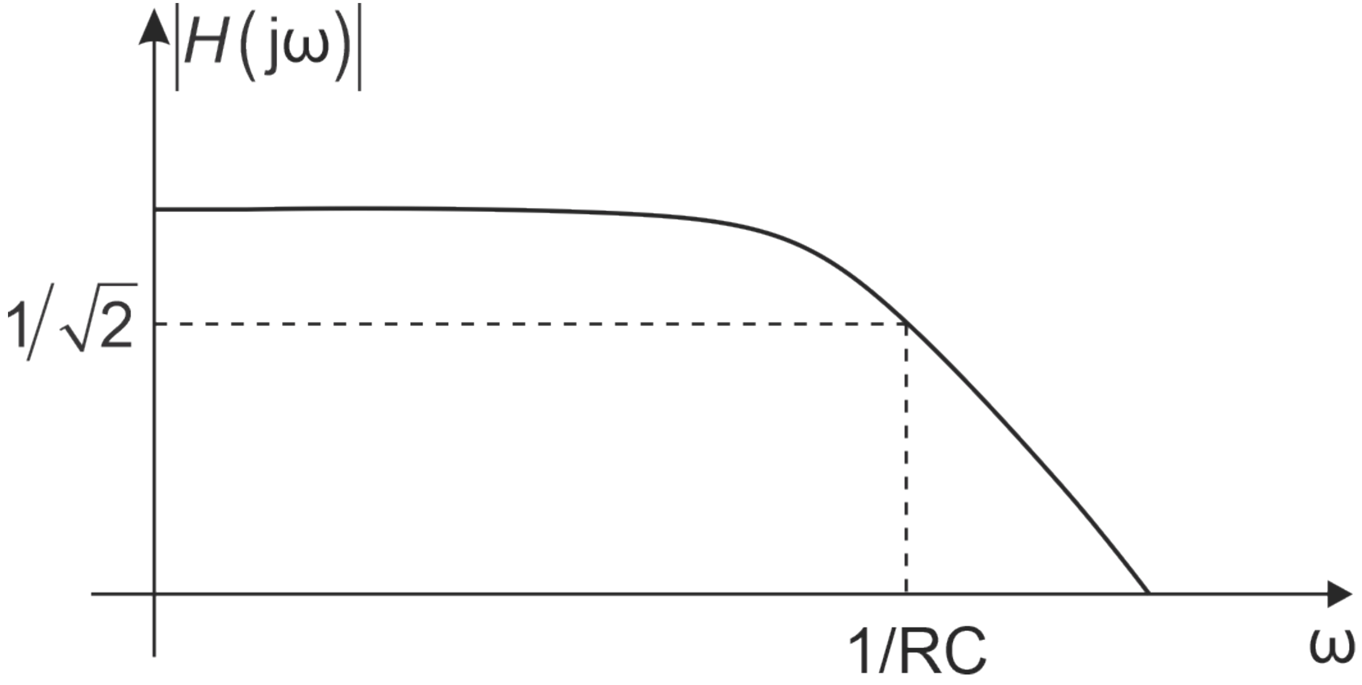
$$\arg\left(H(\mathrm{j}\omega)\right) = \arg\left(\frac{1}{1+\mathrm{j}\omega RC}\right) = -\arctan(\omega RC)$$

Amplitudska karakteristika

- Zavisnost modula prenosne funkcije od frekvencije naziva se **amplitudska karakteristika**.

$$\left|H\left(\mathrm{j}\omega\right)\right| = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}}$$

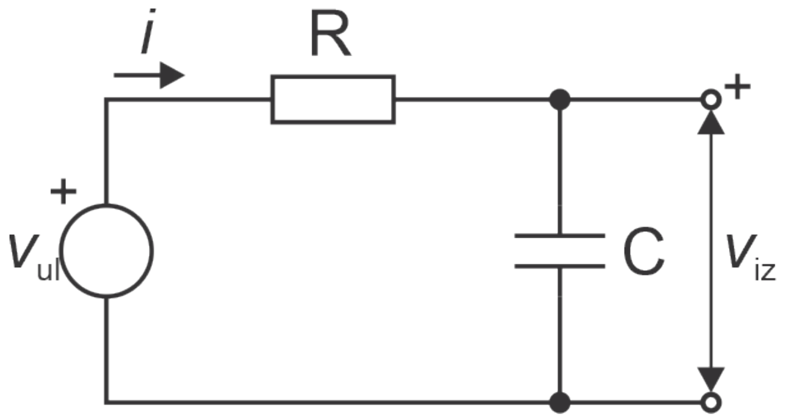


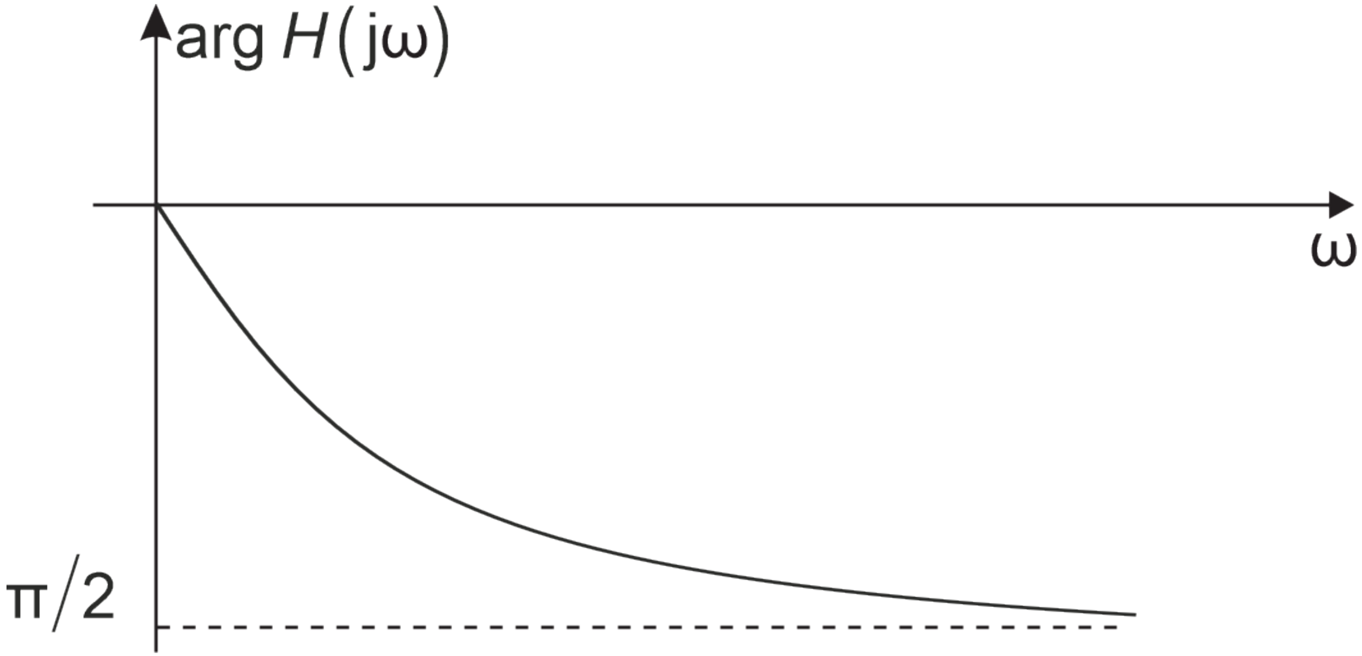


Fazna karakteristika

- Zavisnost argumenta prenosne funkcije od frekvencije naziva se **fazna karakteristika**.

$$\arg\left(H\left(\mathrm{j}\omega\right)\right) = -\arctan\left(\omega RC\right)$$

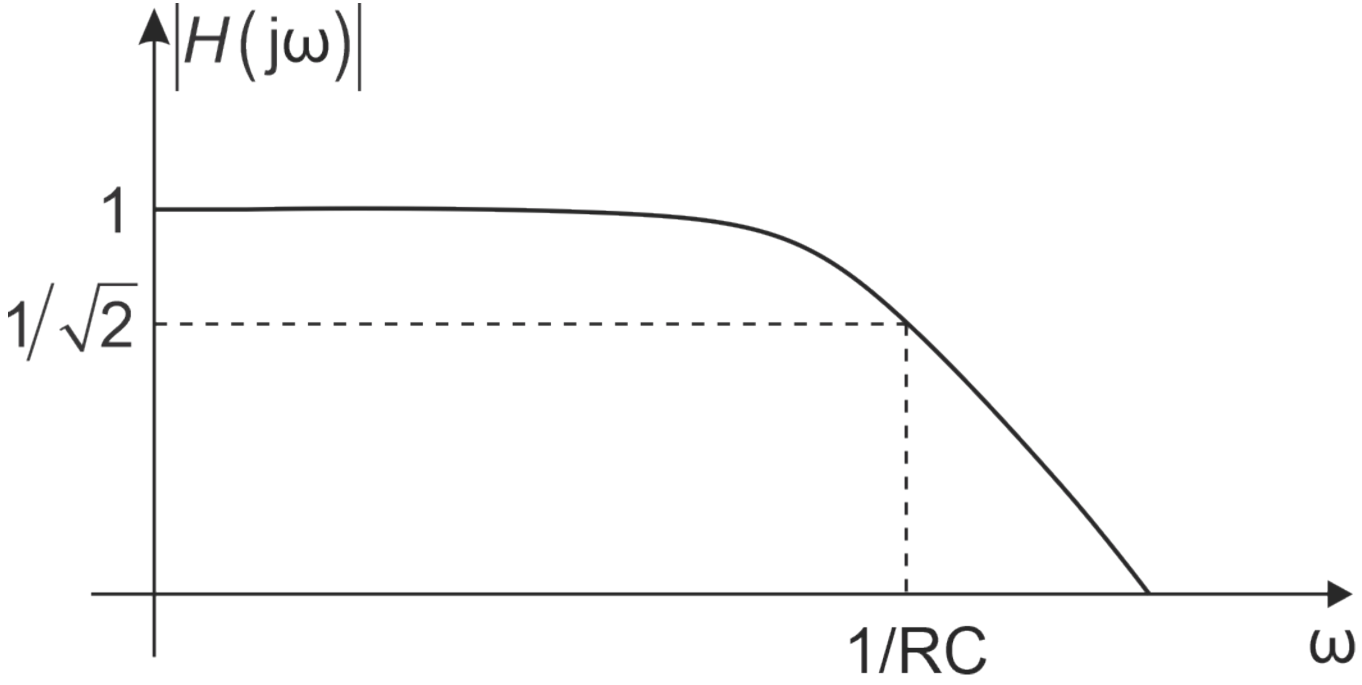




Granične frekvencije i propusni opseg kola

- Frekvencija na kojoj moduo prenosne funkcije opadne za koren iz dva, naziva se **granična frekvencija**.
- Gornja granična frekvencija (ω_g) RC kola jednaka je 1/*RC*.

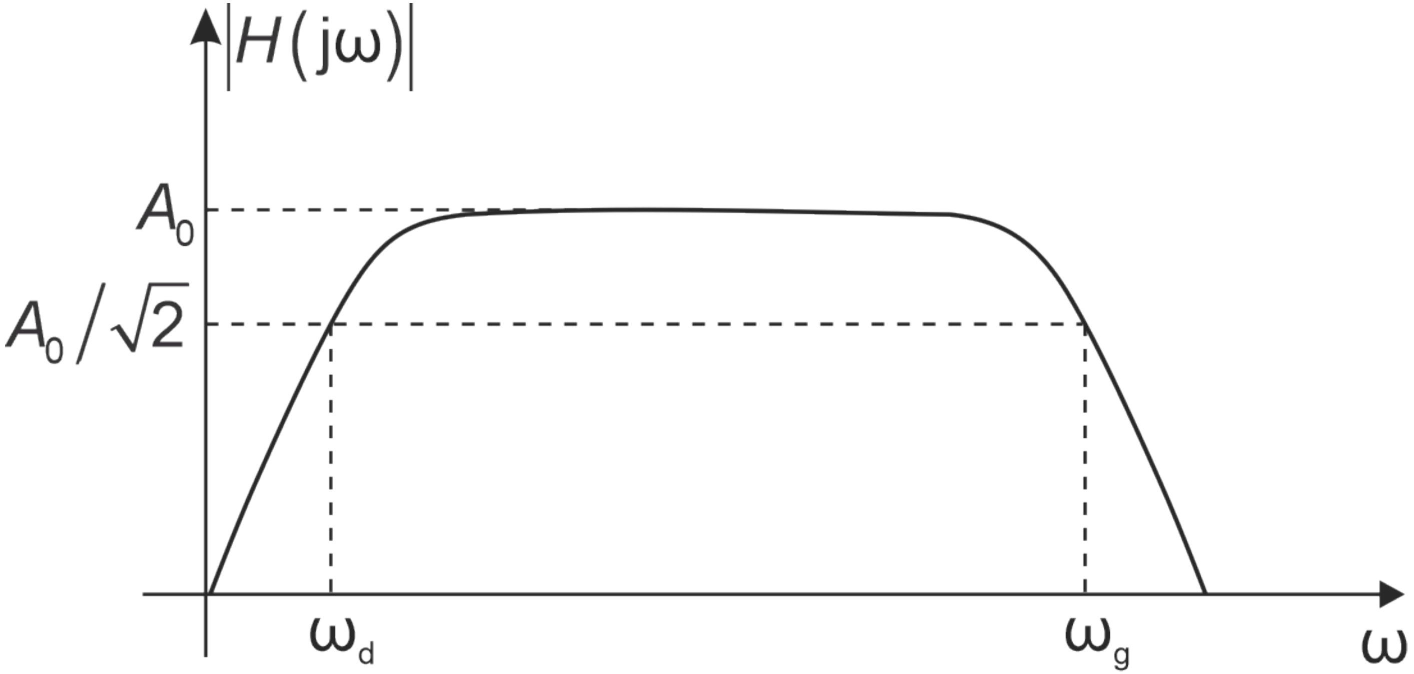
$$\left|H(j\omega)\right| = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad \omega_g = \frac{1}{RC}$$



Granične frekvencije i propusni opseg kola

- U opštem slučaju, pojačavač ima gornju (ω_g) i donju (ω_d) graničnu frekvenciju.
- Razlika gornje i donje granične frekvencije je **propusni opseg (*B*)** kola.

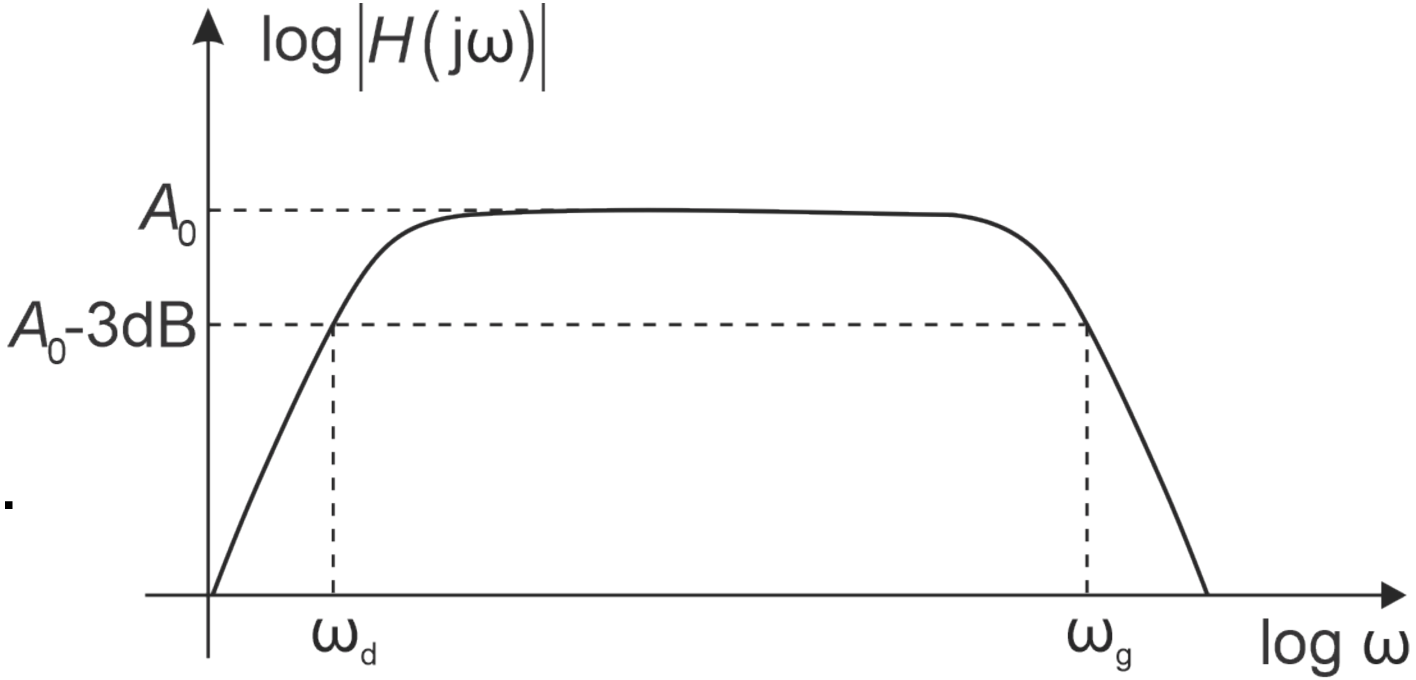
$$B = f_g - f_d$$



Granične frekvencije i propusni opseg kola

- Frekvencijske karakteristike se obično predstavljaju u logaritamskoj (log-log) razmeri
- Na graničnim frekvencijama pojačanje opada za db.

$$A[\mathrm{dB}] = 20\log A = 20\log\frac{V_{\mathrm{iz}}}{V_{\mathrm{ul}}}$$



Osobine prenosne funkcije

- Prenosna funkcija linearnog kola je racionalna funkcija **kompleksne frekvencije *s*** (količnik dva polinoma po s).

$$H(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$$

- Ukoliko se brojilac i imenilac prenosne funkcije prikaže u obliku polinoma po ***s***, prenosne funkcije je predstavljena u **razvijenom obliku**.

$$H(s) = \frac{a_0 + a_1 s + a_2 s^2 + \ldots + a_n s^n}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + \ldots + b_m s^m}$$

Nule i polovi prenosne funkcije

- Kada se brojilac i imenilac prenosne funkcije predstavljaju kao proizvodi binoma, prenosna funkcija je predstavljena u faktorizovanom obliku.

$$H(s)=\frac{a_n(s-z_1)(s-z_2)\dots(s-z_n)}{b_m(s-p_1)(s-p_2)\dots(s-p_m)}$$

- Nule polinoma u brojiocu (z_1, z_2, …, z_n) su **nule prenosne funkcije**.
- Nule polinoma u imeniocu (p_1, p_2, …, p_m) su **polovi prenosne funkcije**.
- Nule i polovi mogu da budu realni ili parovi konjugovano kompleksnih brojeva.

Nule i polovi prenosne funkcije

- Prenosna funkcija se može predstaviti i u faktorizovanom obliku u kome figurišu frekvencije nula (ω_{z1}, ω_{z2}, …, ω_{zn}) i frekvencije polova (ω_{p1}, ω_{p2}, …, ω_{pm})

$$H(s) = A_0 \frac{\left(1+\frac{s}{\omega_{\mathrm{z}1}}\right)\left(1+\frac{s}{\omega_{\mathrm{z}2}}\right)\dots\left(1+\frac{s}{\omega_{zn}}\right)}{\left(1+\frac{s}{\omega_{\mathrm{p}1}}\right)\left(1+\frac{s}{\omega_{\mathrm{p}2}}\right)\dots\left(1+\frac{s}{\omega_{\mathrm{p}m}}\right)}$$

Moduo prenosne funkcije

- Moduo prenosne funkcije predstavljene u razvijenom obliku, tj. amplitudska karakteristika se može naći prema izrazu

$$H(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{a_0 + a_1 s + a_2 s^2 + \ldots + a_n s^n}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + \ldots + b_m s^m}$$

$$\left|H(s)\right| = \frac{\sqrt{\mathrm{Re}\left(N(s)\right)^2 + \mathrm{Im}\left(N(s)\right)^2}}{\sqrt{\mathrm{Re}\left(D(s)\right)^2 + \mathrm{Im}\left(D(s)\right)^2}}$$

Moduo prenosne funkcije

- Moduo prenosne funkcije predstavljene u faktorizovanom obliku, tj. amplitudska karakteristika se može naći prema izrazu

$$H(s)=\frac{a_n(s-z_1)(s-z_2)\ldots(s-z_n)}{b_m(s-p_1)(s-p_2)\ldots(s-p_m)}$$

$$\left|H(\mathrm{j}\omega)\right|=\frac{a_n}{b_m}\frac{\sqrt{(\omega^2-z_1^2)(\omega^2-z_2^2)\ldots(\omega^2-z_n^2)}}{\sqrt{(\omega^2-p_1^2)(\omega^2-p_2^2)\ldots(\omega^2-p_m^2)}}$$

Argument prenosne funkcije

- Argument prenosne funkcije predstavljene u razvijenom obliku, tj. fazna karakteristika se može naći prema izrazu

$$H(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{a_0 + a_1 s + a_2 s^2 + \ldots + a_n s^n}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + \ldots + b_m s^m}$$

$$\arg\left(H(s)\right) = \arctan\frac{\mathrm{Im}\left(N(s)\right)}{\mathrm{Re}\left(N(s)\right)} - \arctan\frac{\mathrm{Im}\left(D(s)\right)}{\mathrm{Re}\left(D(s)\right)}$$

Argument prenosne funkcije

- Moduo prenosne funkcije predstavljene u faktorizovanom obliku, tj. fazna karakteristika se može naći prema izrazu

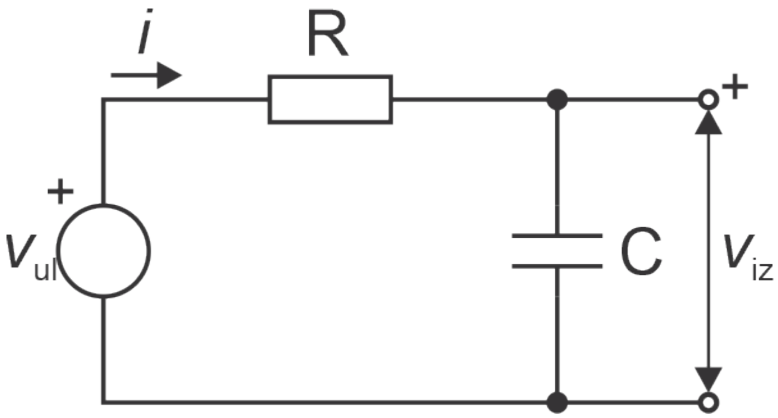
$$H(s) = \frac{a_n (s - z_1)(s - z_2)\ldots(s - z_n)}{b_m (s - p_1)(s - p_2)\ldots(s - p_m)}$$

$$\arg\left(H(s)\right) = \sum_{i=1}^{n} \arctan \frac{\mathrm{Im}(s - z_i)}{\mathrm{Re}(s - z_i)} - \sum_{i=1}^{m} \arctan \frac{\mathrm{Im}(s - p_i)}{\mathrm{Re}(s - p_i)}$$

Primer prenosne funkcija kola

- Prenosna funkcija kola ima jedan pol:

$$H(s) = \frac{V_{\mathrm{iz}}(s)}{V_{\mathrm{ul}}(s)} = \frac{1}{1+sRC}$$



$$H(s) = \frac{V_{\mathrm{iz}}(s)}{V_{\mathrm{ul}}(s)} = \frac{1}{1+\dfrac{s}{1/RC}}$$

$$\omega_{\mathrm{p}} = -\frac{1}{RC}$$

Bodeovi dijagrami

- Na osnovu prenosne funkcije kola može da se nacrta asimptotska aproksimacija frekvencijske karakteristike kola – Bodeov dijagram
- Potrebno je odrediti frekvencije nula (ω_{z1}, ω_{z2}, …, ω_{zn}) i frekvencije polova (ω_{p1}, ω_{p2}, …, ω_{pm}).

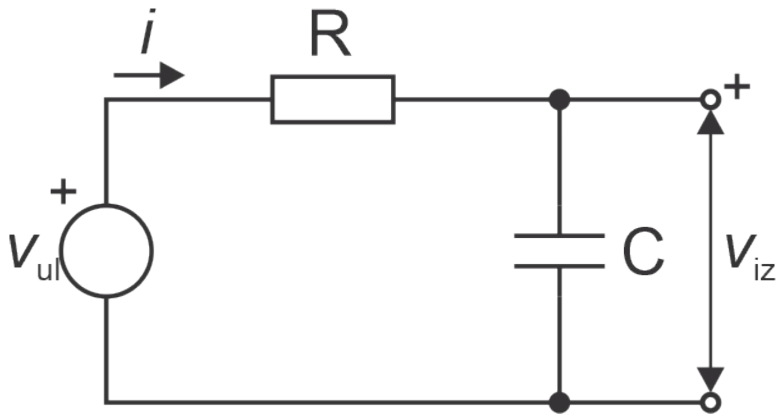
$$H(s) = A_0 \frac{\left(1+\dfrac{s}{\omega_{\mathrm{z}1}}\right)\left(1+\dfrac{s}{\omega_{\mathrm{z}2}}\right)\ldots\left(1+\dfrac{s}{\omega_{\mathrm{z}n}}\right)}{\left(1+\dfrac{s}{\omega_{\mathrm{p}1}}\right)\left(1+\dfrac{s}{\omega_{\mathrm{p}2}}\right)\ldots\left(1+\dfrac{s}{\omega_{\mathrm{p}m}}\right)}$$

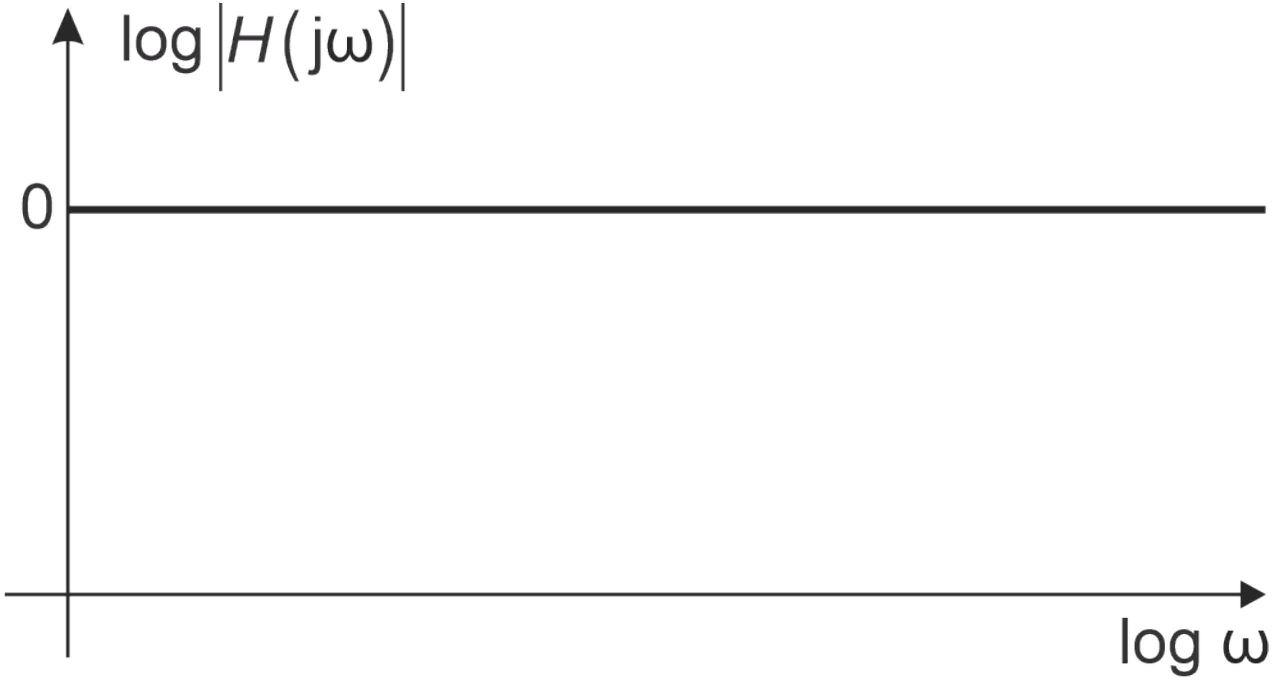
Bodeovi dijagrami – amplitudska karakteristika

- Prenosna funkcija ima konstantan član A_0, nezavisan od frekvencije, koji amplitudskoj karakteristici doprinosi konstantnom vrednošću (horizontalnom linijom).
- Prilikom prolaska kroz **nulu** prenosne funkcije, nagib amplitudske karakteristike **raste za 20dB po dekadi** (povećanje frekvencije deset puta).
- Prilikom prolaska kroz **pol** prenosne funkcije, nagib amplitudske karakteristike **opada za 20dB po dekadi** (povećanje frekvencije deset puta).

Bodeovi dijagrami – amplitudska karakteristika

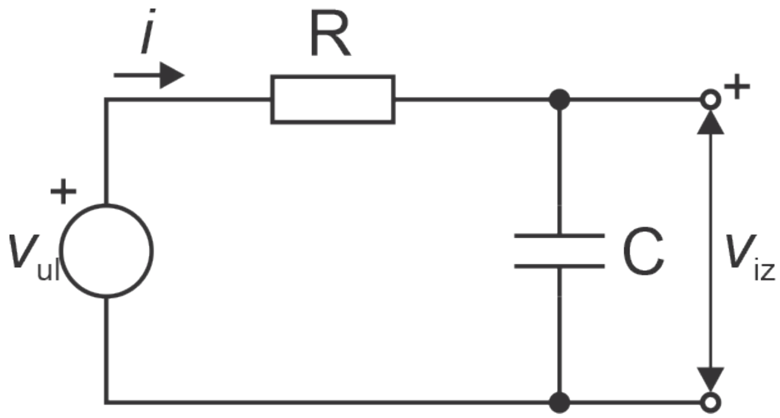
$$H(s)=\frac{1}{1+sRC},\quad A_0=1,\quad A_0=0\text{dB}$$

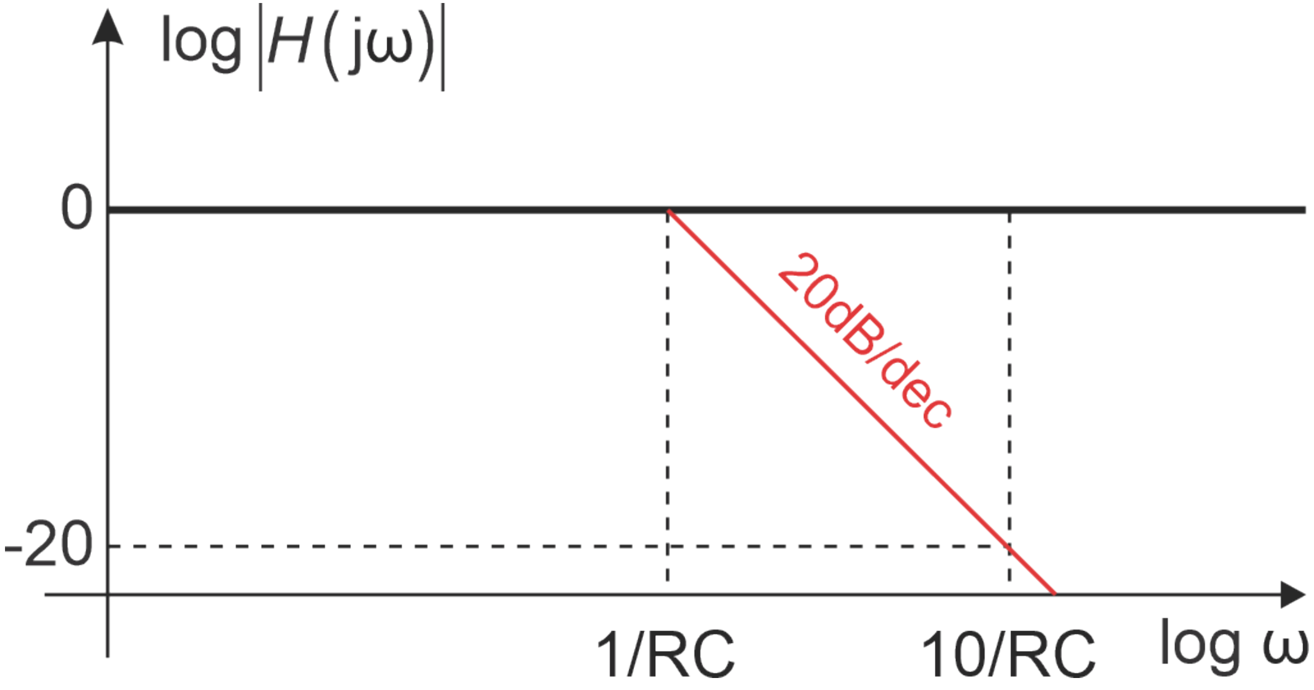




Bodeovi dijagrami – amplitudska karakteristika

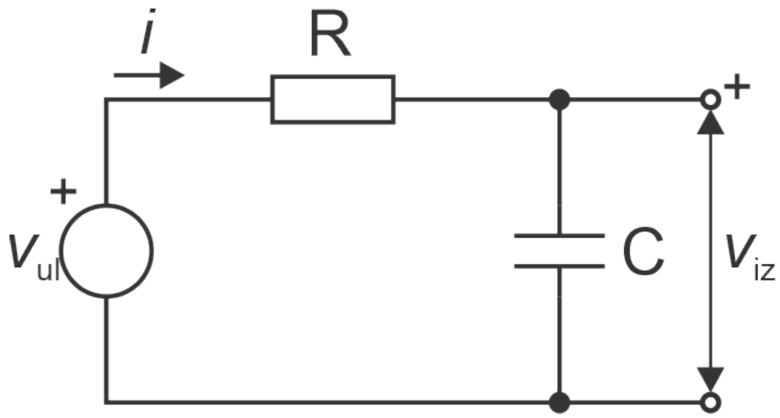
$$H(s)=\frac{1}{1+sRC},\quad A_0=1,\quad A_0=0\mathrm{dB}$$

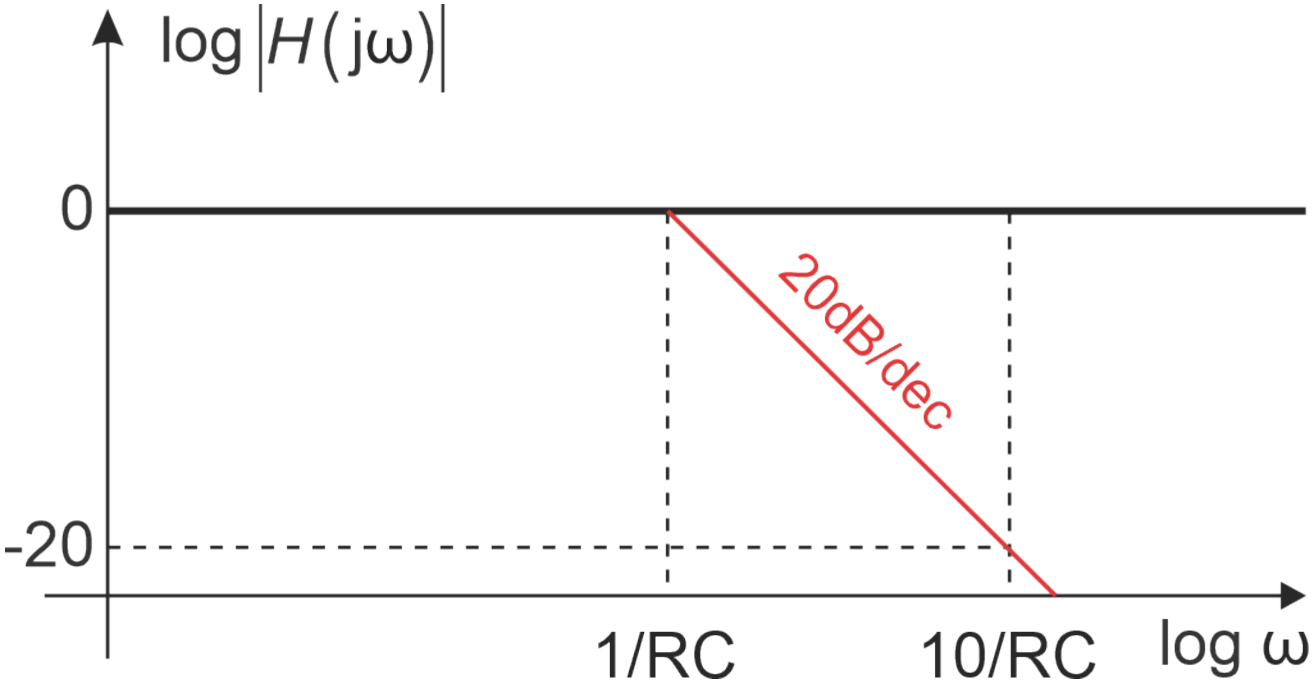




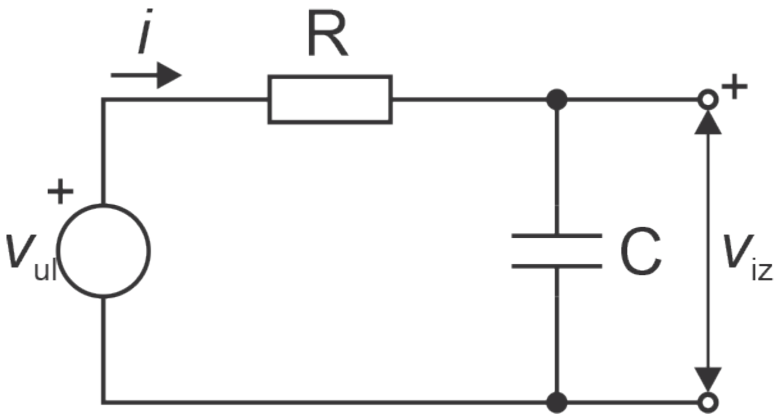
Bodeovi dijagrami – amplitudska karakteristika

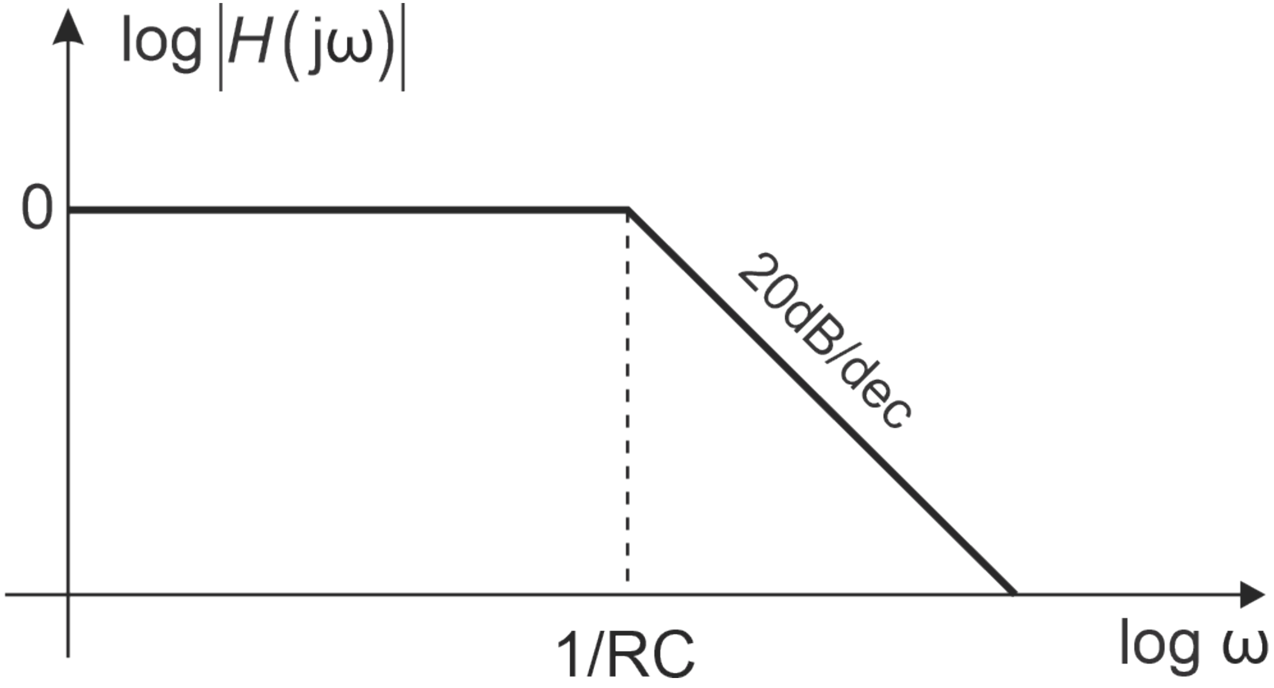
$$\omega_p = \frac{1}{RC}$$



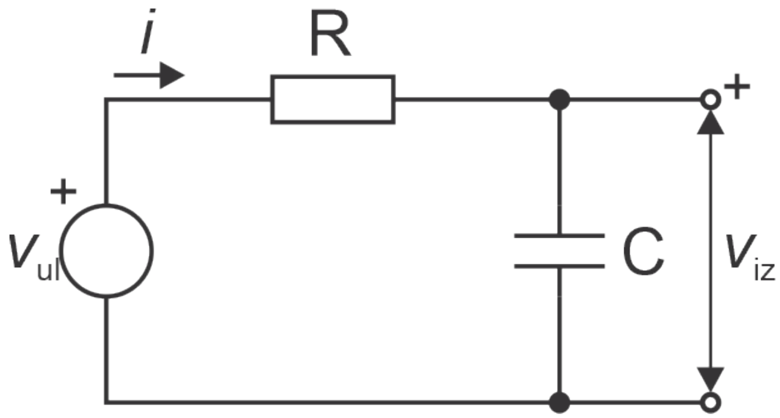


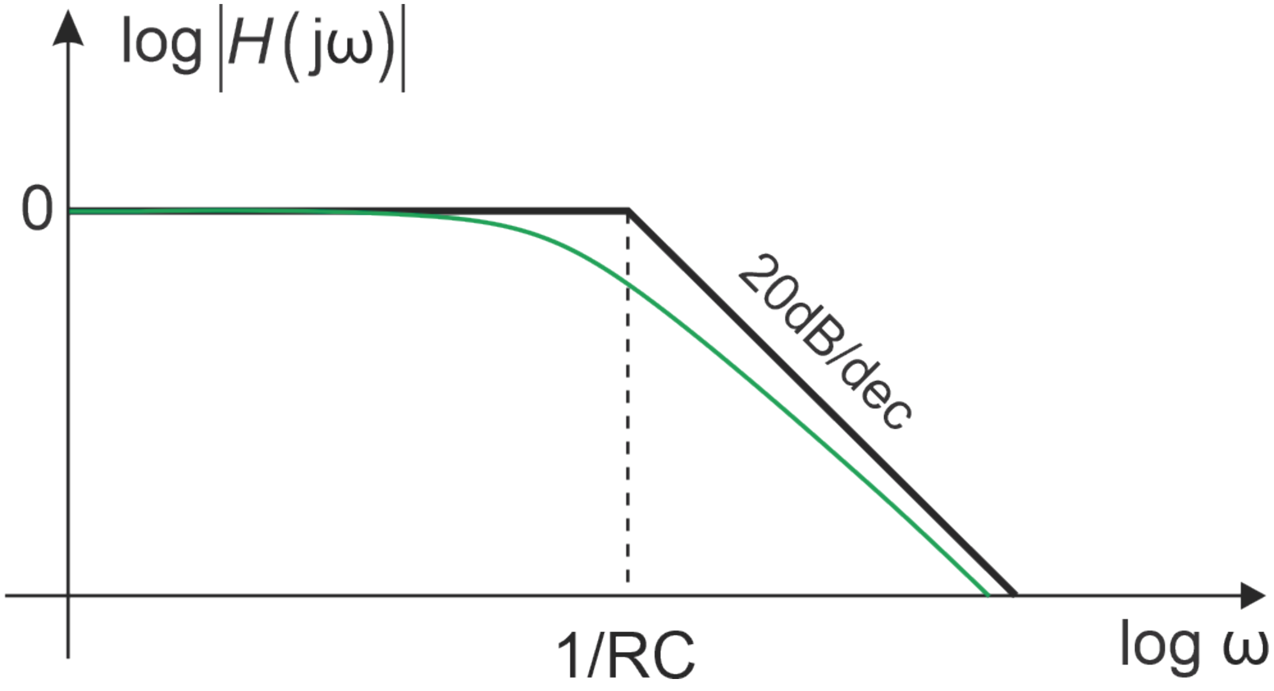
Bodeovi dijagrami – amplitudska karakteristika





Bodeovi dijagrami – amplitudska karakteristika





Bodeovi dijagrami – primer

$$H(s)=\frac{10s}{\left(1+s/10^2\right)\left(1+s/10^5\right)}$$

$$\left|H(s)\right|=\frac{10\cdot\left|s\right|}{\left|1+s/10^2\right|\cdot\left|1+s/10^5\right|}$$

$$20\log\left|H(s)\right|=20\log(10)+20\log(\omega)-20\log\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{10^2}\right)^2}-20\log\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{10^5}\right)^2}$$

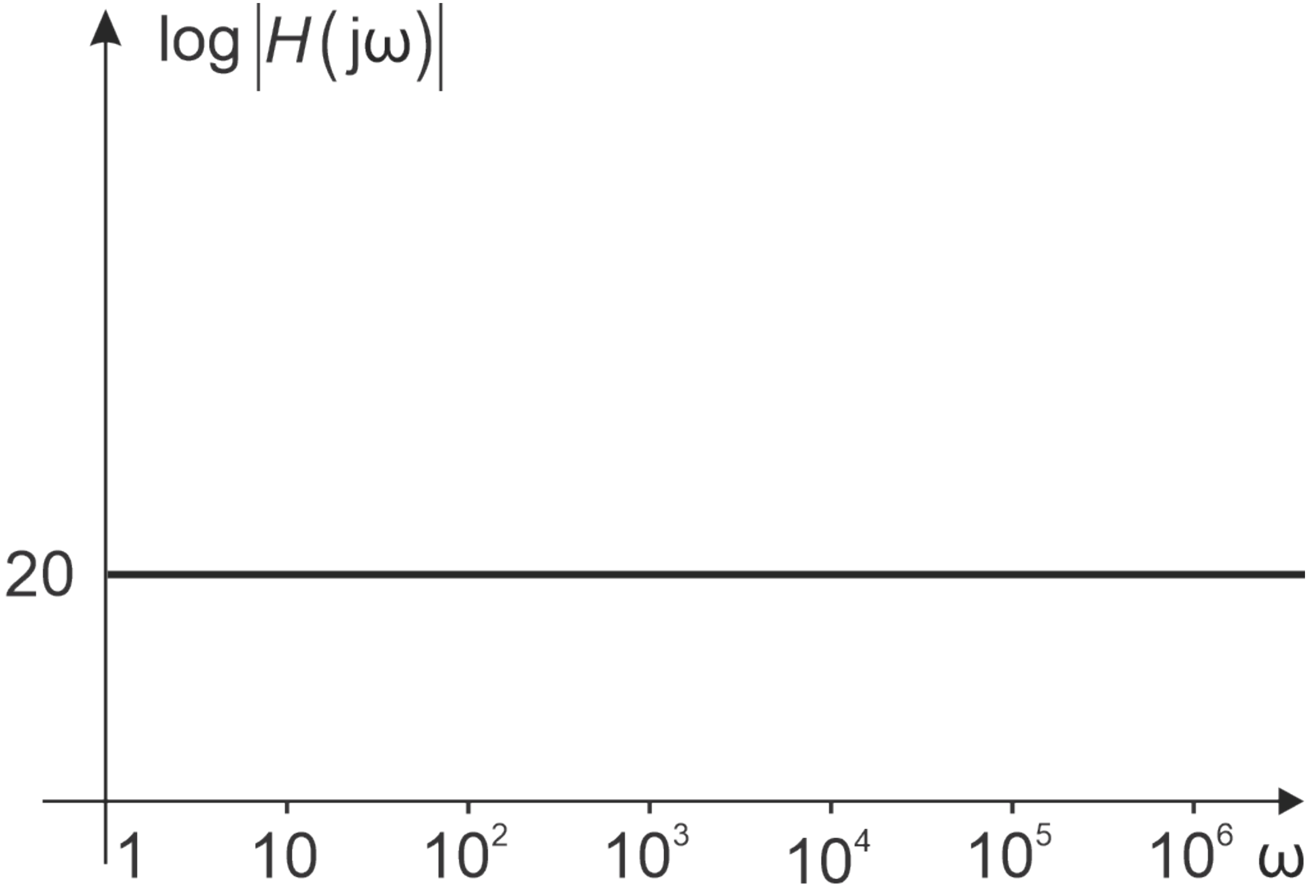
Bodeovi dijagrami – primer

$$20\log\left|H(s)\right| = 20\log(10) + 20\log(\omega) - 20\log\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{10^2}\right)^2} - 20\log\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{10^5}\right)^2}$$

$$20\log\left|H(s)\right| = 20\log(10) + 20\log(\omega) - 10\log\left(1+\left(\frac{\omega}{10^2}\right)^2\right) - 10\log\left(1+\left(\frac{\omega}{10^5}\right)^2\right)$$

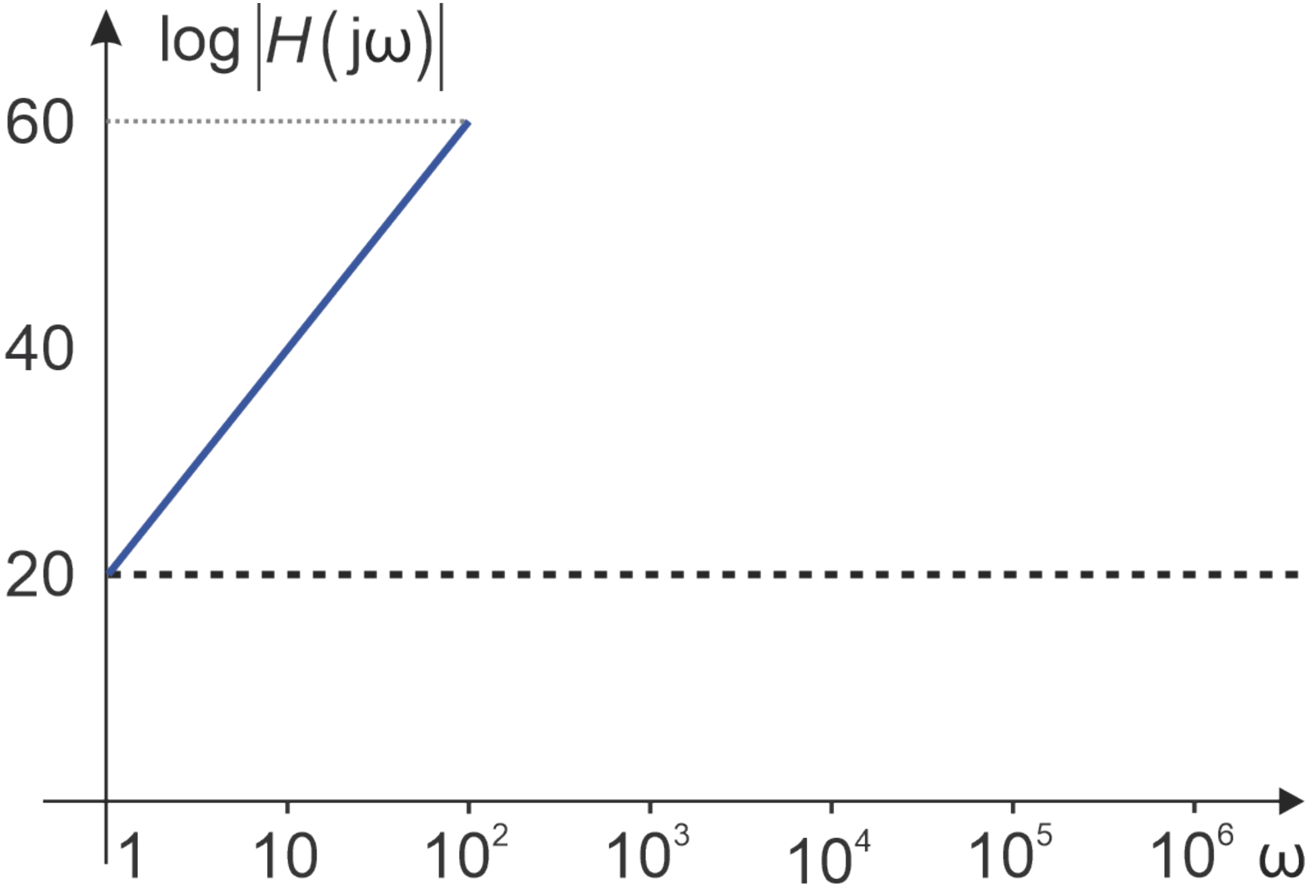
Bodeovi dijagrami – primer

$$20\log(10)$$



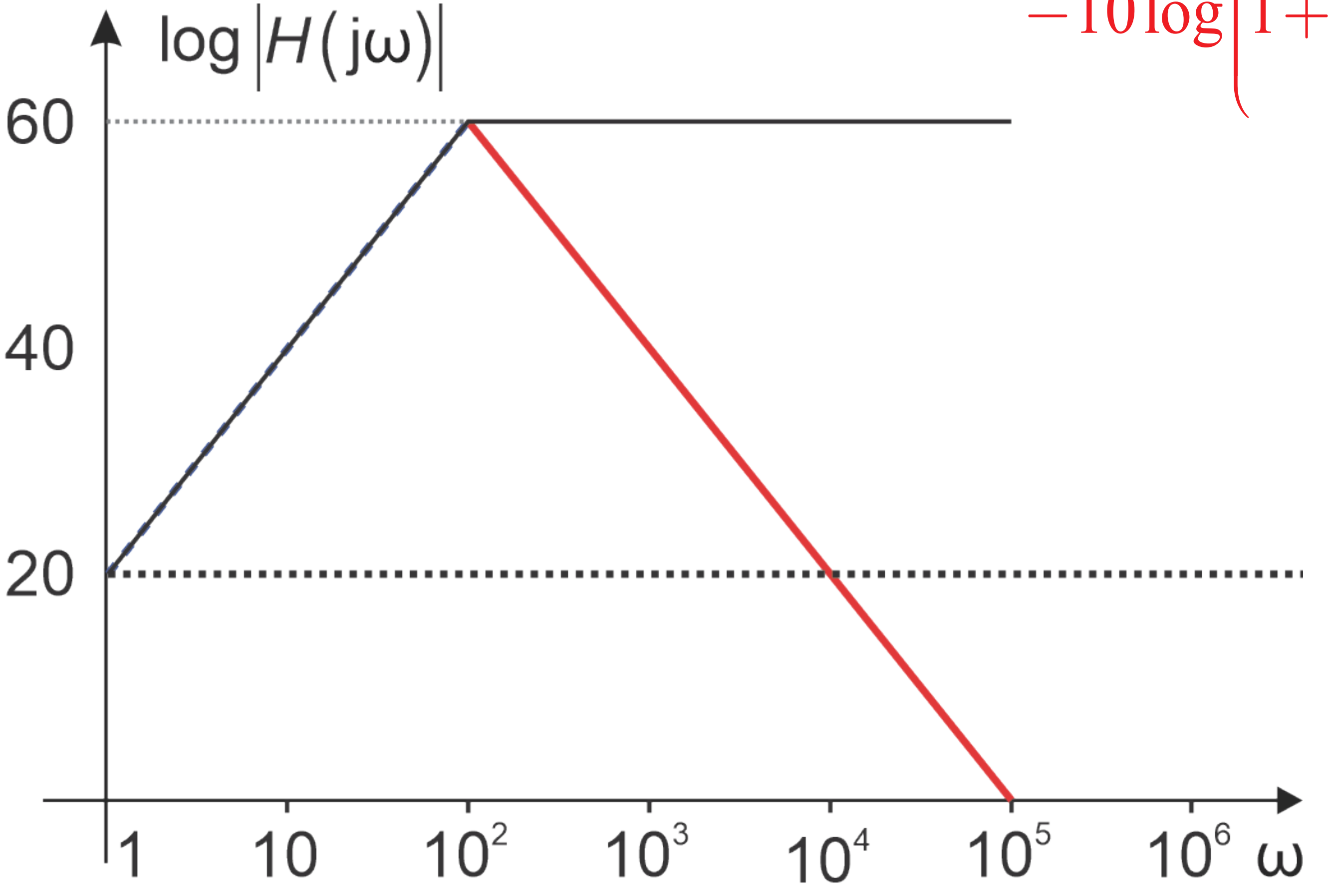
Bodeovi dijagrami – primer

$$+20\log(\omega)$$

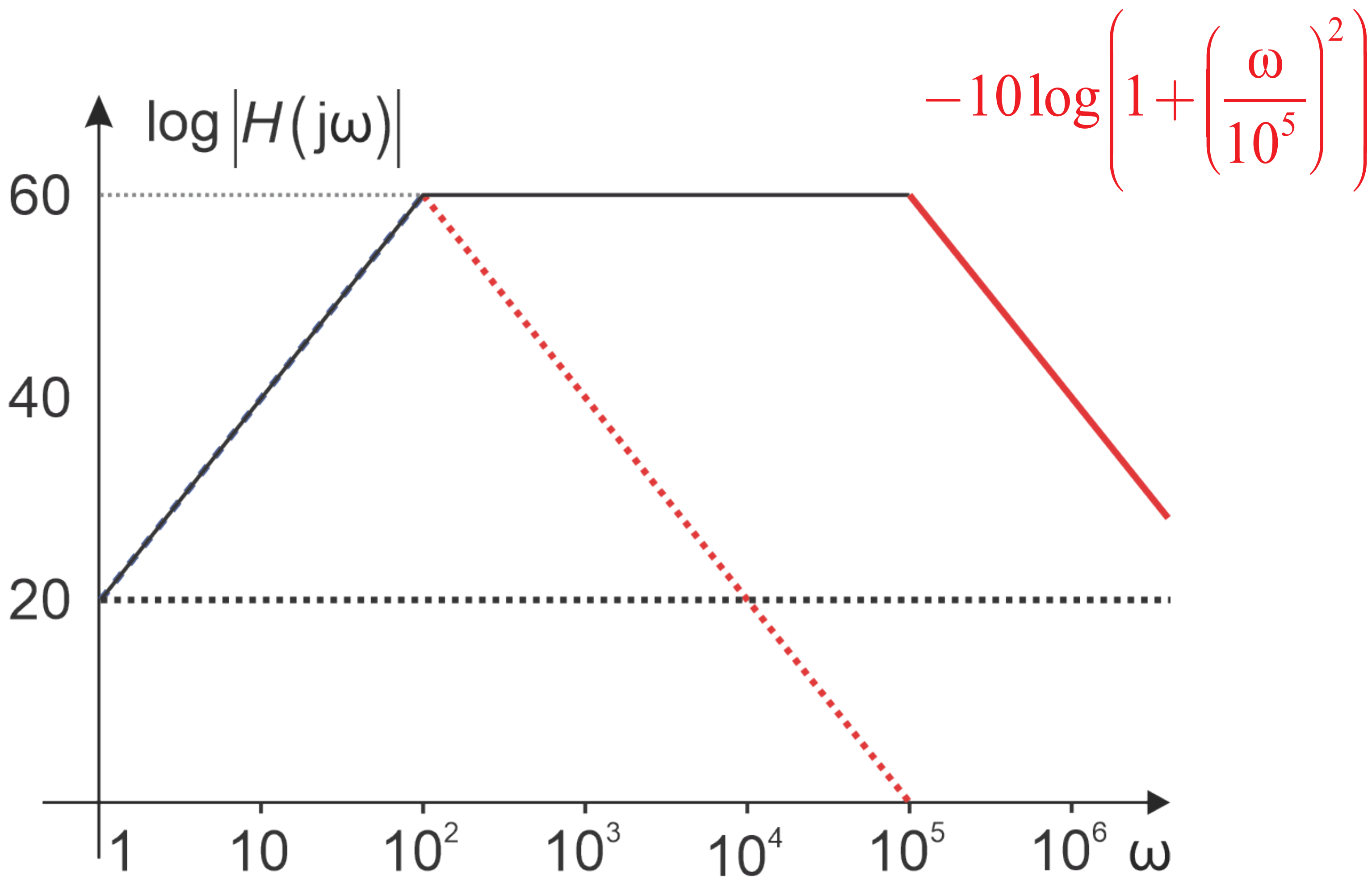


Bodeovi dijagrami – primer

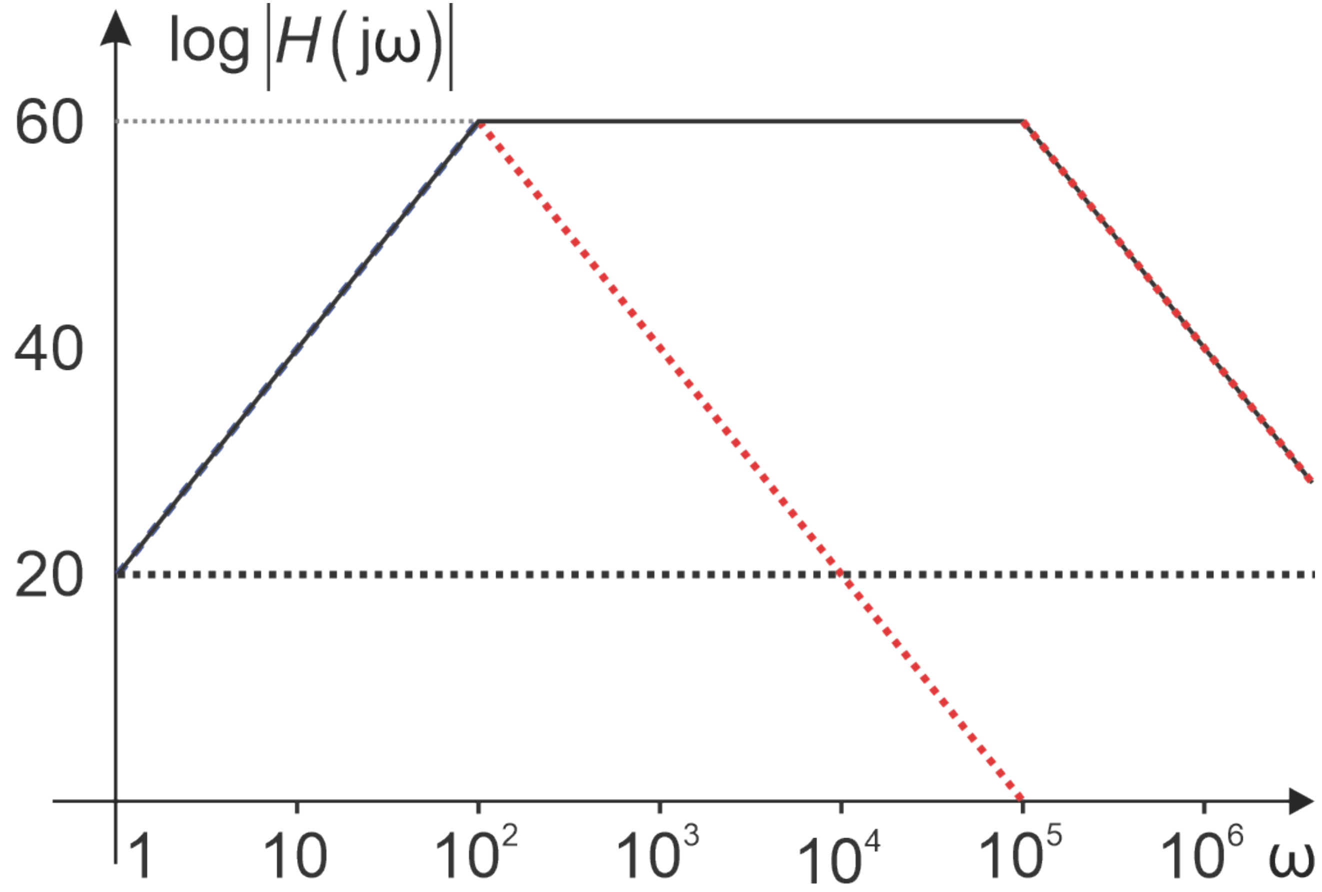
$$-10\log\left(1+\left(\frac{\omega}{10^2}\right)^2\right)$$



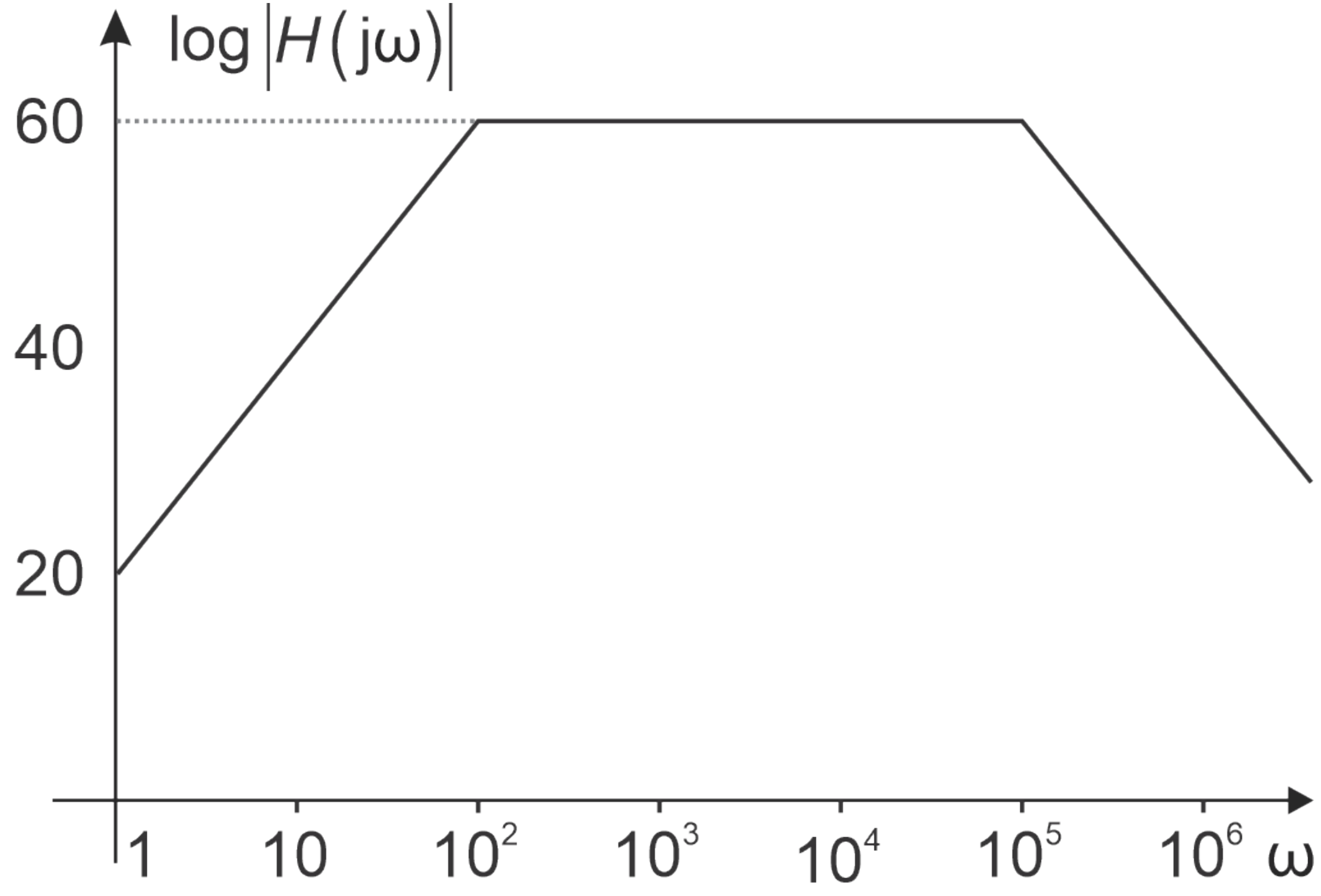
Bodeovi dijagrami – primer



Bodeovi dijagrami – primer



Bodeovi dijagrami – primer

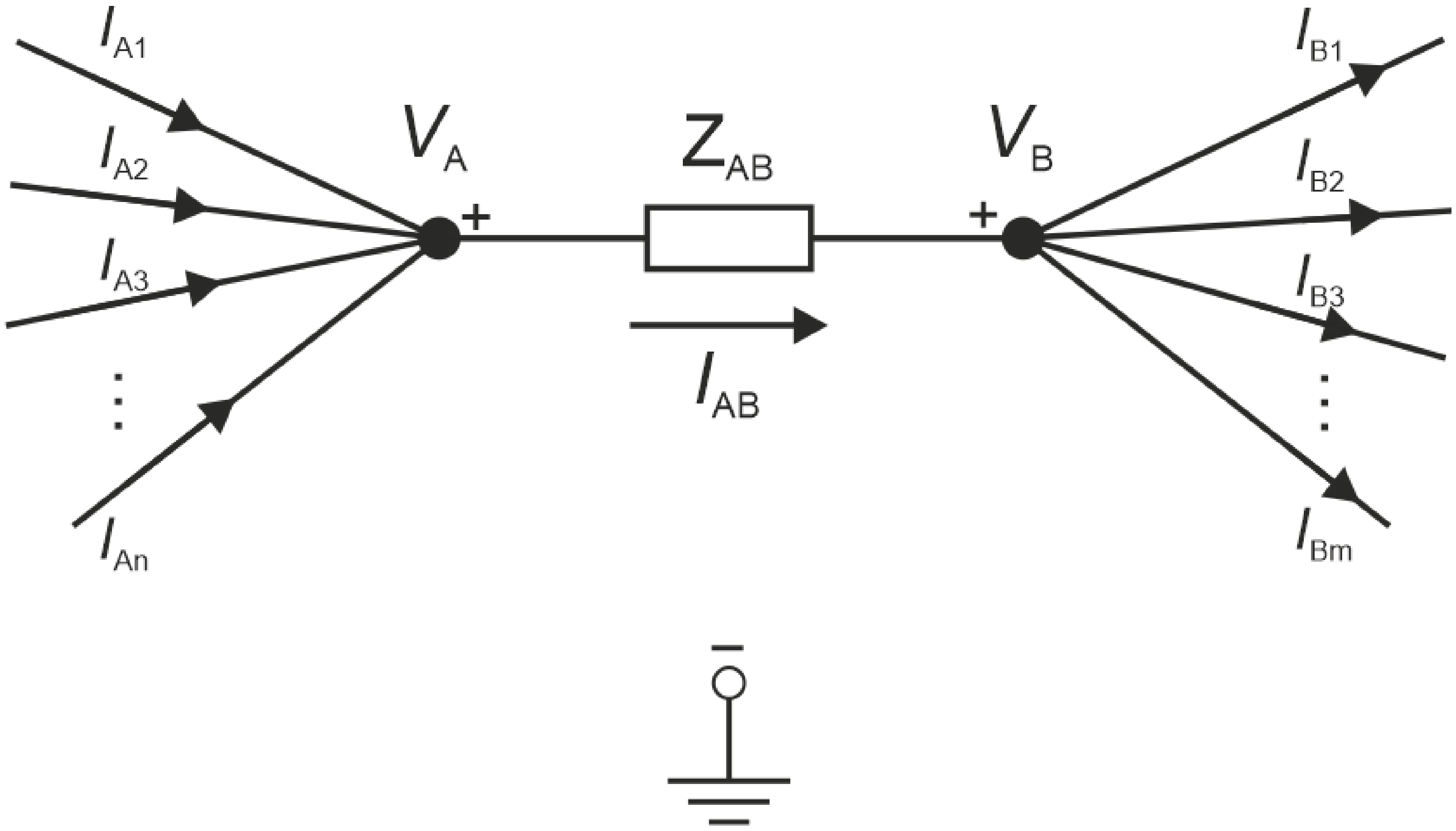


Milerova teorema

$$I_{AB} = \frac{V_A - V_B}{Z_{AB}}$$

$$I_{AB} = \sum_{k=1}^{n} I_{A\,k}$$

$$I_{AB} = \sum_{k=1}^{m} I_{B\,k}$$



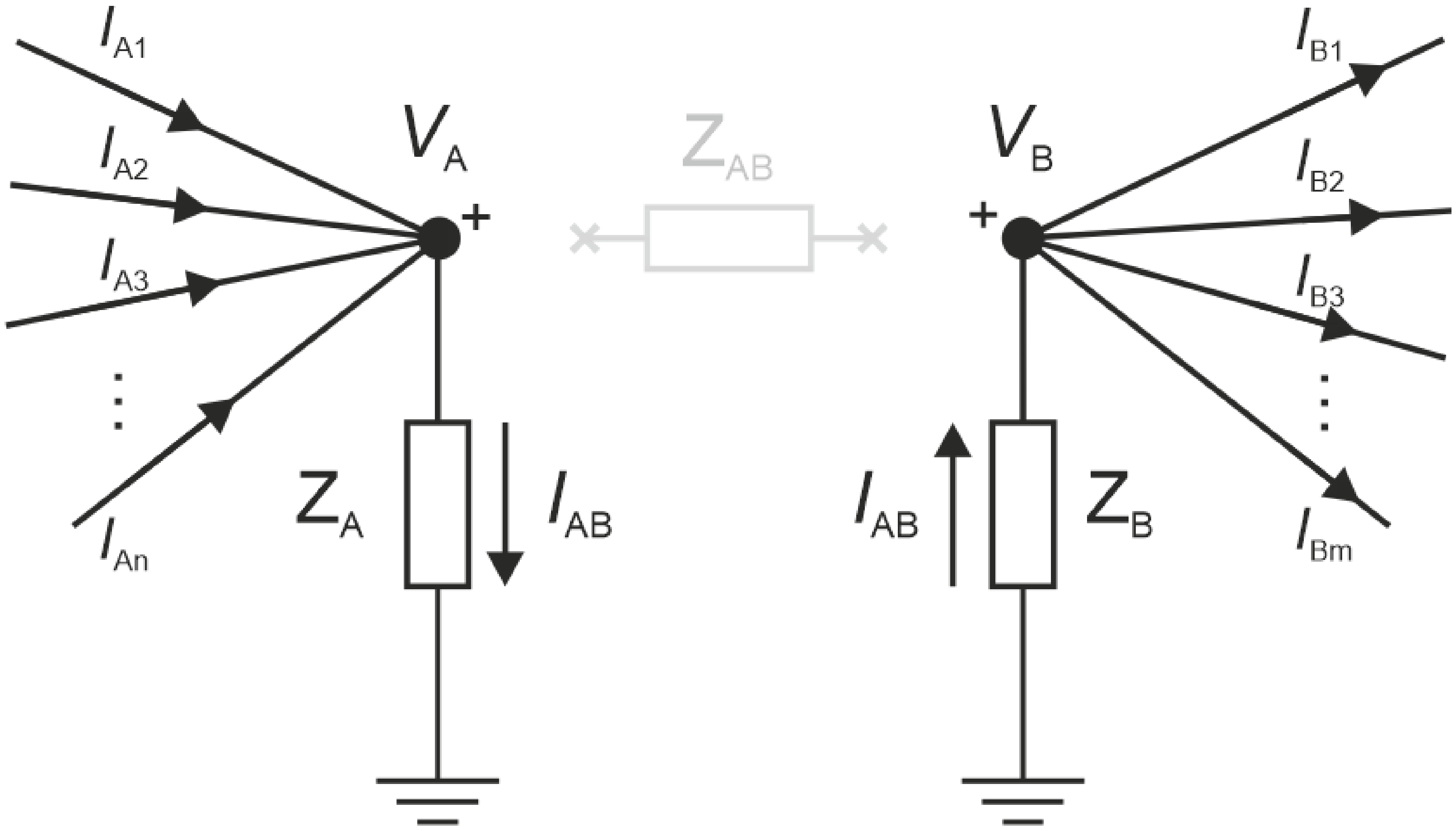
Milerova teorema

$$I_{\mathrm{AB}} = \frac{V_{\mathrm{A}}}{Z_{\mathrm{A}}}$$

$$I_{\mathrm{AB}} = -\frac{V_{\mathrm{B}}}{Z_{\mathrm{B}}}$$

$$\frac{V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{B}}}{Z_{\mathrm{AB}}} = \frac{V_{\mathrm{A}}}{Z_{\mathrm{A}}}$$

$$\frac{V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{B}}}{Z_{\mathrm{AB}}} = -\frac{V_{\mathrm{B}}}{Z_{\mathrm{B}}}$$



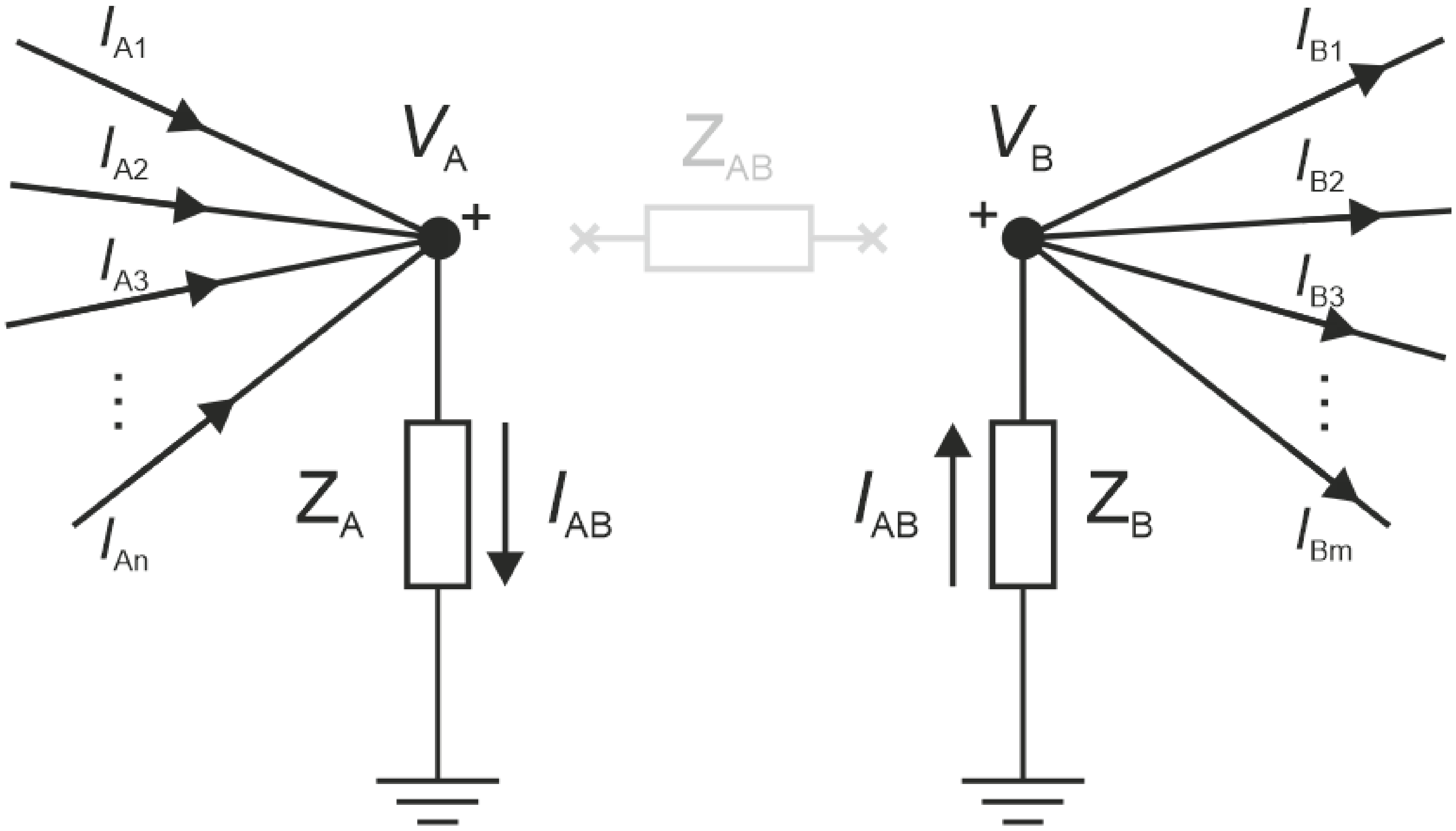
Milerova teorema

$$Z_{\mathrm{A}} = \frac{V_{\mathrm{A}}}{V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{B}}} Z_{\mathrm{AB}}$$

$$Z_{\mathrm{B}} = -\frac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{B}}} Z_{\mathrm{AB}}$$

$$Z_{\mathrm{A}} = \frac{1}{1 - \frac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{A}}}} Z_{\mathrm{AB}}$$

$$Z_{\mathrm{B}} = \frac{1}{1 - \frac{V_{\mathrm{A}}}{V_{\mathrm{B}}}} Z_{\mathrm{AB}}$$

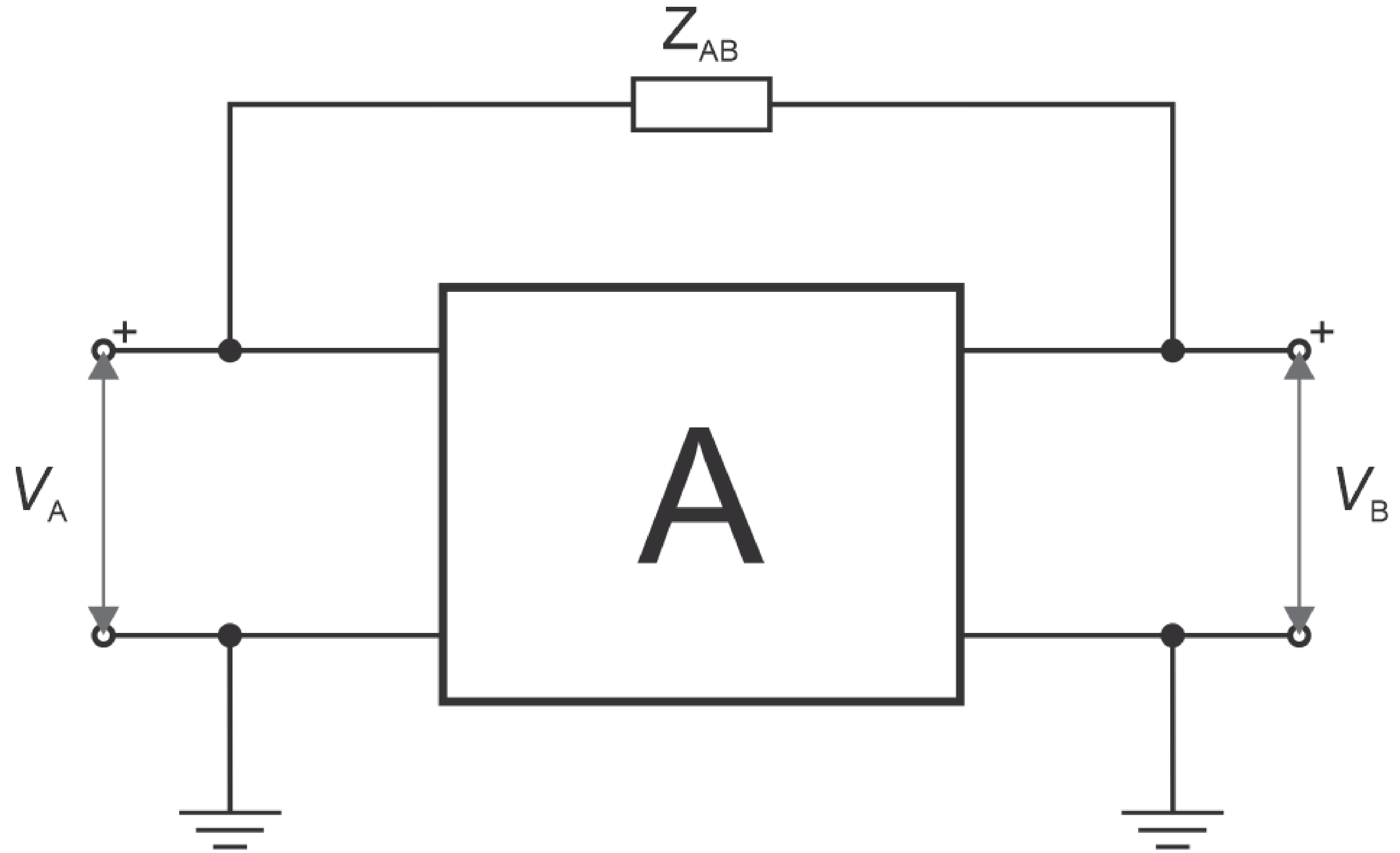


Milerova teorema

$$Z_A = \frac{1}{1 - \frac{V_B}{V_A}} Z_{AB}$$

$$Z_B = \frac{1}{1 - \frac{V_A}{V_B}} Z_{AB}$$

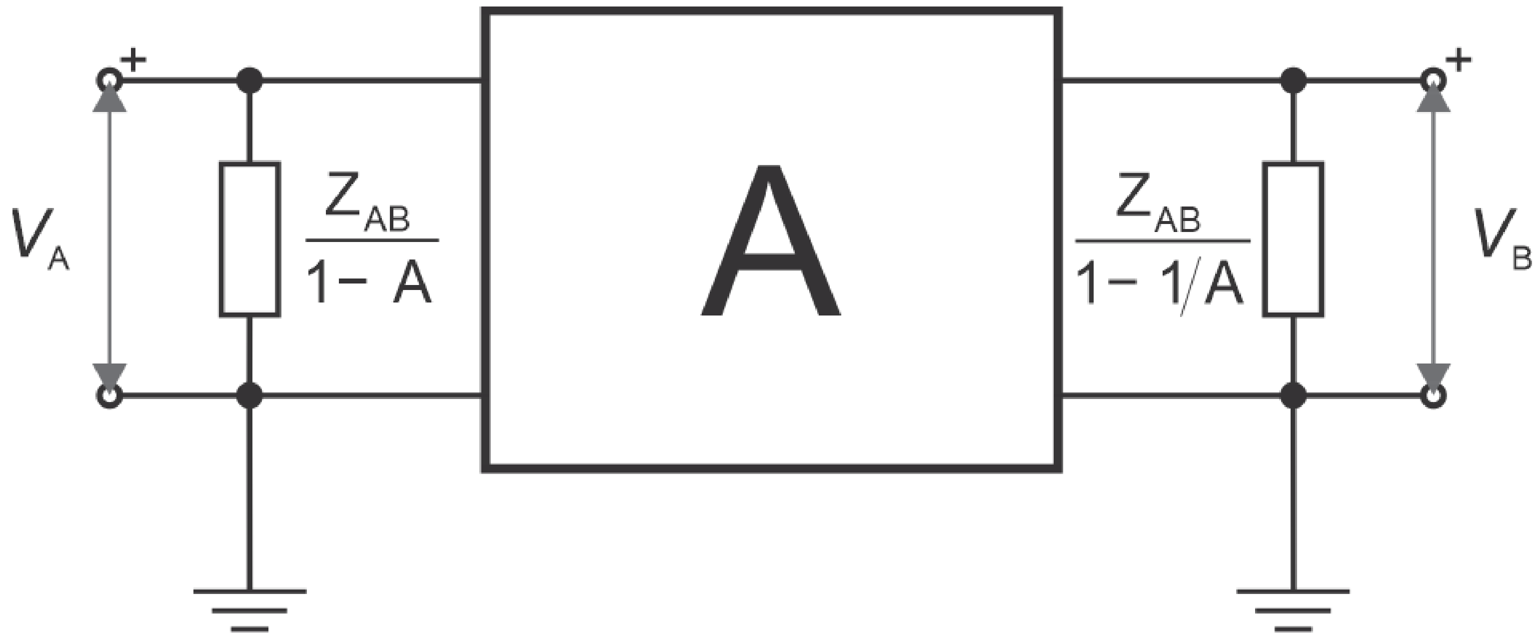
$$A = \frac{V_B}{V_A}$$



Milerova teorema

$$Z_A = \frac{1}{1-A} Z_{AB}$$

$$Z_B = \frac{1}{1-\frac{1}{A}} Z_{AB}$$



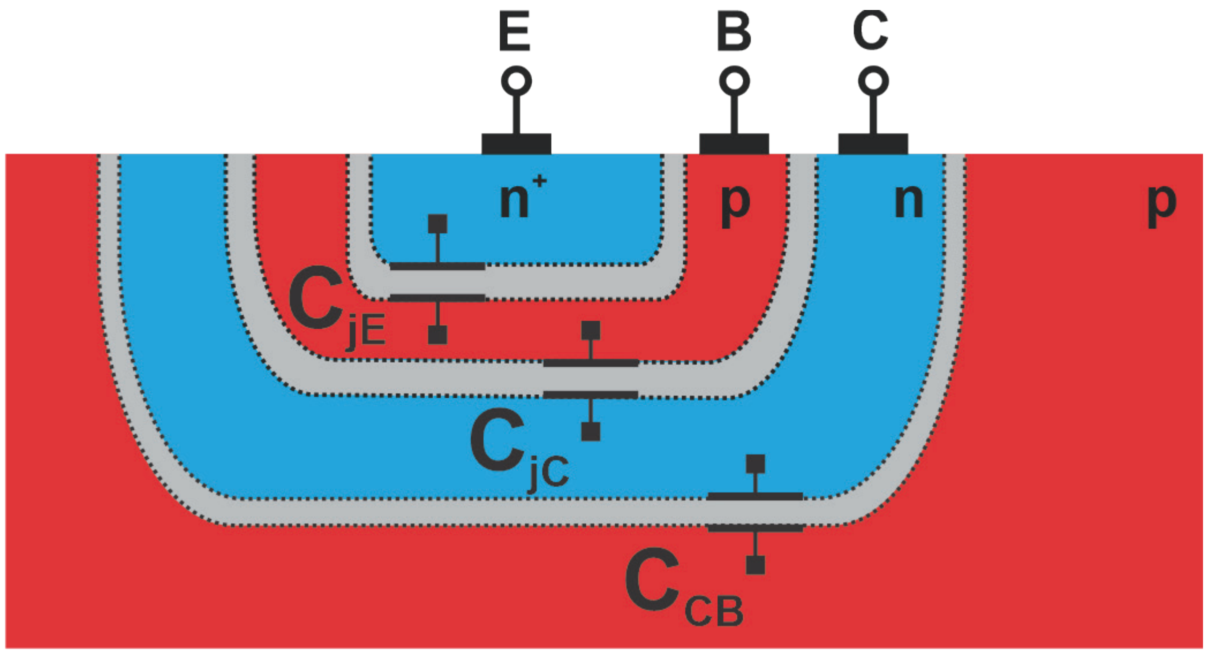
Model bipolarnog tranzistora za visoke frekvencije

- Kapacitivnosti spojeva:

  C_{jE} – emitorskog

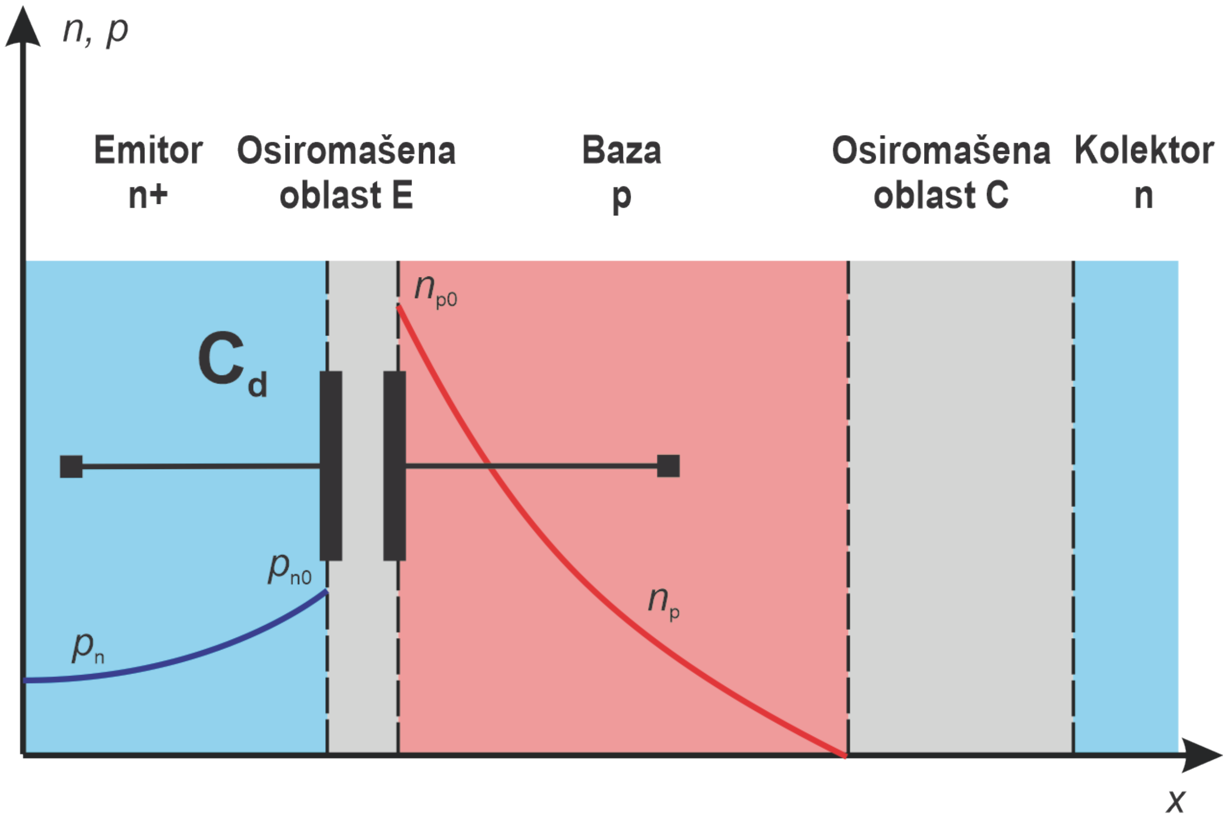
  C_{jC} – kolektorskog

  C_{CB} – kapacitivnost između kolektora i supstrata (bulk)



Model bipolarnog tranzistora za visoke frekvencije

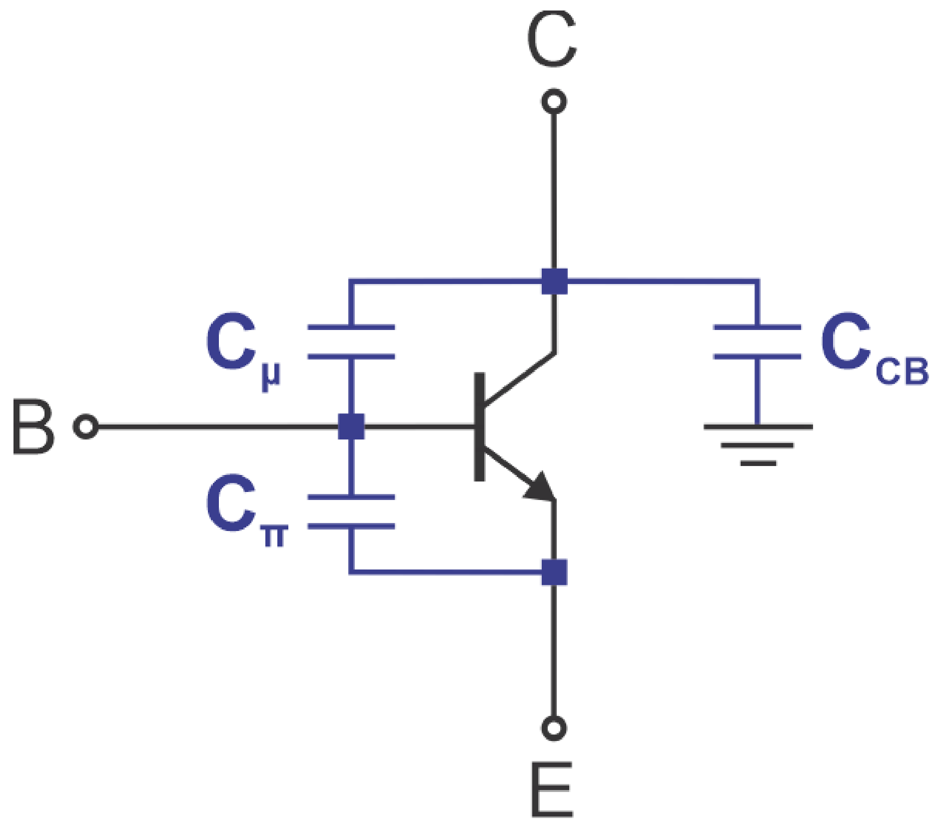
- Difuziona kapacitivnost (C_d) je posledica difuzije većinskih nosilaca iz oblasti emitora u oblast baze.
- Difuziona kapacitvnost je između baze i emitora.



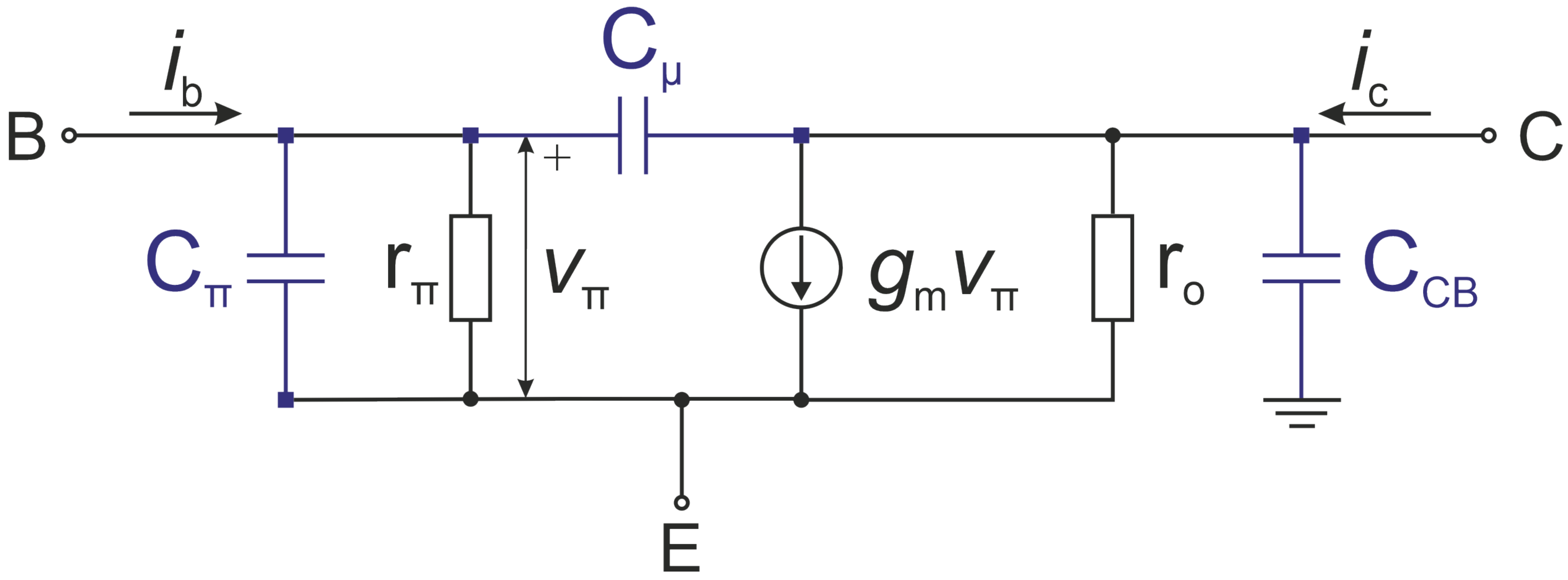
Model bipolarnog tranzistora za visoke frekvencije

- Ukupna kapacitivnost između baze i emitora je $C_{\pi}=C_{jE}+C_{d}$

- Ukupna kapacitivnost između baze i kolektora je $C_{\mu}=C_{jC}$



Model bipolarnog tranzistora za visoke frekvencije

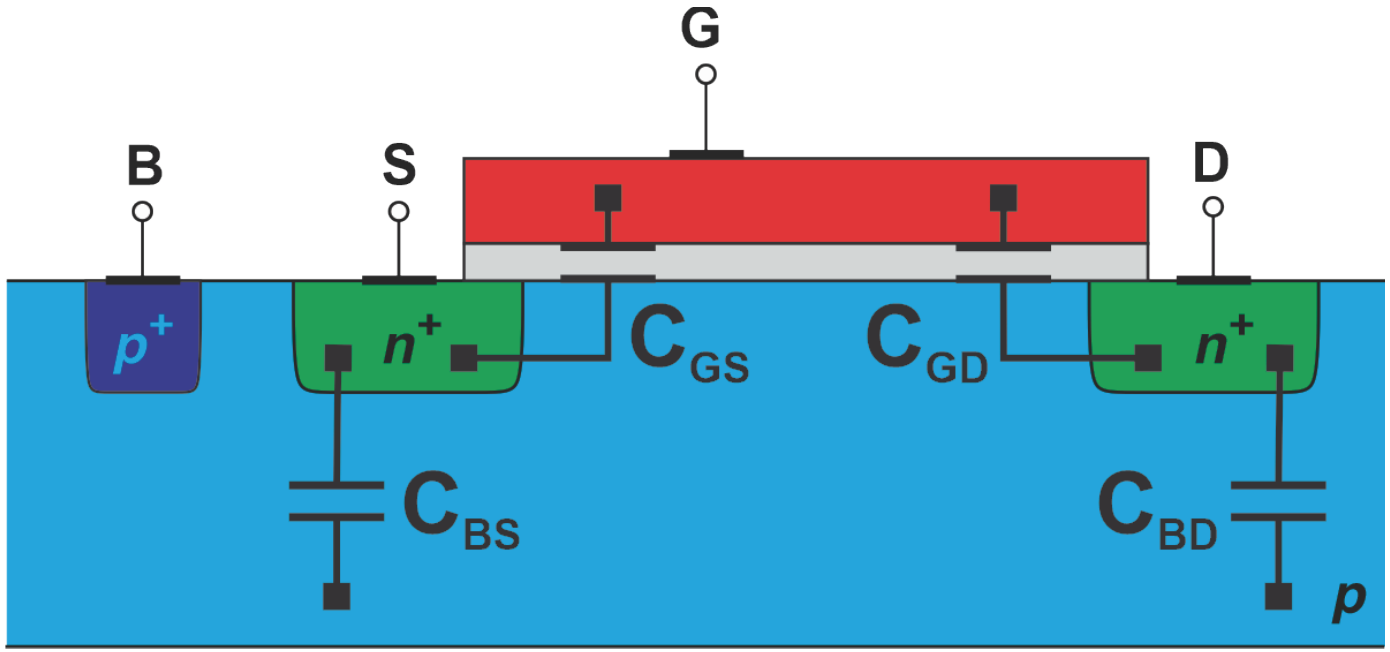


Model MOS tranzistora za visoke frekvencije

- Kapacitivnosti PN spojeva:

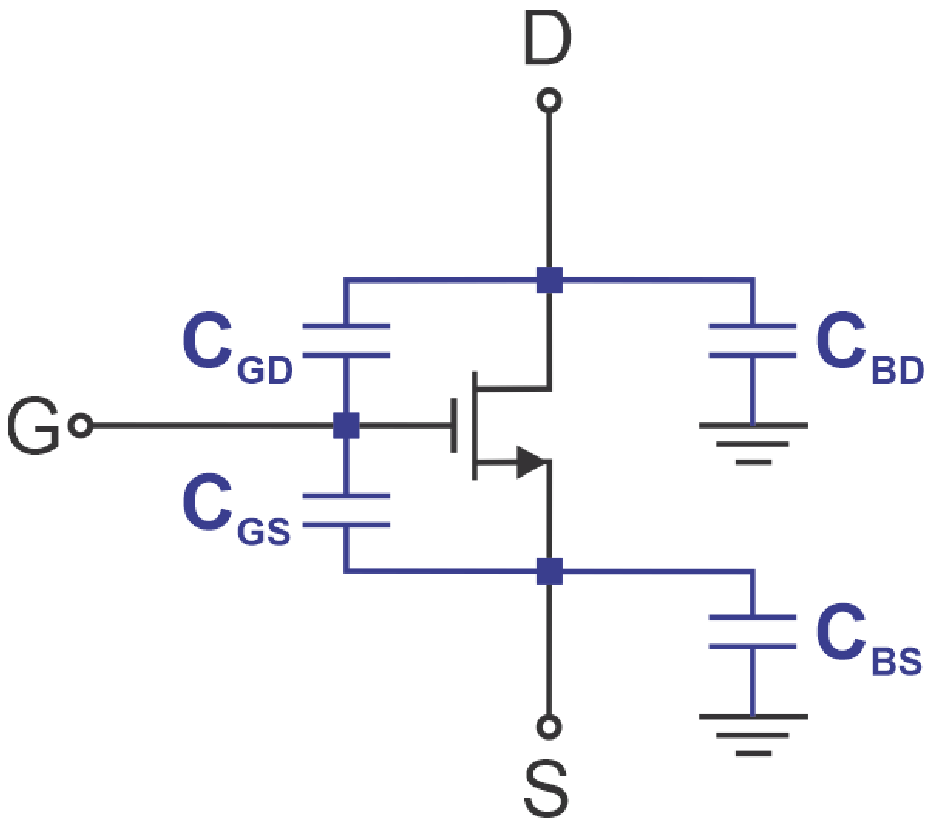
  C_{BS} – sorsa i balka

  C_{BD} – drejna i balka
- Kapacitivnost MOS strukture, C_{GS} i C_{GD}.

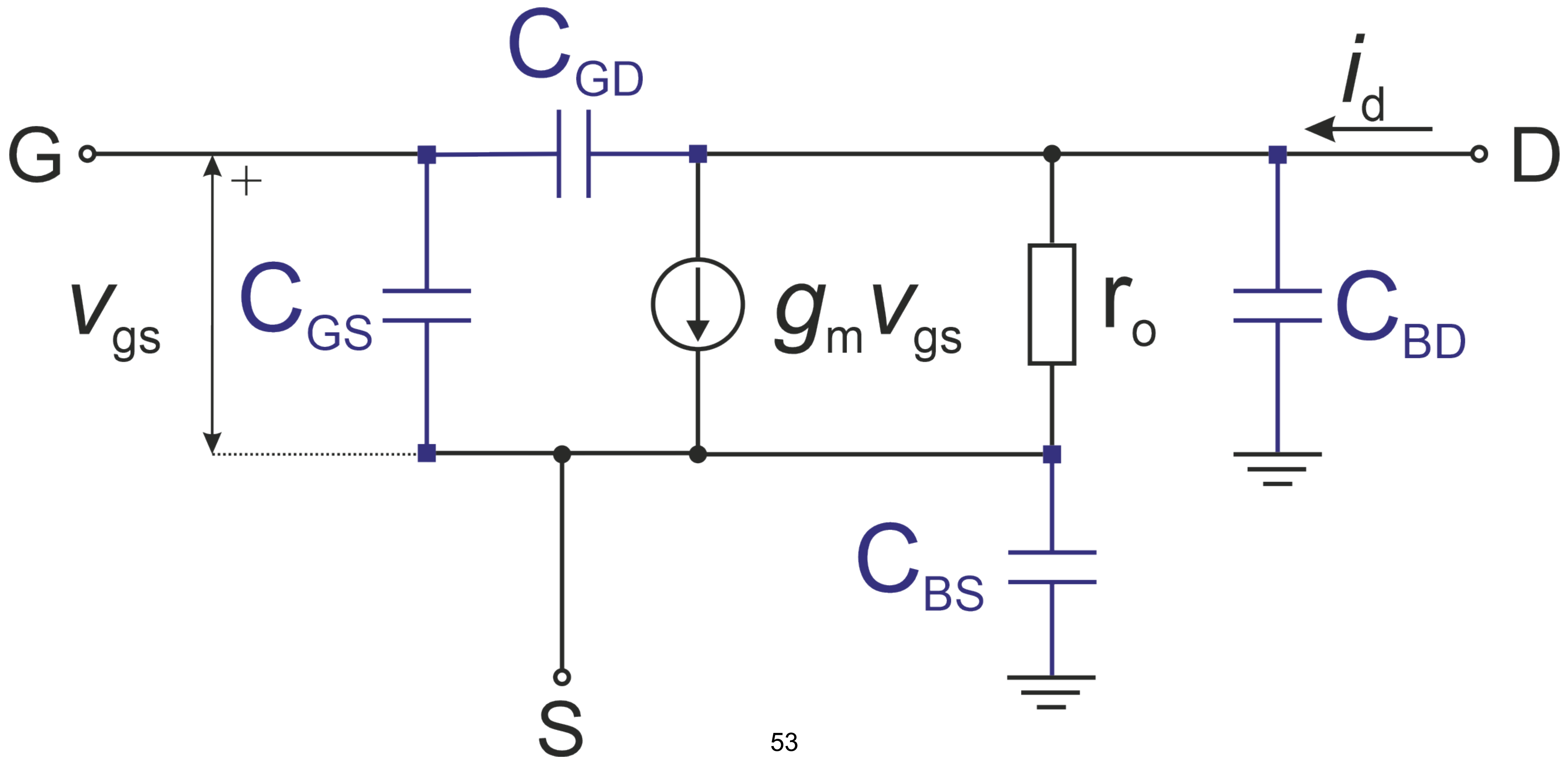


Model bipolarnog tranzistora za visoke frekvencije

- Kapacitivnosti MOS tranzistora (balk vezan za masu)

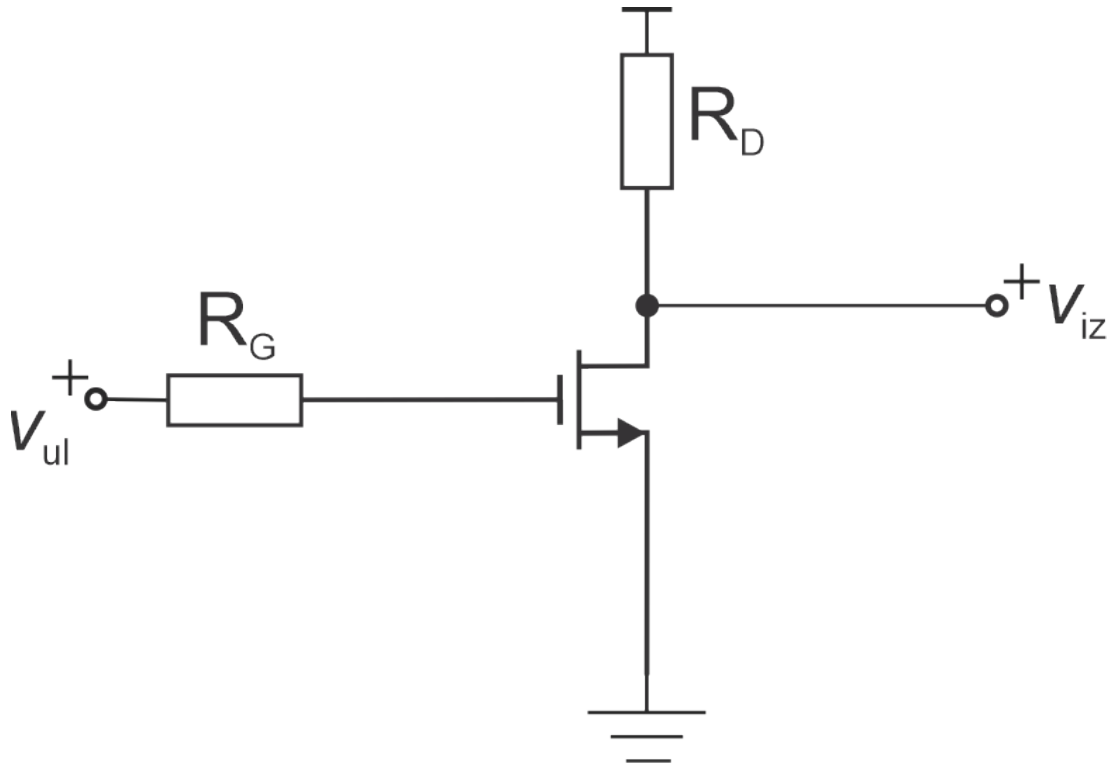


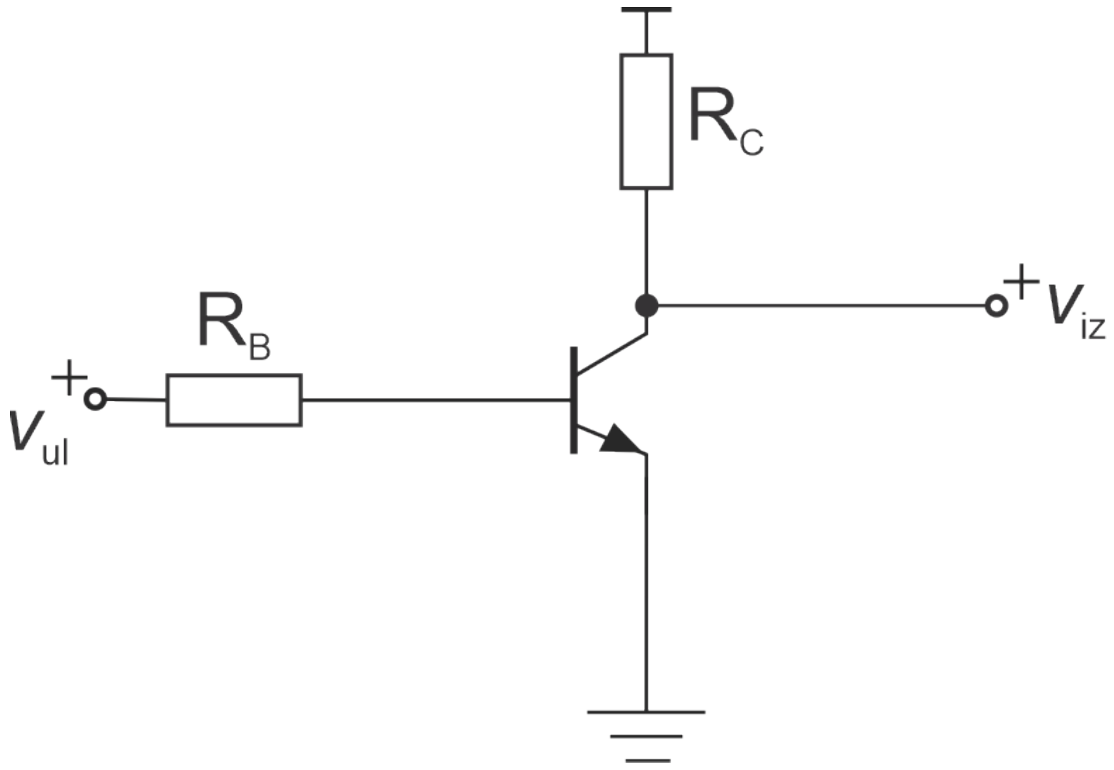
Model MOS tranzistora za visoke frekvencije



Prenosne funkcije pojačavača

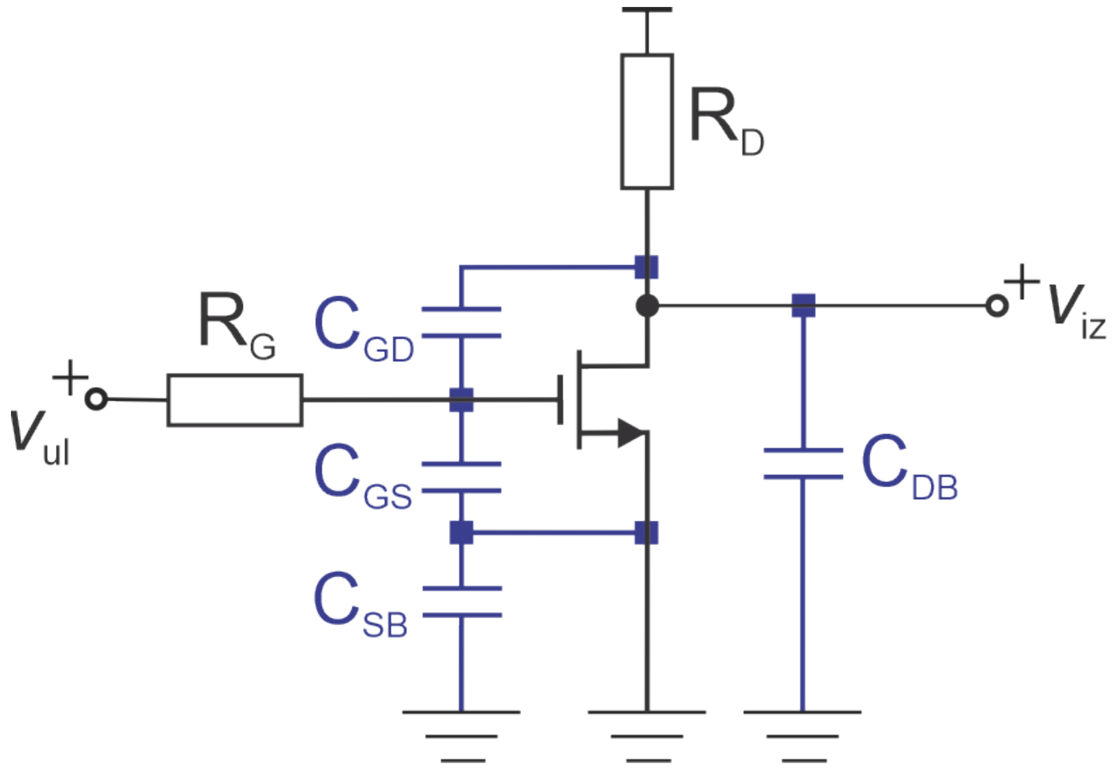
- Pojačavači sa zajedničkim sorsem/emitorom

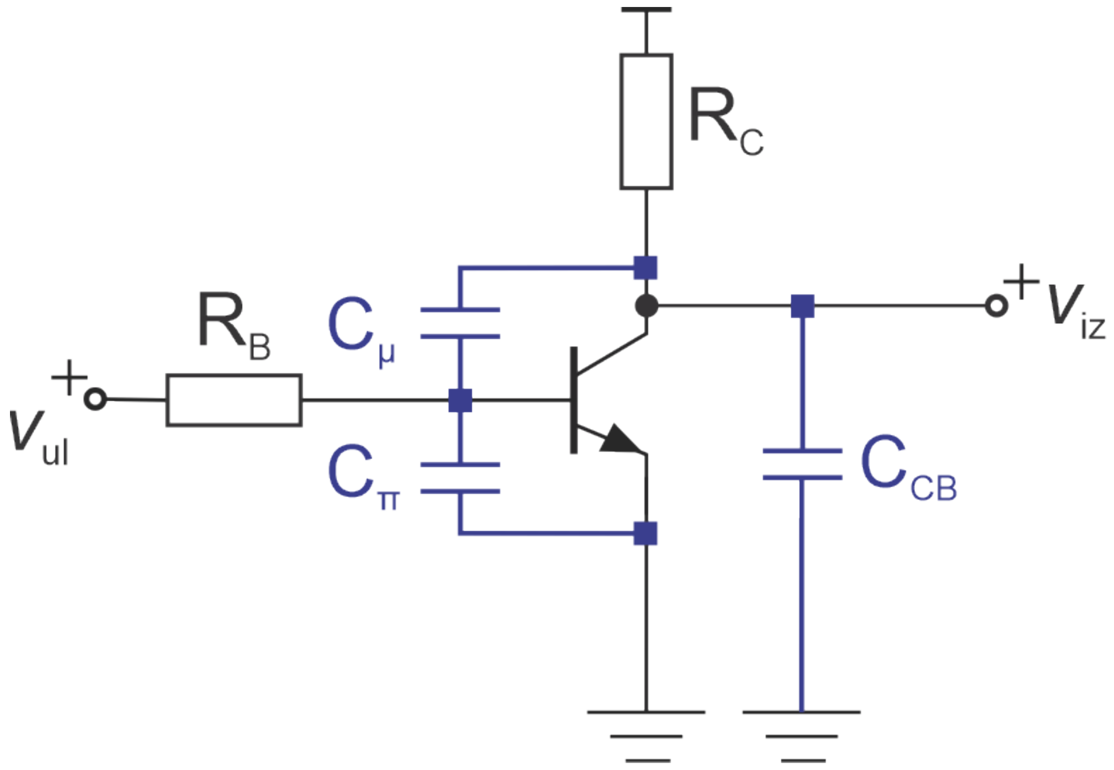




Prenosne funkcije pojačavača

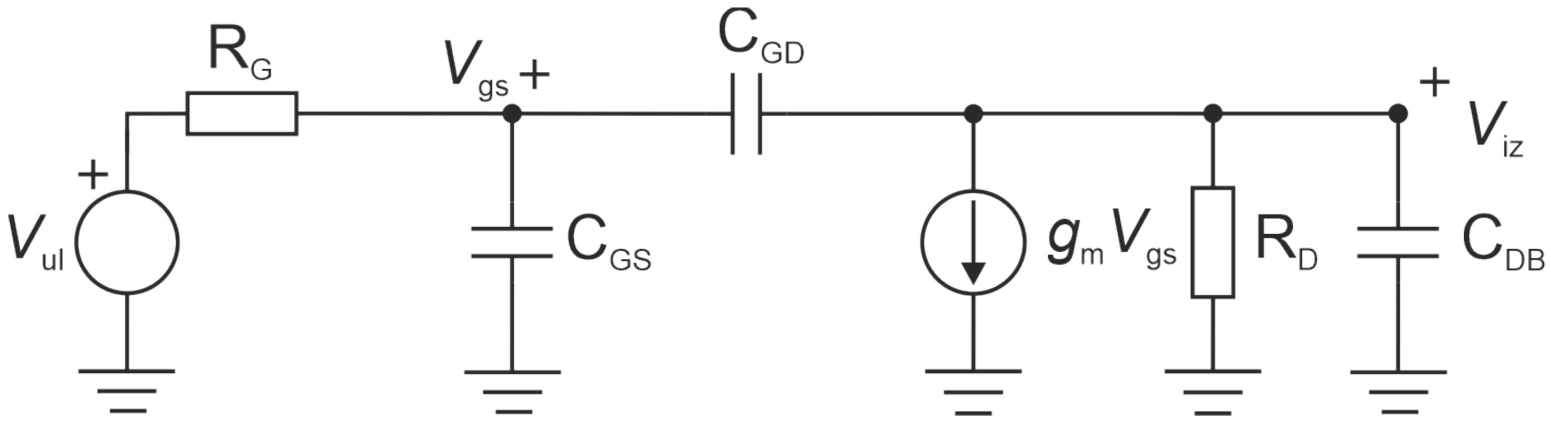
- Pojačavači sa zajedničkim sorsem/emitorom





Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

- Tranzistor zamenjen modelom za visoke frekvencije

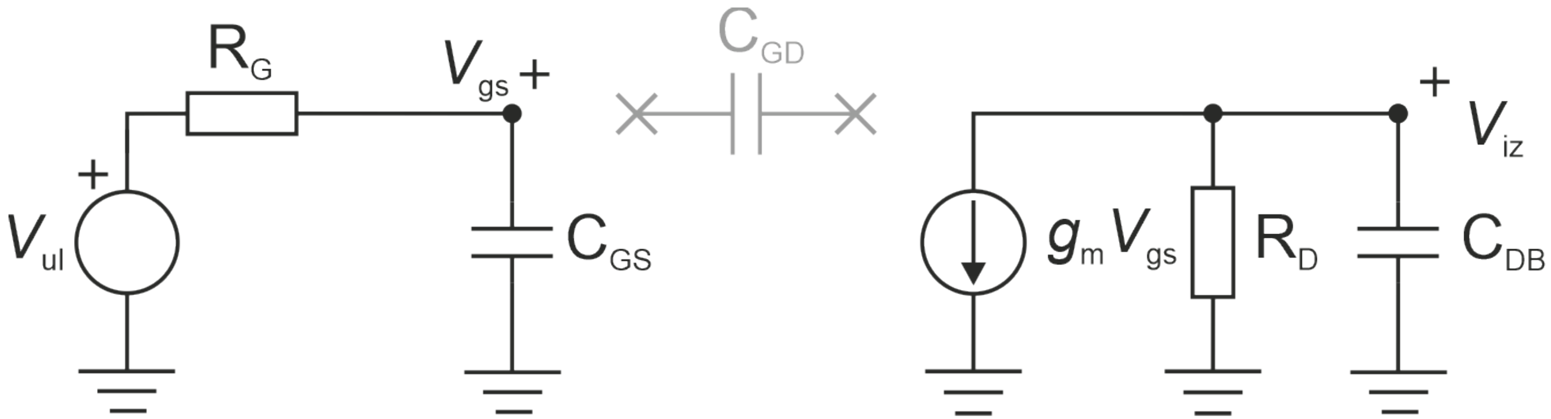


Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

- Primena Milerove teoreme (otkačen C_{GD}, traži se v_{iz}/v_{gs})

$$V_{iz} = -\frac{R_D}{1+sC_{DB}R_D}\cdot g_m V_{gs}$$

$$\frac{V_{iz}}{V_{gs}} = -\frac{R_D g_m}{1+sC_{DB}R_D}$$

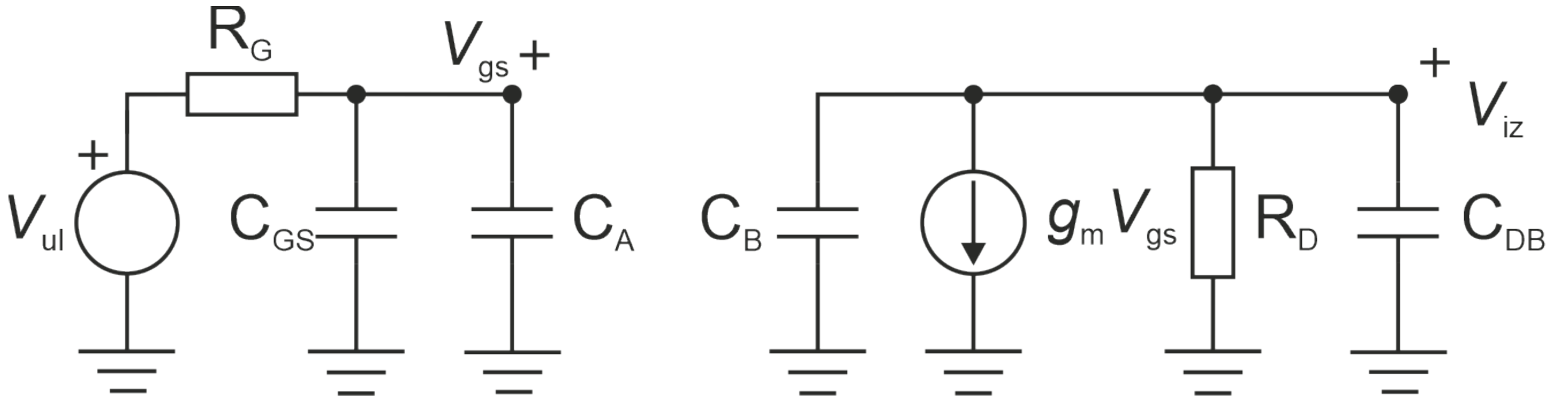


Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

- Milerove kapacitivnosti C_A i C_B:

$$C_{\mathrm{A}} = C_{\mathrm{GD}}\left(1 - V_{\mathrm{iz}}/V_{\mathrm{gs}}\right)$$

$$C_{\mathrm{B}} = C_{\mathrm{GD}}\left(1 - V_{\mathrm{gs}}/V_{\mathrm{iz}}\right)$$

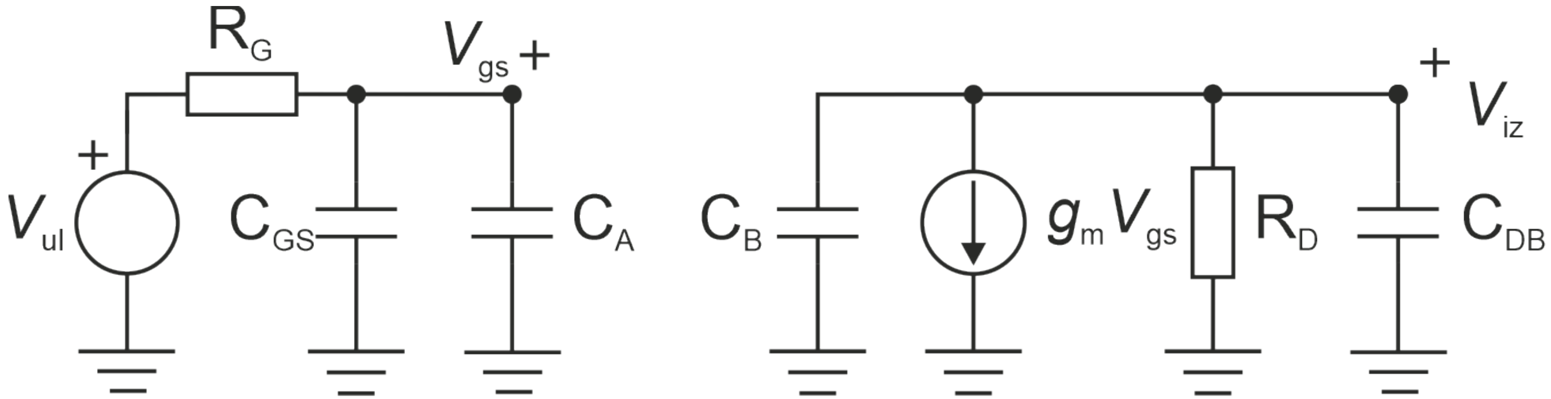


Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

- Milerove kapacitivnosti C_A i C_B:

$$C_{\mathrm{A}} = C_{\mathrm{GD}}\left(1+\frac{g_{\mathrm{m}}R_{\mathrm{D}}}{1+sC_{\mathrm{DB}}R_{\mathrm{D}}}\right)$$

$$C_{\mathrm{B}} = C_{\mathrm{GD}}\left(1+\frac{1}{g_{\mathrm{m}}R_{\mathrm{D}}}+s\frac{C_{\mathrm{DB}}}{g_{\mathrm{m}}}\right)$$

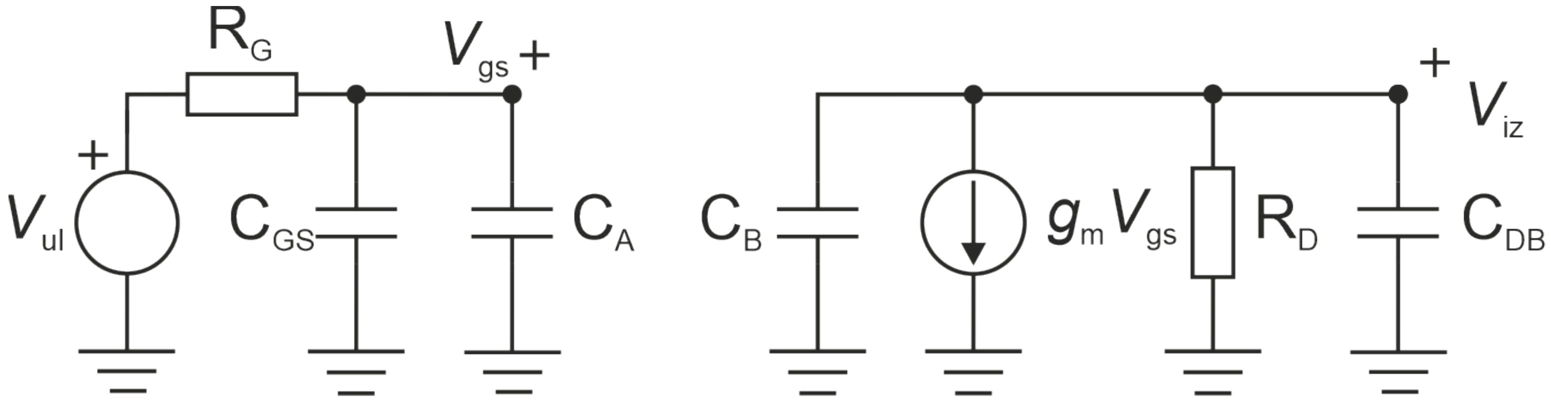


Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

- Aproksimacija ($1/R_D >> sC_{DB}$, $g_m >> sC_{DB}$)

$$C_A \approx C_{GD}\left(1 + g_m R_D\right)$$

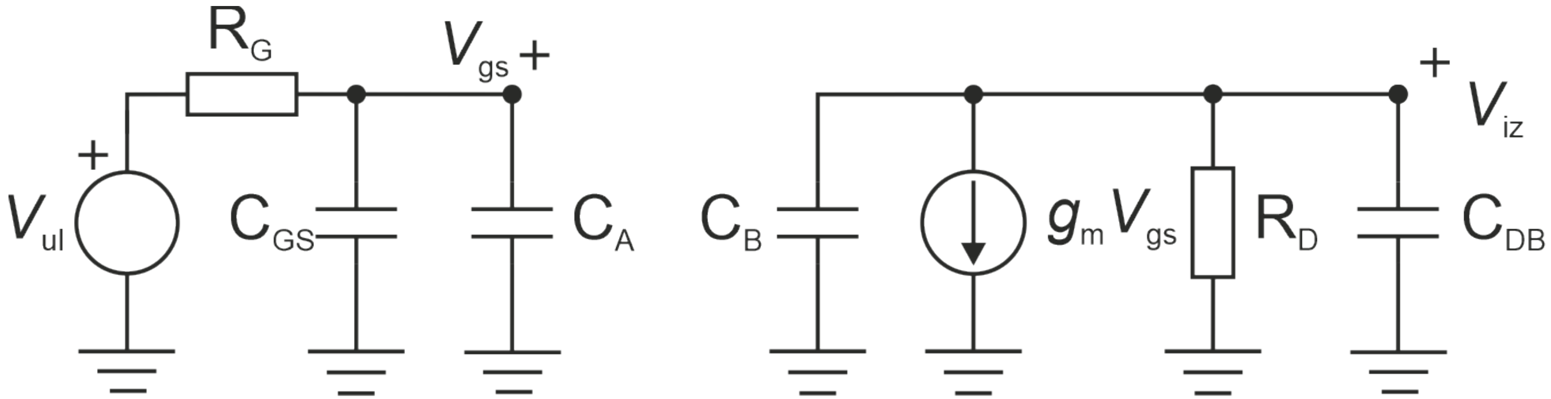
$$C_B \approx C_{GD}\left(1 + 1/g_m R_D\right)$$



Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

$$V_{\mathrm{gs}} = \frac{1}{1 + s\left(C_{\mathrm{A}} + C_{\mathrm{GS}}\right)R_{\mathrm{G}}} V_{\mathrm{ul}}$$

$$V_{\mathrm{iz}} = -\frac{g_{\mathrm{m}} R_{\mathrm{D}}}{1 + s\left(C_{\mathrm{B}} + C_{\mathrm{DB}}\right)R_{\mathrm{D}}} V_{\mathrm{gs}}$$



Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

$$V_{iz} = -\frac{g_m R_D}{\left(1 + s\left(C_B + C_{DB}\right)R_D\right)\left(1 + s\left(C_A + C_{GS}\right)R_G\right)} V_{ul}$$

$$A_0 = -g_m R_D$$

$$\omega_{p1} = -\frac{1}{\left(C_A + C_{GS}\right)R_G} = -\frac{1}{\left(C_{GD}\left(1 + g_m R_D\right) + C_{GS}\right)R_G}$$

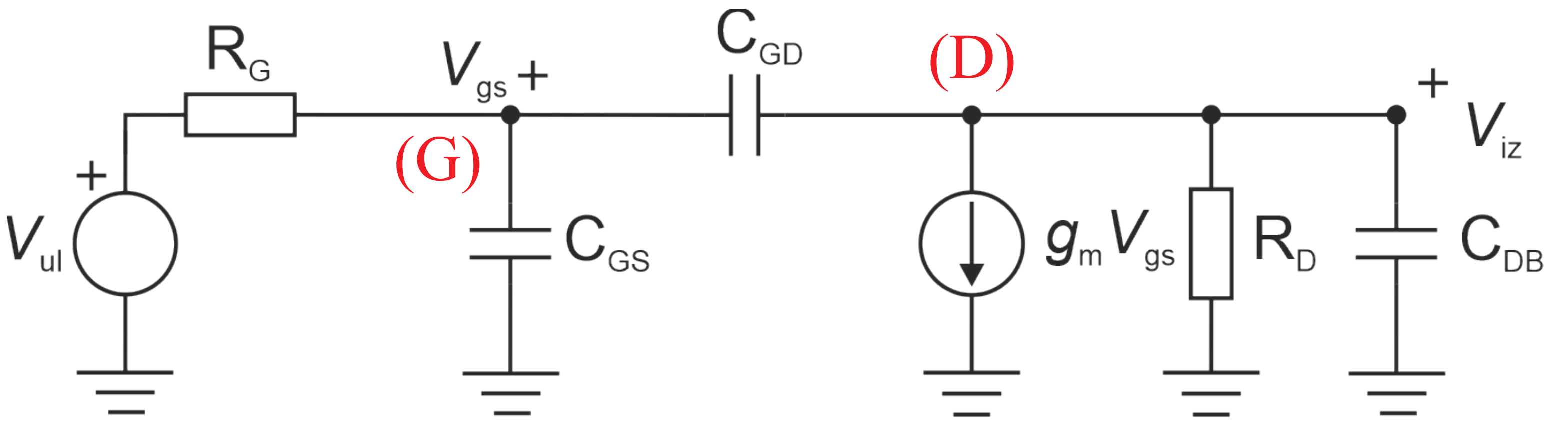
$$\omega_{p2} = -\frac{1}{\left(C_B + C_{DB}\right)R_D} = -\frac{1}{\left(C_{GD}\left(1 + 1/g_m R_D\right) + C_{DB}\right)R_D}$$

Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

- Direktan pristup, metodom potencijala čvorova:

$$\frac{V_{gs} - V_{ul}}{R_G} + sC_{GS} \cdot V_{gs} + sC_{GD}\left(V_{gs} - V_{iz}\right) = 0 \quad \text{(G)}$$

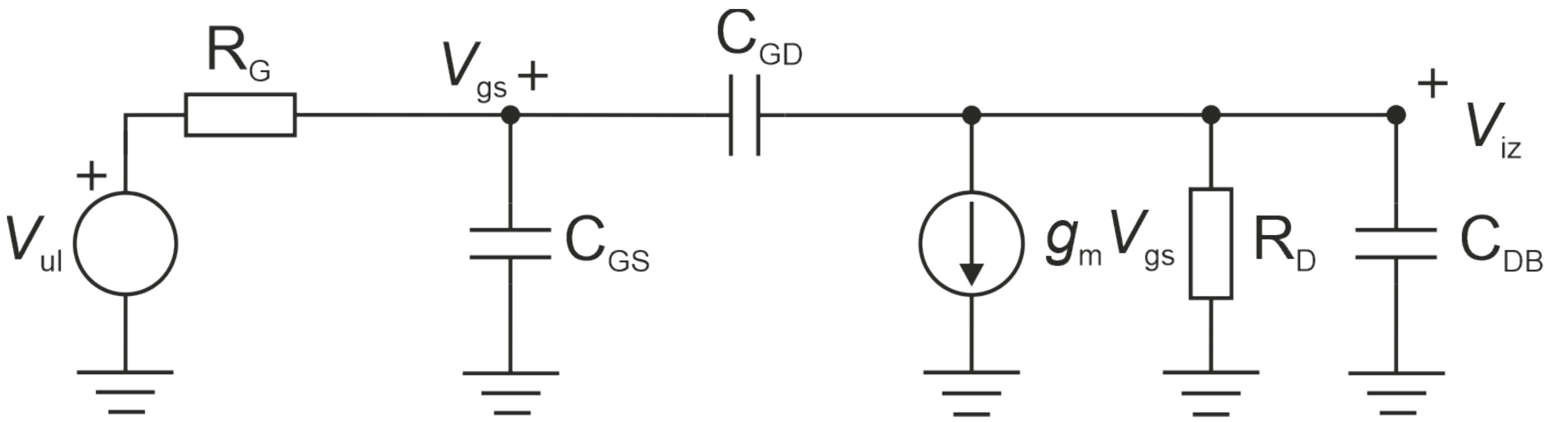
$$V_{iz}\left(sC_{DB} + 1/R_D\right) + g_m V_{gs} + sC_{GD}\left(V_{iz} - V_{gs}\right) = 0 \quad \text{(D)}$$



Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

$$V_{\mathrm{gs}}\left(sC_{\mathrm{GS}}+1/R_{\mathrm{G}}\right)=V_{\mathrm{ul}}/R_{\mathrm{G}}+sC_{\mathrm{GD}}V_{\mathrm{iz}} \quad \text{(G)}$$

$$V_{\mathrm{gs}}=\frac{s\left(C_{\mathrm{DB}}+C_{\mathrm{GD}}\right)+1/R_{\mathrm{D}}}{sC_{\mathrm{GD}}-g_{\mathrm{m}}}V_{\mathrm{iz}} \quad \text{(D)}$$



Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

$$\frac{V_{\mathrm{iz}}}{V_{\mathrm{ul}}} = \frac{-g_{\mathrm{m}} R_{\mathrm{D}} \left(1 - s C_{\mathrm{GD}} R_{\mathrm{D}}\right)}{a \cdot s^2 + b \cdot s + 1}$$

$$A_0 = -g_{\mathrm{m}} R_{\mathrm{D}}$$

$$a = \left(\left(C_{\mathrm{DB}} + C_{\mathrm{GD}}\right) C_{\mathrm{GS}} - C_{\mathrm{GD}}^2\right) R_{\mathrm{G}} R_{\mathrm{D}}$$

$$\omega_{\mathrm{z1}} = \frac{1}{C_{\mathrm{GD}} R_{\mathrm{D}}}$$

$$b = C_{\mathrm{GS}} R_{\mathrm{G}} + \left(C_{\mathrm{DB}} + C_{\mathrm{GD}}\right) R_{\mathrm{D}} + C_{\mathrm{GD}} R_{\mathrm{G}} R_{\mathrm{D}} g_{\mathrm{m}}$$

$$\omega_{\mathrm{p1}}, \omega_{\mathrm{p2}}$$

Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

- Dominantni pol ($\omega_{p2} >> \omega_{p1}$) – aproksimacija

$$\left(1+\frac{s}{\omega_{p1}}\right)\left(1+\frac{s}{\omega_{p2}}\right)=\frac{s^2}{\omega_{p1}\cdot\omega_{p2}}+s\left(\frac{1}{\omega_{p1}}+\frac{1}{\omega_{p2}}\right)+1$$

$$a=\frac{1}{\omega_{p1}\cdot\omega_{p2}} \qquad b=\frac{1}{\omega_{p1}}+\frac{1}{\omega_{p2}}\simeq\frac{1}{\omega_{p1}}$$

$$\omega_{p1}=\frac{1}{b} \qquad \omega_{p2}=\frac{b}{a}$$

Prenosne funkcije pojačavača (zajednički sors)

- Dominantni pol ($\omega_{p2} >> \omega_{p1}$) – aproksimacija

$$\omega_{\mathrm{p1}} = \frac{1}{C_{\mathrm{GS}} R_{\mathrm{G}} + \left(C_{\mathrm{DB}} + C_{\mathrm{GD}}\right) R_{\mathrm{D}} + C_{\mathrm{GD}} R_{\mathrm{G}} R_{\mathrm{D}} g_{\mathrm{m}}}$$

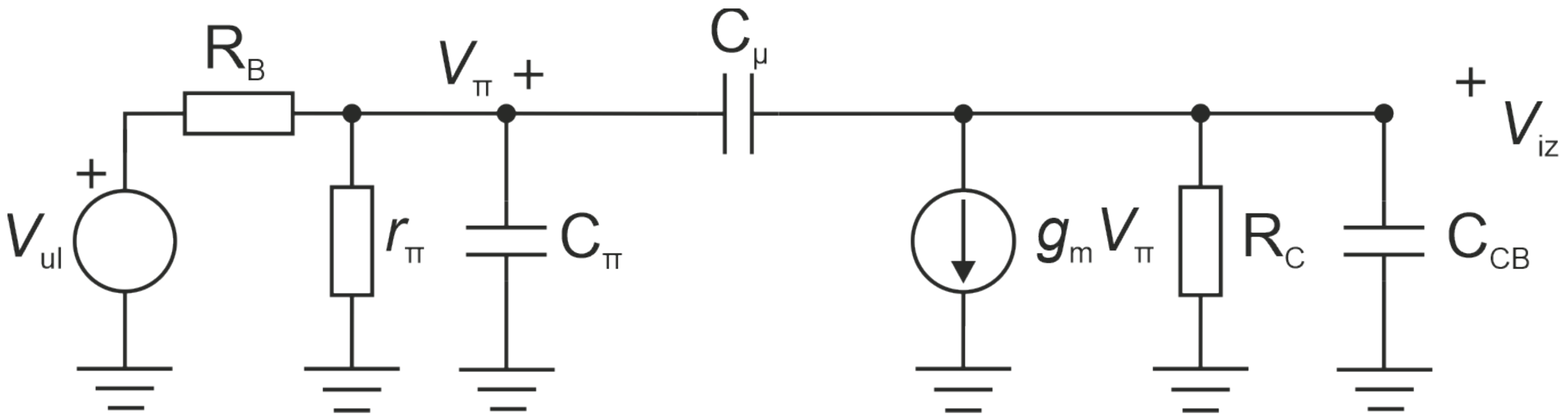
$$\omega_{\mathrm{p2}} = \frac{C_{\mathrm{GS}} R_{\mathrm{G}} + \left(C_{\mathrm{DB}} + C_{\mathrm{GD}}\right) R_{\mathrm{D}} + C_{\mathrm{GD}} R_{\mathrm{G}} R_{\mathrm{D}} g_{\mathrm{m}}}{\left(\left(C_{\mathrm{DB}} + C_{\mathrm{GD}}\right) C_{\mathrm{GS}} - C_{\mathrm{GD}}^{2}\right) R_{\mathrm{G}} R_{\mathrm{D}}}$$

Prenosne funkcije pojačavača (zajednički emitor)

- Razdelnik napona R_B i r_π se može zameniti ekvivalentnim Tevenenovim generatorom

$$V_T = \frac{r_\pi}{r_\pi + R_B} V_{ul}$$

$$R_T = \frac{r_\pi R_B}{r_\pi + R_B}$$



Prenosne funkcije pojačavača (zajednički emitor)

- Topologija kola je identična kao u slučaju pojačavača sa zajedničkim sorsom

$$C_{GS} \rightarrow C_{\pi}$$

$$C_{GD} \rightarrow C_{\mu}$$

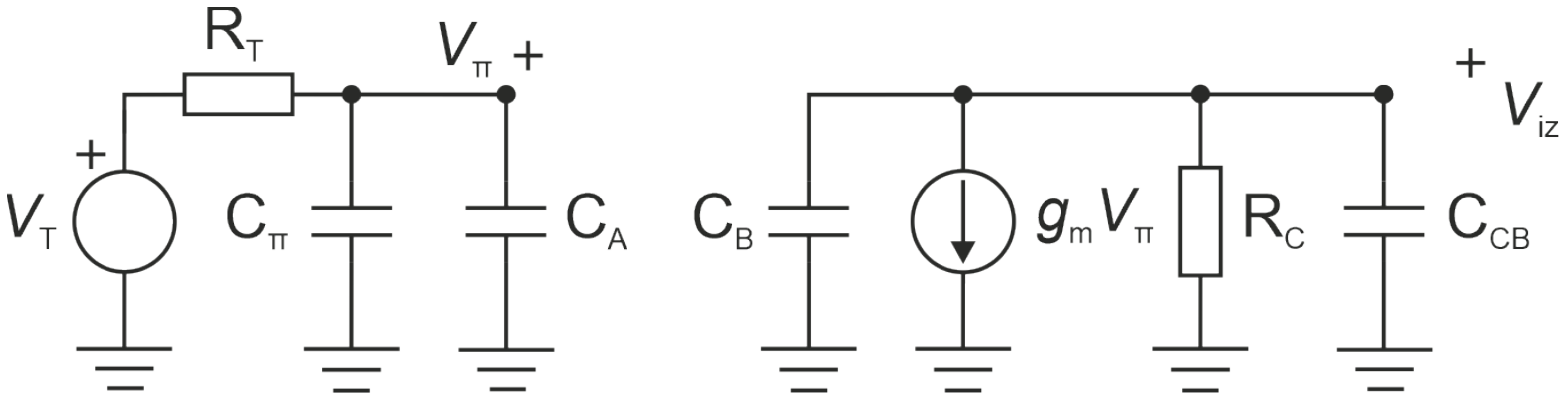
$$C_{DB} \rightarrow C_{CB}$$

$$R_{G} \rightarrow R_{T}$$

$$R_{D} \rightarrow R_{C}$$

$$V_{ul} \rightarrow V_{T}$$

$$V_{gs} \rightarrow V_{\pi}$$

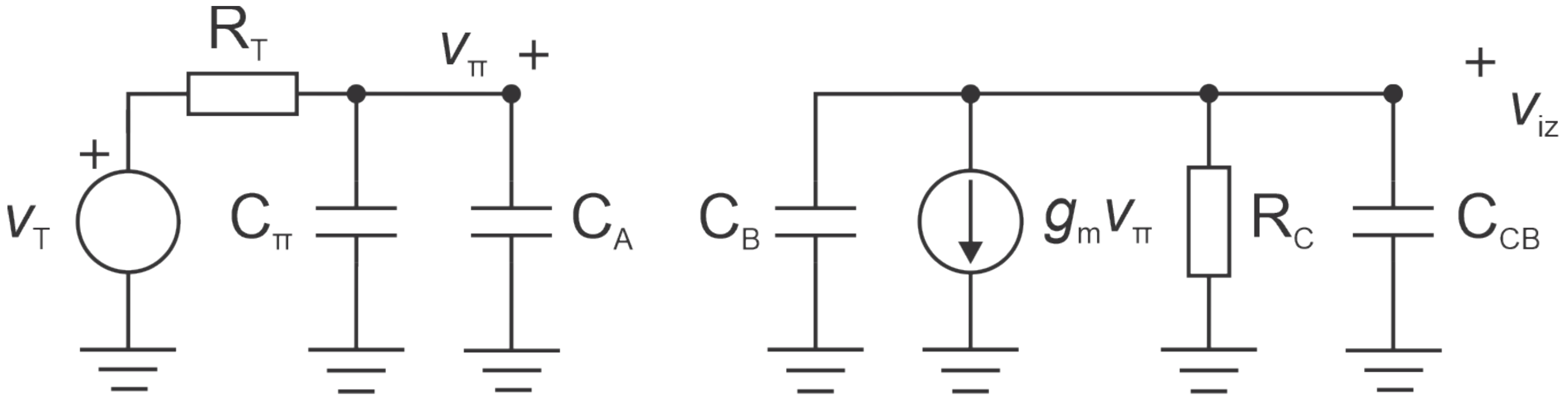


Prenosne funkcije pojačavača (zajednički emitor)

- Milerova teorema – aproksimacija ($1/R_C >> sC_{CB}$, $g_m >> sC_{CB}$)

$$C_A \approx C_\mu \left(1 + g_m R_C\right)$$

$$C_B \approx C_\mu \left(1 + 1/g_m R_C\right)$$



Prenosne funkcije pojačavača (zajednički emitor)

$$V_{\mathrm{iz}} = -\frac{g_{\mathrm{m}} R_{\mathrm{C}}}{\left(1+s\left(C_{\mathrm{B}}+C_{\mathrm{CB}}\right)R_{\mathrm{C}}\right)\left(1+s\left(C_{\mathrm{A}}+C_{\pi}\right)R_{\mathrm{T}}\right)} V_{\mathrm{ul}}$$

$$A_0 = -g_{\mathrm{m}} R_{\mathrm{C}}$$

$$\omega_{\mathrm{p1}} = -\frac{1}{\left(C_{\mathrm{A}}+C_{\pi}\right)R_{\mathrm{T}}} = -\frac{1}{\left(C_{\mu}\left(1+g_{\mathrm{m}}R_{\mathrm{C}}\right)+C_{\pi}\right)R_{\mathrm{T}}}$$

$$\omega_{\mathrm{p2}} = -\frac{1}{\left(C_{\mathrm{B}}+C_{\mathrm{CB}}\right)R_{\mathrm{C}}} = -\frac{1}{\left(C_{\mu}\left(1+1/g_{\mathrm{m}}R_{\mathrm{C}}\right)+C_{\mathrm{CB}}\right)R_{\mathrm{C}}}$$

Prenosne funkcije pojačavača (zajednički emitor)

$$\frac{V_{iz}}{V_{ul}} = \frac{-g_m R_C \left(1 - sC_\mu R_C\right)}{a \cdot s^2 + b \cdot s + 1}$$

$$A_0 = -g_m R_C$$

$$a = \left(\left(C_{CB} + C_\mu\right) C_\pi - C_\mu^2\right) R_T R_C$$

$$\omega_{z1} = \frac{1}{C_\mu R_C}$$

$$b = C_\pi R_T + \left(C_{CB} + C_\mu\right) R_C + C_\mu R_T R_C g_m$$

Prenosne funkcije pojačavača (zajednički emitor)

- Dominantni pol ($\omega_{p2} >> \omega_{p1}$) – aproksimacija

$$\omega_{\mathrm{p1}} = \frac{1}{C_{\pi} R_{\mathrm{T}} + \left(C_{\mathrm{CB}} + C_{\mu}\right) R_{\mathrm{C}} + C_{\mu} R_{\mathrm{T}} R_{\mathrm{C}} g_{\mathrm{m}}}$$

$$\omega_{\mathrm{p2}} = \frac{C_{\pi} R_{\mathrm{T}} + \left(C_{\mathrm{CB}} + C_{\mu}\right) R_{\mathrm{C}} + C_{\mu} R_{\mathrm{T}} R_{\mathrm{C}} g_{\mathrm{m}}}{\left(\left(C_{\mathrm{CB}} + C_{\mu}\right) C_{\pi} - C_{\mu}^{2}\right) R_{\mathrm{T}} R_{\mathrm{C}}}$$