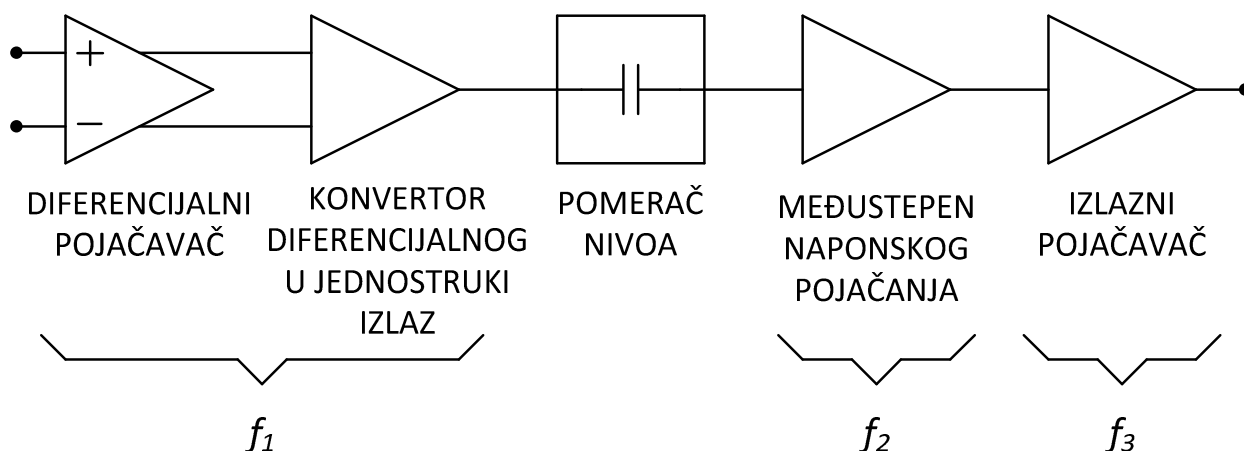
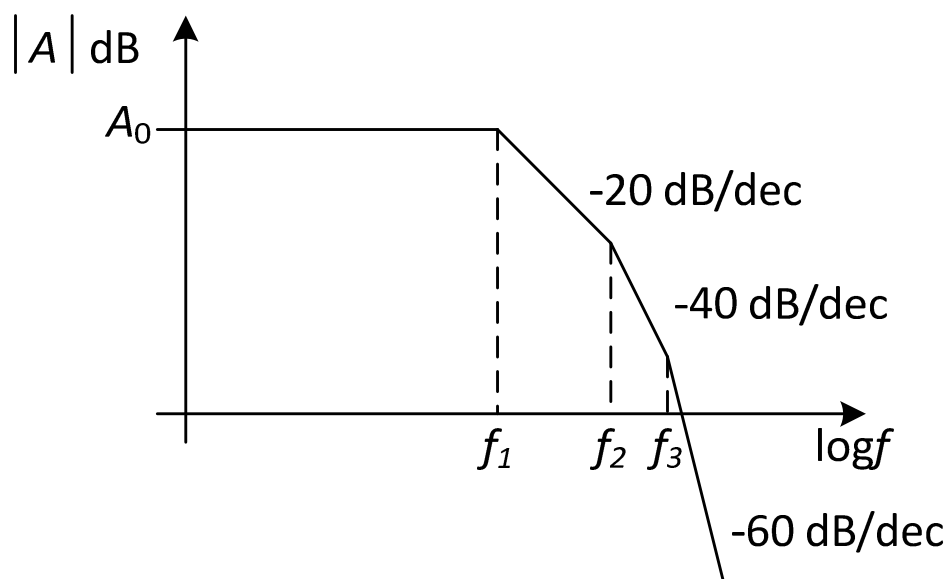


# OPERACIONI POJAČAVAČ NA VISOKIM UČESTANOSTIMA

Pojednostavljena blok šema integrisanog operacionog pojačavača je:



gde su  $f_1$ ,  $f_2$  i  $f_3$  polovi koje zasebno unose pojačavački stepeni, tako da sumarna amplitudna karakteristika ima 3 pola.



Prilikom izbora određenog operacionog pojačavača za rad na visokim učestanostima treba voditi računa o nekoliko važnih parametara, kao što su:

- smanjenje negativne povratne sprege na visokim učestanostima
- promena ulazne impedanse na visokim učestanostima
- promena izlazne impedanse na visokim učestanostima
- smanjenje faktora potiskivanja signala srednje vrednosti  $\rho$  (CMRR).

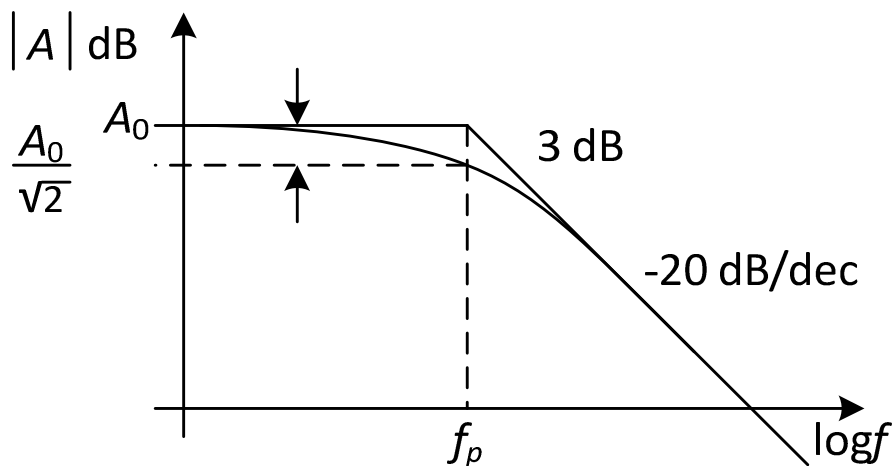
Frekventna karakteristika naponskog pojačanja operacionog pojačavača interno kompenzovanog dominantnim polom je:

$$A(jf) = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_p}}$$

gde je:

$A_0$  = naponsko pojačanje u otvorenoj sprezi

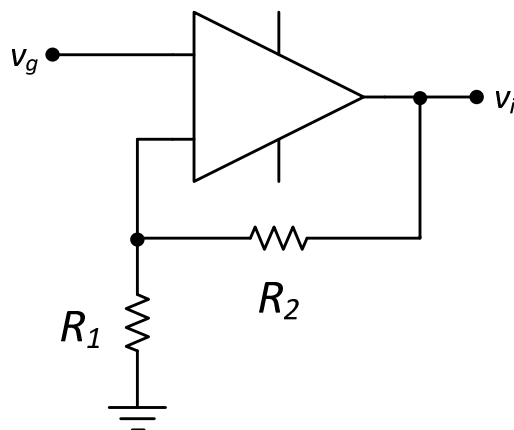
$f_p$  = učestanost pola.



Operacioni pojačavači mogu biti i eksterno kompenzovani sa složenijim metodama kompenzacije kao što su: dvopolna kompenzacija, feed forward kompenzacija, kompenzacija razdvajanjem polova, itd. što sve nije tema ovog kursa.

### SMANJENJE NEGATIVNE POVRATNE SPREGE NA VISOKIM UČESTANOSTIMA

Frekventna karakteristika naponskog pojačanja  $A_r(jf)$  operacionog pojačavača interno kompenzovanog dominantnim polom u kolu neinvertujućeg pojačavača sa negativnom povratnom spregom pokazuje da se na visokim učestanostima naponsko pojačanje smanjuje.



$$A(jf) = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_p}}$$

$$A_r(jf) = \frac{A(jf)}{1 - \beta A(jf)}$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

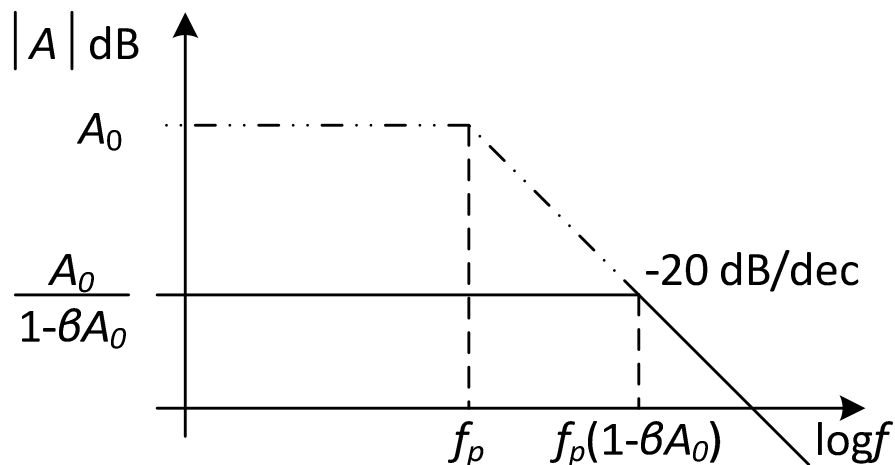
$$A_r(jf) = \frac{\frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_p}}}{1 - \beta \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_p}}} = \frac{A_0}{1 - \beta A_0 + j \frac{f}{f_p}} = \frac{\frac{A_0}{1 - \beta A_0}}{1 + j \frac{f}{f_p(1 - \beta A_0)}}$$

$$A_r(jf) = \frac{A_{ro}}{1 + j \frac{f}{f_{pr}}}$$

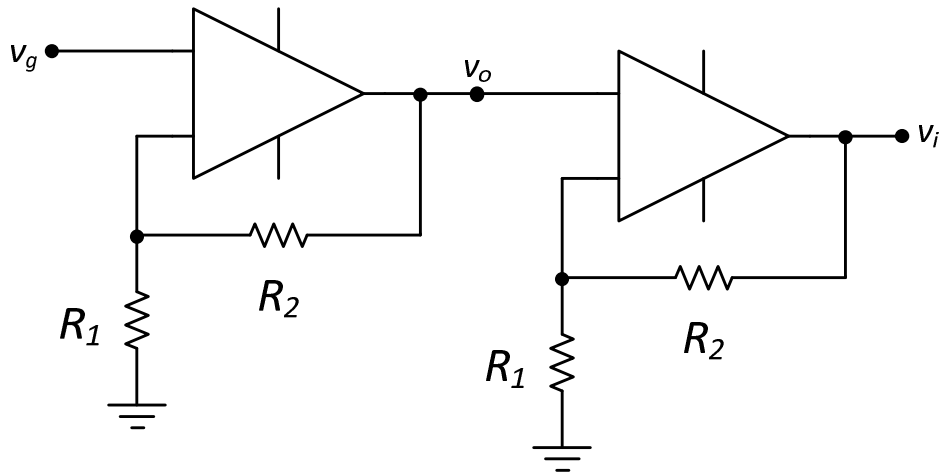
$$A_{ro} = \frac{A_0}{1 - \beta A_0}$$

$$f_{pr} = f_p(1 - \beta A_0)$$

$$A_{ro} f_{pr} = A_0 f_p$$



Međutim, očigledno je da se povećanjem pojačanja sa reakcijom  $A_{ro}$ , istovremeno smanjuje propusni opseg  $f_{pr}$ , tako da ako je potrebno da se postigne veći propusni opseg uz veće pojačanje, bolje je kaskadirati dva ovakva operaciona pojačavača.



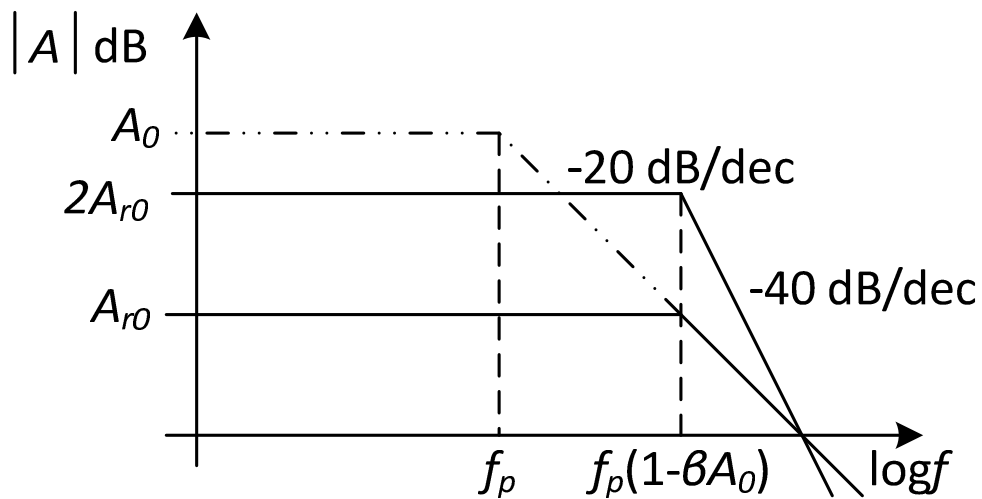
$$A_{r12}(jf) = \frac{A_{ro1}}{1 + j \frac{f}{f_{pr1}}} \cdot \frac{A_{ro2}}{1 + j \frac{f}{f_{pr2}}}$$

$$A_{ro1} = A_{ro2}$$

$$f_{pr1} = f_{pr2}$$

$$A_{r12}(jf) = \frac{A_{ro}}{1 + j \frac{f}{f_{pr}}} \cdot \frac{A_{ro}}{1 + j \frac{f}{f_{pr}}}$$

$$20 \log |A_{r12}(jf)| = 20 \log \left| \frac{A_{ro}}{1 + j \frac{f}{f_{pr}}} \right| + 20 \log \left| \frac{A_{ro}}{1 + j \frac{f}{f_{pr}}} \right| = 2 \cdot 20 \log \left| \frac{A_{ro}}{1 + j \frac{f}{f_{pr}}} \right|$$

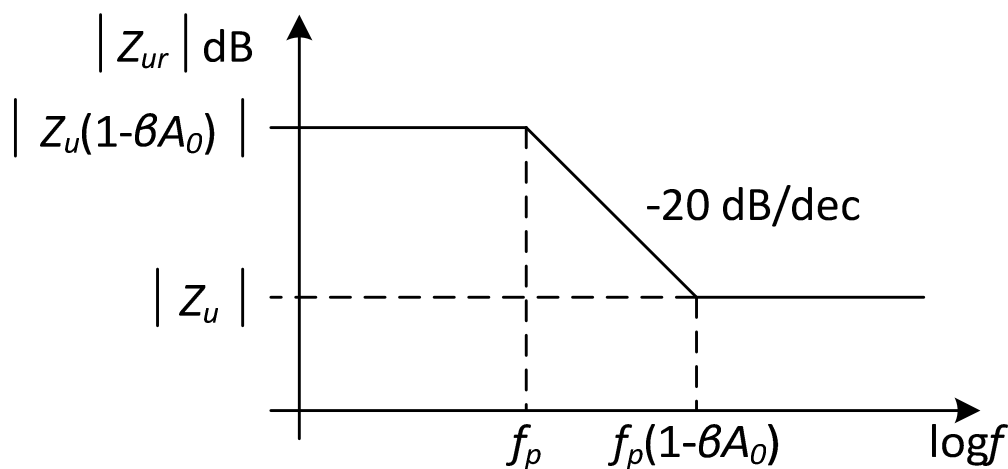


## PROMENA ULAZNE IMPEDANSE NA VISOKIM UČESTANOSTIMA

Frekventna karakteristika ulazne impedanse  $Z_u(jf)$  operacionog pojačavača interno kompenzovanog dominantnim polom u kolu neinvertujućeg pojačavača sa negativnom povratnom spregom pokazuje da se na visokim učestanostima ulazna impedansa smanjuje.

$$Z_{ur}(jf) = Z_u(jf) \cdot (1 - \beta A(jf)) = Z_u(jf) \cdot \left( 1 - \beta \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_p}} \right) = Z_u(jf) \cdot \frac{1 - \beta A_0 + j \frac{f}{f_p}}{1 + j \frac{f}{f_p}}$$

$$Z_{ur}(jf) = Z_u(jf) \cdot (1 - \beta A_0) \cdot \frac{1 + j \frac{f}{f_p(1 - \beta A_0)}}{1 + j \frac{f}{f_p}}$$

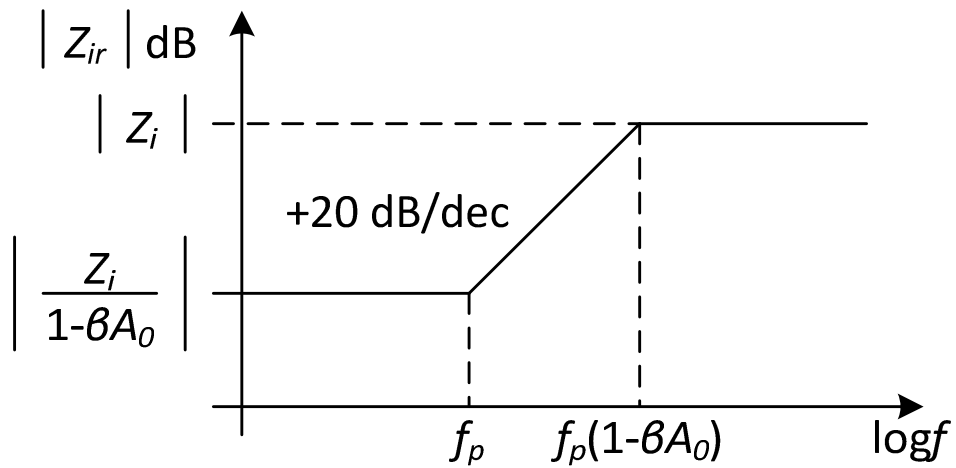


## PROMENA IZLAZNE IMPEDANSE NA VISOKIM UČESTANOSTIMA

Frekventna karakteristika izlazne impedanse  $Z_i(jf)$  operacionog pojačavača interno kompenzovanog dominantnim polom u kolu neinvertujućeg pojačavača sa negativnom povratnom spregom pokazuje da se na visokim učestanostima izlazna impedansa povećava.

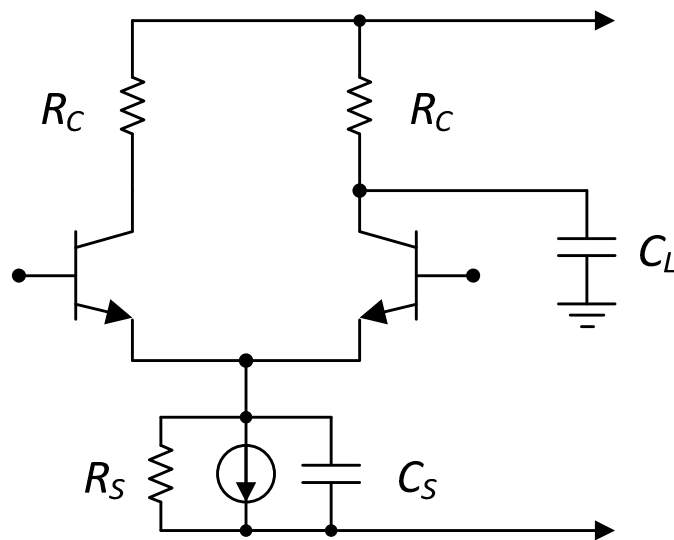
$$Z_{ir}(jf) = \frac{Z_i(jf)}{1 - \beta A(jf)} = \frac{Z_i(jf)}{1 - \beta \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_p}}} = \frac{Z_i(jf)}{\frac{1 - \beta A_0 + j \frac{f}{f_p}}{1 + j \frac{f}{f_p}}} = Z_i(jf) \frac{1 + j \frac{f}{f_p}}{1 - \beta A_0 + j \frac{f}{f_p}}$$

$$Z_{ir}(jf) = \frac{Z_i(jf)}{1 - \beta A_0} \cdot \frac{1 + j \frac{f}{f_p}}{1 + j \frac{f}{f_p(1 - \beta A_0)}}$$



**SMANJENJE FAKTORA POTISKIVANJA SIGNALA SREDNJE VREDNOSTI  
NA VISOKIM UČESTANOSTIMA**

Ulazni stepen operacionog pojačavača se može predstaviti pomoću diferencijalnog pojačavača.



Diferencijalno pojačanje je:

$$A_d(jf) = \frac{A_d(0)}{1 + j \frac{f}{f_p}}$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi R_C C_L}$$

$$R_C \ll r_{ce}$$

Pojačanje signala srednje vrednosti je:

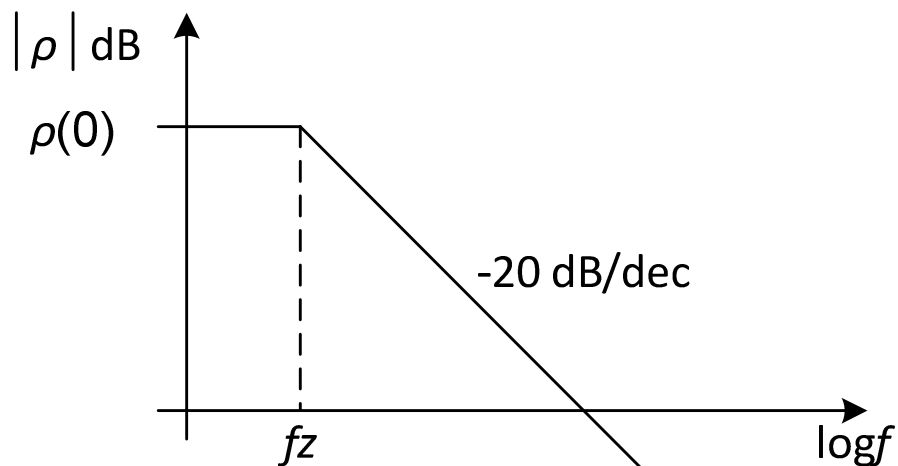
$$A_s(jf) = \frac{A_s(0)}{1 + j\frac{f}{f_p}} \cdot \left(1 + j\frac{f}{f_z}\right)$$

$$f_z = \frac{1}{2\pi R_s C_s}$$

Faktor potiskivanja signala srednje vrednosti je:

$$\rho(jf) = CMRR(jf) = \frac{A_d(jf)}{A_s(jf)} = \frac{\frac{A_d(0)}{1 + j\frac{f}{f_p}}}{\frac{A_s(0)}{1 + j\frac{f}{f_p}} \cdot \left(1 + j\frac{f}{f_z}\right)} = \frac{A_d(0)}{A_s(0)} \cdot \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_z}}$$

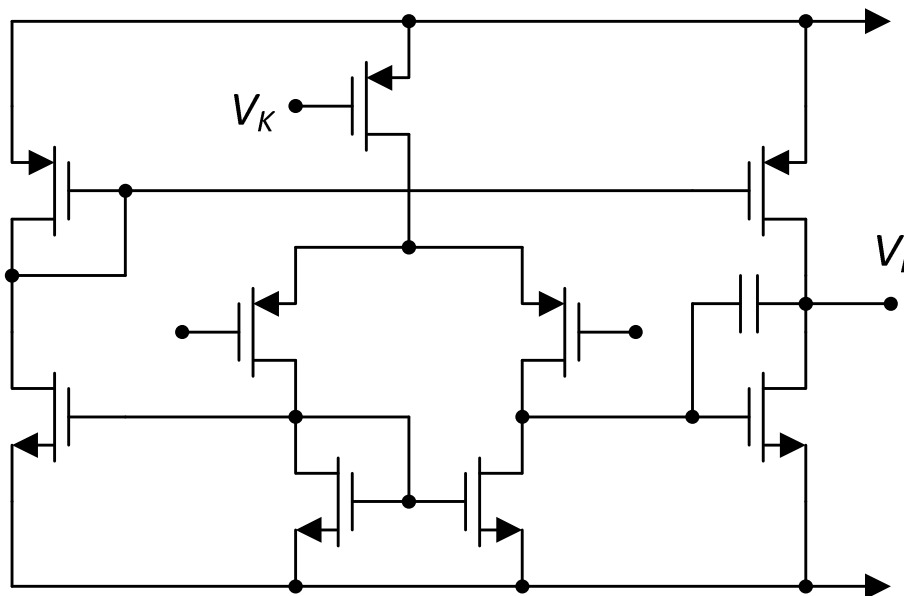
$$\rho(jf) = \frac{\rho(0)}{1 + j\frac{f}{f_z}}$$



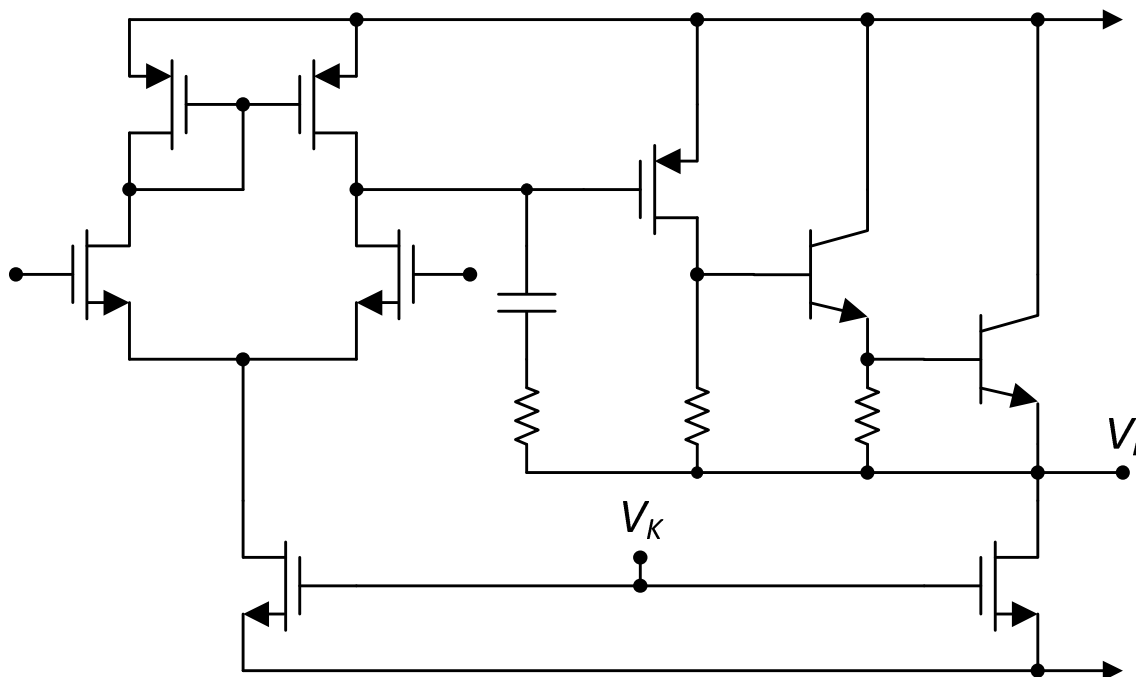
## PRIMERI IZVOĐENJA OPERACIONIH POJAČAVAČA

Primeri operacionih pojačavača interno kompenzovanih dominantnim polom namenjenih za rad na visokim učestanostima su:

1. Push-pull operacioni pojačavač:



2. Operacioni pojačavač sa niskoimpedansnim izlazom zbog Darlingtonovog para:





3. Operacioni pojačavač sa malom potrošnjom:

