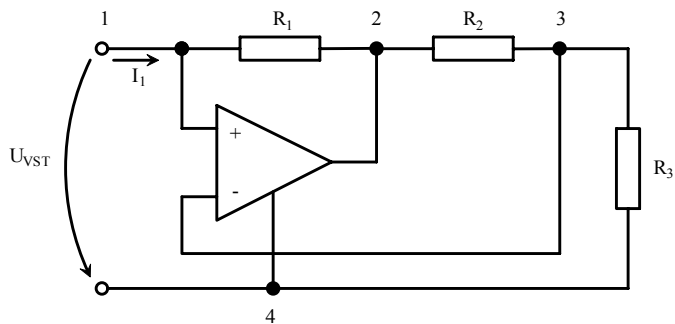


5. Ideálne operačné zosilňovače

Ideálny OZ, má tieto vlastnosti:

- a/ Nekonečné zosilnenie v celom frekvenčnom pásme $A = \infty$.
- b/ Nekonečnú vstupnú impedanciu $R_{vst} = \infty$.
- c/ Nulový výstupný odpor $R_{výst} = 0$.
- d/ Nulové napätie pri skrate obidvoch vstupov na zem (stred napájacieho napätia).
- e/ Rozdiel napätí obidvoch vstupov je nulový ($U_D = U_+ - U_- = 0$).
- f/ Statická prevodová charakteristika $U_3 = f(U_1)$ je priamka (U_1 je vstupné napätie a U_3 je výstupné napätie).
- g/ Fázový posuv výstupného napätia voči vstupnému je 0 alebo π v celom prenášanom pásme.
- h/ Parametre OZ nie sú závislé na zmenách napájacieho napätia a teploty.

Bežne vyrábané OZ majú vstupný odpor $50\text{k}\Omega$ - $2\text{M}\Omega$, výstupný odpor 50 - 150Ω a zosilnenie od 10^4 do 10^8 .



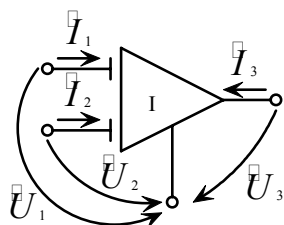
Obr. 5.1.1

Vypočítajte vstupnú impedanciu obvodu na obr. 5.1.1. $Z_{VST} = ?$

1. Výpočet pomocou zdroja prúdu, ktorý je riadený diferenčným napätím, ktorý nahradíme ideálnym operačným zosilňovačom a výpočet prevedieme cez limitu s parametrom $s \rightarrow \infty$
2. Využitím princípu virtuálnej nuly
3. Transformácia úplnej admitančnej matice

6.1.1. Výpočet pomocou zdroja prúdu, riadený diferenčným napätím:

$$Y = \begin{matrix} \tilde{1} \\ \tilde{3} \\ \tilde{2} \end{matrix} \begin{pmatrix} G_1 & -G_1 & 0 \\ -G_1 + S & G_1 + G_2 & -G_2 - S \\ 0 & -G_2 & G_2 + G_3 \end{pmatrix}$$



$$\bar{I}_1 = 0$$

$$\bar{I}_2 = 0$$

$$\bar{I}_3 = S(\bar{U}_1 - \bar{U}_2)$$

$$\bar{U}_1 = U_1$$

$$\bar{U}_2 = U_3$$

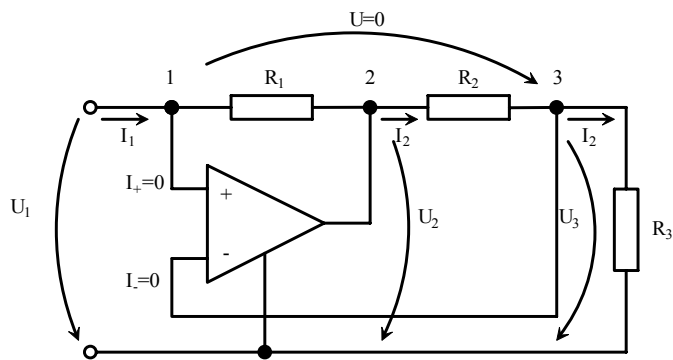
$$\bar{U}_3 = U_2$$

$$\bar{Y} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ S & -S & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
Z_{VST} &= \frac{U_1}{I_1} = \lim_{S \rightarrow \infty} \frac{\frac{1}{\square} \square_{1:1} I_1}{I_1} = \lim_{S \rightarrow \infty} \frac{\square_{1:1}}{\square} = \\
\square_{1:1} &= (-1)^2 \left[(G_1 + G_2)(G_2 + G_3) + G_2(-G_2 - S) \right] = \\
&= S \left[\frac{(G_1 + G_2)(G_2 + G_3)}{S} + G_2 \left(-\frac{G_2}{S} - 1 \right) \right] \\
\Delta &= G_1 \left[(G_1 + G_2)(G_2 + G_3) + G_2(-G_2 - S) \right] - G_1(-1)^3 \left[(-G_1 + S)(G_2 + G_3) \right] \\
\square &= S \left\{ G_1 \left[\frac{(G_1 + G_2)(G_2 + G_3)}{S} + G_2 \left(-\frac{G_2}{S} - 1 \right) \right] + G_1 \left[\left(-\frac{G_1}{S} + 1 \right) (G_2 + G_3) \right] \right\} \\
&\lim_{S \rightarrow \infty} \frac{\frac{(G_1 + G_2)(G_2 + G_3)}{S} + G_2 \left(-\frac{G_2}{S} - 1 \right)}{G_1 \left[\frac{(G_1 + G_2)(G_2 + G_3)}{S} + G_2 \left(-\frac{G_2}{S} - 1 \right) + G_1 \left[\left(-\frac{G_1}{S} + 1 \right) (G_2 + G_3) \right] \right]} \\
Z_{VST} &= \frac{-G_2}{-G_2 G_1 + G_1(G_2 + G_3)} = \frac{-G_2}{G_1 G_3} = -\frac{R_1 R_3}{R_2}
\end{aligned}$$

6.1.2. Využitie princípu virtuálnej nuly:

V tejto metóde sa využije to, že prúdy I+ a I- v ideálnom operačnom zosilňovači sú nulové a napätie medzi týmito svorkami je taktiež nulové. V schéme si označíme tečúce prúdy a napätia ako na obr. 5.1.2 a napíšeme sústavu rovníc.



Obr.5.1.2

Riešenie:

$$U_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$$

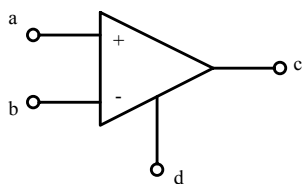
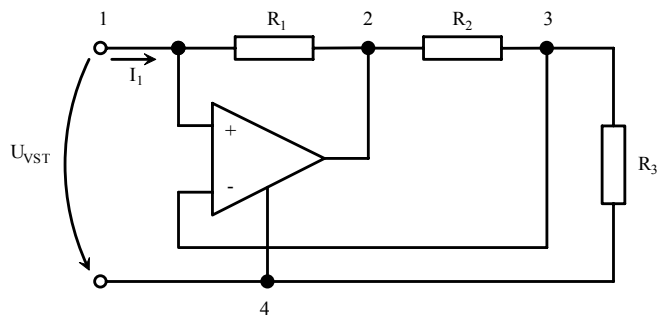
$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = 0 \Rightarrow I_2 = -\frac{I_1 R_1}{R_2}$$

$$U_1 = I_1 R_1 - \frac{I_1 R_1}{R_2} (R_2 + R_3) = I_1 \left[R_1 - \frac{R_1}{R_2} (R_2 + R_3) \right]$$

$$U_1 = I_1 \left[R_1 - R_1 - \frac{R_1 R_3}{R_2} \right] = I_1 \left(-\frac{R_1 R_3}{R_2} \right)$$

$$\frac{U_1}{I_1} = -\frac{R_1 R_3}{R_2}$$

6.1.3. Transformácia úplnej admitančnej matice:



$$Y^* \rightarrow Y_{c:a}^{[c>d;a>b]}$$

$$Y_{1:4}^* = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & & 2 & & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} -G_1 & G_1+G_2 & -G_2 \\ 0 & -G_2 & G_2+G_3 \\ 0 & 0 & -G_3 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

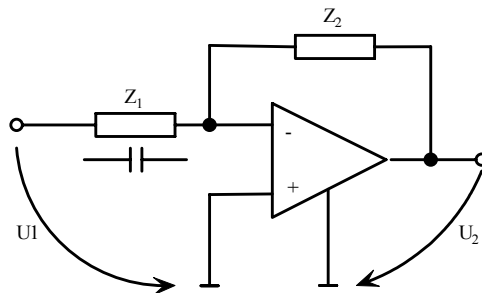
$$Y_{1:4}^{[2>4;1>3]} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & & 2 & & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} -G_1 & G_1+G_2 & -G_2-G_1 \\ 0 & -G_2 & G_2+G_3 \\ -G_1 & G_1+G_2 & -G_3-G_1-G_2 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$Z_{VST} = \frac{(-1)^{3+1}(-G_2)}{(-1)^{2+1}[-G_2(-G_1-G_2-G_3)-(G_1+G_2)(G_2+G_3)]} = -\frac{G_2}{G_1G_3} = -\frac{R_1R_3}{R_2}$$

Invertujúce zapojenie s operačným zosilňovačom:

Výstupné napätie má oproti vstupnému napätiu opačné znamienko a fázový posuv 180° . Invertujúci zosilňovač je súmerný z hľadiska vstupu i výstupu t.j. môže pracovať s kladným i záporným signálom, ktorý môže byť jednosmerný alebo striedavý.

Pr. Vypočítajte prenos napätia a vstupný odpor zosilňovača na obr. Metóda virtuálnej nuly.



$$K_U = \frac{U_2}{U_1} \quad R_{VST} = \frac{U_1}{I_1}$$

Napišeme sústavu dvoch rovníc, a s týchto rovníc vyjadríme prenos.

$$U_1 = I_1(R_1 + R_2) + U_2$$

$$\underline{\underline{U_1 = I_1 R_1}} \Rightarrow R_{VST} = \underline{\underline{\frac{U_1}{I_1} = R_1}}$$

$$U_1 = \frac{U_1}{R_1}(R_1 + R_2) + U_2$$

$$U_1 - U_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = U_2$$

$$-U_1 \frac{R_2}{R_1} = U_2$$

$$\underline{\underline{-\frac{R_2}{R_1} = \frac{U_2}{U_1}}}$$

Metoda transformacie uplnej admitančnej matice:

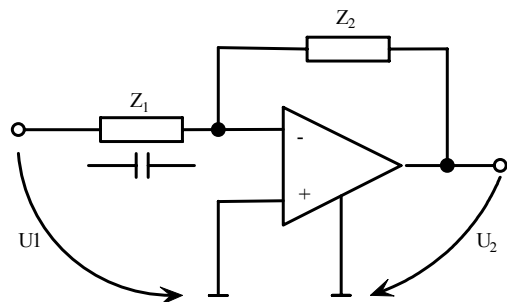
$$K_U = \frac{U_{34}}{U_{14}} \quad R_{VST} = \frac{U_{14}}{I_1}$$

$$K_U = \frac{\begin{matrix} \square^* \\ 14:34 \end{matrix}}{\begin{matrix} \square^* \\ 14:14 \end{matrix}} = \frac{\begin{matrix} \square^{[3>4;4>2]} \\ 314:432 \end{matrix}}{\begin{matrix} \square^{[3>4;4>2]} \\ 314:412 \end{matrix}} = \frac{(-1)^{3+2}(-G_1)}{(-1)^{3+3}(-G_2)} \Rightarrow K_U = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{VST} = \frac{\frac{1}{c} \begin{matrix} \square^* \\ 14:14 \end{matrix} I_1}{I_1} = \frac{\begin{matrix} \square^* \\ 14:14 \end{matrix}}{\begin{matrix} \square^* \\ 4:4 \end{matrix}} = \frac{\begin{matrix} \square^{*[3>4;4>2]} \\ 314:412 \end{matrix}}{\begin{matrix} \square^{*[3>4;4>2]} \\ 34:42 \end{matrix}} = \frac{(-1)^{3+3}(-G_2)}{(-1)^{1+1}(-G_1 G_2)} = R_1$$

$$Y_{34:42}^* = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ G_1 & 0 \\ -G_1 & -G_2 \end{pmatrix}$$

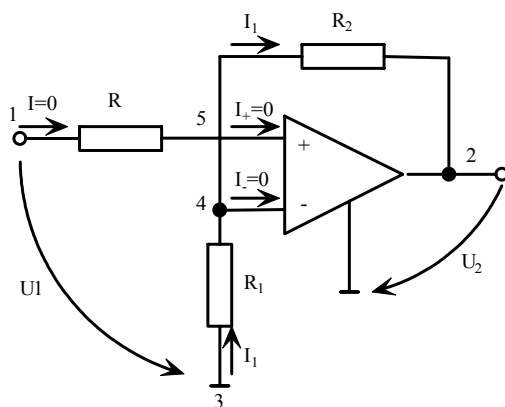
Derivačný obvod s operačným zosilňovačom:



$$K_U = -\frac{Z_2}{Z_1} \quad Z_2 = \frac{1}{P_C} \quad Z_1 = R \quad U_2(P) = -P_C R U_1(P)$$

$$u_2(t) = -CR \frac{du_1(t)}{dt}$$

Integračný obvod s operačným zosilňovačom:



$$Z_1 = R$$

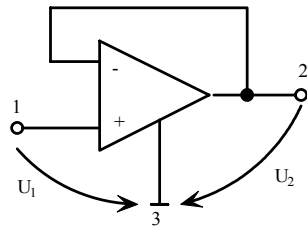
$$Z_2 = \frac{1}{P_C}$$

$$K_U = \frac{U_2(P)}{U_1(P)} = \frac{-\frac{1}{P_C}}{R} = -\frac{1}{P_C R}$$

$$U_2(P) = -\frac{1}{P_C R} U_1(P)$$

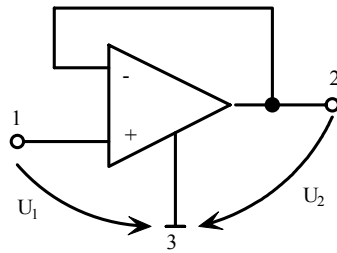
$$u_2(t) = -\frac{1}{CR} \int_0^t u_1(t) dt$$

Neinvertujúce zapojenie zosilňovača s OZ:



$$K_U(P) = \frac{U_2}{U_1}$$

Sledovač s OZ:

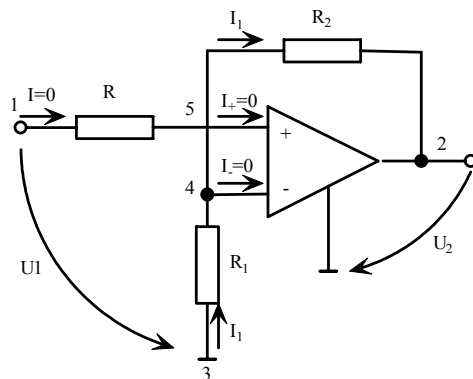


$$K_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{c} \square_{13:23}^* I_1}{\frac{1}{c} \square_{13:13}^* I_1} = \frac{\square_{[2>3;1>2]} \square_{13:23}}{\square_{[2>3;1>2]} \square_{13:13}} = 1$$

Vypočet pomocou virtuálnej nuly:

$$-U_1 + U_2 = 0 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = 1$$

Pr: Vypočítajte prenos napätia v obvode na obrázku.



$$Y_{213:3}^* = \frac{1}{5} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 \\ 0 & -G_2 & G_1 + G_2 & 0 \\ -G & 0 & 0 & G \end{pmatrix}$$

$$Y^{:5>4} = \begin{pmatrix} 0 & -G_2 & G_1 + G_2 & 0 \\ -G & 0 & 0 & G \end{pmatrix}$$

$$K_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\square_{13:23}^*}{\square_{13:13}^*} = \frac{\square_{213:523}^{[2>3;5>4]}}{\square_{213:513}^{[2>3;5>4]}} = \frac{(-1)^{4+3} [+G(G_1 + G_2)]}{(-1)^{5+3} [-GG_2]} =$$

$$= \frac{-GG_1 - GG_2}{-GG_2} = \frac{G_1}{G_2} + 1$$

Výpočet metódou virtuálnej nuly:

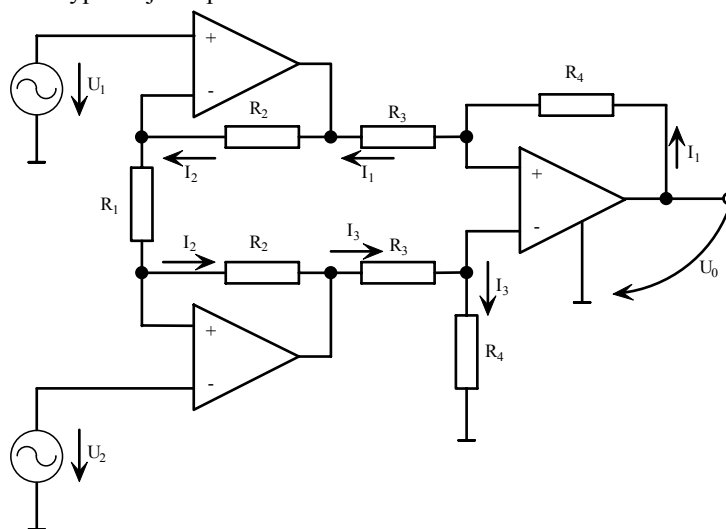
$$I_1 R_1 + I_1 R_2 = -U_2$$

$$U_1 = -I_1 R_1 \Rightarrow I_1 = -\frac{U_1}{R_1}$$

$$I_1 (R_1 + R_2) = -U_2$$

$$-\frac{U_1}{R_1} (R_1 + R_2) = -U_2 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

PR: Vypočítajte napätie U_0 v obvode na obrázku.



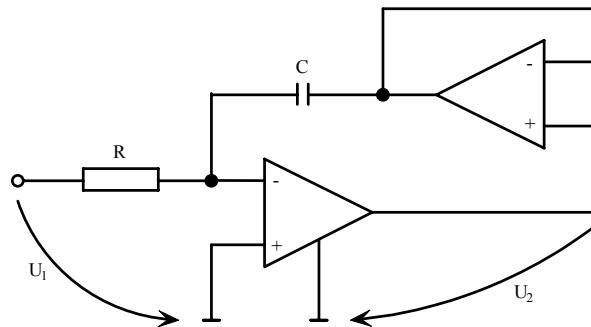
Na výpočet zvolíme metódu virtuálnej nuly, a využijeme fakt, že prúdy vtekajúce do OZ sú nulové, a napätia medzi týmito svorkami sú taktiež nulové. Zostavíme sústavu rovníc. Počet rovníc bude 4.

$$(I_1 + I_3)R_3 + \frac{U_1 - U_2}{R_1}(2R_2 + R_1) = 0$$

$$\frac{U_0}{R_4}R_3 + \frac{(U_1 - U_2)2R_2}{R_1} + (U_1 - U_2) = 0$$

$$U_0 = \frac{\left[U_2 - U_1 - \frac{(U_1 - U_2)2R_2}{R_1} \right] R_4}{R_3} = \underline{\underline{\frac{(U_2 - U_1)R_4}{R_3} \left(\frac{2R_2}{R_1} + 1 \right)}}$$

Pr: Vypočítajte prenos napätia v obvode na obrázku.



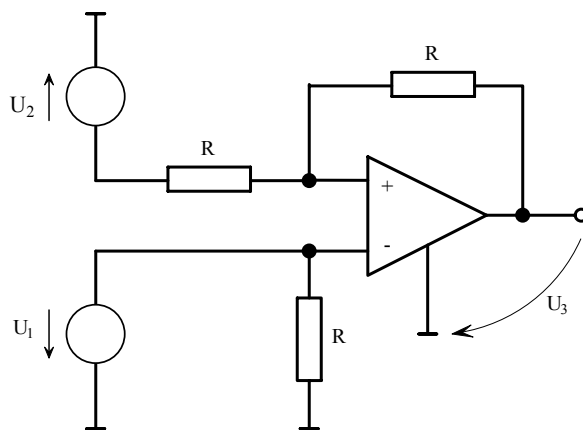
$$I_1 R = U_1 \Rightarrow I_1 = \frac{U_1}{R}$$

$$\underline{-U_2 - I_1 \frac{1}{pC} - I_1 R = U_1}$$

$$-U_2 - \frac{U_2}{R} \left(\frac{1}{pC} + R \right) = U_1$$

$$\underline{\underline{\frac{U_2}{U_1} = -\frac{1}{RpC}}}$$

Pr: Pre obod na obrázku vypočítajte napätie U3.



$$-U_2 + I_1 R + U_1 = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{U_2 - U_1}{R}$$

$$I_1 R + U_3 - I_2 R = 0 \Rightarrow U_3 = I_2 R - I_1 R$$

$$I_2 R = U_1$$

$$U_3 = U_1 - (U_2 - U_1) \Rightarrow U_3 = \underline{\underline{2U_1 - U_2}}$$