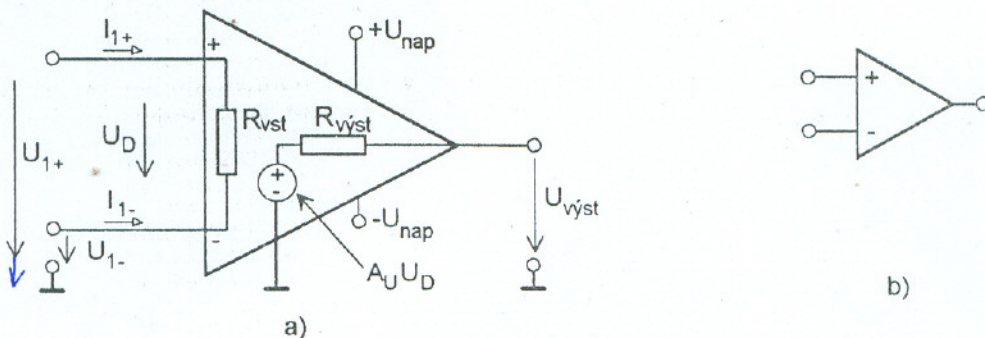


DODATEK 1

ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ OPERAČNÍCH ZESILOVAČŮ

Zjednodušené náhradní schéma operačního zesilovače (OZ) je na obr. D1.1a). V následujícím textu budeme předpokládat ideální operační zesilovač a označovat jej symbolem dle obr. D1.1b). Pro přehlednost není v žádném schématu nakresleno napájení, které bývá $\pm 15 \text{ V}$, $\pm 5 \text{ V}$ apod.

Pro ideální operační zesilovač platí:



Obr. D1.1 a) Náhradní schéma operačního zesilovače, b) symbol pro kreslení OZ

$$A_U = \frac{U_{výst}}{U_D}, \quad |A_U| \rightarrow \infty \quad (D1.1)$$

$$U_{1+} = U_{1-} \quad (D1.2)$$

$$I_{1+} = I_{1-} = 0 \quad (D1.3)$$

a

$$R_{vst} \rightarrow \infty, \quad R_{výst} = 0 \quad (D1.4)$$

Parametry reálných operačních zesilovačů jsou samozřejmě odlišné od (D1.1) až (D1.4). Zesílení A_U je závislé na kmitočtu, velikost vstupních klidových proudů I_{1+} , I_{1-} se pohybuje přibližně v rozsahu 10^{-7} až 10^{-12} A , rozdílové vstupní napětí U_D není nulové (reálný OZ má tzv. vstupní napěťovou nesymetrii), výstupní napětí je omezeno velikostí napájecího napětí atd. (viz např. lit. [1], [2]).

Měřicí zesilovače [viz skripta ELM, str. 48]

M.Z. 1)

ELM IV

Proč jsou nutné?

Měřicí zesilovače používají OZ v obvodech s uzavřenou zp. vazbou.

└ podle způsobu zapojení zpětnovazebního obvodu:

- zesílí U, I
- mění U/I resp. I/U
- mají co nejméně ovlivňovat měřený signál
(tzn. že by měl být zesilován zesilovačem s max. R_{st}; proud obvodem s min. R_{st})
- co nej přesnější známé zesílení !!
- malou dynamickou chybu
- výstupní signál by se měl měnit co nejméně v důsledku připojení měř. př. k jejich výstupu
- výst. výkon je hrazen z U_{cc} OZ

Zesilovač se (dle zap. zp. vazby) chová jako zdroj U nebo I řízený I nebo U . Jsou 4 základní typy M.Z.:

[uvedené jsou hodnoty ideálních parametrů - A, Z_i, Z_o]

1. U/U zesilovač (~~převodník~~ napětový zesilovač, napětím řízený zdroj napětí)

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} [V/V]; \quad Z_i \rightarrow \infty \quad \text{nebo má definovanou hodnotu}$$
$$Z_o \approx 0 \quad (\text{chová se jako zdroj } U)$$

2. U/I zesilovač (převodník U na I , napětím řízený zdroj I)

$$A_G = \frac{i_2}{u_1} [A/V]; \quad Z_i \rightarrow \infty \quad \text{nebo je definován}$$
$$Z_o \rightarrow \infty$$

3. $1/U$ zesilovač (převodník $1-U$, proudem řízený zdroj U)
 $A_R = \frac{U_2}{I_1} [V/A]; Z_i \approx 0; Z_o \approx 0$

4. $1/I$ zesilovač (zesilovač I , proudem řízený zdroj I)
 $A_I = \frac{I_2}{I_1} [A/A]; Z_i \approx 0; Z_o \rightarrow \infty$

Všechny typy (4) lze realizovat použitím vhodného zpětnovazebního obvodu ve spojení s OZ

OZ - stejnosměrně vázané zesilovače [s A_{uo}]

- zesilují signály od ss až do určité mezní f_H (tj. tam, kde A_u klesne proti ss zesílení o 3dB - tj. na $0,707 A_{uo}$)
- připojením C na vstup - zesílení je mezi mezními f_d a $f_H \rightarrow$ střídavě vázaný zesilovač

1. ZESILOVAČ NAPĚTÍ (U/U zesilovač)

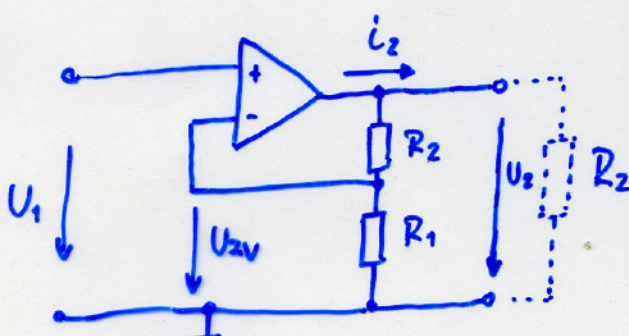
$\rightarrow \rightarrow$ INVERTUJÍCÍ A NEINVERTUJÍCÍ

Pro NEINVERTUJÍCÍ zesilovač (předpoklad ideálního OZ)

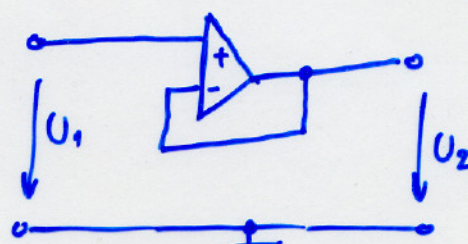
platí $U_1 = U_{zv} = U_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

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

zesílení se zpětnou vazbou



NEINVERTUJÍCÍ ZES. U



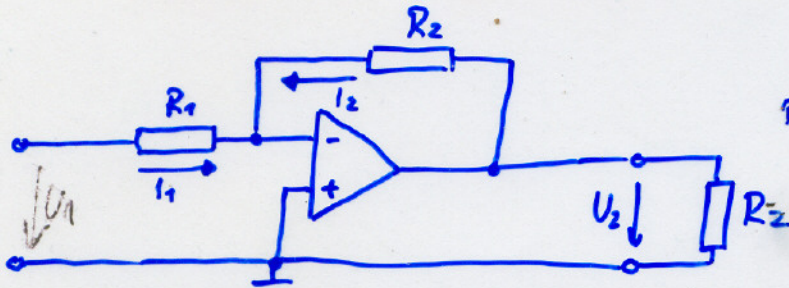
NAPĚTOVÝ SLEDOVAČ

Polarita U_{vst} je stejná s U_{vst} , $R_{vst} \Rightarrow \infty$

NAPĚTOVÝ SLEDOVAČ = zvl. typ neinvert. zesilovače
($R_2 = 0, R_1 \rightarrow \infty$; $U_2 = U_1$)

Užití: impedančním oddělením obvodů

INVERTUJÍCÍ ZESILOVAČ



⊕ vstup = připojen na $\perp$
⊖ vstup = na $\ominus$ napětí + na tzv. VIRTUÁLNÍ ZEM

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = -I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} U_1; \quad A_{zv} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- obrací polaritu U
- vstupní R zde ani pro IDEÁLNÍ OZ není ∞ , ale platí:

$$R_{izv} = \frac{U_1}{I_1} = R_1$$

toto může způsobit nezanedbatelnou chybu,
nemí-li výstupní R zdroje (měřeného U) mnohem menší než R_1 .
výstupní $R_{OZV} = 0$

MODIFIKACE

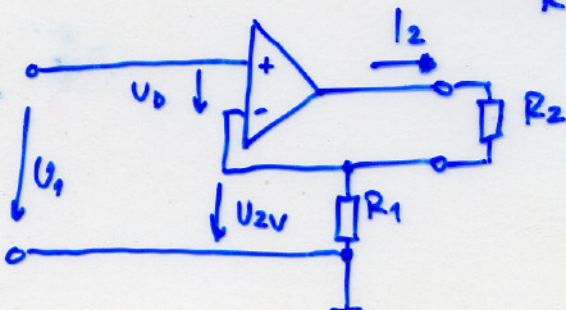
- NAPĚTOVÝ INVERTOR ($R_1 = R_2 \rightarrow U_2 = -U_1$)
- SČÍTAČÍ ZES.
- INTEGRÁTOR, DERIVÁTOR /viz dále/

2. NAPĚTÍM ŘÍZENÝ ZDROJ PROUD (U/I zesilovač)

pro NEINVERTUJÍCÍ ZAPOJENÍ platí

$$U_1 = U_{2v} = I_2 R_1 \quad (3.7a)$$

$$I_2 = \frac{U_1}{R_1}, \quad A_{zv} = \frac{1}{R_1} \quad (3.7b)$$



Výstupní I_2 nezávisí na R_2 .

Platí $R_{izv} \rightarrow \infty$

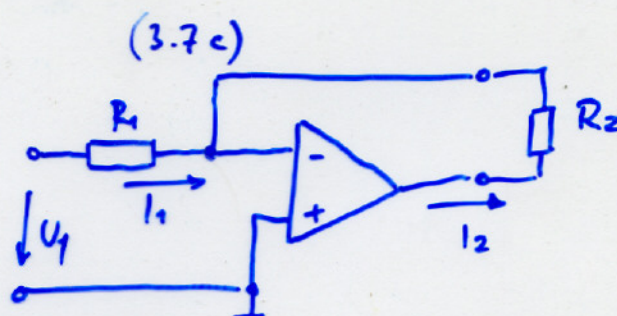
$R_{OZV} \rightarrow \infty$

PRO INVERTUJÍCÍ ZAPOJENÍ OZ (U/I zesil)
platí

$$I_2 = -I_1 = -\frac{U_1}{R_1}; A_{zv} = -\frac{1}{R_1}$$

Výstupní proud I_2
je opět určen

$U_{vst} (U_1)$ a NEZÁVISÍ
NA R_2



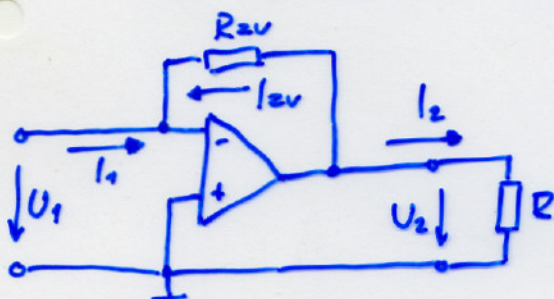
Platí: $R_{izv} = R_1$, $R_{ozv} \rightarrow \infty$ (zpětno vazební obvod se chová jako zdroj I)

Pro oba typy U/I zesil platí násled. omezení:

- Rovnice (3.7 b, c) platí pokud $U_2 < U_s$
→ $U_{výst}$ musí být menší $U_{saturace}$ tzn. $\pm U_{cc}$
- R_2 není uzemněn, což může omezit aplikaci

3. PŘEVODNÍK PROUDU NA NADĚTÍ (U/I zesilovač)

zde se užívá INVERTUJÍCÍ ZAPOJENÍ



VSTUPEM = proud I_1
VÝSTUPEM = U_2

$$U_2 = -R_{zv} I_1$$

$$A_{zv} = -R_{zv}$$

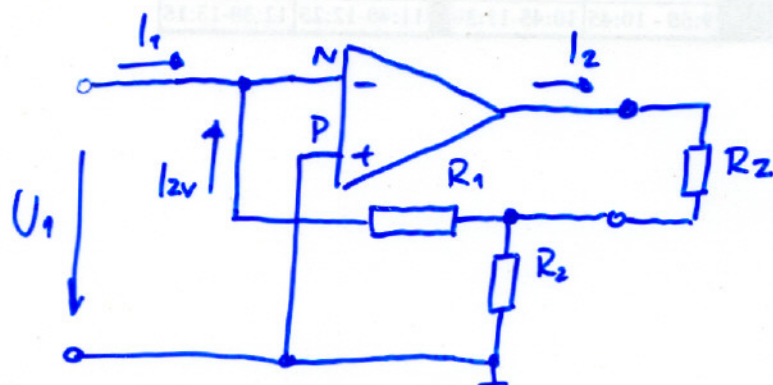
$$R_{izv} = 0$$

$$R_{ozv} = 0$$

($\ominus$ vstup = na potenciálu „virtuální zemi“)

Měříme-li $U_{výst}$ ss V-metr, chová se celý obvod jako mA-metr
S PRAKTICKY 0 SPOTŘEBOU → CHOVÁ SE JAKO IDEÁLNÍ A-METR
Z hlediska měření je zpětnovazební zes. I/U
SAHOČINNÝ KOMPENZÁTOR PROUDU

4. ZESILOVACĚ PROUDU ($I/I_{\text{zesilovač}}$)



vstupní
i
výstupní veličinou
je zde I .

Platí (pro ideální OZ) : $U_1 N = 0$

$$I_{zv} = -I_1$$

R_1 a R_2 tvoří 1-dělič se vstupním I_2
(vstup N je na virtuální zemi)

takže platí

$$I_{zv} = I_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -I_1$$

$$I_2 = -I_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$A_{zv} = - \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Platí (opět pro ideální OZ) dále: $R_2 I_{zv} = 0$
 $R_2 I_{zv} \rightarrow \infty$