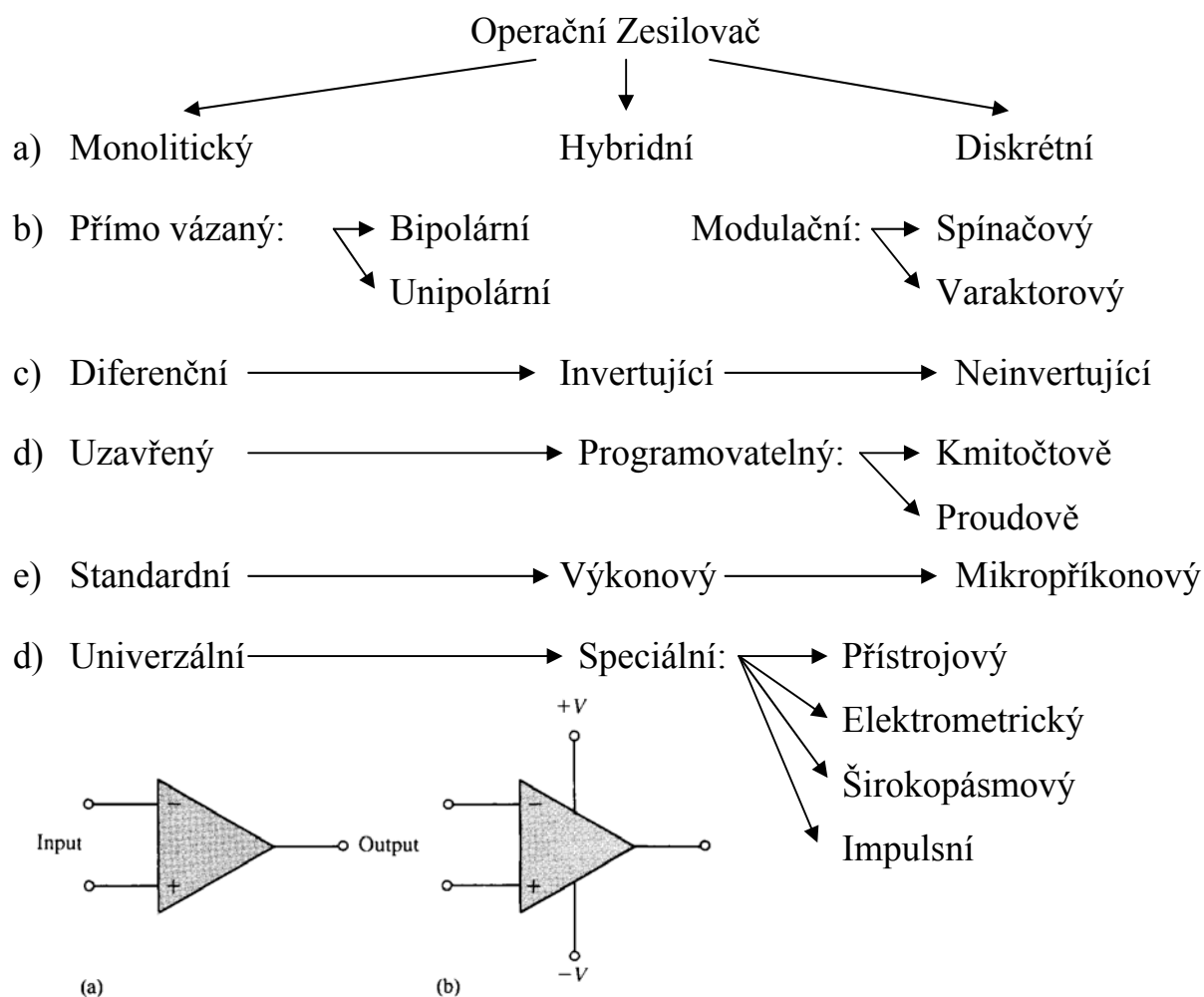


Operační zesilovače

1. Dělení Operačních Zesilovačů (OZ):

Současný sortiment OZ můžeme třídit podle různých hledisek:

- podle technologie výroby (a)
- podle obvodové techniky (b)
- podle druhu signálových vstupů (c)
- podle programovatelnosti (d)
- podle výkonu (e)
- podle aplikačního určení (f)

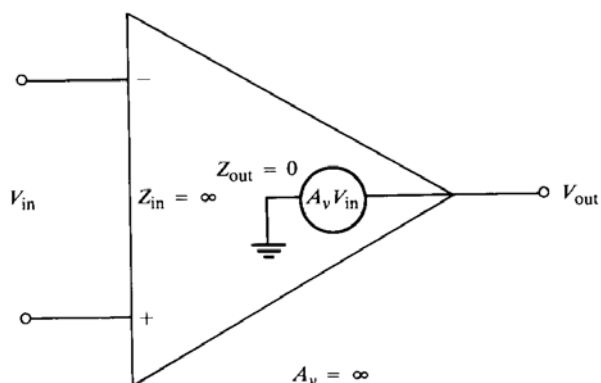


Obr. 10.1 Schématická značka a různá provedení OZ

2. Základní vlastnosti OZ:

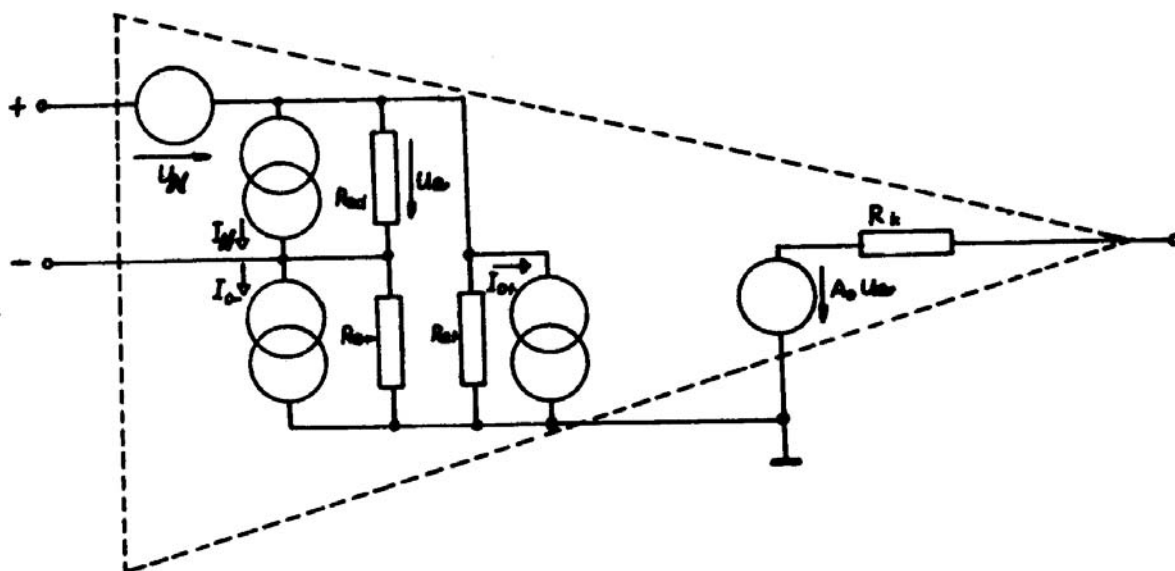
⇒ vychází se z představy ideálního OZ – tj. zesilovače s:

- nekonečným vstupním odporem
- nulovým výstupním odporem
- nulovým výstupním napětím při nule na vstupu
- nekonečným a kmitočtově nezávislým zesílením



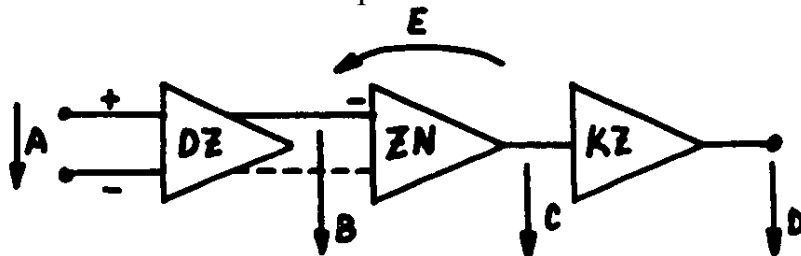
Obr. 10.2 Model ideálního operačního zesilovače.

Skutečné zesilovače se tomuto ideálu blíží jen do určité míry – viz obr. 10.3.



Obr. 10.3 Vnitřní zdrojové schéma reálného operačního zesilovače.

Vnitřní struktura reálného OZ sestává zpravidla ze tří funkčních bloků:



Obr. 10.4 Vnitřní blokové schéma reálného OZ.

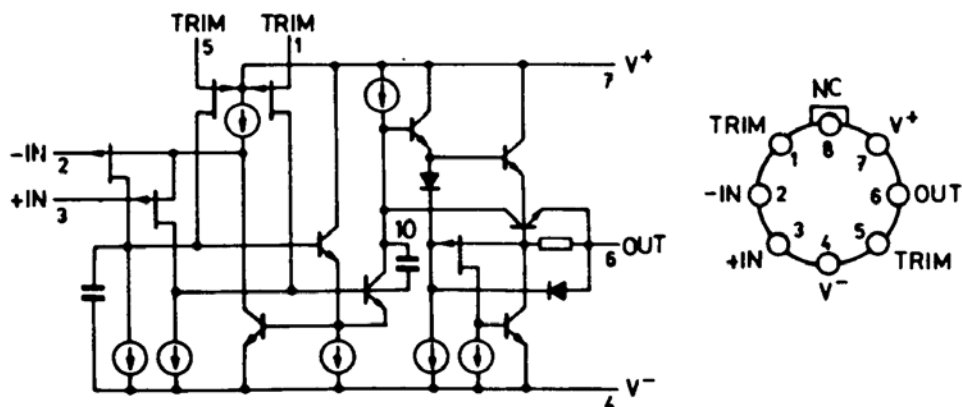
- DZ diferenční zesilovač – (zpravidla bipolární JFET vstup) zabezpečuje potřebnou vstupní impedanci
- ZN zesilovač napětí – pracuje s velkým napěťovým zesílením
- KZ koncový zesilovač – obvykle má malé zesílení napětí, ale velké proudové zesílení (zpravidla „emitorový sledovač“). Zabezpečuje malou výstupní impedanci, potřebný výstupní výkon a rozkmit napětí, případně proudu.

Přehled základních parametrů monolitických OZ je uveden v následující tabulce:

	MAA 501	MAA 725	MAA 741	MAA 748	MA 1458	MDA 2020
$U_{výst.}$ (V)	± 10	± 12	± 10	± 17	± 10	
$I_{výst.}$ (mA)			± 5	(± 5)		± 3500
A_0 (V/mV)	> 25	> 1000	50	> 50	> 20	100
CMR (dB)	> 70	> 110	70	> 70	> 70	(> 70)
f_T (MHz)	(0,5)	(0,2)	1	($> 0,5$)	(1)	(5)
$f_{p\ max}$ (kHz)	(4,5)	(0,02÷20)	8	(8÷80)	(8)	100
S (V/ μ s)	(0,3)	(0,004÷4)	0,5	(0,5)	(0,5)	
U_{IO} (mV)	$< 7,5$	< 1	5	< 5	6	< 100
I_{IB} (nA)	< 1500	< 100	500	< 500	500	150
$U_{IN\ ef}$ (μ V)	(5)	1	(2,5)		(2,5)	(50)
$I_{IN\ ef}$ (nA)		($< 0,001$)	(0,025)			
$U_{B\ min}$ (V)		± 3	± 5	± 3	(± 5)	± 5
$U_{B\ max}$ (V)	± 18	± 22	± 22	± 22	± 18	± 22
U_{cm} (V)	± 10	± 13	± 12	± 15	± 12	

Význam jednotlivých katalogových parametrů:

- $U_{výst.}$, $I_{výst.}$ – zaručovaný nominální rozkmit výstupního napětí a proudu
- A_0 – ss zesílení naprázdno
- CMR – činitel potlačení souhlasné složky
- f_t – tranzitní kmitočet
- $f_{p\ max}$ – max. kmitočet, na němž OZ pracuje s plným výkonem rozkmitem
- S – strmost (rychlost přeběhu)
- U_{IO} – napětí vstupní nesymetrie
- I_{IB} – vstupní klidový proud
- $I_{IN\ ef}$ – ekvivalentní vstupní šumový proud
- $U_{B\ min}$, $U_{B\ max}$ – minimální a maximální dovolené hodnoty napájecího napětí
- U_{cm} – přípustné souhlasné napětí na vstupech



Obr. 10.5 Zjednodušené schéma vnitřního zapojení + zapojení vývodů MAC156 (impulsní OZ, se vstupními JFET tranzistory).

3. Základní zapojení OZ

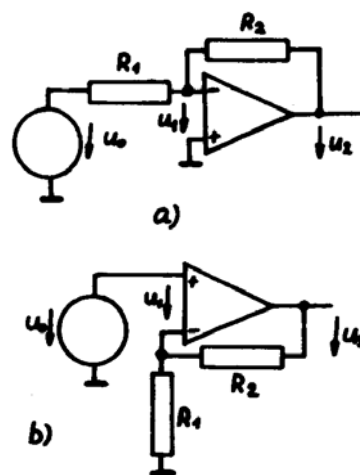
Vychází se nejprve opět z ideálního OZ:

- Invertující (obr. 10.6 a)

$$u_2 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot u_0 \quad (u_1 = 0)$$

- Neinvertující (obr. 10.6 b)

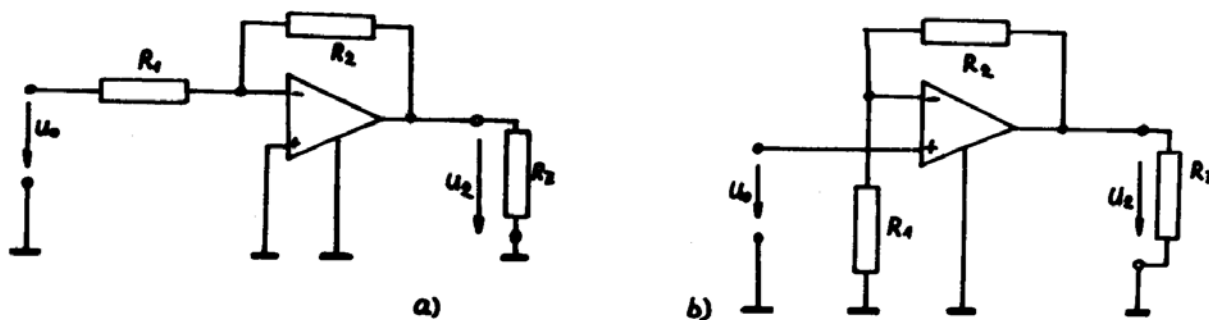
$$u_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot u_0 \quad (u_1 = 0)$$



Obr. 10.6 Základní zapojení ideálních OZ

V praxi uvažuje zapojení s reálnými OZ podle obr. 10.7 a počítáme s konečným napěťovým zesílením definovaném jako:

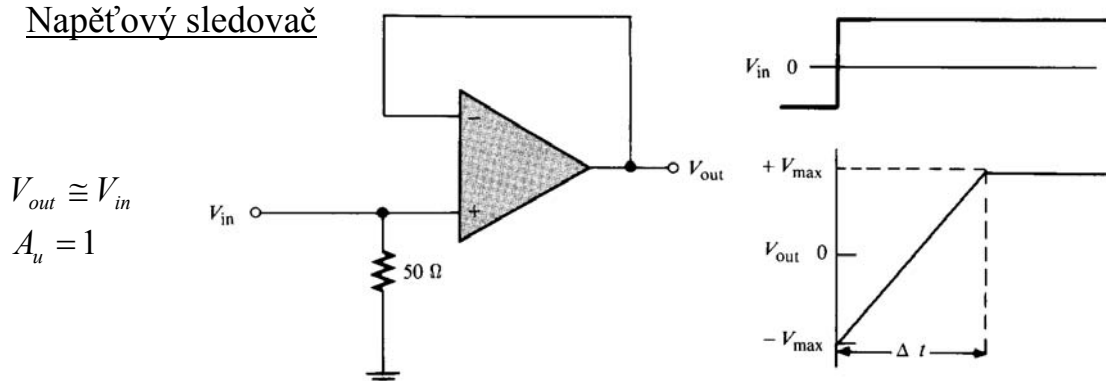
$$A_u = \frac{u_2}{u_0} = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{pro inverující OZ, a} \quad A_u = \frac{u_2}{u_0} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \text{pro neinvertující OZ.}$$



Obr. 10.7 Základní zapojení reálných OZ – invertující (a), neinvertující (b).

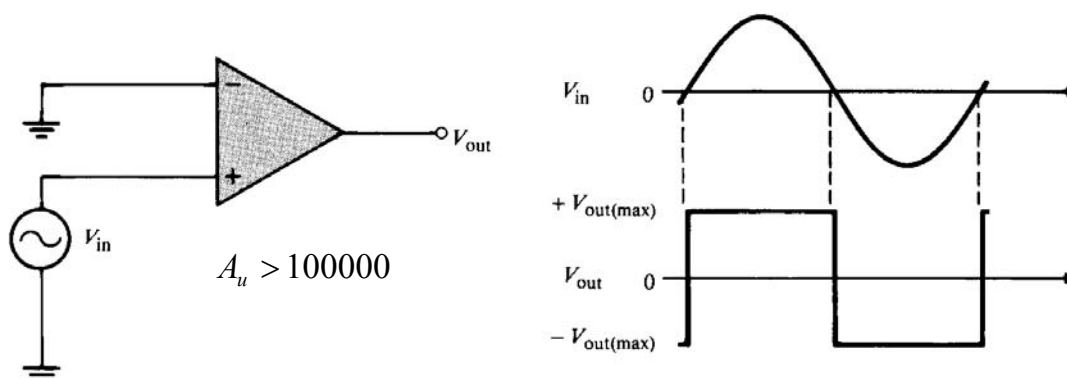
4. Odvozená zapojení OZ

▪ Napěťový sledovač



Obr. 10.8 Zapojení napěťového sledovače a reakce reálného OZ na jednotkový skok na vstupu

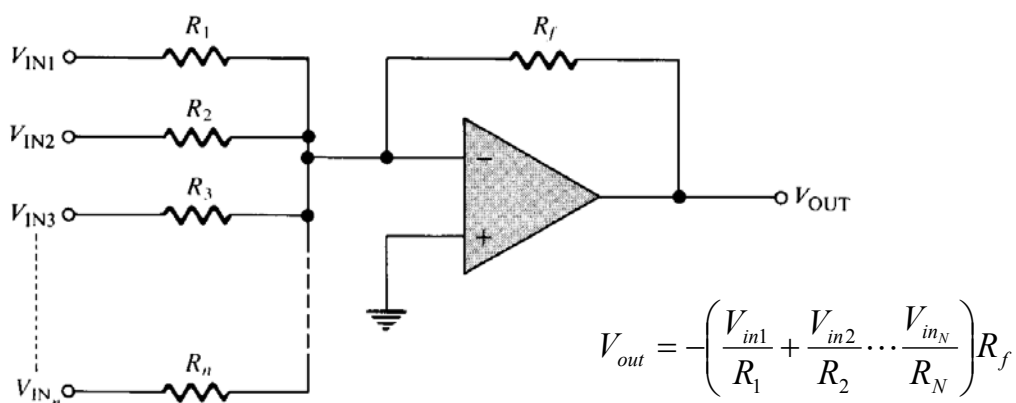
▪ Detektor nuly



Obr. 10.9 Zapojení detektoru nulové úrovně pro OZ s velkým ziskem

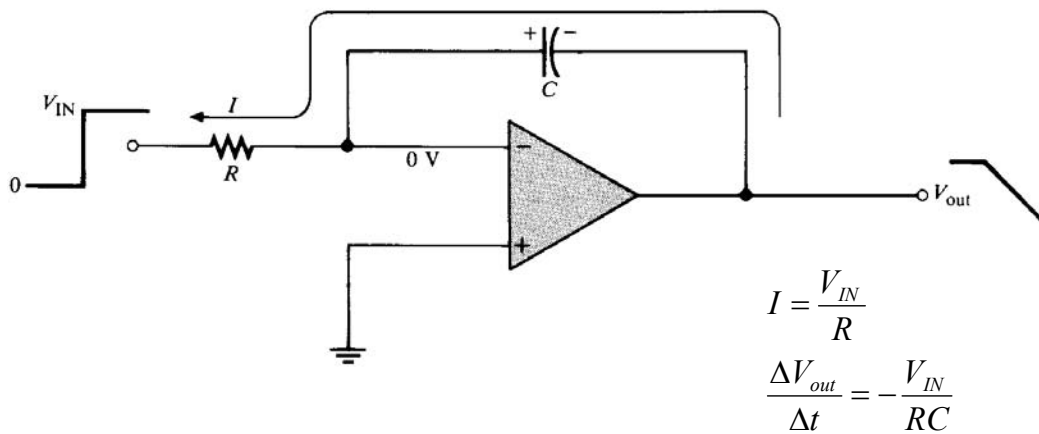
5. Zapojení OZ jako funkčních bloků

▪ Sumátor



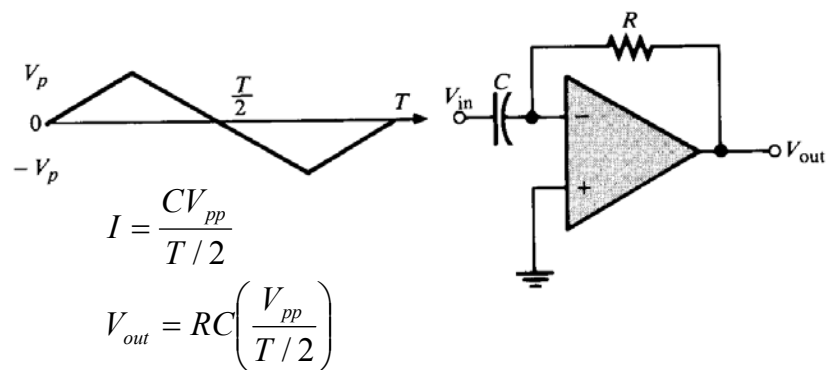
Obr. 10.10 Zapojení vícevstupové sčítačky (sumátoru)

▪ Integrátor



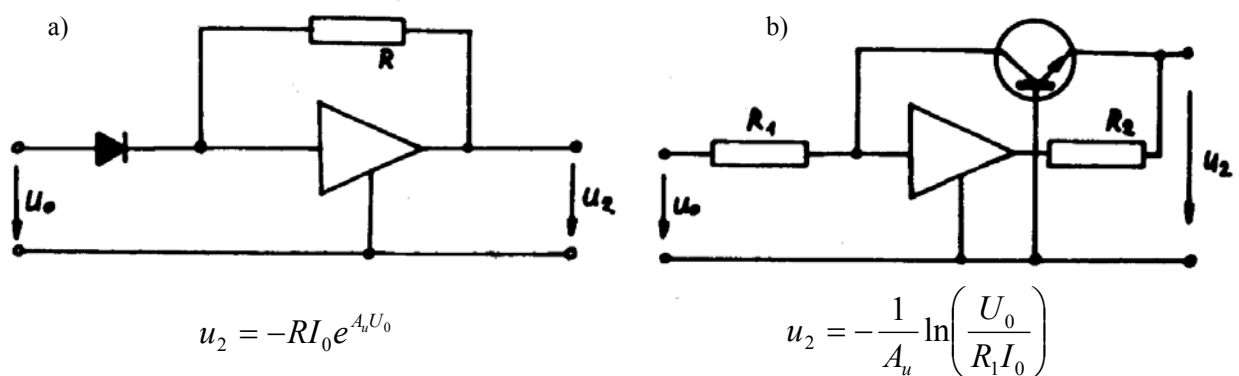
Obr. 10.11 Zapojení OZ jako integrátoru s RC článkem

▪ Derivátor



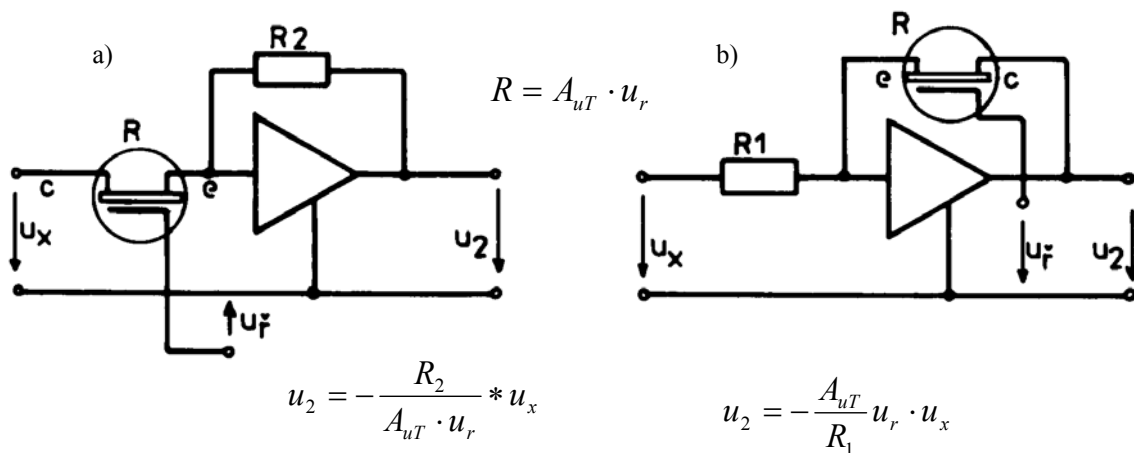
Obr. 10.12 Zapojení OZ jako derivátoru (diferenciátoru) s RC článkem

▪ Exponenciátor + Logaritmátor



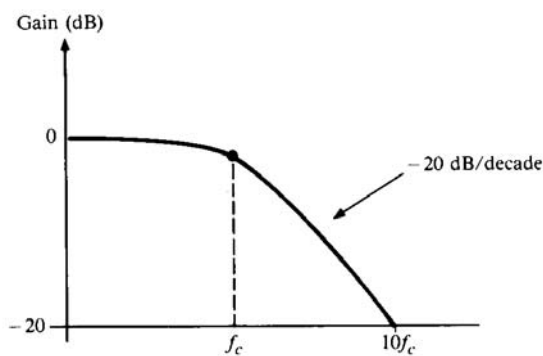
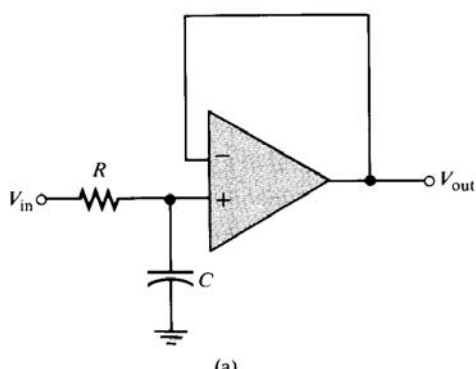
Obr. 10.13 Zapojení OZ jako exponenciátoru (a) a logaritmátoru (b)

▪ Násobička + Dělička



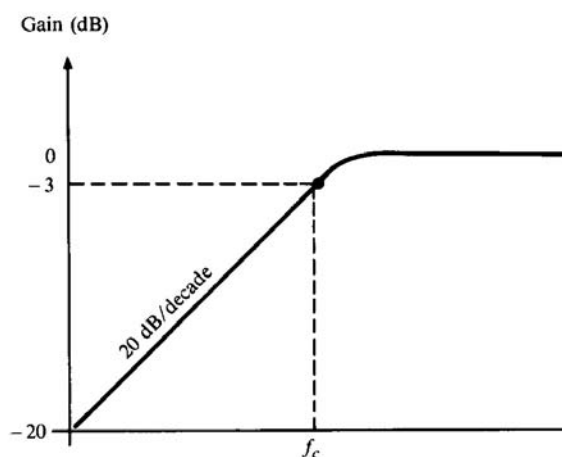
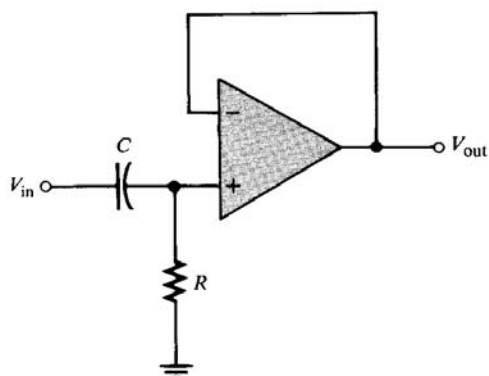
Obr. 10.13 Zapojení OZ jako analogové násobičky (a) a děličky (b)

▪ Aktivní dolní propust



Obr. 10.14 Zapojení OZ jako DP (Butterworthova typu s RC členy) + průběh frek. char.

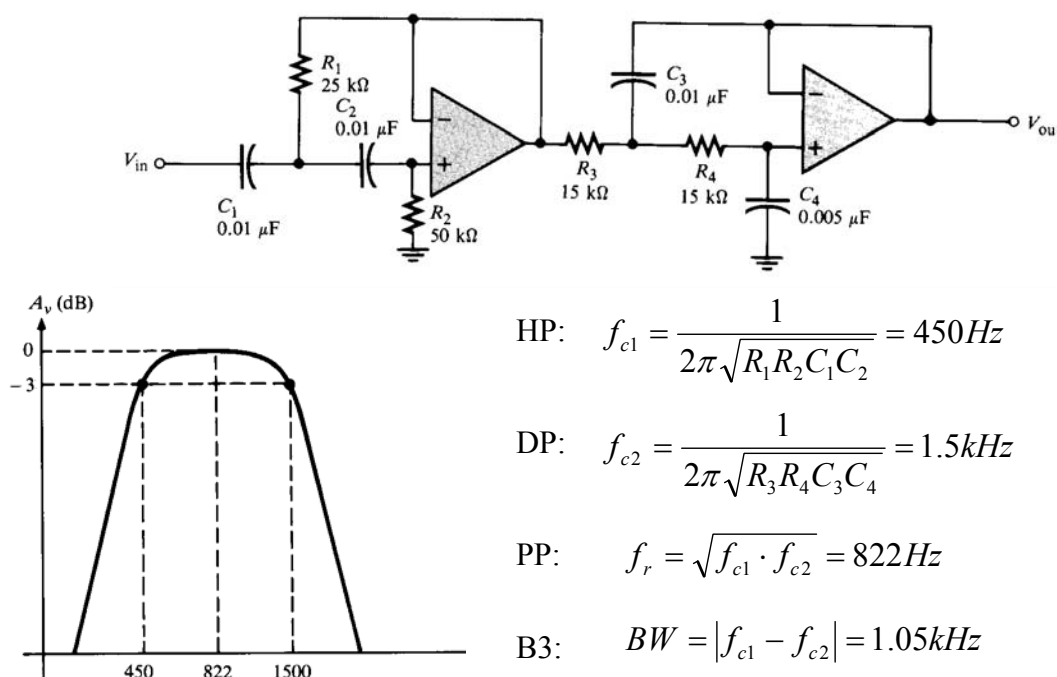
▪ Aktivní horní propust



Obr. 10.15 Zapojení OZ jako HP (Butterworthova typu s RC členy) + průběh frek. char.

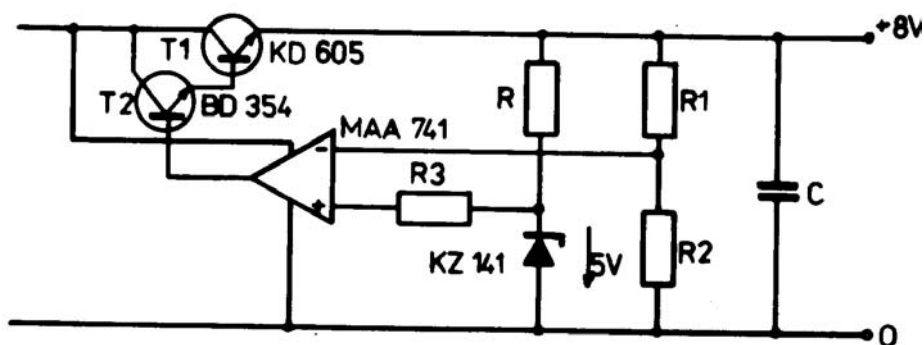
6. Praktická zapojení s OZ

▪ Aktivní pásmová propust



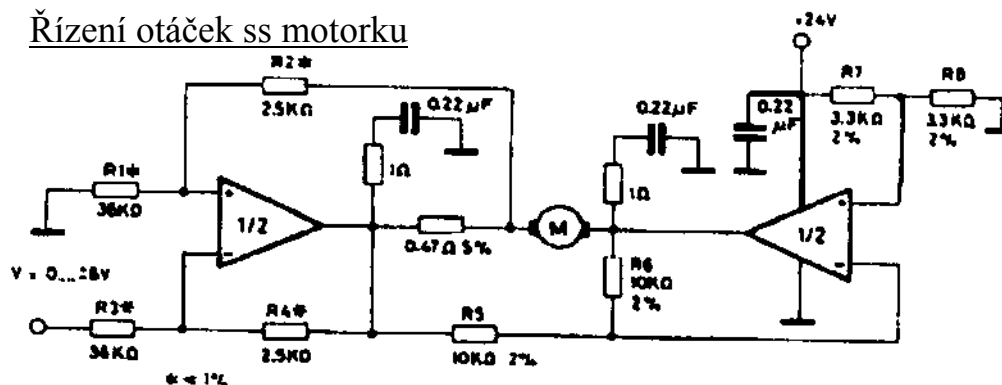
Obr. 10.16 Kaskádní zapojení dvou OZ jako PP + průběh frekvenční charakteristiky

▪ Řízený stabilizátor napětí



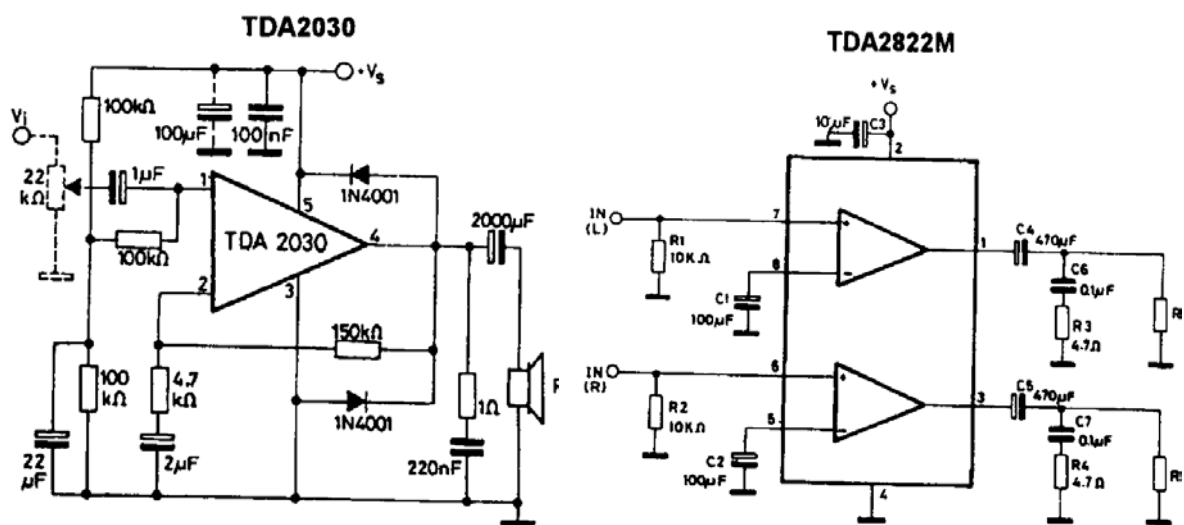
Obr. 10.17 Řízený zpětnovazební stabilizátor napětí s MAA741 ($A_u > 50000$, $k \approx 0.03$), $U = 8\text{V}$, $I = 5\text{A}$.

▪ Řízení otáček ss motorku



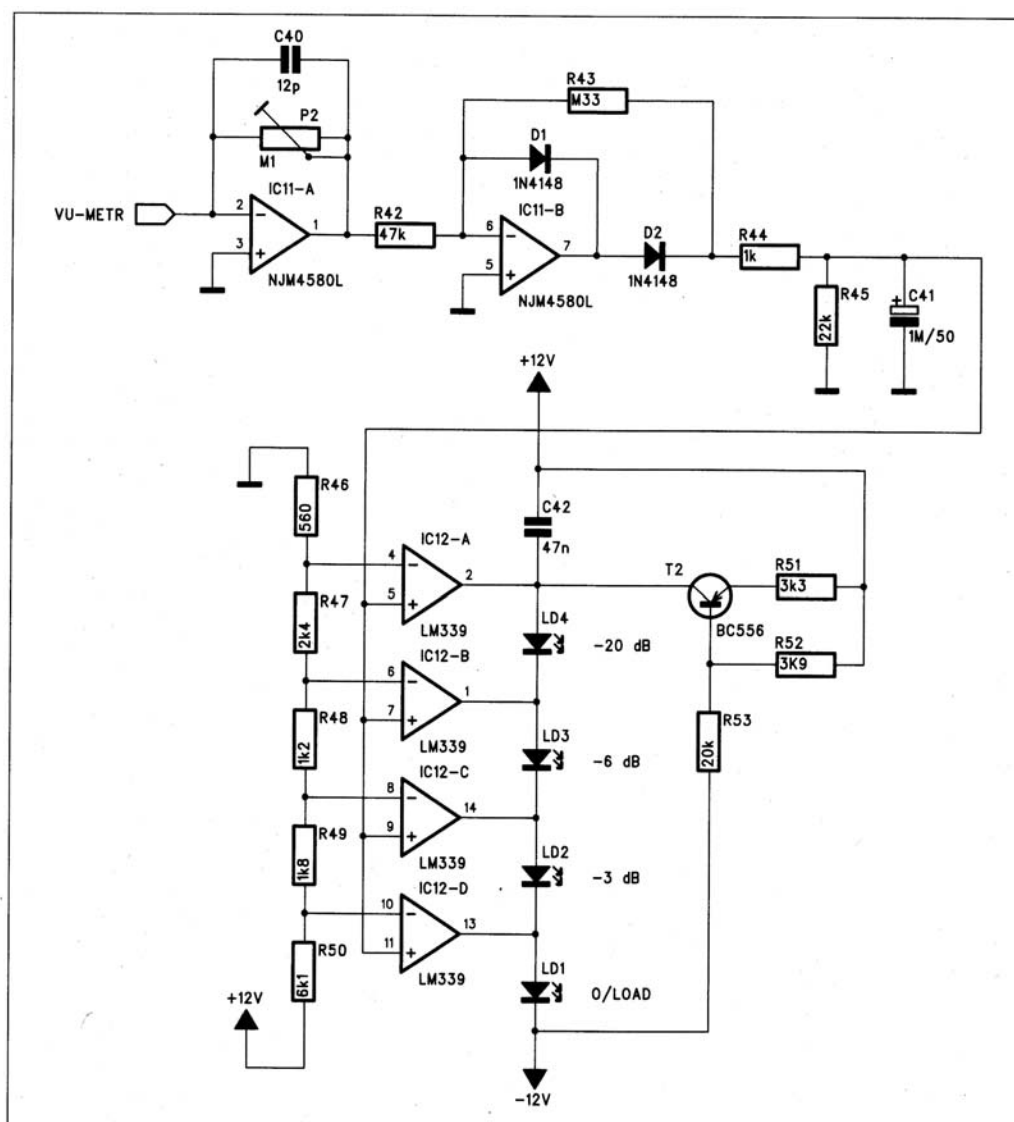
Obr. 10.18 Řízení otáček ss motoru pomocí dvojitého výkonového OZ L272

- Výkonové (koncové) nf zesilovače

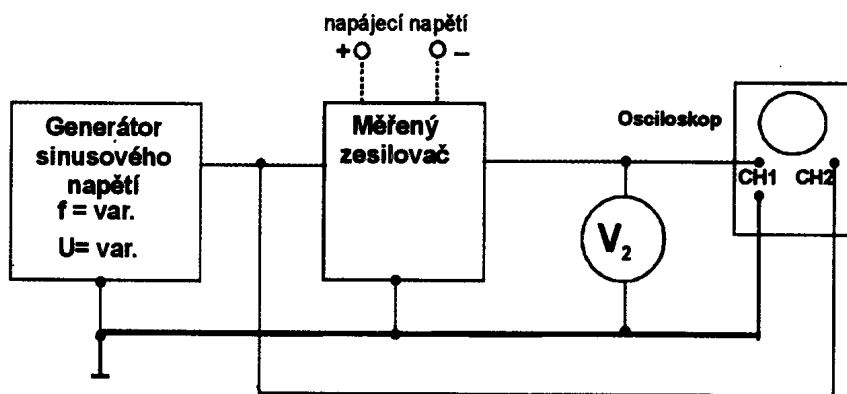


Obr. 10.19 Koncový nf zesilovač s TDA2030 ($P_{\text{sin}}=14\text{W}$), s TDA2822A ($P_{\text{sin}}=2 \times 1.7\text{W}$)

- Funkční bloky – měřič napětí s LED diodami (VU metr)



7. MĚŘENÍ NA ZESILOVAČÍCH



Obr. 10.20

K měření na zesilovačích používáme obecně zapojení na obr. 10.20, které nám umožní proměřit přenosovou charakteristiku v závislosti na frekvenci – frekvenční charakteristiku.

Frekvenční charakteristiku vyneseme do grafu kde osa frekvence je logaritmická, zesílení udáváme v dB dle definičního vzorce. Osciloskopem kontrolujeme lineární oblast výstupního napětí.

Pro základní kontrolu funkce operačního zesilovače je důležité měření offsetů. Většina poškození operačního zesilovače se promítne do vybočení hodnot napětového nebo proudového offsetu z obvyklých hodnot uváděných katalogem. Pro kontrolu offsetů použijeme zapojení invertoru podle kde pro $U_1 = 0$ dostaneme zapojení pro kontrolu napětového offsetu hodnotu R_1 , to je vynechání R_1 dostaneme zapojení pro kontrolu proudového offsetu:

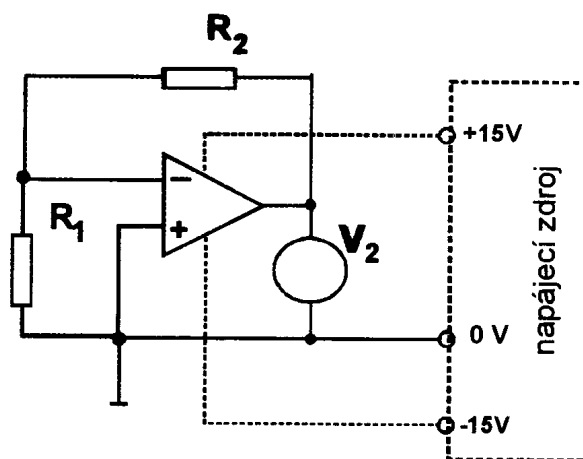
Pro měření napětového offsetu podle obr.10.21 volíme hodnoty rezistorů malé, např. $R_1 = 100\Omega$ a $R_2 = 100\text{ k}\Omega$, tak, aby člen $R_2 I_o$ byl zanedbatelně malý oproti U_o , pak rovnice bude mít přibližně tvar:

$$U_2 = -(-k + 1)U_o =$$

$$= -\left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)U_o \cong -\frac{R_2}{R_1}U_o$$

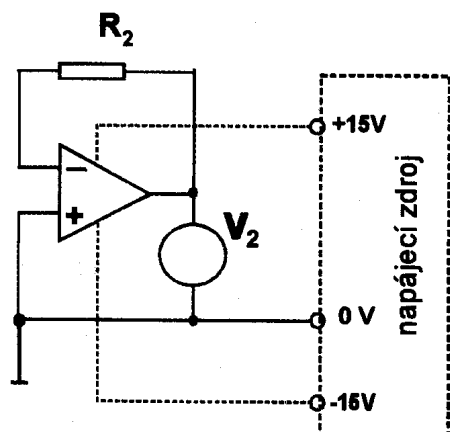
Protože posuzujeme absolutní hodnotu offsetu srovnáním s katalogem píšeme:

$$|U_o| \cong \frac{U_1}{U_2}$$



Obr. 10.21

Měření na operačních zesilovačích II



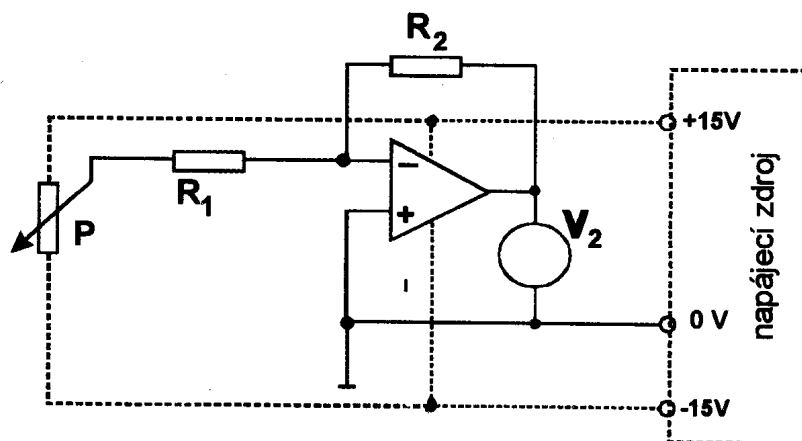
Pro měření proudového offsetu podle obr.10.22 volíme hodnotu resistoru R_2 tak velkou, aby v rovnici byl člen $R_2 I_o$ podstatně větší než U_o , pak bude přibližně platit

$$U_2 = U_o - R_2 I_o \cong -R_2 I_o$$

$$|I_o| = \frac{U_2}{R_2}$$

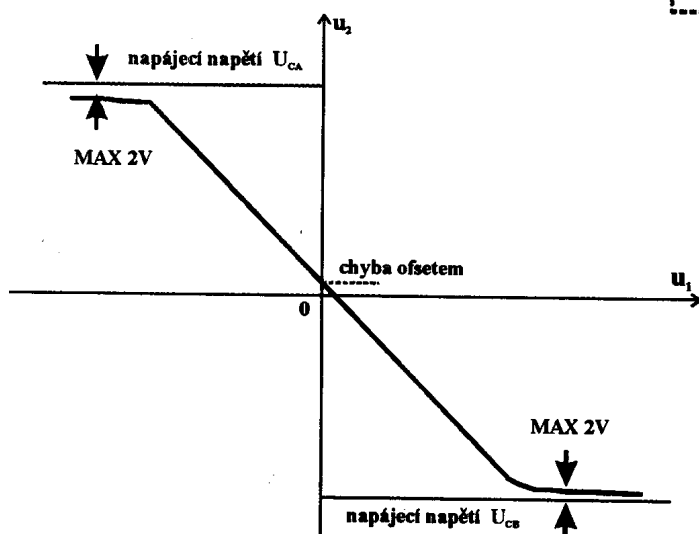
Obr. 10.22

Jsou-li offsetové hodnoty v mezích normy zkontrolujeme v zapojení podle obr.10.23 celkovou statickou převodní charakteristiku operačního zesilovače. Může být u poškozeného jedince omezena oproti napájecímu napětí o více než 2V, nebo být jenom jednostranná došlo-li ke zničení výstupního tranzistoru v OZ.



Poznámka: V předcházejících schématech teoretického výkladu nejsou kresleny napájecí obvody, aby nenarušovaly názornost obrázků ve schématech.

Operační zesilovače musejí mít přívody napájení přemostěny kondenzátory kapacity alespoň 0,1μF, jinak hrozí rozkmitání na frekvencích několika megahertz. Tyto kondenzátory musí být umístěny v blízkosti napájecích vývodů integrovaných obvodů cca do vzdálenosti 50 mm. Nejsou také zakresleny, protože jsou uvnitř měřicích přípravků.



Obr. 10.23