

3. Operační zesilovače, statické a dynamické charakteristiky. Diferenční, přístrojové a isolační zesilovače. Aktivní polynomiální filtry Butterwortha a Čebyševa.

Nelineární systémy s operačními zesilovači. A/D, D/A a DC/DC převodníky, napájecí zdroje parametrické a impulsní.

Předměty: ESY II, Elektrické měření

Ideální OZ

$A \rightarrow \infty$ (zesílení)

$Z_{in} \rightarrow \infty$ (vstupní impedance)

$Z_{out} \rightarrow 0$ (výstupní impedance)

Nekonečná šířka pásma (nezávislost na frekvenci), nulový ofset (napětí na vstupu aby výstup $U=0$), nulový drift, nulový šum.

Reálný OZ - integrační charakter

Rychlost přeběhu – maximální změna výstupního napětí pro jednotkový skok vstupního napětí.

$$S = \frac{\Delta u_o}{\Delta t} \quad \left[\frac{V}{\mu s} \right]$$

nf OZ 0,1 – 20

OZ pro komparátory 15 – 20

Vstupní klidový proud I_b 0,01 - 1 μA

Vstupní proudový offset $I_{os} \leq 0,25 I_b$ (nesymetrie)

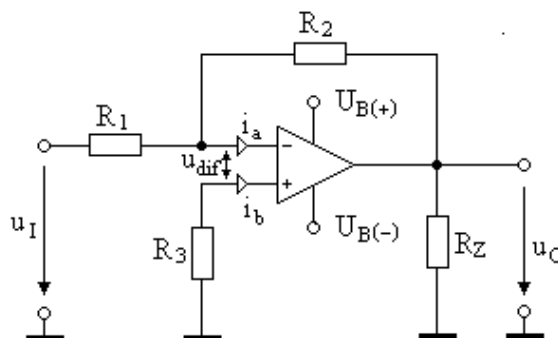
Vstupní napěťový offset (nesymetrie)

Proudový a napěťový drift – vliv teploty (stáří) na nesymetrie (nA/°C, (μA)/°C), 20 μV /°C)

Lineární aplikace

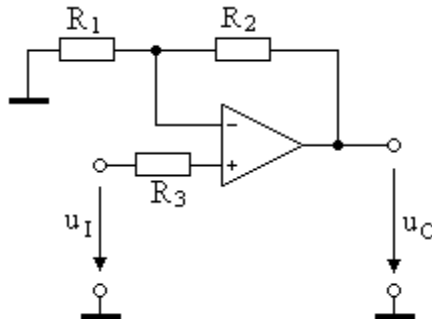
Invertující zesilovač

$$A = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{u_o}{u_i}$$



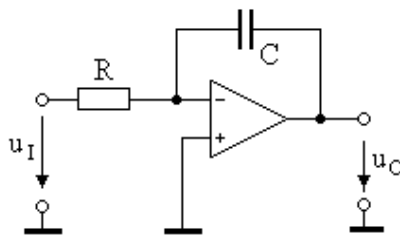
Neinvertující zesilovač

$$A = \frac{u_o}{u_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



Inverující integrátor

$$\frac{U_o(p)}{U_i(p)} = -\frac{1}{RCp}$$



Nelineární systémy s OZ

Na rozdíl od zapojení OZ v nichž je závislost výstupního napětí vstupnímu reprezentována lineární funkcí (v mezích rozsahu výstupního napětí OZ), se nyní budeme zabývat aplikacemi kdy linearita této funkce zachována nebude.

- OZ se zápornou zpětnou vazbou obsahující nelineární prvky s nelineární voltampérovou charakteristikou (omezovače, log. zes, exp. zes).
- OZ s kladnou zpětnou vazbou (komparátor)

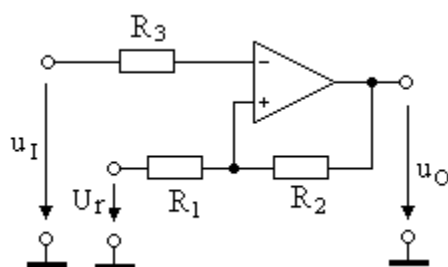
Napěťový komparátor

Jehož výstup může nabývat pouze dvou diskretních hodnot v závislosti na okamžité vzájemné hodnotě dvou vstupních signálů (obvykle je jedno z nich pevné referenční napětí). Výstupní napětí bude nabývat skokově dvou hodnot – kladného nebo záporného saturačního napětí – v závislosti na tom, který vstup OZ bude mít v daném okamžiku vyšší napěťovou úroveň.

Komparátor bez zpětné vazby (bez hystereze) – je samostatný OZ na jehož vstupy přivádíme dvě napětí. OZ je zapojen bez jakýchkoliv zpětných vazeb, takže jeho zesílení je shodné

s katalogovým údajem pro zesílení v otevřené smyčce. To se negativně odrazí na dynamických vlastnostech chování výstupu OZ při přechodu z jedné saturace do druhé. Odezva výstupu v druhém grafu nebude tedy ideální – překlápěcí hrany výstupního obdélníkového průběhu nebudou ve skutečnosti svislé, nýbrž pouze šikmé, protože k překlopení z jedné saturace do druhé je potřeba určitá doba, v katalogových údajích označována jako tzv. doba přeběhu.

Invertující komparátor s hysterezí (s kladnou ZV):



$$u_{\text{vst}} = u_i$$

$$u_{\text{výst}} = u_o$$

Pro hodnotu U_2 , pokud $u_{\text{vst}} < U_2$, platí

$$U_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (+U_{\text{sat}})$$

V okamžiku, kdy amplituda U_{vst} překračuje hodnotu U_2 , se výstup OZ překlápí do opačné saturace ($-U_{\text{sat}}$). Tím se mění hodnota U_2 na neinvertujícím vstupu OZ na hodnotu U_1 , což urychlí překlopení výstupu OZ z kladné do záporné saturace.

Do kladné saturace se výstup OZ vrátí teprve po přivedení $u_{\text{vst}} < U_1$, kde

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (-U_{\text{sat}})$$

Takto zapojený OZ pracuje jako komparátor s hysterezí širokou

$$U_H = U_2 - U_1 = 2 \left| U_{\text{sat}} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right|$$

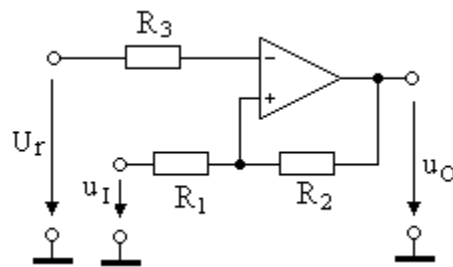
kde U_1 je samozřejmě proti zemi záporné. Hodnota $R_3 = R_1 \parallel R_2$ reprezentuje reálné vlastnosti OZ (nenulový vstupní proud), přičemž ale jeho hodnota pro funkci zapojení není kritická.

Jestliže je referenční napětí U_r nulové, je hysterezní smyčka statické charakteristiky souměrně rozložena kolem hodnoty $u_{\text{vst}} = 0\text{V}$. Pokud však uvážíme U_r nenulové, bude se souvislá osa hysterezní smyčky posouvat po ose u_{vst} . Pak tedy musíme předešlé vztahy doplnit o příspěvek od U_r :

$$U_2 = (+U_{\text{sat}}) \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_r \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_1 = (-U_{\text{sat}}) \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_r \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Obdobné chování lze očekávat i u zapojení neinvertujícího komparátoru:



$$u_{\text{vst}} = u_1$$

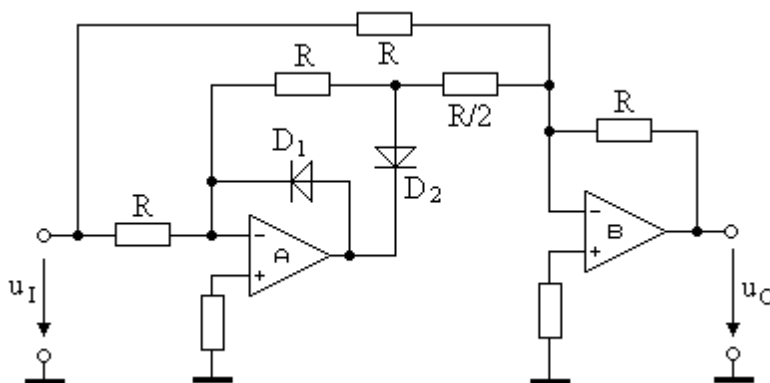
$$u_{\text{výst}} = u_o$$

$$U_2 = -(-U_{\text{sat}}) \frac{R_1}{R_2} + U_r \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$U_1 = -(+U_{\text{sat}}) \frac{R_1}{R_2} + U_r \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Hystereze se může ovlivnit i diodami – přidáme diodu do zpětné vazby.

Schéma zapojení obvodu absolutní nuly:



Jedná se o dvoucestný usměrňovač napětí. OZA charakterizuje jednocestný operační usměrňovač a OZB je zapojen jako součtový zesilovač.

Diferenční OZ - rozdílový

Slouží k zesilování rozdílu dvou napětí

Obrázek: Elektrické měření str. 55 obr. 3.34

Přístrojový OZ

Těž měřící OZ je určen pro zesilování malých napětových signálů a tomu odpovídající příslušné parametry, tj. velké rozdílové zesílení, vysoký činitel potlačení souhlasného napětí, nízký šum. Zapojení vstupů umožňuje diferenční (rozdílové) zesílení vstupního signálu. Pro zvýšení vstupního odporu mohou být vstupy doplněny napětovými sledovací signálu. Zesílení A_z přístrojového zesilovače v diferenčním zapojení lze nastavit zpravidla jedním vnějším odporem R_1 . Pro přenos přístrojového zesilovače platí:

$$A_z = \frac{u_v}{u_2 - u_1} = \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Přístrojové OZ jsou vyráběny hybridní i monolitickou technologií.

Obrázek: Elektrické měření str. 56 obr. 3.35

Izolační zesilovač symetrický

Vstupní rozdílové napětí je zesíleno a převedeno na symetrický výstup. $U_i(+)$, $U_i(-)$ se může pohybovat v rozsahu U použitých OZ.

Výstupní napětí je vztaženo k operační zemi GND, ovládání zesílení jedním prvkem.

Aktivní filtry

- Butterworthovy filtry – maximálně plochá amplitudová charakteristika
- Čebyševovy filtry – větší strmota za cenu zvlnění
- Besselovy filtry – maximálně lineární fázová charakteristika v okolí ω_z

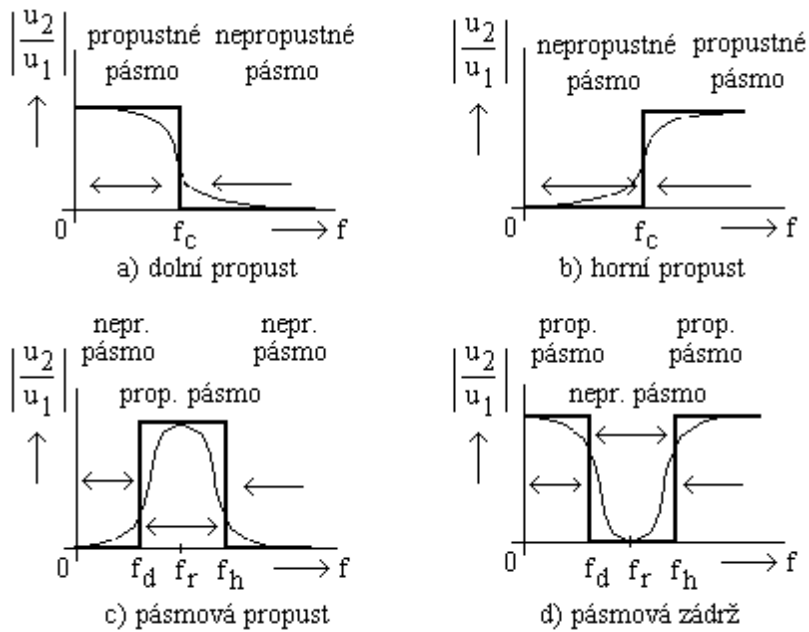
Pasivní filtry – z pasivních součástek (R, L, C)

Aktivní filtry – navíc obsahují zesilovací prvek (OZ), umožňují realizaci dané přenosové funkce bez použití indukčností L.

Butterworthovy filtry

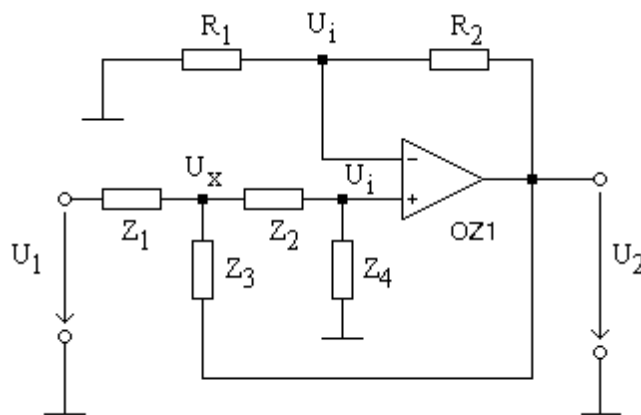
Obvod navržený tak, aby propouštěl signály určitého pásma frekvencí, ostatní frekvence potlačuje.

- dolní propust
- horní propust
- pásmová propust
- pásmová zadrž



Aktivní filtry především odstraňují používání indukčností.

Dolní propust 2. řádu sklon -40db/dek realizující pár komplexně sdružených kořenů se zápornou reálnou částí:



V případě aktivního filtru typu dolní propust budou impedance Z_1 a Z_2 nahrazeny rezistory, zatímco impedance Z_3 a Z_4 budou nahrazeny kondenzátory. Při realizaci filtru typu horní propust budou zaměněny rezistory a kondenzátory.

Pro různé druhy řádů Butherwortových polynomů existují polynomy

$$n=1 \quad (p+1)$$

$$n=2 \quad (p^2+1,414p+1)$$

·
·
·

Pro názornost a pochopení uvedu příklad:

Navrhněte dolnoproputní aktivní filtr pro frekvenci zlomu $f_c=1\text{kHz}$, $n=2$

$$Z_1=Z_2=R$$

$$Z_3=Z_4=C$$

$$C=10\text{ nF} - \text{volíme} \quad \text{z toho plyne} \quad R = \frac{1}{2\pi f_c C} = 15915\ \Omega$$

$$A_{u0} = 3 - 2k = 3 - 1,414 = 1,586$$

k – koeficient tlumení a získá se z polynomu a to $1,414/2$

$$A_{u0} = R_2/R_1 + 1 = 1,586 \quad (\text{dělič})$$

Odpory volíme jeden a druhý se dopočítá:

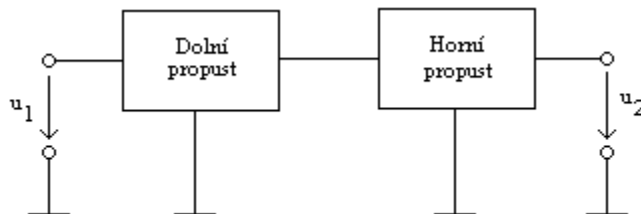
$$R_2 = R_1 \cdot 0,586 \quad R_1 = 10\text{k} \quad R_2 = 5860\ \Omega$$

Vyšší řády se dělají kombinací 2. Řádu a 1.řádu = 3. řádu.

Horní propust navrhujeme identicky pouze zaměníme prvky RC.

Pásmová propust

Vznikne kaskádním zapojením dolní a horní propusti:



Pásmová zádrž

Vlastnosti zapojení dolní a horní propusti však v tomto případě nelze provést kaskádně. Obě propusti se zapojují svými vstupy paralelně a jejich výstupy se přivádějí na součtový zesilovač.

Čebyševovy filtry

- nejstrmější pokles amplitudové charakteristiky za frekvencí zlomu pro daný řád filtru
- Pro frekvence vzdálenější od frekvence zlomu se sklon charakteristiky zmenšuje a asymptoticky se blíží sklonu $n \cdot 20\text{db/dek}$
- V propustném pásmu je zvlnění

A/D, D/A převodníky

D/A převodníky

Též číslicovo – analogové, převádějí vstupní číslicový signál na spojitý signál výstupní. Při D/A převodu tedy dochází ke kódování vstupního číslicového signálu na příslušný počet váhových proudových nebo napěťových kvant, které se pak sčítají na výstupu převodníku.

D/A převodníky dělíme:

- Nepřímé D/A – převádějí číslicový signál nejdříve na pomocnou veličinu (šířka impulsu, frekvence) a ta se poté převádí na příslušný analogový signál,
- Přímé D/A – převádějí číslicový signál přímo na analogovou veličinu.

D/A převodník s váhovými odpory:

Obrázek: Elektrické měření str. 85 obr. 4.21

D/A převodník s váhovými odpory s elektronickými přepínači:

Obrázek: Elektrické měření str. 86 obr. 4.22

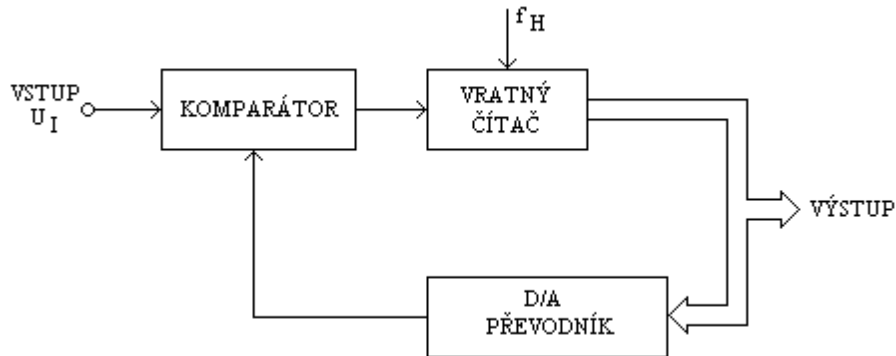
D/A převodník s odporovou sítí R-2R:

Obrázek: Elektrické měření str. 87 obr. 4.23

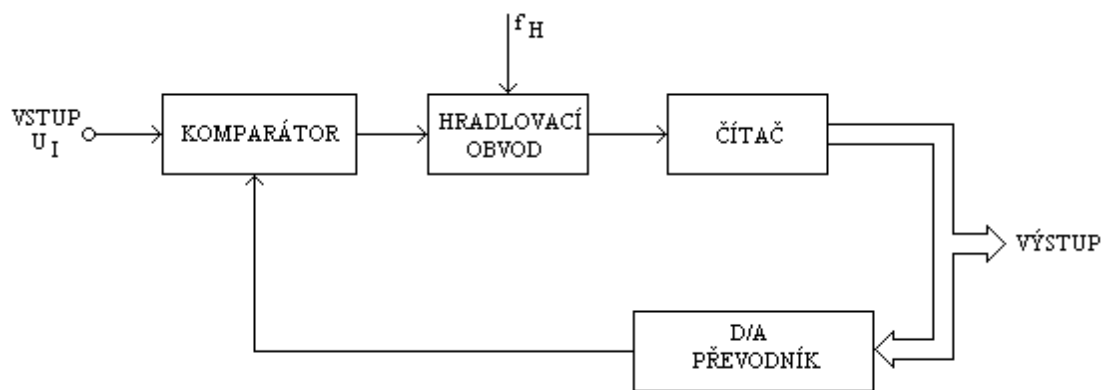
A/D převodníky

Těž analogovo - číslicové, převádějí vstupní spojitý signál na číslicový signál výstupní.

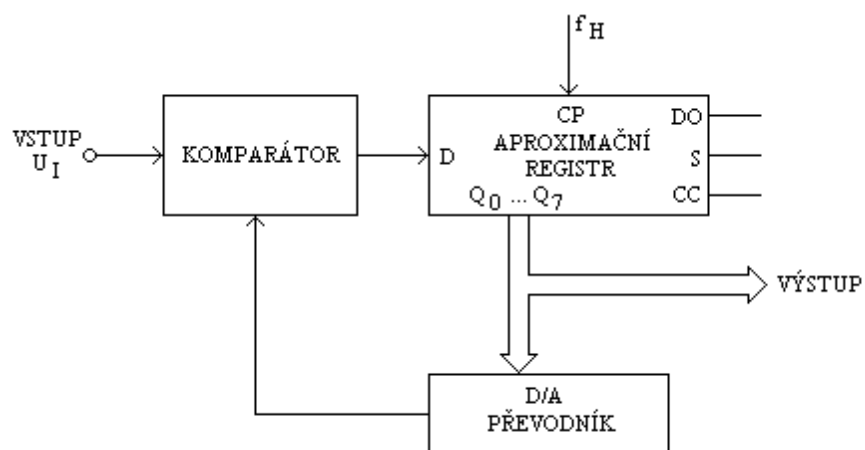
Sledovací A/D převodník:



Čítací A/D převodník:



Aproximační A/D převodník:



Napájecí zdroje

Transformátorové napájecí zdroje

Skládají se z těchto hlavních částí:

- Transformátor
- Usměrňovač
- Filtř
- Stabilizátor

Základem nejjednoduššího impulsního napájecího zdroje nebo stabilizátoru je **jednočinný indukční propustný nebo blokující měnič**, složený ze tří hlavních součástí – spínačem S (např. tranzistor), redukční dioda D a indukčnost L. Podle typu prvku, který je společný vstupnímu i výstupnímu proudovému obvodu lze použít obvod k výrobě a stabilizaci výstupního napětí, které může být buď menší nebo větší než napětí vstupní.

