

2, Operační zesilovače

Je to analogový IO reagující pouze na rozdíl napětí. Skládá se ze tří bloků – dif. zesilovač, napěťový zes., proudový zes. (koncový stupeň).

Ujednání pro výpočty a rozbor: 1, nekonečně velké napěťové zesílení

2, nekonečně velký vstupní odpor

3, nulový výstupní odpor

Reálný OZ: neplatí body 1,2,3, kmitočtový rozsah OZ je omezený $f_{max} \ll \infty$, z toho vyplývá virtuální 0 není také přesně definovaná – hodnota se pouze blíží k nule. Při posuzování se vychází z hodnocení odchylek OZ ideálního: **napěťová nesymetrie vstupů** – vliv nesymetrické struktury, hodnotí se a měří při otevřené zpětnovazební smyčce

vstupní klidový proud – hodnota DC proudu tekoucího vstupními svorkami OZ při nulovém U_{vst}

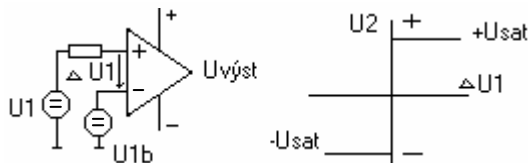
Napěťový a proudový drift – pomalá změna vstupního offsetu jako funkce času nebo teploty.

Nedokonalost vlivu součtových napětí – CMRR

Rychlost přeběhu vstupního napětí – Skew Rate – rychlost změny napětí odezvou na skokovou Změnu U_{vst} .

Kmitočtová kompenzace OZ, Zisk a kmitočtová charakteristika, rozkmit $\pm U_{výst}$, šumové vlastnosti....

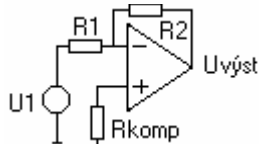
Jednoduchý jednoprahový napěťový komparátor: nejjednodušší zapojení – pokud je rozdíl vstupů ΔU_1 kladný, pak je výstup kladný a naopak.



Zpětná vazba: Zařazením obecné impedance mezi výstup a jeden z rozdílových vstupů OZ, zavádíme zpětnou vazbu nebo kladnou zpětnou vazbu, případně obojí, zpětná vazba je základem většiny praktických aplikací s OZ.

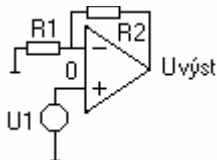
Virtuální nula – Vzniká zavedením záporné ZV, která přivádí OZ do vyváženého stavu tím, že změny na výstupu OZ se přivádí přes zápornou ZV na invertující vstup, který působí proti změnám na výstupu. Takto dochází k postupnému vyvažování, až je napětí na rozdílových vstupech rovno 0V, pak se výstup OZ nemění. Můžeme si to také představit tak, že zesílení OZ je nekonečné, a proto vlivem záporné ZV se libovolně velké výstupní napětí OZ vydělí nekonečnem, a to je vstupní rozdílové napětí, tedy 0. Pro pochopení obvodů s virtuální nulou ale nesmíme zapomenout, že přestože mezi vstupy je 0V, tak nejsou propojeny (např. drátem)!. Vstupy mají totiž nekonečný odpor a neteče jimi žádný proud. Veškerá zapojení OZ se zápornou ZV proto využívají této unikátní vlastnosti a funkce zapojení je vlastně určena jen součástkami připojenými k OZ. Můžeme takto realizovat téměř ideální zapojení – např. lineární zesilovač s jednoduchou regulací A_u (jedním odporem), lineární integrátor, ideální usměrňovač (který funguje i pro napětí $< 0,6V$), napěťový sledovač (který z velice měkkého napětí udělá velmi tvrdý zdroj), atd...

Invertující zesilovač napětí se zápornou ZV. – Odporem R_1 (je součástí ZV.) teče proud, mezi vst. a výst. obvodem zesilovače. Poměr odporů R_1/R_2 a virtuální nula jsou východiskem pro určení napěť. zesílení A_u .



$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-u_1 \frac{R_2}{R_1}}{u_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

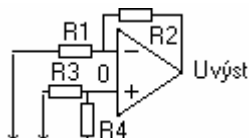
Neinvertující zesilovač napětí: neobrací fázi, pracuje na principu záporné ZV. $U_{výst}$ je rovno napětí na obou odporech.



$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{i(R_1 + R_2)}{R_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$R_{vst} = \infty$

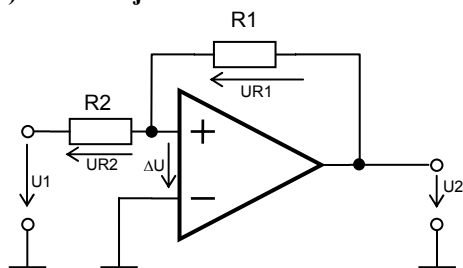
Diferenční zesilovač: diferenční zesilovač na vstupu OZ je lineární pouze pro U_{dif} menší než 5mV včetně. Díky virtuální 0 jsou splněny všechny podmínky pro dokonalou linearitu celého $U_{výst}$ 0... $\pm U_{výst}$ max. Slouží pro zesílení rozdílu dvou napětí.



$$U_{výst} = u_1 \frac{R_4}{R_3 + R_4} * \frac{R_1 + R_2}{R_1} - u_2 \frac{R_2}{R_1} \text{ po úpravě } U_{výst} = (u_1 - u_2) * \frac{R_2}{R_1}$$

Hysterezní komparátory

a) neinvertující



Je zavedena kladná zpětná vazba. Pokud je $\Delta U > 0$, pak se výstup komparátoru přepne na $+U_{výst}$. Když je $\Delta U < 0$, tak se komparátor přepne na $-U_{výst}$.

Napětí ΔU je dáno součtem $U_1 + U_{R2} = \Delta U$.

$$\text{Platí } U_{R2} = (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

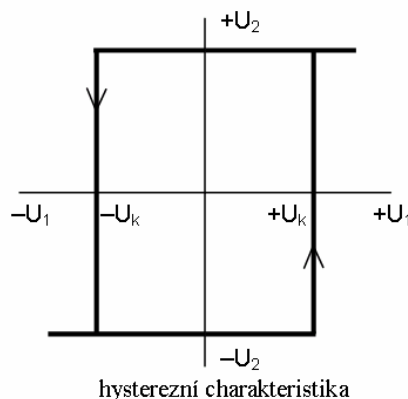
Po dosazení:

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

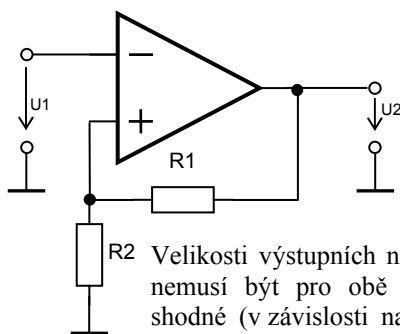
$$\Delta U = U_1 + \frac{U_2 - U_1}{\frac{R_1}{R_2} + 1}$$

Pro zjištění, při jaké hodnotě U_1 se komparátor přepne z $+U_{výst}$ na $-U_{výst}$ nebo naopak, vyšetříme, při jaké hodnotě U_1 prochází ΔU nulou. Toto napětí U_1 si označíme U_k .

$$\begin{aligned} \Delta U &= 0 \quad (\text{kdy } U_1 = U_k) \\ U_k + \frac{U_2 - U_k}{\frac{R_1}{R_2} + 1} &= 0 \quad / \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) \\ U_k \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) + U_2 - U_k &= 0 \\ U_k \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 - 1 \right) + U_2 &= 0 \\ \boxed{U_k = -U_2 \cdot \frac{R_2}{R_1}} \end{aligned}$$



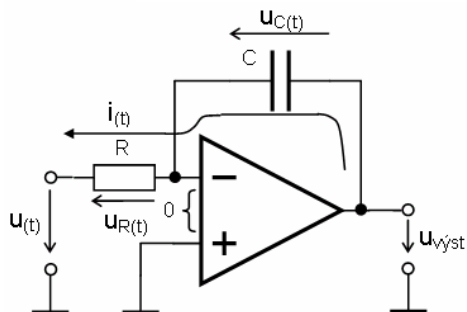
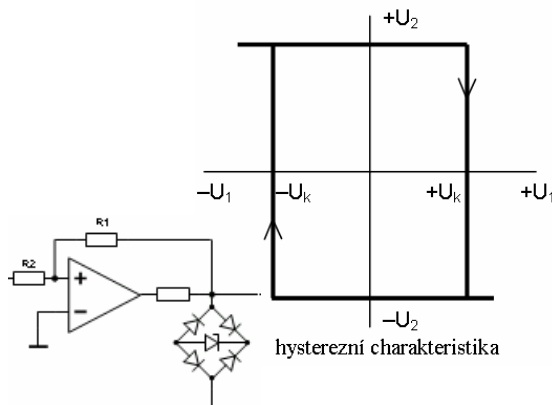
b) invertující



Napětí U_k je přímo určeno velikostí napětí na neinvertujícím vstupu, tedy velikostí napětí na odporu R_2 v nezatíženém děliči R_1, R_2 :

$$\boxed{U_k = U_2 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}}$$

Velikosti výstupních napětí U_2 u obou komparátorů nemusí být pro obě polarity v absolutní hodnotě shodné (v závislosti na použitém OZ). Proto se na výstup komparátorů přidává doplňkový symetrizační obvod, např. můstkové zapojení bipolární stabilizační diody. Výstupní napětí U_2 je tak jednoznačně definováno jako napětí na stabilizační diodě plus úbytek na dvou diodách.



Činnost invertujícího integrátoru:

Proud odporem R a zároveň i kapacitou C je vlivem virtuální nuly přesně lineární funkcí napětí $u(t)$:

$$i(t) = \frac{-u(t)}{R} \quad (\text{neboť } u_{R(t)} = -u(t))$$

$Q = C \cdot U$ a $Q = I \cdot t$, tedy $U \cdot C = I \cdot t$. Z toho vyplývá:

$$\Delta U_{výst} = \Delta u_{C(t)} = \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_1} i(t) dt = \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_1} -\frac{u(t)}{R} dt = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} u(t) dt$$