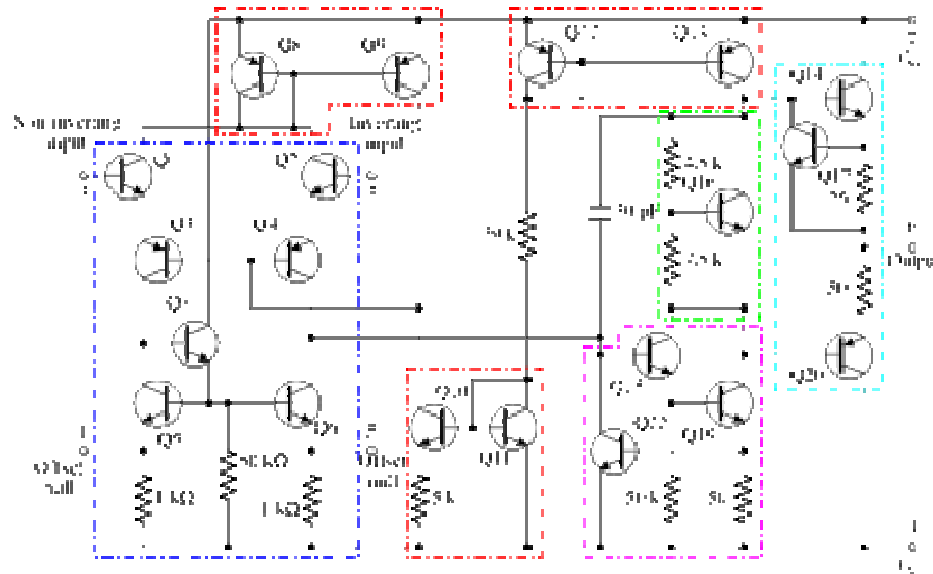


# Operační zesilovače - Vnitřní zapojení



Vnitřní zapojení klasického operačního zesilovače 741

Operační zesilovač se zpravidla skládá z následujících bloků:

- **Vstupní diferenciální zesilovač** (modře orámovaná část) - zajišťuje nízkošumové předzesílení rozdílového signálu a vysoký vstupní odpor
- **Napěťový zesilovač** (purpurově orámovaná část) - zajišťuje vysoký zisk OZ
- **Výstupní zesilovač** (azurově orámovaná část) - zajišťuje nízký výstupní odpor a dostatečný výstupní proud

Červeně orámované části tvoří tzv. proudová zrcadla, která zlepšují parametry OZ.

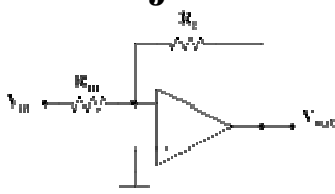
## Zapojení s operačním zesilovačem

Tento článek popisuje **základní zapojení s operačními zesilovači**, nejčastěji používají v různých elektronických obvodech.

Zde uváděné vztahy pro výpočty týkající se těchto zapojení předpokládají, že se pracuje s **ideálním operačním zesilovačem**. V běžných situacích to stačí, ale pokud vlastnosti zpracovávaného **signálu** dosahují hraničních hodnot použitého operačního zesilovače, je třeba sáhnout po složitějších vztazích platných pro reálné operační zesilovače.

V běžných obvodech se hodnoty **odporu rezistorů** pohybují mezi jednotkami kiloohmů až jednotkami megaohmů. Hodnoty odporů pod tímto rozsahem znamenají vyšší proudové zatížení a zbytečný ztrátový výkon. S hodnotami nad tímto rozsahem je zase spojen vyšší **šum** a náchylnost obvodů na rušení.

## **Invertující zesilovač**



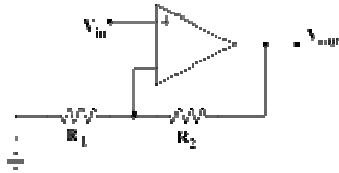
Invertující zesilovač

**Invertující zesilovač** je jedno z nejpoužívanějších zapojení. Na výstupu se objeví vstupní napětí vynásobené zápornou konstantou (tedy zinvertované). Velikost zesílení je daná poměrem odporů R2 a R1.

$$U_2 = - \frac{R_2}{R_1} U_1 \quad (R_2 > R_1)$$

(protože zesilovač se vždy snaží mezi vstupy udržet nulové napětí, tedy na – (invertujícím) vstupu je tzv. plovoucí zem)

## Neinvertující zesilovač



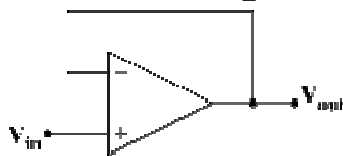
Neinvertující zesilovač

**Neinvertující zesilovač** zesiluje (násobí konstantou vždy větší než 1) vstupní napětí. Oproti Invertujícímu zesilovači, který má vstupní impedanci danou velikostí odporu R1, se u tohoto zapojení vstupní impedance blíží nekonečnu a nezávisí na hodnotách odporů R1 a R2.

$$U_2 = \frac{R1 + R2}{R1} U_1 \quad (R_2 > R_1)$$

(reálně odpovídá vstupní impedanci samotného operačního zesilovače, která je ovšem typicky velmi vysoká 1 MΩ až 10 TΩ)

## Sledovač napětí



Sledovač napětí

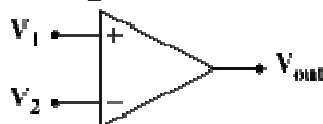
**Sledovač napětí** Impedančně přizpůsobíme velkou impedanci k malý,ma na výstupu napětí rovné vstupnímu. Vstup má ovšem, podobně jako u neinvertujícího zesilovače, impedanci blížíící se nekonečnu. Výstupní impedance je daná vlastnostmi použitého operačního zesilovače a je velmi nízká.

Sledovač se používá právě pro oddělení vysokoimpedančního vstupu a nízkoimpedančního výstupu.

$$U_{vst} = U_{výst}$$

Vstupní impedance  $Z_{vst}$  (reálně odpovídá vstupní impedanci samotného operačního zesilovače, která je ovšem typicky velmi vysoká 1 MΩ až 10 TΩ)

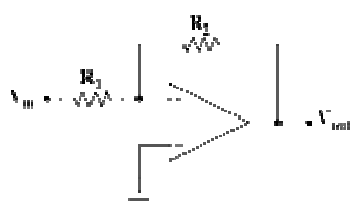
## Komparátor



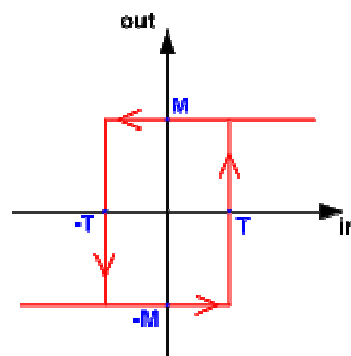
Komparátor

**Komparátor** porovnává napětí přivedená na vstupy + a -. Pokud je vyšší napětí na vstupu +, je na výstupu kladné saturační napětí operačního zesilovače, je li vyšší napětí na vstupu -, je na výstupu záporné saturační napětí operačního zesilovače. U normálních operačních zesilovačů je saturační napětí výstupu řádově o jeden nebo několik voltů nižší než napětí napájecí. Speciální tzv. rail-to-rail operační zesilovače jsou ovšem konstruovány tak, aby výstupní napětí mohlo dosahovat téměř hodnot napětí napájecího.

## Schmittův klopný obvod



Schmittův klopný obvod



Hysterezní diagram schmittova klopného obvodu

**Schmittův klopný obvod** je speciální komparátor, který má hysterezi. To znamená, že jeho výstup je závislý nejen na hodnotě vstupu, ale i na jeho původním stavu.

Podobně jako obyčejný komparátor s operačním zesilovačem, i schmittův klopný obvod dosahuje na výstupu kladného nebo záporného saturačního napětí.

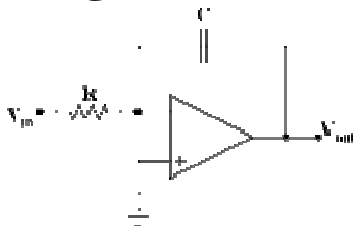
Pokud je na výstupu například kladné napětí, nedojde k překlopení schmittova obvodu při pouhém splnění podmínky  $U_{inv} > U_{neinv}$  jako u komparátoru, ale teprve až rozdíl obou napětí dosáhne prahové hodnoty  $H^-$  (rozdílu hodnot  $U_{inv}$  a  $U_{neinv}$  do mínusu).

Podobně pokud je nyní na výstupu záporné saturační napětí, může dojít ke zpětnému překlopení schmittova obvodu teprve až v momentě, kdy je  $U_{inv} > U_{neinv}$  o více než  $H^+$  (rozdílu hodnot  $U_{inv}$  a  $U_{neinv}$  do plusu).

Oba tyto děje jsou znázorněny na obrázku hysterezního diagramu. Je z něj vidět, že schmittův klopný obvod se v mezích  $\pm H$  chová jako paměť minulého stavu.

Velikost hystereze se u schmittova klopného obvodu s operačním zesilovačem vypočítá podle vztahu:

## Integrační zesilovač



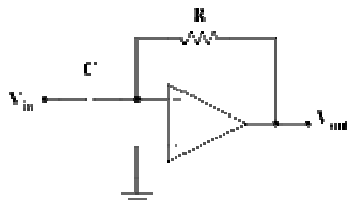
Integrační zesilovač

**Integrační zesilovač** provádí integraci (invertovaného) vstupního signálu podle času. Výstupní napětí se vypočítá podle vztahu:  $u_0 = - \frac{1}{Rc} \int u_i(t) \Delta t - u_0(t=0)$

kde  $u_0(t=0)$  je počáteční napětí, které bylo na výstupu v čase 0.

Integrační zesilovač se mimo jiné dá použít jako filtr, konkrétně dolní propust'.

## Derivační zesilovač



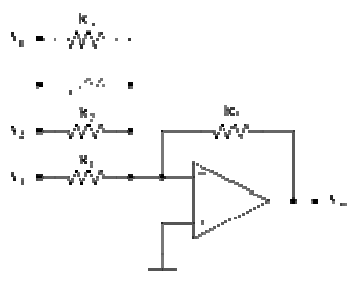
Derivační zesilovač

**Derivační zesilovač** provádí derivaci (invertovaného) vstupního signálu podle času. Výstupní napětí se vypočítá podle vztahu:  $U_{výst} = \frac{-Rc \cdot du}{dt}$

kde  $U_{výst}$  a  $du$  (vstupní napětí  $\Delta u$ ) jsou funkcemi času.

Derivační zesilovač se mimo jiné dá použít jako filtr, konkrétně horní propust'.

## Sčítací zesilovač



Sčítací zesilovač

Sčítací zesilovač sčítá napětí na jednotlivých vstupech, přičemž výsledek je invertovaný. V obecném případě platí pro výstupní napětí vztah:

$$U_{vyst} = -R_f \left( \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right)$$

Pokud jsou hodnoty odporů  $R_1 = R_2 = R_n$  shodné, ale odpor  $R_f$  je nezávislý, pak platí:

$$U_{vyst} = - \left( \frac{R_f}{R_1} \right) (U_1 + U_2 + \dots + U_n)$$

Jsou-li všechny odpory shodé, pak:

$$U_{vyst} = - (U_1 + U_2 + \dots + U_n),$$

- Vstupní impedance jednotlivých vstupů jsou  $Z_n = R_n$ , protože (neinv je plovoucí zem).

## Další zapojení

Výše uvedená zapojení jsou pouze výběrem těch základních, které lze s operačními zesilovači realizovat. Existuje nesčíslně mnoho dalších zapojení. Některá z nich si vystačí s jediným operačním zesilovačem, ale řada z nich jich vyžaduje více. **Některá z dalších zapojení:**

- Přístrojový zesilovač
- Rozdílový zesilovač
- Logaritmický zesilovač
- Exponenciální zesilovač
- Přesný usměrňovač
- Detektor špiček
- Detektor průchodu nulou
- Indukční gyrátor
- Konvertor záporné impedance
- Různé typy oscilátorů
- Různé typy filtrů