

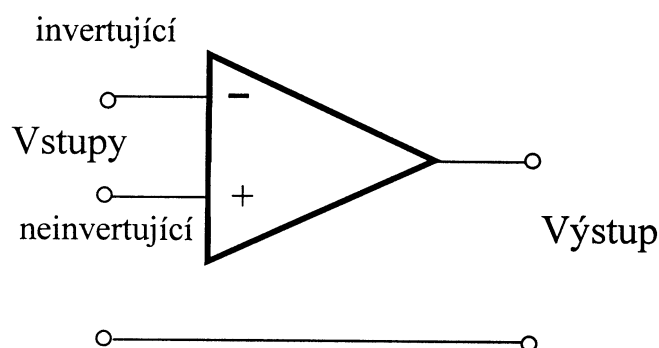
## Fyzikální praktikum 3, stav nouze 2020

### Úloha J Operační zesilovač

#### Úvod

Operační zesilovač je elektronický obvod hojně využívaný téměř ve všech oblastech analogové elektroniky. Jde o diferenciální zesilovač napětí s velkým ziskem. Jinak řečeno, operační zesilovač vytváří na svém výstupu napětí, které je mnohonásobně větší, než rozdíl potenciálů mezi jeho dvěma vstupy. Ideální operační zesilovač by toto vstupní napětí zesiloval nekonečněkrát. Ideální zesilovač má kromě nekonečného zesílení také nekonečný vstupní odpor (takže se v žádném z jeho vstupů neztrácí proud), nulový výstupní odpor a nekonečnou šířku pásma (tj. zesiluje všechny frekvence stejně). Obvody v reálných operačních zesilovačích zajišťují velmi různá zesílení, někdy menší než 1 000, jindy větší než  $10^6$ . Vstupní odpor bývá alespoň  $M\Omega$ , výstupní odpor okolo  $50\Omega$ . Šířka pásma reálných operačních zesilovačů se pohybuje od několika kHz po stovky MHz, při větších frekvencích dochází k výraznému poklesu zesílení a k fázovému rozdílu mezi vstupem a výstupem. Velká šířka pásma je žádoucí nejenom ve vysokofrekvenčních zařízeních, ale také ve zpětnovazebních zapojeních, kde zpoždění výstupního signálu za vstupním může způsobit nestabilitu zařízení.

Značka operačního zesilovače je nakreslena na obr. 1. Tato součástka má většinou dva vstupy (invertující a neinvertující) a jeden výstup. Je-li potenciál neinvertujícího vstupu vyšší než potenciál invertujícího vstupu, je na výstupu kladné napětí a naopak. Kromě výstupního a vstupních kontaktů má operační zesilovač také kontakty pro napájení a to kladným i záporným napětím. (Napájecí napětí není napětím na vstupech zesilovače. Jde o zdroj energie pro vnitřní obvody zesilovače a dále se jeho velikostí nemusíme příliš zabývat, alespoň pokud zesilovač nedostaneme do saturace.)



Obrázek 1: Schematická značka operačního zesilovače.

V následujících úkolech si vyzkoušíte několik zapojení operačního zesilovače. Protože v nouzovém stavu nemůžete dojít do praktika a obvody si skutečně sestavit, použijte některý simulátor elektrických obvodů. My jsme otestovali on-line simulátor [www.multisim.com/create](http://www.multisim.com/create).

Pokud bude na konci semestru umožněna kontaktní výuka, zkusíte si každý sestavit alespoň jedno zapojení operačního zesilovače i v praktiku. Protokol ale sepište nyní na základě počítačové simulace obvodů.



Obrázek 2: Aparatura pro měření s operačním zesilovačem: 1. Multimetry. 2. Zdroj střídavého napětí. 3. Různé elektrické prvky. 4. Zdroje stejnosměrného napětí. 5. Deska s operačním zesilovačem. 6. Zdroj napájení. 7. Osciloskop.

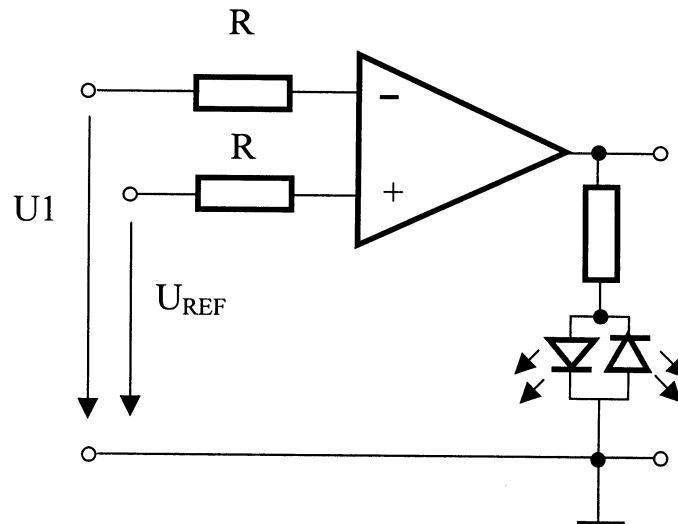
## Komparátor

Pro pochopení principu operačního zesilovače je vhodné si vyzkoušet jeho jednoduché využití při srovnávání dvou napětí: protože operační zesilovač násobí rozdíl vstupních napětí velkým číslem, může s velkou citlivostí srovnávat dva vstupní signály (tj. rozlišovat, který z nich je větší). Příklad takového komparátoru je na obr. 3. Takovéto zapojení dobře demonstruje funkci operačního zesilovače, je ale potřeba zmínit, že v praxi se jako komparátory používají jiné, výrazně rychlejší součástky.

V tomto zapojení většinou přivedete na každý vstup zesilovače jiný potenciál. Napětí mezi vstupy tak bude nenulové a ideální operační zesilovač by proto na svém výstupu měl generovat nekonečně velké napětí. Reálný zesilovač má samozřejmě své možnosti omezené a na svém výstupu tedy generuje maximálně velké napětí, jaké je schopen poskytnout. Velikost výstupního napětí je omezena zejména tím, jakým napětím zesilovač napájíme. Operační zesilovač v tomto úkolu tedy pracuje v saturovaném režimu.

### Úkol

Vyzkoušejte, jak se toto zapojení chová a jak reaguje výstupní napětí zesilovače na rozdíl mezi vstupními napětími. Vyzkoušejte kladný i záporný rozdíl mezi vstupními napětími.

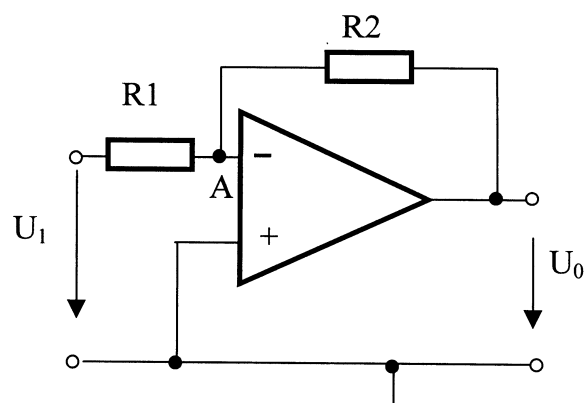


Obrázek 3: Komparátor.

## Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem

Schéma zapojení invertujícího zesilovače je na obr. 4. Vstupní napětí je přes rezistor  $R_1$  přivedeno na invertující vstup, neinvertující vstup je uzemněn. Napětí na vstupu je zesíleno a na výstupu se objeví s opačnou polaritou. Výstupní napětí je přivedeno přes zpětnovazební rezistor opět na vstup a svou opačnou polaritou zmenšuje napětí v bodě A. Protože operační zesilovač má obrovské zesílení, ustálí se obvod ve stavu, kdy je mezi vstupy operačního zesilovače téměř nulové napětí. Neinvertující vstup je uzemněn, proto bude nulový i potenciál invertujícího vstupu, tedy bodu A. Protože operační zesilovač má velký vstupní odpor, musí být proud tekoucí odporem  $R_1$  identický s proudem tekoucím přes zpětnovazební odpor  $R_2$ . Platí proto  $U_1/R_1 = -U_O/R_2$  a toto zapojení operačního zesilovače tedy zesiluje napětí podle vztahu

$$U_O = -\frac{R_2}{R_1} U_1 \quad (1)$$



Obrázek 4: Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem.

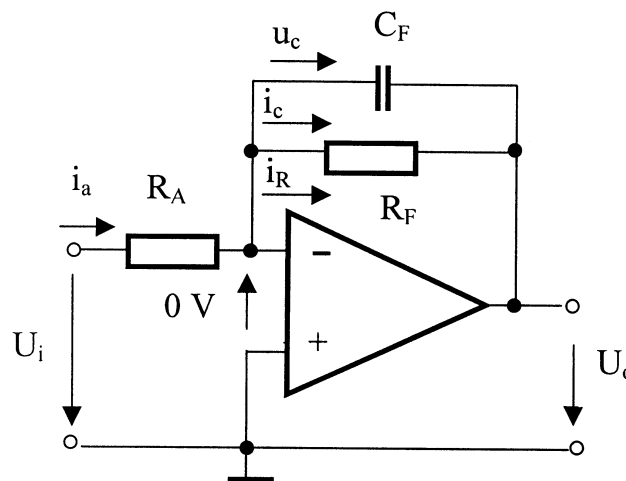
**Simulujte popsané zapojení a splňte následující dva úkoly:**

- Připojte k operačnímu zesilovači takové odpory, aby celý obvod zesiloval dvakrát, a ověřte, že zapojení pracuje podle vztahu (1).
- Určete šířku pásma uvedeného zapojení operačního zesilovače. Šířka pásma (nazývaná také přenosová oblast) je maximální frekvence, při které ještě operační zesilovač v daném zapojení pracuje dobře. Jako tato hranice se většinou udává taková frekvence, při které klesne zesílení o 3 dB oproti zesílení nízkofrekvenčních signálů  $A_{u,max}$  teoreticky popsanému rovnicí (1). Pokles o 3 dB odpovídá poklesu zesílení na hodnotu  $A_{u,max}/\sqrt{2}$ . Protože v tomto úkolu budete proměřovat velkou oblast frekvencí, je lepší vynášet ve výsledném grafu zesílení v závislosti na zlogaritmované hodnotě frekvence.

## Dolnofrekvenční propust

Drobnou obměnou zapojení invertujícího zesilovače (obr. 4) dostaneme zapojení, které propouští pouze nízké frekvence vstupního signálu (viz obr. 5). Přidaný kondenzátor snižuje impedanci zpětnovazební větve pro vysoké frekvence, což vede k zesílení

$$A_u = -\frac{R_F}{R_A} \frac{1}{1 + i\omega C_F R_F} \quad (2)$$



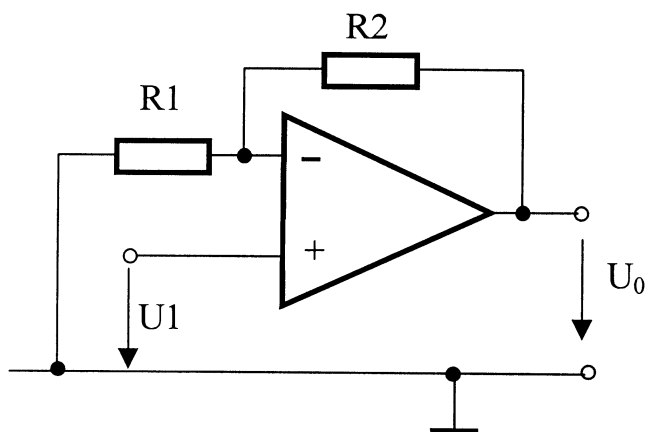
Obrázek 5: Dolnofrekvenční propust.

### Úkol

Simulujte závislost zesílení na frekvenci a z grafu této závislosti určete šířku přenášeného pásma tohoto frekvenčního filtru. Do grafu vynesete i teoretickou závislost velikosti zesílení na frekvenci. Kromě zesílení okomentujte i chování rozdílů fází vstupního a výstupního signálu.

## Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem

Prohlédněte si zapojení operačního zesilovače na obr. 6. Vstupní napětí je zde přivedeno na neinvertující vstup. Invertující vstup je spojen se zemí přes odpor  $R_1$  a zpětná vazba je na něj přivedena přes rezistor  $R_2$ . Před praktikem si rozmyslete, co bude toto zapojení dělat. Vztah mezi vstupním a výstupním napětím lze jednoduše odvodit stejnou úvahou, jakou byla získána rovnice (1).



Obrázek 6: Zapojení neinvertujícího zesilovače.

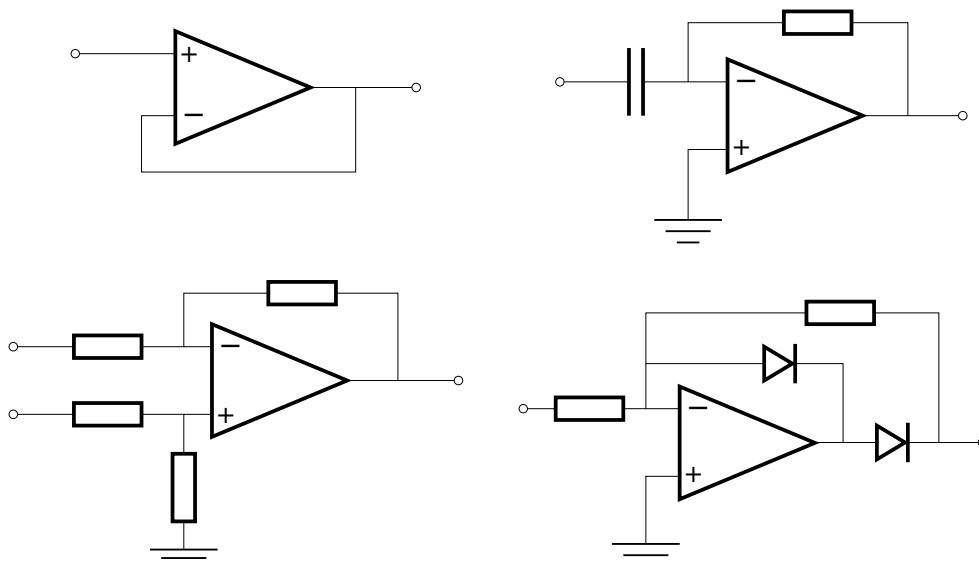
### Úkol

Pomocí počítačové simulace ověřte správnost vašeho vzorce.

## Derivátor

### Úkol

Na obr. 7 jsou nakreslena čtyři různá zapojení operačního zesilovače. Před praktikem si rozmyslete, které z nich slouží jako derivační zesilovač (derivátor), tj. napětí na výstupu je přímo úměrné derivaci vstupního napětí podle času. Funkci zapojení derivátoru ověřte pomocí simulace.

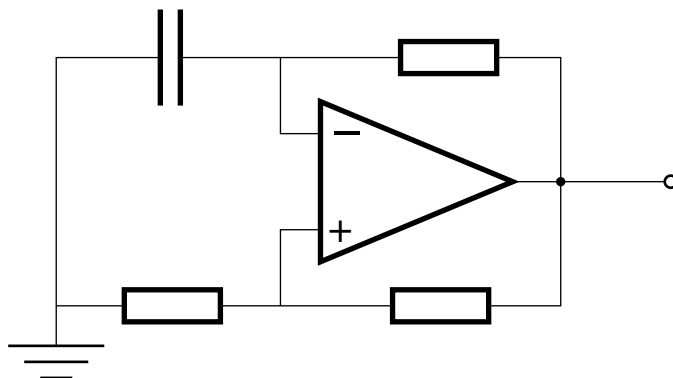


Obrázek 7: Několik příkladů zapojení operačního zesilovače.

## Neznámé zapojení

### Úkol

Na obr. 8 je nakreslen další obvod, který využívá operační zesilovač. Zjistěte, co tento obvod dělá, a jeho funkci vysvětlete.



Obrázek 8: Zapojení zesilovače, jehož fungování má být vyluštěno.

### Nášup

Milovníci hlavolamů si můžou zkusit vymyslet, k čemu slouží ostatní zapojení nakreslená na obr. 7. Nebo byste zvládli vymyslet, jak pomocí operačního zesilovače sestavit sčítací zesilovač nebo zařízení, které se chová jako záporný odpor? Ale to už je mimo rámec běžného praktika.