

POKROČILÉ PRAKTIKUM Z ELEKTRONIKY

Návod k úloze č. 4: Zapojení s OZ

Zadání úlohy číslo 4

Proveďte zapojení elektronických obvodů s operačním zesilovačem a porovnejte měření s teoretickými vztahy.

Zapojení: převodníky proud/napětí
napěťový sledovač
Schmittův klopný obvod
rozdílový zesilovač

Volitelná zapojení: invertující zesilovač
neinvertující zesilovač
dolnofrekvenční propust

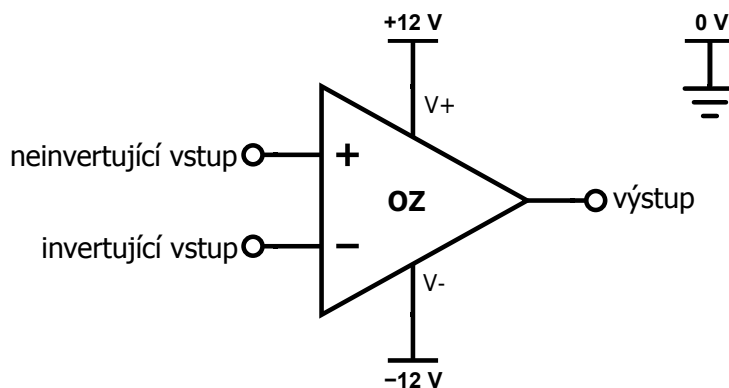
1. Úvod

S operačním zesilovačem jste se již prakticky seznámili v některém z předešlých praktik nebo přednášek. Existuje však množství zapojení, díky kterým je operační zesilovač praktickou součástí v elektronice. V této úloze vytvoříte několik zapojení a provedete, že odvozené teoretické vztahy odpovídají experimentu.

1.1. Operační zesilovač

Operační zesilovač (zkráceně OZ) je univerzální zesilovací analogový elektronický obvod, který vytváří na svém výstupu napětí, které odpovídá mnohonásobně zesílenému rozdílu potenciálů mezi jeho vstupy.

Ve většině případů je operační zesilovač integrován v součástce s několika vývody. Na součástce nalezneme nejenom vstupy a výstupy zesilovače, ale také napájecí vývody a často korekci *offsetu*.



Obrázek 1: Schématická značka OZ s označenými vstupy, výstupem a napájením.

Na obrázku 1 je znázorněná schématická značka OZ, součástka má dva různé vstupy. Je-li potenciál invertujícího vstupu vyšší než potenciál neinvertujícího, napětí na výstupu bude záporné a naopak.

Zesilovač musí být napájen symetrickým napětím $\pm 12\text{ V}$ se zapojenou společnou zemí. Pro zjednodušení teoretických výpočtů se reálný OZ často nahrazuje idealizovaným, tak jak popsán parametry v tabulce 1.

Tabulka 1: Porovnání vlastností ideálního a reálného OZ

Parametr		Ideální OZ	Reálný OZ
A_U	Napěťové zesílení	∞	$5 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^6$
R_{vst}	Vstupní odpor	$\infty \Omega$	$1 \cdot 10^5 \Omega - 1 \cdot 10^8 \Omega$
R_{vyst}	Výstupní odpor	0Ω	$1 \Omega - 100 \Omega$
BW	Šířka frekvenčního pásma	$\infty \text{ Hz}$	$5 \cdot 10^4 \text{ Hz} - 1 \cdot 10^9 \text{ Hz}$
SR	Rychlost náběhu	$\infty \text{ V}/\mu\text{s}$	$0,1 \text{ V}/\mu\text{s} - 5000 \text{ V}/\mu\text{s}$

1.2. Experimentální vybavení

V praktiku máte k dispozici přípravek s osazeným operačním zesilovačem, sadu rezistorů, frekvenční generátor, dvojitý regulovatelný zdroj napětí a zdroj symetrického napětí ($\pm 12\text{ V}$). Pro měření proměnných veličin využijete sadu laboratorních multimetrů a osciloskop.

Při zapojení si dávejte pozor na uzemňování vstupních napětí a měřících přístrojů. Mějte také na paměti, že OZ vykazuje saturační napětí výstupu, které je omezeno jeho napájením.

2. Zapojení s OZ

2.1. Převodníky proud/napětí

S potřebou použít převodníky se setkáme při mnoha zapojeních, převážně se jedná o zapojení senzorů. V tomto případě můžeme převodníky použít také jako říditelné napájení. Prakticky vzniká elektricky řízený zdroj proudu nebo napětí.

Zdroj proudu řízený napětím

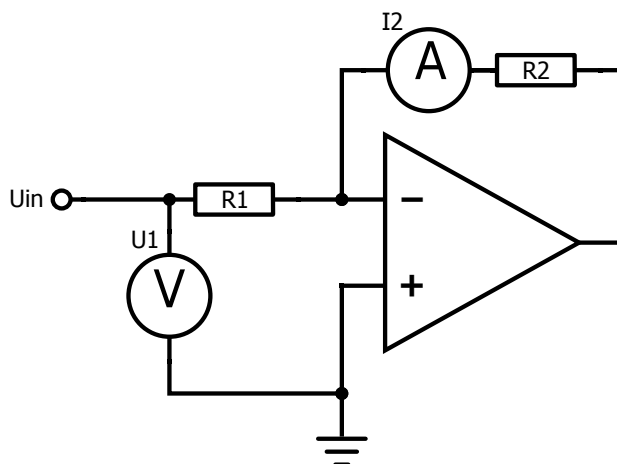


Schéma 1: Zapojení zdroje proudu řízeného napětím.

Na větev zpětné vazby připojujeme zátěž, kterou má téct konstantní proud. Tento proud lze teoreticky určit jako

$$I_2 = \frac{U_1}{R_1}, \quad (1)$$

kde U_1 je vstupní napětí a R_1 je odpor na vstupu.

Před měřením nejprve přiveďte symetrické napájení 12 V na operační zesilovač, nezapomeňte na zemnění (černý konektor). Následně můžete zapojit obvod podle schématu 1. Na vstup připojte regulovatelný zdroj napětí a měřte vstupní napětí a proud zpětnou vazbou.

R_1 ... různé

R_2 ... různé

Ověřte zda uvedený vztah platí pro několik různých rezistorů R_1 a R_2 . Empiricky rozhodněte, jestli se odpor R_2 na výstupním proudu I_2 nijak neprojevuje. Začněte s $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$.

Zdroj napětí řízený proudem

Zapojte obvod podle následujícího schématu, tím získáte převodník napětí řízený proudem. Multimetry měřte proud I_1 a napětí U_2 .

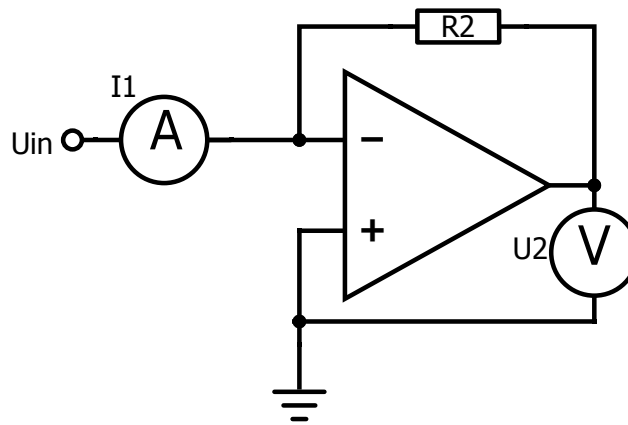


Schéma 2: Zapojení zdroje napětí řízeného proudem.

Teoreticky odvozená velikost napětí je dána jen vstupním proudem a velikostí odporu ve zpětné vazbě takto

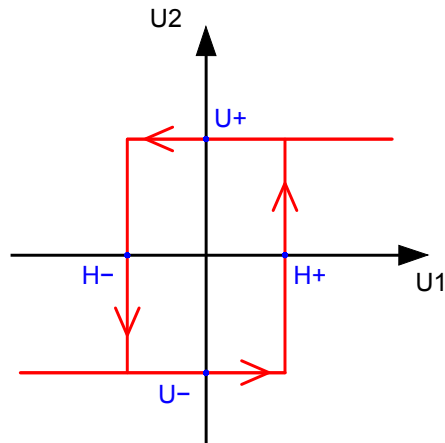
$$U_2 = -I_1 R_2. \quad (2)$$

R_2 ... různé

Ověřte zda uvedený vztah platí pro několik různých rezistorů R_2 , začněte s $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.

2.2. Schmittův klopný obvod

Schmittův klopný obvod patří mezi důležité obvody pro zpracování signálů s nenulovým šumem, protože vykazuje hysterezi. Znázorněné hysterezní chování je zobrazeno na obrázku 2, k překlopení stavu obvodu dochází až při překročení hysterezního napětí v závislosti na stavu ve kterém obvod před překlopením nacházel.



Obrázek 2: Hysterezní chování Schmittova klopného obvodu.

Obvod zapojte podle následujícího schématu, na vstup zapojte signální generátor, který generuje pilový signál. Průběh napětí vstupu a výstupu určete osciloskopem.

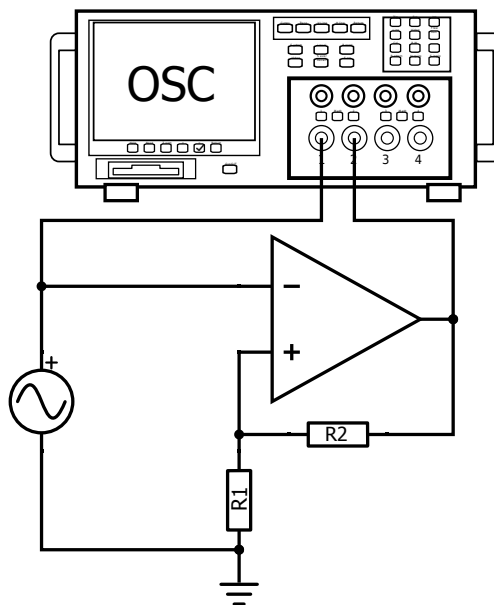


Schéma 3: Zapojení Schmittova klopného obvodu.

$$H_{\pm} = \pm U_{\text{sat}} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

Změřte saturační napětí OZ, vypočtete teoretické hysterezní napětí podle zapojených rezistorů. Na vstup přiveďte trojúhelníkový signál, přeložením průběhů vstupního a výstupního napětí určete reálná hysterezní napětí. Začněte s $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$.

2.3. Sledovač napětí

Sledovač napětí je *de facto* neinvertující zesilovač se zesílením $A_U = 1$. Jeho funkce je tímto zřejmá, výhodou takové zapojení je větší proudová zatížitelnost operačního zesilovače. Dochází prakticky ke kopírování vstupního signálu na výstup.

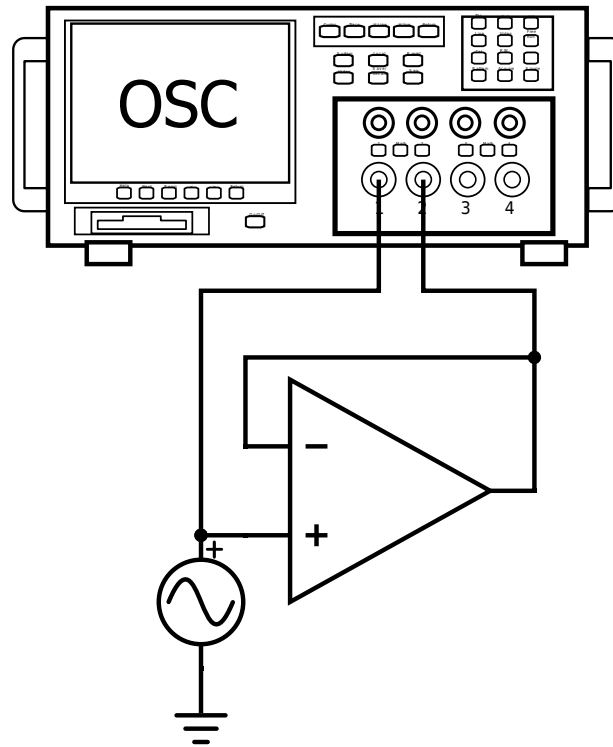


Schéma 4: Zapojení sledovače napětí.

$$A_U = 1 \quad (4)$$

Rychlost přeběhu (slew rate)

Rychlost přeběhu je jeden z parametrů, který popíše chování elektrické součástky při rychle se měnícím signálu. U OZ se prakticky jedná o rychlost reakce na vstupní podnět. Je definována jako rychlost změny napětí takto

$$SR = \frac{\Delta U}{\Delta t}. \quad (5)$$

Pro výpočet rychlosti přeběhu tedy potřebuje změřit jak amplitudu výstupního napětí tak dobu, za kterou se vstupní signál měnil. Měřením přeběhové doby a velikosti napětí určíte *slew rate*.

Určete funkci napěťového sledovače a určete chování výstupního signálu pro různé tvary vstupního signálu. Pro obdélníkový signál určete slew rate a diskutujte použitelnost sledovače napětí ve VF technice. Pro jaké aplikace by mohl být sledovač napětí využit?

2.4. Rozdílový zesilovač

Rozdílový zesilovač zesiluje diferenci vstupních signálů. Díky velkému zesílení OZ jsme schopni detekovat minimální rozdíly mezi vstupními signály. Díky změně polarity na výstupu vidíme i který potenciál je vyšší a nejenom zesílený rozdíl.

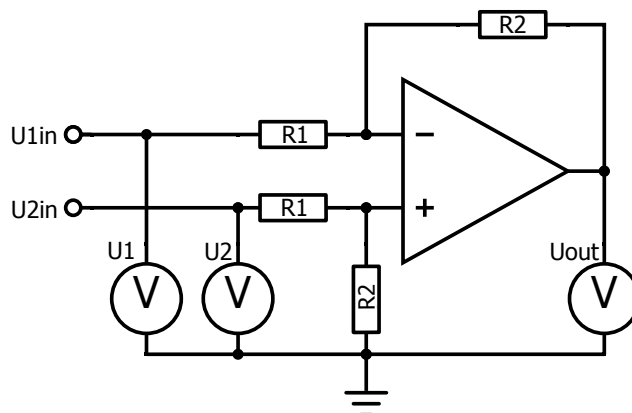


Schéma 5: Zapojení rozdílového zesilovače.

Teoreticky lze odvodit zesilovací koeficient rozdílu napětí takto

$$U_{\text{OUT}} = \frac{R_2}{R_1}(U_2 - U_1) = \frac{R_2}{R_1}\Delta U. \quad (6)$$

Ověřte pro několik kombinací rezistorů R_1 a R_2 zda uvedený vztah platí, začněte s $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$.

3. Volitelná zapojení

Invertující zesilovač

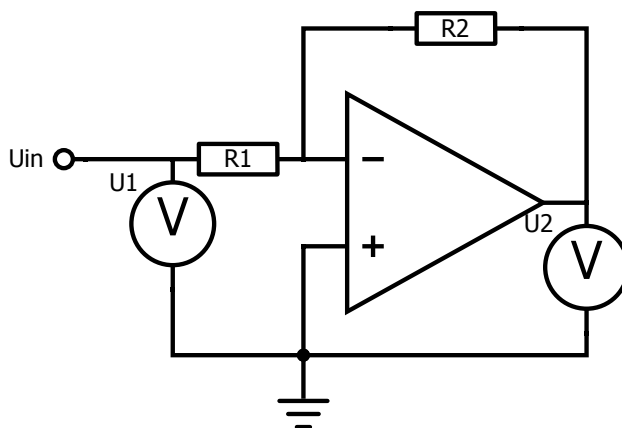


Schéma 6: Zapojení invertující zesilovače.

$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1}U_1 \quad (7)$$

Ověřte, že tento typ zapojení invertuje a zesiluje vstupní signál podle teoretického vztahu. Určete koeficient zesílení teoreticky i empiricky pro různé kombinace rezistorů.

Neinvertující zesilovač

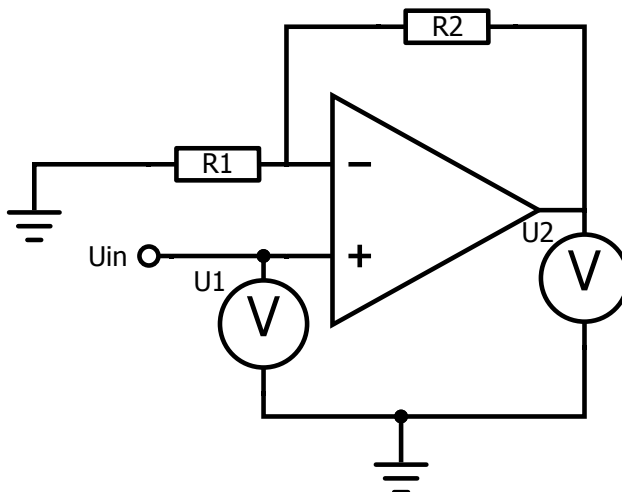


Schéma 7: Zapojení neinvertující zesilovače.

$$U_2 = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)U_1 \quad (8)$$

Ověřte, že tento typ zapojení a zesiluje vstupní signál podle teoretického vztahu. Určete koeficient zesílení teoreticky i empiricky pro různé kombinace rezistorů.

Dolnofrekvenční propuř

Zapojením RC filtru do zpětné vazby dojde k zesilení jen určitého pásma frekvencí vstupních signálů. Zapojením podle schématu 8 získáte dolnofrekvenční propuř, u které určíte šířku pásma. Tu určíte

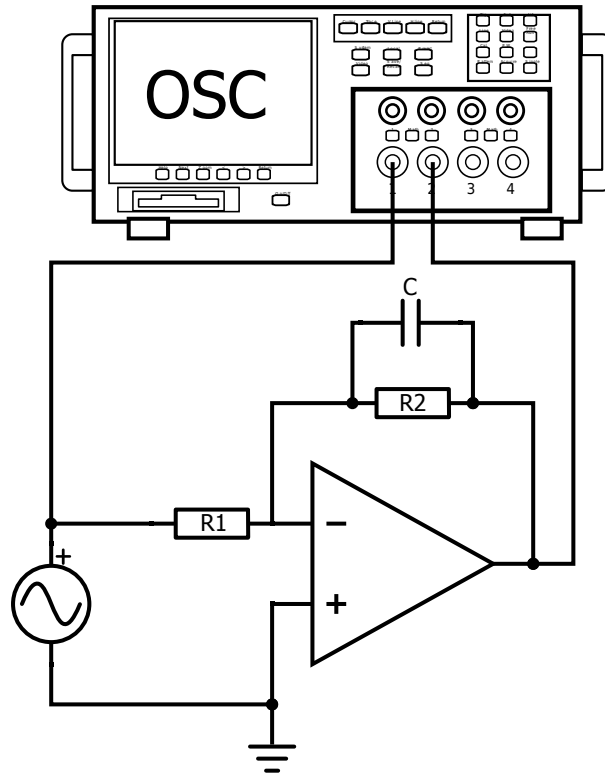


Schéma 8: Zapojení OZ jako dolnofrekvenční propuř.

$$A = \frac{A_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{pokles zesilení o 3 dB} \quad (9)$$

Ověřte funkci dolnofrekvenční propuře, určete frekvenční závislost zesilení pomocí osciloskopu. Určete při jaké frekvenci dochází k poklesu o 3 dB. Měření můžete opakovat pro různé rezistory a kondenzátory.