

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 3

**Zpracoval:** Jakub Juránek

**Naměřeno:** 20. březen 2013

**Obor:** UF    **Ročník:** II    **Semestr:** IV

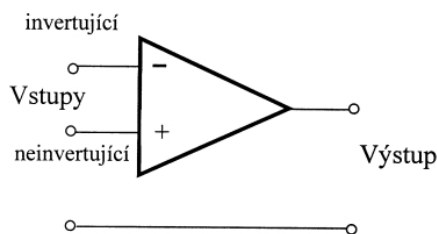
**Testováno:**

### Úloha č. 7:      Operační zesilovač

#### 1. Teorie a měření

Jelikož jde o úlohu, jejímž cílem je to, aby si student vyzkoušel nejrůznější měření s využitím operačního zesilovače, a často zde jde o ověřování teoreticky předpovězeného chování, spojíme teoretickou a praktickou část protokolu.

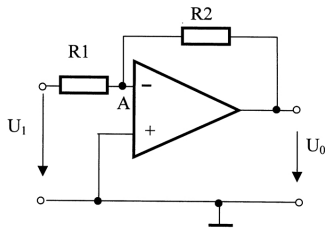
Operační zesilovač, schématická značka viz. obrázek 1, je elektronický obvod, který na svém výstupu vytváří napětí, které je mnohonásobně větší, než je rozdíl potenciálů mezi jeho dvěma vstupy. Jednou z důležitých charakteristik ideálního operačního zesilovače je nekonečný vstupní odpor, takže se v žádném jeho vstupu neztrácí proud, což je fakt, který využijeme při teoretickém stanovování zesílení napětí. Další charakteristikou je závislost zesílení na frekvenci, přičemž při velkých frekvencích dochází k výraznému poklesu zesílení. Toto charakterizuje šířka pásma, což je frekvence, při níž zesílení poklesne z maximální teoretické hodnoty  $A_{u,max}$  na hodnotu  $A_{u,max}/\sqrt{2}$ .



Obrázek 1: Schématická značka operačního zesilovače.

## 1.1. Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem

Zapojení s invertujícím vstupem je dle schématu na obrázku 2.



Obrázek 2: Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem.

Využijeme-li výše uvedenou vlastnost o velkém vstupním odporu, musí přes odpory  $R_1$  a  $R_2$  téct stejný proud a mezi vstupy je nulové napětí, tedy jsou na stejném potenciálu, který je díky uzemnění neinvertujícího vstupu nulový. Platí tedy:

$$\frac{I_1}{R_1} = \frac{I_2}{R_2}$$
$$\frac{0 - U_1}{R_1} = \frac{U_0 - 0}{R_2}$$

Výstupní zesílené napětí je tedy možno vyjádřit:

$$U_0 = -\frac{R_2}{R_1} U_1 \quad (1)$$

V měření nejprve zapojíme obvod se známými odpory a stejnosměrným vstupním napětím, a ověříme, zda teoreticky předpovězené zesílení odpovídá.

Použijeme následující odpory:

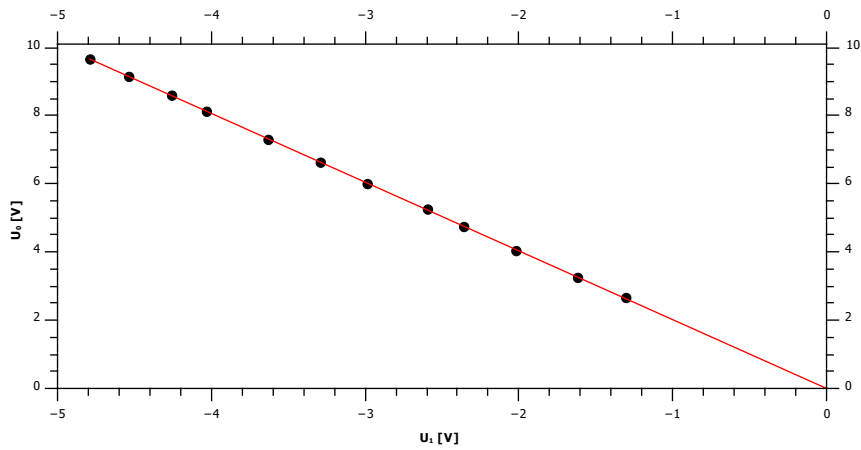
$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 20 \text{ k}\Omega$$

Předpovídané zesílení:

$$A_{u,max} = 2$$

| $U_1$ [V] | $U_0$ [V] |
|-----------|-----------|
| -1,31     | 2,67      |
| -1,62     | 3,25      |
| -2,02     | 4,03      |
| -2,36     | 4,75      |
| -2,60     | 5,25      |
| -2,99     | 6,02      |
| -3,29     | 6,64      |
| -3,63     | 7,31      |
| -4,03     | 8,13      |
| -4,26     | 8,60      |
| -4,54     | 9,17      |
| -4,79     | 9,67      |



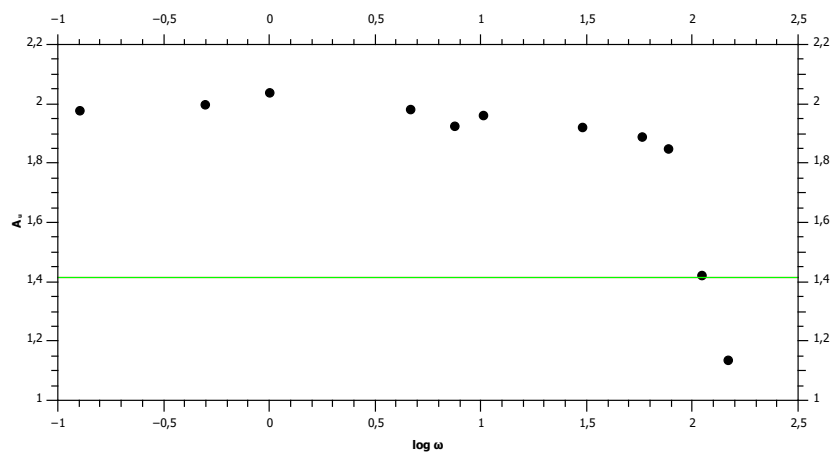
Obrázek 3: Závislost výstupního napětí na vstupním pro invertující vstup.

Z proložené lineární závislosti dostáváme zesílení:

$$A_u = -2,017 \pm 0,002$$

Nyní připojíme obvod na střídavé vstupní napětí a budeme určovat šířku pásma. Do tabulky kromě hodnot frekvence a napětí budeme uvádět i rozdíl mezi naměřeným zesílením a zesílením pro šířku pásma.

| $\omega$ [kHz] | $U_1$ [V] | $U_0$ [V] | $A_u - A_{u,max}/\sqrt{2}$ |
|----------------|-----------|-----------|----------------------------|
| 0,1268         | 2,00      | 3,96      | 0,566                      |
| 0,4941         | 2,04      | 4,08      | 0,586                      |
| 1,004          | 1,96      | 4,00      | 0,627                      |
| 4,604          | 2,10      | 4,16      | 0,567                      |
| 7,440          | 2,12      | 4,08      | 0,510                      |
| 10,27          | 2,08      | 4,08      | 0,547                      |
| 30,16          | 2,02      | 3,88      | 0,507                      |
| 57,74          | 2,20      | 4,16      | 0,477                      |
| 77,16          | 2,12      | 3,92      | 0,435                      |
| 110,9          | 2,08      | 2,96      | 0,009                      |
| 146,8          | 2,04      | 2,32      | -0,277                     |

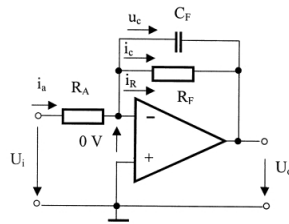


Obrázek 4: Závislost zesílení invertujícího vstupu na frekvenci.

Vidíme, že frekvence 110,9 kHz je velmi blízko šířce pásma, která bude jen o málo větší.

## 1.2. Dolnofrekvenční propust

Připojíme-li do obvodu kondenzátor dle schématu na obrázku 5, dostaneme zapojení, které propouští pouze nízké frekvence.



Obrázek 5: Zapojení zesilovače pro dolnofrekvenční propust.

Zesílení je dáno vztahem:

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

Použijeme následující odpory a kondenzátor:

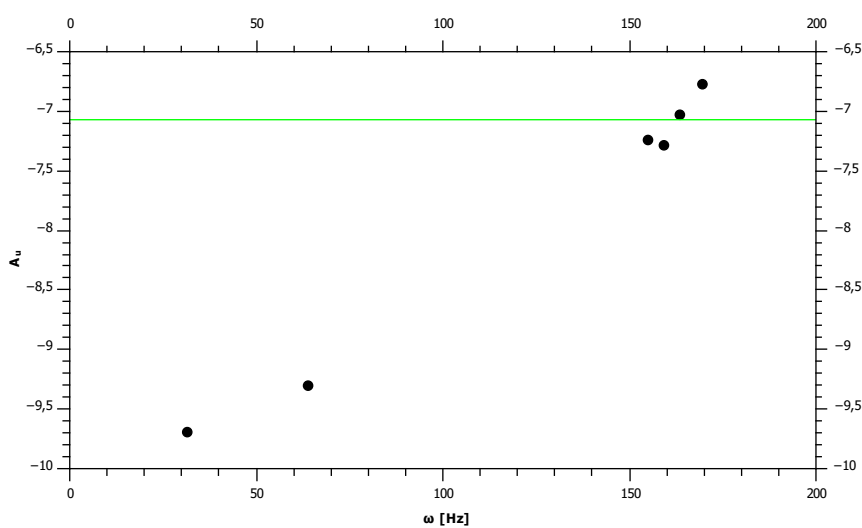
$$R_A = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_F = 100 \text{ k}\Omega$$

$$C_F = 10 \text{ nF}$$

Maximální teoretické zesílení je tedy -10.

| $\omega$ [kHz] | $U_1$ [V] | $U_0$ [V] | $A_u - A_{u,max}/\sqrt{2}$ |
|----------------|-----------|-----------|----------------------------|
| 31,17          | -1,92     | 18,60     | -2,62                      |
| 63,78          | -2,00     | 18,60     | -2,23                      |
| 154,8          | -1,88     | 13,60     | -0,16                      |
| 159,2          | -1,84     | 13,40     | -0,21                      |
| 163,4          | -1,88     | 13,20     | 0,05                       |
| 169,5          | -1,92     | 13,00     | 0,30                       |

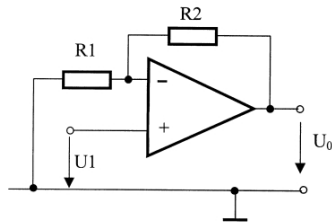


Obrázek 6: Závislost zesílení dolnofrekvenční propusti na frekvenci.

Vidíme, že frekvence 163,4 Hz je velmi blízko šířce pásma, ale její upřesnění už není na použité aparatuře možné, neboť proměřené hodnoty frekvencí byly u sebe, jak to jen zdroj umožňoval.

### 1.3. Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem

Zapojení v této části bude dle schématu na obrázku 7.



Obrázek 7: Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem.

Provedeme stejnou potenciálovou a proudovou úvahu jako u invertujícího vstupu:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 \\ \frac{U_1 - 0}{R_1} &= \frac{U_0 - U_1}{R_2} \end{aligned}$$

Výstupní zesílené napětí je tedy možno vyjádřit:

$$U_0 = \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right) U_1 \quad (3)$$

Použijeme následující odpory:

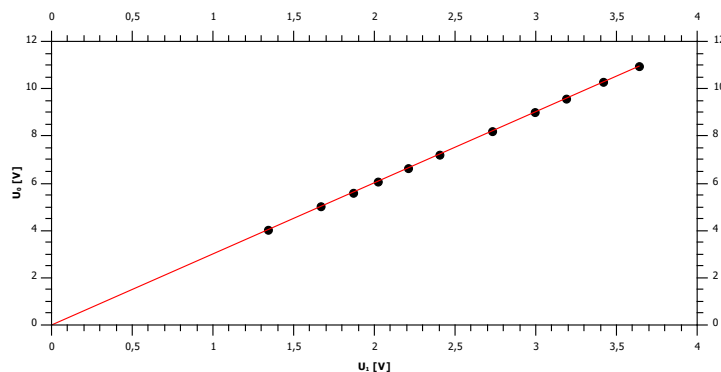
$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 20 \text{ k}\Omega$$

Předpokádané zesílení:

$$A_{u,max} = 3$$

| $U_1$ [V] | $U_0$ [V] |
|-----------|-----------|
| 1,34      | 4,02      |
| 1,67      | 5,03      |
| 1,87      | 5,61      |
| 2,02      | 6,08      |
| 2,21      | 6,64      |
| 2,40      | 7,23      |
| 2,73      | 8,22      |
| 2,99      | 9,01      |
| 3,19      | 9,60      |
| 3,42      | 10,29     |
| 3,64      | 10,95     |



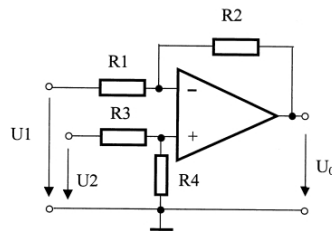
Obrázek 8: Závislost výstupního napětí na vstupním pro neinvertující vstup.

Z proložené lineární závislosti dostáváme zesílení:

$$A_u = 3,009 \pm 0,002$$

## 1.4. Rozdílový zesilovač

Zapojení v této části bude dle schématu na obrázku 9.



Obrázek 9: Zapojení rozdílového zesilovače

Měření budeme provádět pro odpory:

$$R_1 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

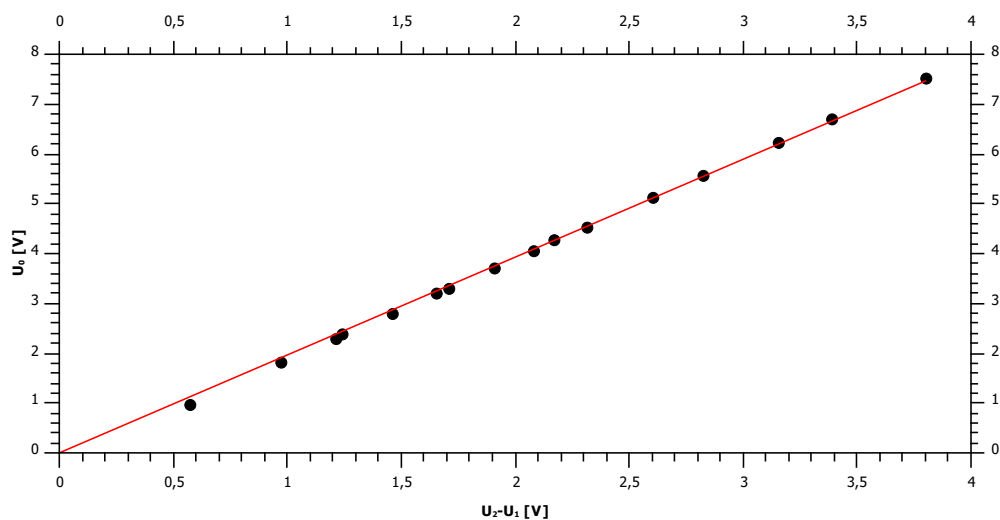
$$R_2 = R_4 = 20 \text{ k}\Omega$$

Výstupní zesílené napětí je pak možno vyjádřit:

$$U_0 = 2(U_2 - U_1) \quad (4)$$

| $U_1$ [V] | $U_2$ [V] | $U_2 - U_1$ [V] | $U_0$ [V] |
|-----------|-----------|-----------------|-----------|
| 1,95      | 3,19      | 1,24            | 2,391     |
| 1,95      | 3,60      | 1,65            | 3,227     |
| 1,95      | 4,03      | 2,08            | 4,05      |
| 1,95      | 4,26      | 2,31            | 4,52      |
| 1,95      | 4,77      | 2,82            | 5,56      |
| 1,95      | 5,10      | 3,15            | 6,23      |
| 1,95      | 5,34      | 3,39            | 6,70      |
| 1,95      | 5,75      | 3,80            | 7,53      |

| $U_1$ [V] | $U_2$ [V] | $U_2 - U_1$ [V] | $U_0$ [V] |
|-----------|-----------|-----------------|-----------|
| 1,30      | 3,90      | 2,60            | 5,14      |
| 1,73      | 3,90      | 2,17            | 4,27      |
| 1,99      | 3,90      | 1,91            | 3,72      |
| 2,19      | 3,90      | 1,71            | 3,31      |
| 2,44      | 3,90      | 1,46            | 2,80      |
| 2,69      | 3,90      | 1,21            | 2,299     |
| 2,93      | 3,90      | 0,97            | 1,813     |
| 3,33      | 3,90      | 0,57            | 0,985     |



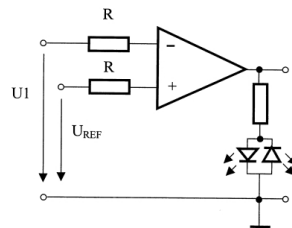
Obrázek 10: Závislost výstupního napětí na vstupním pro rozdílový zesilovač.

Z proložené lineární závislosti dostáváme zesílení:

$$A_u = 1,964 \pm 0,007$$

## 1.5. Komparátor

Komparátor, zapojení dle obrázku 11, jsme zapojení, které umožňuje porovnávat dvě vstupní napětí.

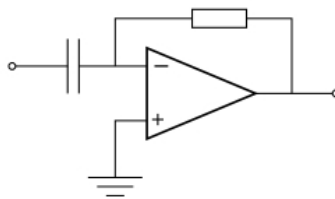


Obrázek 11: Zapojení komparátoru

Máme-li dvě různobarevné diody, kupříkladu zde červenou a zelenou, můžeme pozorovat, že je-li  $U_1 < U_{REF}$  svítí červená a v opačném případě zelená. Je ale zajímavé si povšimnout, že nám tento přechod nevychází v našem přesně, nýbrž se to chová, jako by bylo napětí  $U_1$  asi o 0,05 V větší, než co ukazuje voltmetr.

## 1.6. Derivátor

Derivátor je takové zapojení operačního zesilovače, u kterého je napětí na výstupu přímo úměrné časové derivaci vstupního napětí. Schéma zapojení derivátoru je na obrázku 12.



Obrázek 12: Zapojení derivátoru

Má-li vstupní napětí průběh sinu, bude mít výstupní průběh kosinu, tedy bude posunuto o  $\pi/2$ , a jeho amplituda poroste s frekvencí vstupního napětí. Tento fakt jsme ověřili na osciloskopu.

## 2. Závěr

Provedli jsme měření pro různá zapojení operačního zesilovače.

V případech, kde jsme ověřovali, zda zesílení odpovídá teoreticky předpovězené hodnotě, což bylo u invertujícího a neinvertujícího vstupu a u rozdílové zesilovače, jsme se k ní vždy dostali velmi blízko. Nepatrné rozdíly od této hodnoty budou způsobeny nepřesnými údaji odporů, neideálním obvodem a též nepřesnými voltmetry, což se mimo jiné ukázalo i u komparátoru.

V měřeních šířky pásma se nám vždy, invertující vstup a dolnofrekvenční propust, podařilo určit tuto hodnotu velmi přesně.