

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktiku 3

**Zpracoval:** Radek Žemlička

**Naměřeno:** 22. května 2009

**Obor:** F    **Ročník:** II    **Semestr:** IV

**Testováno:**

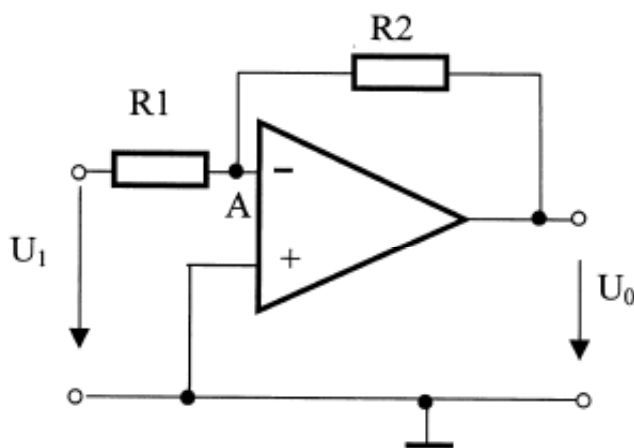
### Úloha č. 7:      Operační zesilovač

## 1 Teorie

Operační zesilovač je univerzální stejnosměrný zesilovací analogový elektronický obvod, jenž je základním prvkem analogových elektronických systémů. Ideální model má nekonečně velké zesílení  $A_u$ , nekonečně velký vstupní odpor  $R_{vst}$  a nulový výstupní odpor  $R_{vyst}$ . Reálný model mívá zesílení alespoň  $A_u = 10000$ , vstupní odpor  $R_{vst} = 50k\Omega$  a výstupní odpor  $R_{vyst} = 50k\Omega$ . Tato součástka má dva vstupy, invertující a neinvertující, a jeden výstup. Pokud přijde signál na invertující vstup, na výstupu bude s opačnou fází, bude-li připojen na neinvertující vstup, na výstupu bude signál se stejnou fází. Operační zesilovač má dále vstupy pro napájení.

## 2 Práce s operačním zesilovačem

### 2.1 Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem



Obrázek 1: Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem

Je-li signál přivedený na 3. vstup, pak je výstupní signál k němu v opačné fázi. Vstupní napětí je přes rezistor  $R_1$  přivedeno na invertující vstup, kde je zesíleno a na výstupu se objeví s opačnou polaritou. Výstupní napětí je přivedeno přes rezistor  $R_2$  na vstup, kde zmenšuje vstupní napětí. Obvod se ustálí ve stavu, kdy je v bodě A téměř nulové napětí. Z rovnosti proudů v uzlu A plyne:

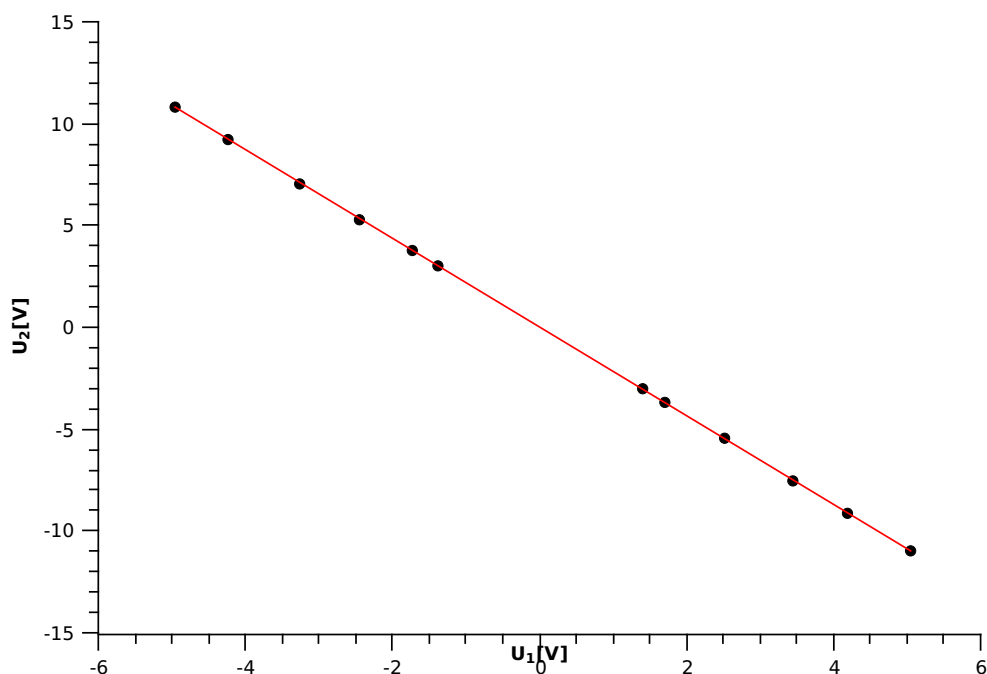
$$U = -\frac{R_2}{R_1}U_1 \quad (1)$$

### 2.1.1 Měření a výsledky úkolu 1

Bylo měřeno výstupní napětí pro vstupní napětí v rozsahu od  $-5V$  do  $+5V$ . Hodnoty použitých odporů byly  $R_1 = 1\Omega$  a  $R_2 = 22\Omega$ . Teoretická hodnota  $\frac{R_2}{R_1} = 2,2\Omega$ . Naměřené hodnoty shrnuje tabulka 1. Závislost  $U_0$  na  $U_1$  byla vynesena do grafu v obrázku 2.

|          |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $U_1[V]$ | 5,04   | 4,18  | 3,45  | 2,51  | 1,71  | 1,40  | -1,39 | -1,74 | -2,44 | -3,26 | -4,24 | -4,95 |
| $U_0[V]$ | -11,00 | -9,15 | -7,53 | -5,47 | -3,67 | -3,05 | 3,03  | 3,80  | 5,30  | 7,08  | 9,22  | 10,78 |

Tabulka 1: Naměřené hodnoty vstupního a výstupního napětí



Obrázek 2: Závislost výstupního napětí na vstupním

Směrnice přímky grafu 2 byla numericky vypočítána jako  $-2,178 \pm 0,002$ , což odpovídá očekávané, teoretické hodnotě.

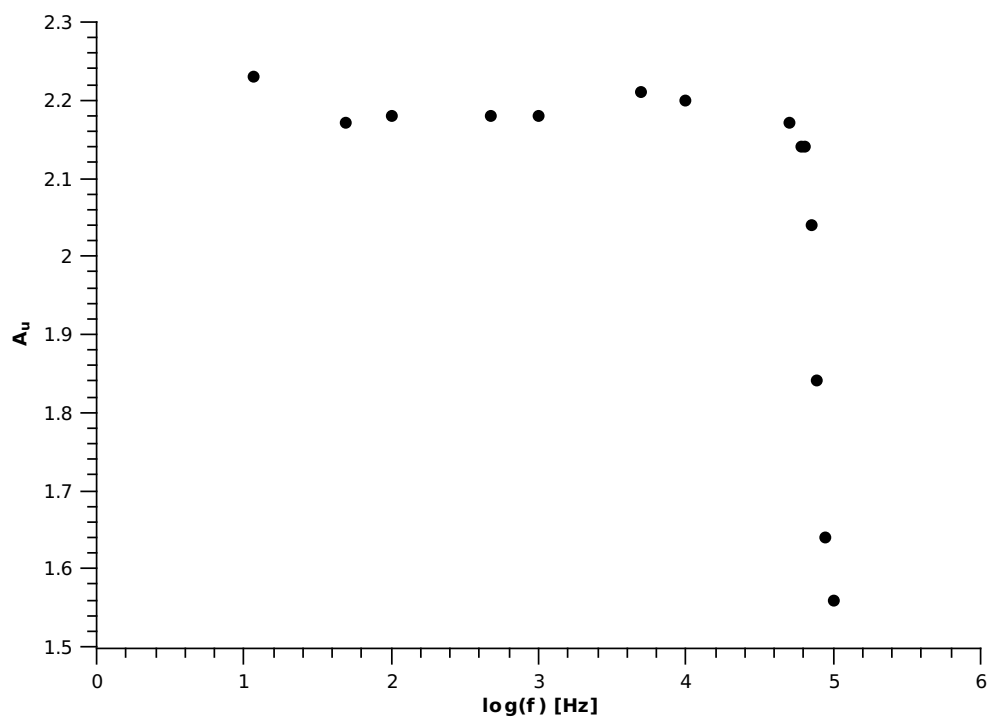
### 2.1.2 měření a výsledky úkolu 2

Následně bylo na výstup téhož zesilovače přivedeno střídavé napětí o amplitudě  $1V$ . Pro frekvence v rozsahu  $10Hz$  až  $100kHz$  byly měřeny hodnoty  $U_1$  a  $U_2$  a hledána závislost zesílení  $A_u = \frac{U_0}{U_1}$  na frekvenci. Naměřené hodnoty shrnuje tabulka 2.

Do grafu v obrázku 3 byla vynesena závislost zesílení na logaritmu frekvence. Z tohoto grafu byla přibližně stanovována hranice přenosové oblasti na  $80kHz$ .

| $f[Hz]$ | $U_1[V]$ | $U_0[V]$ | $A_u$ |
|---------|----------|----------|-------|
| 11      | 2,12     | 4,72     | 2,23  |
| 49      | 2,16     | 4,68     | 2,17  |
| 100     | 2,20     | 4,80     | 2,18  |
| 484     | 2,24     | 4,88     | 2,18  |
| 1000    | 2,20     | 4,80     | 2,18  |
| 5000    | 2,24     | 4,96     | 2,21  |
| 10000   | 2,20     | 4,96     | 2,25  |
| 50000   | 2,28     | 4,94     | 2,17  |
| 60000   | 2,24     | 4,80     | 2,14  |
| 65000   | 2,24     | 4,80     | 2,14  |
| 70000   | 2,28     | 4,64     | 2,04  |
| 78000   | 2,24     | 4,12     | 1,84  |
| 90000   | 2,32     | 3,80     | 1,64  |
| 100000  | 2,24     | 3,50     | 1,56  |

Tabulka 2: Hodnoty měřené pro určení závislosti zesílení na frekvenci

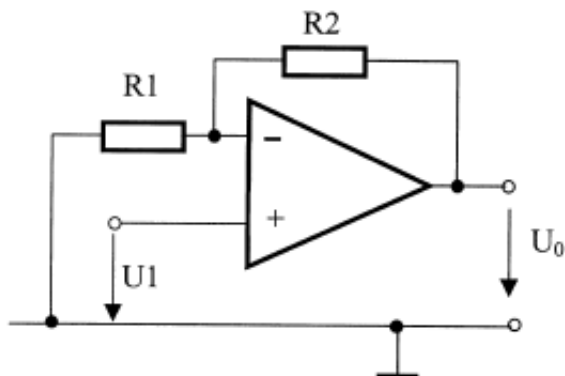


Obrázek 3: Graf závislosti zesílení na logaritmu frekvence

## 2.2 Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem

Schéma zapojení neinvertujícího zesilovače je na obrázku 4. Pro zesílení neinvertujícího zesilovače platí vztah:

$$U_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1 \quad (2)$$



Obrázek 4: Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem

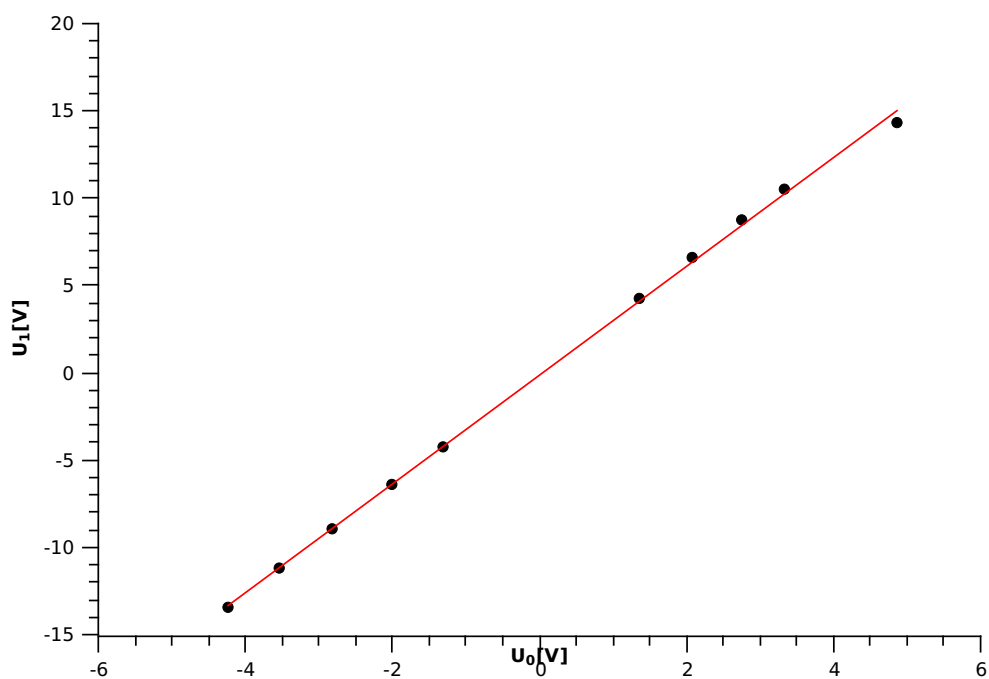
### 2.2.1 měření a výsledky úkolu 3

Měření bylo prováděno stejně jako v úkolu 1. Naměřené hodnoty shrnuje tabulka 3.

|          |       |       |      |      |      |       |       |       |        |        |        |
|----------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $U_1[V]$ | 4,86  | 3,32  | 2,76 | 2,08 | 1,35 | -1,32 | -2,01 | -2,81 | -3,54  | -4,24  | -5,02  |
| $U_0[V]$ | 14,37 | 10,53 | 8,73 | 6,63 | 4,28 | -4,20 | -6,36 | -8,90 | -11,22 | -13,42 | -13,52 |

Tabulka 3: Naměřené hodnoty vstupního a výstupního napětí

Závislost  $U_0$  na  $U_1$  byla vynesena do grafu v obrázku 5. Směrnice přímky grafu 5 byla numericky vypočítána jako  $-3,11 \pm 0,03$ , což odpovídá očekávané, teoretické hodnotě.



Obrázek 5: Závislost výstupního napětí na vstupním

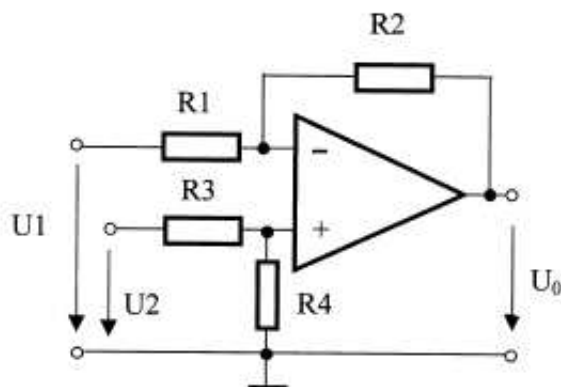
## 2.3 Rozdílový zesilovač

Rozdílový zesilovač je kombinací invertujícího a neinvertujícího. Schéma zapojení neinvertujícího zesilovače je na obrázku 6. Pro zesílení neinvertujícího zesilovače platí vztah:

$$U_0 = \frac{R_4(R_1 + R_2)}{R_1(R_3 + R_4)}U_2 - \frac{R_2}{R_1}U_1 \quad (3)$$

který se vhodnou volbou odporů zjednodušil na vztah:

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



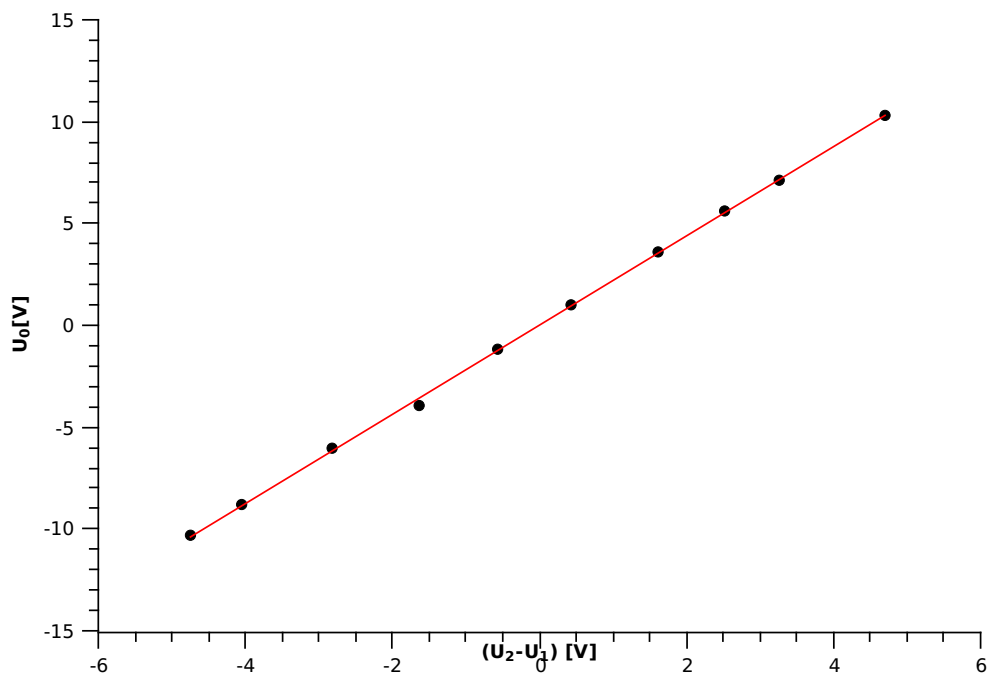
Obrázek 6: Zapojení rozdílového zesilovače

### 2.3.1 měření a výsledky úkolu 4

Pro vstupní napětí  $U_1$  a  $U_2$  bylo měřeno výstupní napětí  $U_0$ , aby bylo možné ověřit vztah 4. Měření shrnuje tabulka 4. Závislost  $U_0$  na  $(U_2 - U_1)$  byla vynesena v grafu v obrázku 7. Směrnice přímky má hodnotu  $2,19 \pm 0,01$  což se přesně shoduje s očekávanou hodnotou.

| $U_1[V]$ | $U_2[v]$ | $U_0[V]$ |
|----------|----------|----------|
| 1,30     | 6,01     | 10,33    |
| 2,03     | 5,30     | 7,16     |
| 2,59     | 5,10     | 5,60     |
| 3,87     | 5,49     | 3,60     |
| 3,85     | 4,28     | 0,99     |
| 4,85     | 4,29     | -1,18    |
| 4,83     | 30,20    | -3,90    |
| 5,83     | 3,01     | -6,06    |
| 5,81     | 1,77     | -8,78    |
| 6,51     | 1,76     | -10,31   |

Tabulka 4: Hodnoty měřené pro úkol 4



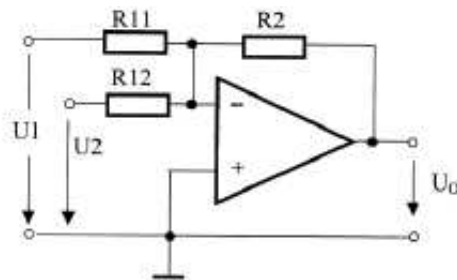
Obrázek 7: Závislost  $U_0$  na  $(U_2 - U_1)$

## 2.4 Sčítací zesilovač

Schéma zapojení sčítacího zesilovače je na obrázku 8 Pro výstupní napětí platí vztah 5 :

$$U_0 = - \left( \frac{R_2}{R_{11}} U_1 + \frac{R_2}{R_{12}} U_2 \right) \quad (5)$$

kde  $R_{11} = 22\Omega$ ,  $R_{12} = 10\Omega$  a  $R_2 = 10\Omega$



Obrázek 8: Zapojení rozdílového zesilovače

### 2.4.1 měření a výsledky úkolu 5

Tabulka 5 shrnuje naměřené a teoreticky vypočítané hodnoty pro ověření vztahu 5. Naměřené hodnoty výstupního napětí  $U_0$  se blíží teoreticky určeným hodnotám výstupního napětí, což ověřuje uvedený vztah pro sčítací zesilovač.

| $U_1[V]$ | $U_2[V]$ | $U_0[v]$ (naměřená hodnota) | $U_0[V]$ (vypočítaná hodnota) |
|----------|----------|-----------------------------|-------------------------------|
| 4,52     | 7,60     | -9,67                       | -9,63                         |
| 2,86     | 7,60     | -8,90                       | -8,89                         |
| 2,83     | 4,86     | -6,15                       | -6,13                         |
| 1,70     | 4,85     | -5,61                       | -5,62                         |
| 1,67     | 3,58     | -4,33                       | -4,33                         |
| 1,35     | 2,80     | -3,41                       | -3,41                         |
| -1,33    | 2,77     | -2,16                       | -2,17                         |
| -1,33    | 1,24     | -0,63                       | -0,64                         |
| -1,33    | -1,25    | 1,86                        | 1,85                          |
| -3,82    | -1,24    | 2,98                        | 2,96                          |
| -4,48    | -2,68    | 4,71                        | 4,70                          |
| -7,26    | -2,65    | -5,96                       | 5,92                          |
| -10,32   | -2,64    | 7,35                        | 7,28                          |
| -10,27   | -3,51    | 8,19                        | 8,13                          |
| -10,60   | -5,43    | 10,29                       | 10,20                         |

Tabulka 5: Hodnoty měřené pro úkol 5

## 3 Závěr

Byla ověřena funkčnost operačního zesilovače prostřednictvím několika různých způsobů použití. Ve všech případech se naměřené hodnoty shodovali s teoreticky určenými, očekávanými hodnotami.