

# Fyzikální praktika 3

## Operační zesilovač

Petr Šafařík

Měřeno: 24. dubna 2007

Zkompilováno: 25. dubna 2007 v systému L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub>

### 1 Zadání

- Potvrďte platnost vztahu  $U_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_1$  pro invertující vstup.
- Určete závislost zesílení na frekvenci
- Potvrďte platnost vztahu  $U_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1$  pro neinvertující vstup.
- Potvrďte platnost vztahu  $U_0 = 2.2 \cdot (U_2 - U_1)$  pro rozdílový zesilovač.
- Potvrďte platnost vztahu  $U_0 = -\left(\frac{R_2}{R_{11}}U_1 + \frac{R_2}{R_{12}}U_2\right)$  pro sčítací zesilovač.
- Prověřte funkci komparátoru
- Potvrďte platnost vztahu  $A = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_F}{R_A} \cdot \frac{1}{1+j\omega C_F R_F}$  pro dolní propust.
- Určete pásmovou propust a vynesete graf.

## 2 Měření

### 2.1 Invertující vstup

Proveďte, že

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

v případě invertujícího vstupu. Vzhledem k tomu, že  $-\frac{R_2}{R_1}$  je konstantí, musí závislost splňovat lineární tendence. Mnou používané hodnoty:  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$ .

Mnou naměřené hodnoty toto přesně splňují (viz. graf 1 na straně 6)

Lineární regrese má následující tvar:

Linear Regression for Data1\_U0:

$Y = A + B \cdot X$

Parameter Value Error

-----  
A 0,00263 0,00566

B -2,18421 0,00191  
-----

### 2.2 Invertující vstup - frekvenční závislost

V grafu (2) na straně 6 jsem vykreslil frekvenční závislost. Na  $x$ -ové ose je logaritmus frekvence, na  $y$ -ové ose zesílení  $A = \frac{U_0}{U_1}$ .

Z grafu (2) je zřejmé, že pro vysoké frekvence ( $\log(f) \approx 5$ ) silně klesá propustnost.

Šířka pásu je definována jako oblast, kde zesílení neklesne pod 3 dB. V mém grafu to nikde není, do takovýchto hodnot zesílení  $A$  jsem se nedostal. Teoreticky by tato hodnota byla rovna

$$A_{limit} = A_{max} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$A_{limit} = 2,17 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$A_{limit} = 1,53$$

Moje nejnižší hodnota je  $A_{min} = 1,53$ . Za předpokladu, že pokles zesílení je následně lineární, jsem extrapoloval poslední 3 body přímkou a dopočítal maximální frekvenci.

$$f_{max} \approx 150 \text{ kHz}$$

## 2.3 Neinvertující vstup

Proveďte, že

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

v případě neinvertujícího vstupu. Vzhledem k tomu, že  $-\frac{R_2}{R_1}$  je konstantí, musí závislost splňovat lineární tendence. Mnou používané hodnoty:  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$ .

Mnou naměřené hodnoty toto přesně splňují (viz. graf 3 na straně 7). Zelené hodnoty v grafu okolo nuly jsou rozdíly teoretické a naměřené hodnoty. Maximum tohoto rozdílu je  $\Delta = 0,162 \text{ V}$ .

Lineární regrese má následující tvar:

Linear Regression for T3\_U0:

Y = A + B \* X

Parameter Value Error

-----  
A 0,15525 0,11457

B 3,1283 0,03047  
-----

## 2.4 Rozdílový zesilovač

Pro rozdílový zesilovač je výstupní napětí popsatelné vztahem (3).

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

Pokud dosadím mé hodnoty rezistorů:  $R_1 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = R_4 = 22 \text{ k}\Omega$  je vztah přepsatelný do jednodušší podoby:

$$U_0 = 2.2 \cdot (U_2 - U_1)$$

. Graf, který jsem naměřil, je na straně 7 pod číslem (graf (4)) vykazuje lineární tendence. Opět body okolo nuly (pro změnu modré) určují rozdíl hodnot  $U_0$  teoretické -U0T a naměřené -U0.

Lineární regrese má následující tvar:

Linear Regression for T4\_U0:

Y = A + B \* X

Parameter Value Error

-----

A 0,10088 0,01593  
B 2,17952 0,01198

---

## 2.5 Sčítací zesilovač

Pro sčítací zesilovač je výstupní napětí popsateľné vztahem (4).

$$U_0 = - \left( \frac{R_2}{R_{11}} U_1 + \frac{R_2}{R_{12}} U_2 \right) \quad (4)$$

Pokud dosadím mé hodnoty rezistorů:  $R_{11} = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  a  $R_{12} = 22 \text{ k}\Omega$  je vztah přepsateľný do jednodušší podoby:

$$U_0 = - (U_1 + 0,45U_2)$$

Opět se hodnoty teoreticky spočtené a naměřené skoro dokonale shodují (rozdíl je opět modrou barvou).

## 2.6 Komparátor

Funkce komparátoru je následná: pokud je hodnota napětí  $U$  větší než  $U_{ref}$ , tak svítí rekněme zelená dioda. Je-li  $U$  menší než  $U_{ref}$ , tak svítí červená dioda. Přebliknutí diody proběhne právě v případě, že  $U = U_{ref}$ . Tímto snadným obvodem tedy můžeme například držet hodnotu  $A$  na jisté úrovni pomocí zpětnovazebné smyčky.

## 2.7 Dolní propust

Pro dolní propust je zesílení  $A$  popsateľná vztahem (5).

$$A = - \frac{Z_2}{Z_1} = - \frac{R_F}{R_A} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C_F R_F} \quad (5)$$

Výsledný graf pro mé hodnoty:  $C_F = 10 \text{ nF}$  a  $R_F = 100 \text{ k}\Omega$  je na straně 8 pod číslem (graf (6)).

Šířka pásu se stejně jako v úkolu (2.2) určí jako oblast, kde zesílení neklesne pod 3 dB.

$$A_{limit} = A_{max} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

V mém grafu ovšem hodnotu  $A_{max}$  není. Musel jsem si tedy hodnotu  $A_{max}$  doměřit později. Naměřil jsem soubor 4 hodnot  $A_{max}$  pro maximální zesílení,

kdy je obvod připojen na nikoli střídavý, ale stejnosměrný napětí, ze kterých jsem určil hodnotu  $A_{\max}$

$$A_{\text{limit}} = 9,7 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$A_{\text{limit}} = 6,85$$

Po přepočtení frekvence z rovnice E7 mi vychází hodnota

$$f_{\min} \approx 200k \text{ Hz}$$

## 2.8 Nenvertující vstup - frekvenční závislost - pásmová propust

V grafu (7) na straně 9 jsem vykreslil frekvenční závislost. Na  $x$ -ové ose je logaritmus frekvence, na  $y$ -ové ose zesílení  $A = \frac{U_0}{U_1}$ .

Z grafu (7) je zřejmé, že nejlepší propustnost je v okolo  $\log(f) \doteq 2,8$ .

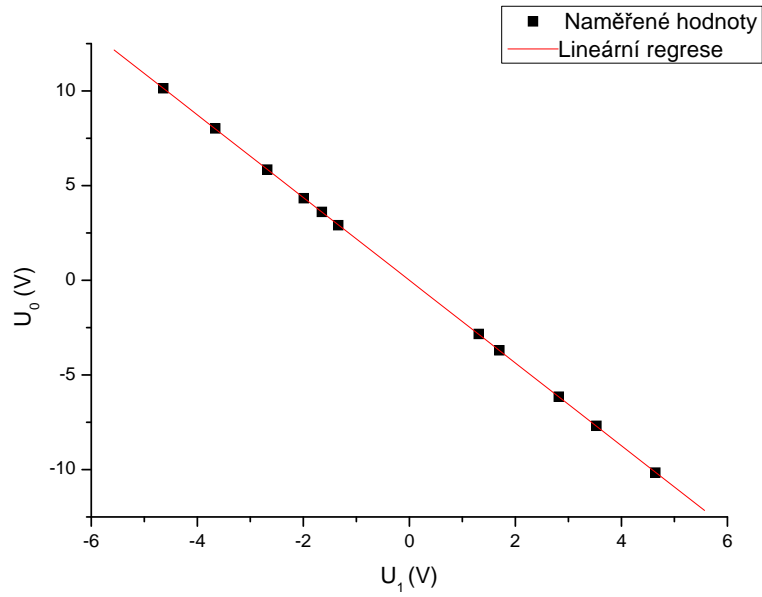
## Závěr

Svým způsobem velice výjimečná úloha, která mi zatím vyšla snad nejpřesněji ze všech. Výjimečná přesností i trváním — výsledky, které jsem měřil dlouho se velice blíží teoretickým hodnotám. Rozdíly jsou v desetinách procent.

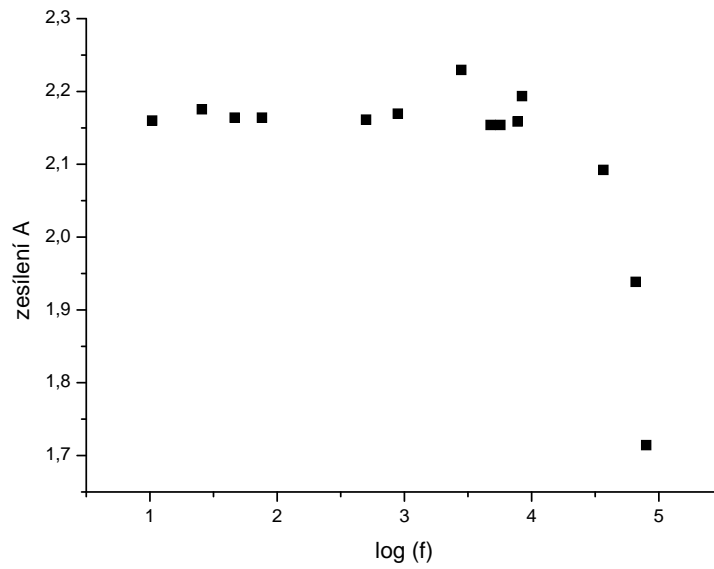
## Reference

- [1] Origin 7.0 SR0 v7.0220(B220) — <http://www.OriginLab.com>
- [2] C.Tesař, D.Trunec, Z.Ondráček: Fyzikální praktikum III., KFE PřF MU, Brno, 2002  
<ftp://ftp.muni.cz/pub/muni.cz/physics/education/textbook/praktikum3.pdf>
- [3] GNU Octave, version 2.1.72 (i486-pc-linux-gnu)

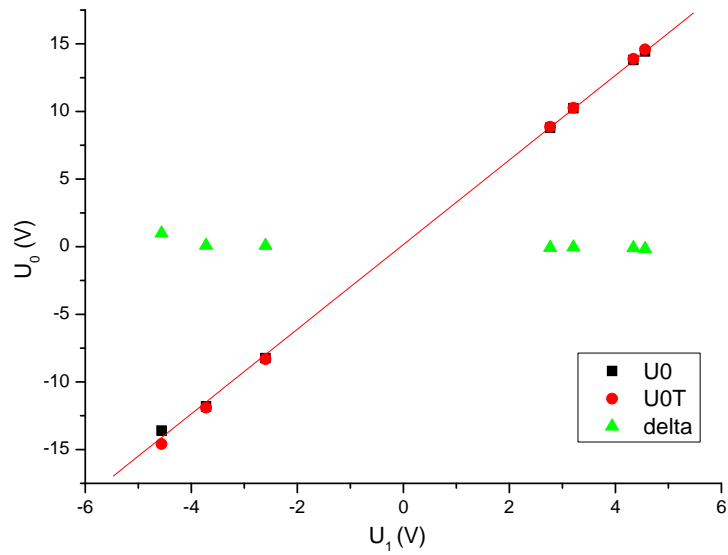
Obrázek 1: Ověření vztahu  $U_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_1$



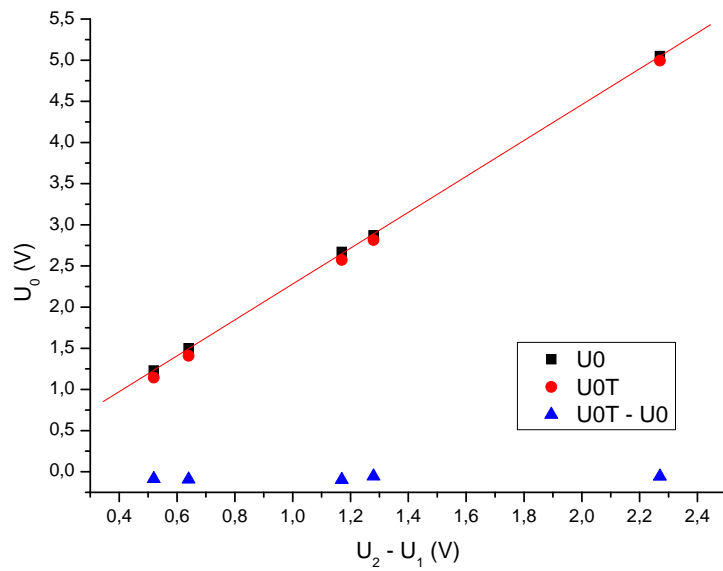
Obrázek 2: Závislost zesílení  $A$  na frekvenci



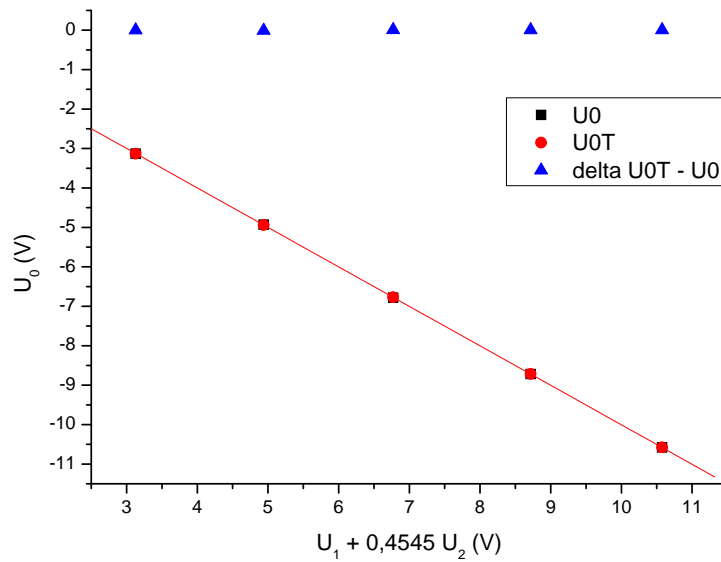
Obrázek 3: Ověření vztahu  $U_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_1$



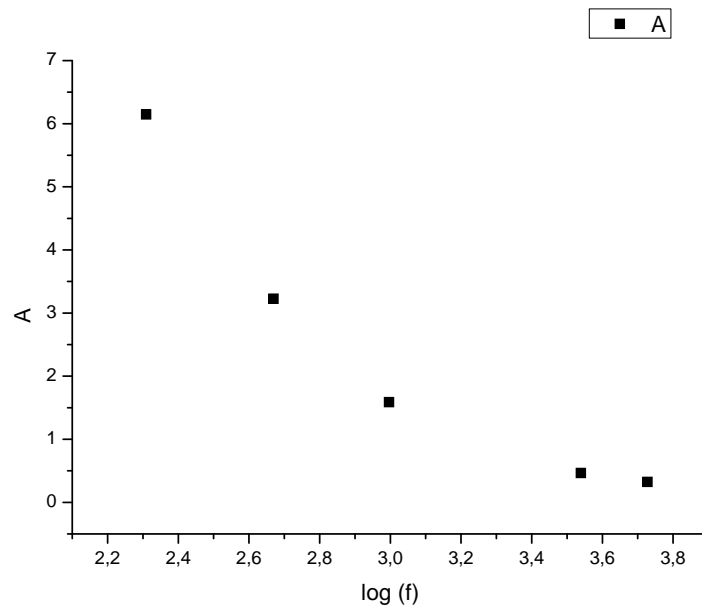
Obrázek 4: Ověření vztahu  $U_0 = 2.2 \cdot (U_2 - U_1)$



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



Obrázek 6: Ověření vztahu  $A = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_F}{R_A} \cdot \frac{1}{1+j\omega C_F R_F}$





Obrázek 7: Závislost zesílení  $A$  na frekvenci

