

7 – Operační zesilovač

Úkoly

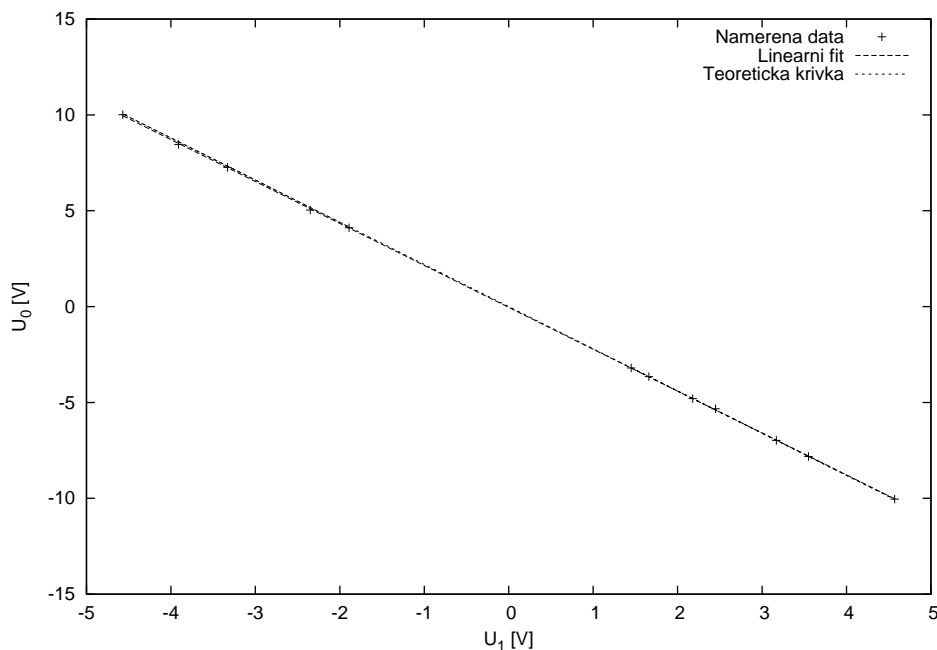
1. Ověřte platnost vztahu pro výstupní napětí zesilovače při zapojení s invertujícím vstupem.
2. Určete frekvenční charakteristiku zesilovače při zapojení s neinvertujícím vstupem.
3. Ověřte platnost vztahu pro výstupní napětí zesilovače při zapojení s neinvertujícím vstupem.
4. Ověřte platnost vztahu pro výstupní napětí rozdílového zesilovače.
5. Ověřte platnost vztahu pro výstupní napětí sčítacího zesilovače.
6. Ověřte funkci zesilovače coby komparátoru.
7. Určete frekvenční charakteristiku zesilovače v zapojení jako dolní propust.

1. úkol

V prvním úkolu jsem zjišťovala platnost vztahu

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

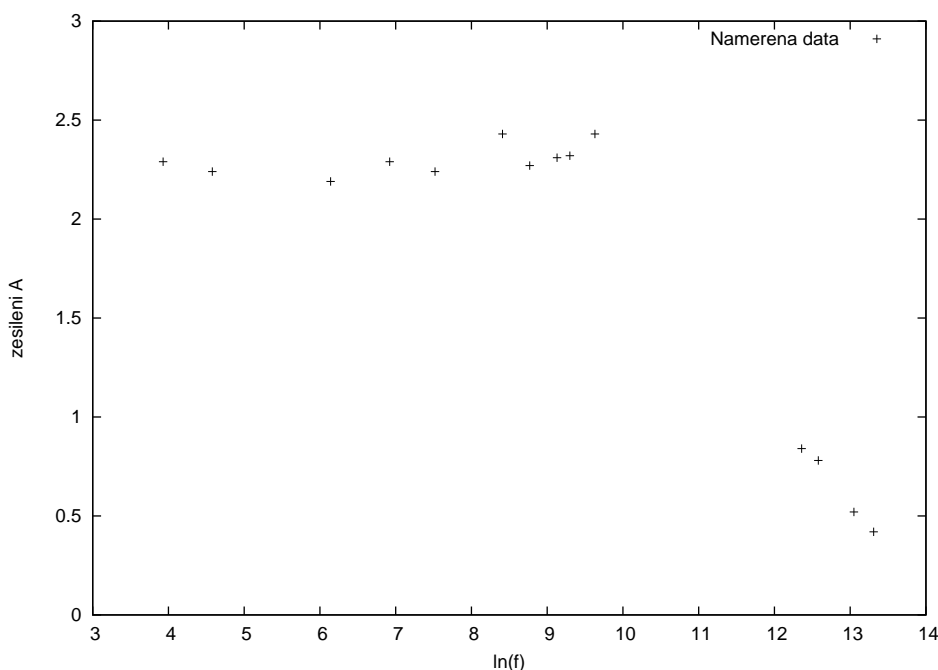
pro invertující vstup. Použité resistory jsou $R_1 = 10k\Omega$ a $R_2 = 22k\Omega$. Vzhledem ke konstantnímu poměru odporů musí závislost $U_0 = f(U_1)$ být lineární. To jasně dokazuje níže uvedený graf. Tabulka s měřenými hodnotami je uvedena na konci protokolu. Jak je vidět z grafu, odchylka měření od teoreticky předpovězených hodnot je minimální (v řádech desetin procenta). Směrnice přímky je -2.18 ± 0.003 , což odpovídá poměru použitých odporů. Vztah tedy zjevně platí.



Obrázek 1: Zesilovač s invertujícím vstupem, $U_0 = f(U_1)$

2. úkol

V druhém úkolu jsem určovala frekvenční závislost zesílení. Z grafu jde velmi názorně vidět, že pro vysoké frekvence zesílení prudce klesá. Přenosová oblast zesilovače je vymezena hodnotou, kdy zesílení klesne o 3 dB. Této hodnotě odpovídá zesílení $A \doteq 1.67$. Pokud bych následně předpokládala linearitu poklesu, mohla bych provést interpolaci. To jsem provedla a propouštěná frekvence mi následně vyšla $f \approx 200\text{kHz}$.



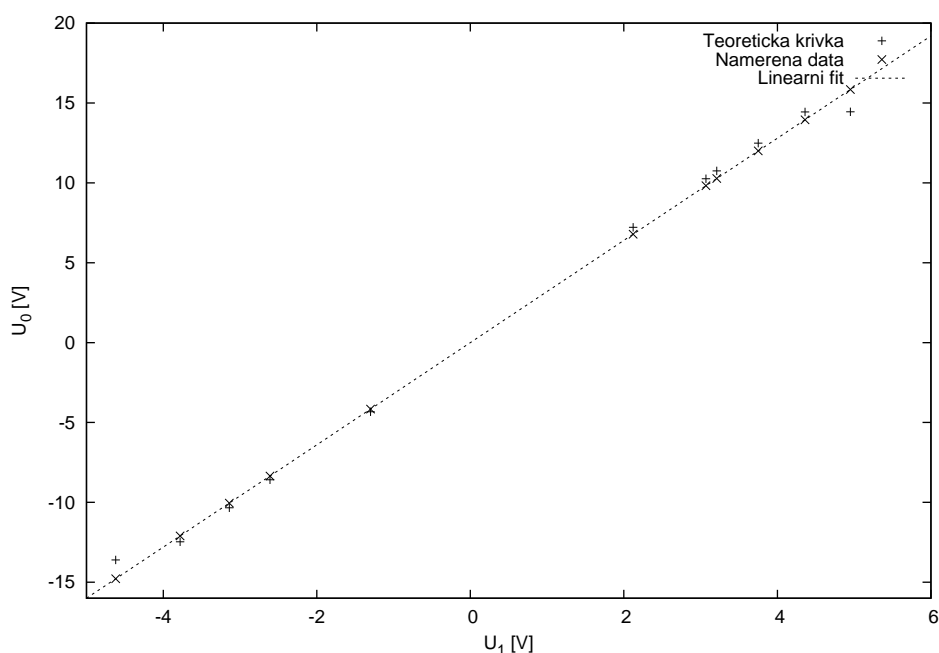
Obrázek 2: Frekvenční závislost zesílení

3. úkol

Třetí úkol se věnoval podobné problematice jako první úkol, tentokrát se však jednalo o neinvertující zesilovač. Ověřovaný vztah je

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

Resistory byly použity stejné, jako v prvním úkolu. Výraz v závorce je určitě konstantní a očekáváme opět lineární závislost. Níže uvedený graf předpoklad potvrzuje, chyba byla stejně jako v prvním úkolu v řádu deseti procent, takže shoda s teoreticky vypočtenými hodnotami je velmi dobrá. Směrnice lineárního fitu opět odpovídá multiplikativní konstantě v závorce, která je dle teoretického vztahu 3.2. Moje směrnice má hodnotu 3.19, což je velmi dobrá shoda.

Obrázek 3: Zesilovač s neinvertujícím vstupem, $U_0 = f(U_1)$

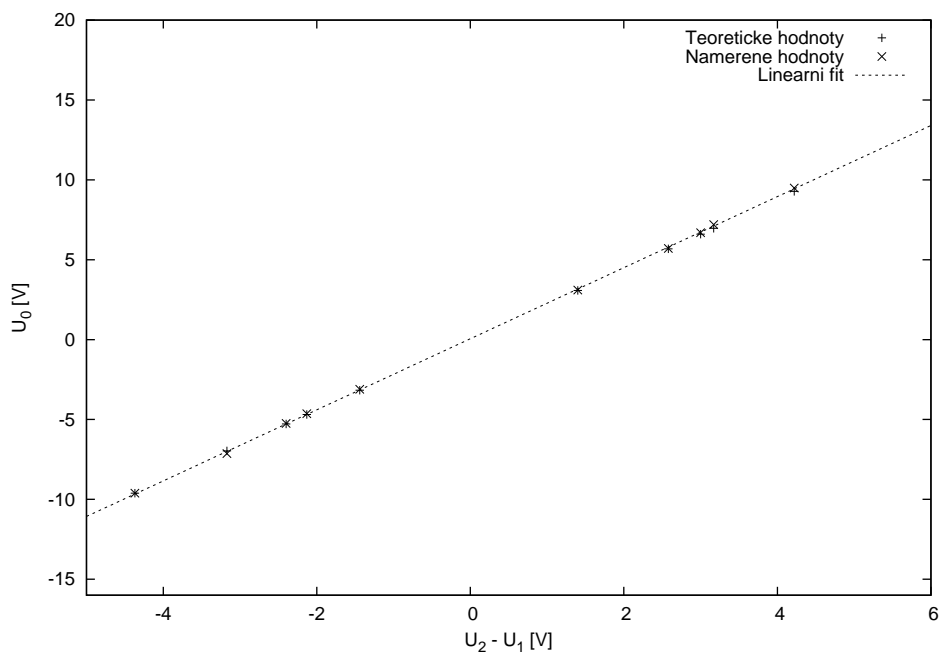
4. úkol

Ve čtvrtém úkolu jsem mírně modifikovala obvod a zapojila jej coby rozdílový zesilovač. Byly zde použity čtyři rezistory, přičemž $R_1 = R_3 = 10k\Omega$ a $R_2 = R_4 = 22\Omega$. Rozdílový zesilovač je popsán následujícím vztahem (druhá rovnice popisuje konkrétní použitý rozdílový zesilovač)

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

$$U_0 = 2.2 \cdot (U_2 - U_1) \quad (4)$$

Jak je vidět z rovnice (4), předpokládáme opět lineární závislost. Tu demonstruje níže uvedený graf. Odchylka od teoreticky předpokládaných hodnot byla opět minimální, tedy můžeme potvrdit platnost výše uvedených vztahů. Předpokládaná směrnice přímky je 2.2, hodnota mého lineárního fitu je $2.22 \pm 0,01$, což je velmi dobrá shoda.

Obrázek 4: Rozdílový zesilovač, $U_0 = f(U_1 - U_2)$

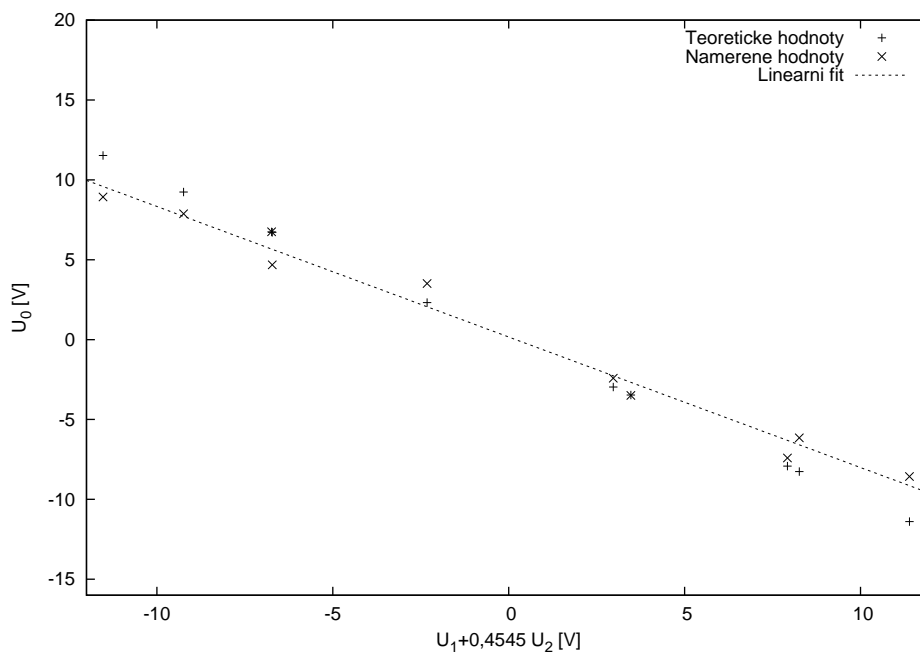
5. úkol

V pátém úkolu jsem sestavovala sčítací zesilovač. Zde byly použity odpory $R_{11} = R_2 = 10k\Omega$ a $R_{12} = 22k\Omega$. Sčítací zesilovač můžeme popsat následující rovnicí

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

$$U_0 = -(U_1 + \frac{5}{11}U_2) \quad (6)$$

Rovnice (6) popisuje mnou sestavený zesilovač s použitými rezistory. Vzhledem k podobě vzorce opět očekávám lineární závislost. Jak je vidět z grafu, závislost lineární je, nicméně chyba je v tomto případě o něco větší (kolem jednoho procenta). Nicméně stále je zřejmá lineární závislost, takže výše uvedený vztah považuju za dokázaný.

Obrázek 5: Sčítací zesilovač, $U_0 = f(U_1 + 0,4545U_2)$

6. úkol

V šestém úkolu jsem studovala činnost komparátoru. Ten se sestával z červené a zelené diody. Pokud bylo překročeno referenční napětí, rozsvítla se zelená dioda, naopak červená. V případě přebliknutí jsme se dostali do fáze, kde se $U = U_{ref}$. Díky tomu můžeme kupříkladu držet hodnotu zesílení na jedné úrovni. Následující tabulka ukazuje několik naměřených hodnot, které jsem z voltmetrů odečetla v okamžiku co nejbližšímu přebliknutí.

Tabulka 1: Činnost komparátoru

U_{ref} [V]	5.75	8.19	6.57	3.30	1.27
U [V]	5.81	8.18	6.37	3.14	1.30

Z tabulky je vidět, že hodnoty si zhruba odpovídají. Mírný nesoulad je způsoben tím, že je prakticky nemožné zachytit přesně moment přebliknutí diod. Přesto je z tabulky patrná dobrá shoda hodnot.

7. úkol

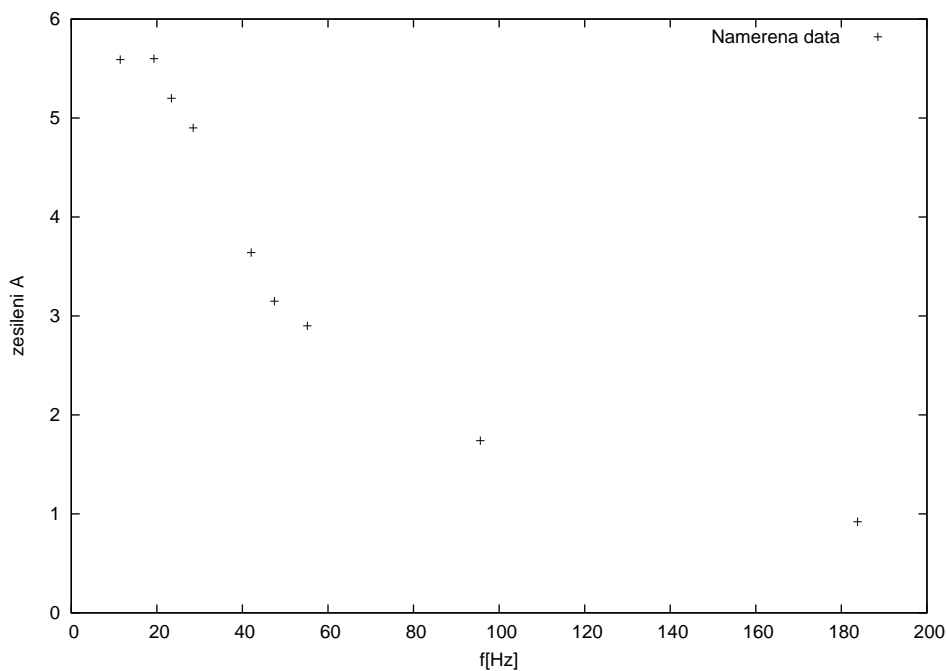
Poslední úkol praktika byl věnován dolní propusti, ta je popsána následujícím vztahem

$$A = -\frac{Z_1}{Z_2} = -\frac{R_F}{R_A} \cdot \frac{1}{1+j\omega C_F R_F} \quad (7)$$

Z níže uvedeného grafu nelze usoudit nic o maximálním zesílení, protože křivka zde zjevně nemá žádné maximum. Musela jsem tak vyjít z teoretického vztahu s tím, že hodnoty odporů jsou $R_F = 100k\Omega$, $R_A = 10k\Omega$ a $C_F = 1.57 \pm 0.19\mu F$ (údaj o kondenzátoru jsem zjistila proložení teoretické křivky níže uvedeným grafem, bohužel bylo měření zatíženo velkou chybou). Frekvenci, do které graf ještě dobře propouští jsem zjistila z následujícího vztahu

$$A_{mezni} = \frac{A_{max}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Můj teoretický výsledek pro maximální zesílení je 10, frekvence, do které doplní propust dobře propouští je zhruba 7 Hz (odpovídá jí zesílení 7.071).



Obrázek 6: Frekvenční závislost pro dolní propust

Naměřené hodnoty pro tento úkol

f [Hz]	U1 [V]	U2 [V]	A
11.44	2.04	11.4	5.59
19.34	2	11.2	5.6

23.42 2.04 10.6 5.2
28.49 2.04 10 4.9
42.05 2.14 7.8 3.64
47.48 2.16 6.8 3.15
55.19 2.14 6.2 2.9
95.6 2.18 3.8 1.74
183.8 2.18 2 0.92

Závěr

Díličí závěry k jednotlivým úkolům jsou uvedeny přímo u nich.