

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola elektrotechnická
Božetěchova 3, Olomouc
Laboratoře elektronických měření

PROTOKOL O MĚŘENÍ

Název úlohy

MĚŘENÍ OPERAČNÍHO ZESILOVAČE

Číslo úlohy

102-3R

Zadání

1. Seznámete se s důležitými katalogovými údaji měřeného OZ, údaje vypíšete do přehledné tabulky.
2. Změřte a nakreslete závislosti výstupního napětí invertujícího zesilovače s OZ na zpětnovazebném rezistoru $U_{OUT} = f(R_2)$ při stejnosměrném vstupním napětí $U_{IN} = 0,8 \text{ V}$ a vstupním odporu $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$.
3. Pro předchozí měření vypočítejte teoretické hodnoty výstupního napětí U_{OUTVYP} . Naměřené a vypočítané hodnoty srovnajte a vypočítejte jejich odchylku.
4. Měřením ověřte činnost OZ pracujícího jako invertující zesilovač harmonického vstupního napětí $U_{INRMS} = 0 \text{ V}$, $U_{INAVG} 0,8 \text{ V}$, $f = 5 \text{ kHz}$, při zětnovazebném rezistoru $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$.
5. Pro vstupní harmonické napětí (z bodu 4) a napěťový přenos zesolovače $a_u = 20 \text{ dB}$ změřte U_{OUTRMS} , U_{OUTAVG} , f a zakreslete časové průběhy vstupního a výstupního napětí zesilovače.

Poř. č.

PŘÍJMENÍ a Jméno

Třída

Skupina

Školní rok

26

VYKYDAL Jan

3A

3

2013/2014

Datum měření

Datum odevzdání

Počet listů

Klasifikace

24.3.

31.3.

10

příprava

měření

protokol

obhajoba

Protokol o měření obsahuje: Teoretický úvod

Schéma

Tabulka použitých přístrojů

Postup měření

Tabulky naměřených a vypočtených hodnot

Vzor výpočtu

Grafy

Závěr

1 Teoretický úvod

Operační zesilovač, někdy označován OZ, je zesilovač, který zesiluje rozdíl dvou napětí. Rozdílovému napětí se také někdy říká diferenciální napětí.

$$U_d = U_+ - U_- \quad (1)$$

kde:

U_d diferenciální napětí
 U_+ napětí mezi neinvertnujícím vstupem a pracovní zemí
 U_- napětí mezi invertnujícím vstupem a pracovní zemí

Operační zesilovače získali svůj název s původního záměru jejich vytvoření. Byly stvořeny za účelem provádění aritmetických operací nad analogovými signály. První OZ s elektronkami skonstruoval roku 1938 G. A. Philbrick. Později byly elektronky nahrazeny tranzistory. Zdokonalení výrobních postupů nám umožnilo začít vyrábět operační zesilovače integrované do jednoho čipu.

1.1 Ideální operační zesilovač

Zesílení ideálního operačního zesilovače je nekonečně velké. Má nekonečně velký vstupní odpor a nulový výstupní odpor. Jeho odezva je okamžitá a jeho výstup je závislý pouze na diferenciálním napětí. Dokáže zpracovávat signály které mají vyšší napětí než je napájecí napětí tohoto OZ. Výstupní napětí Ideálního OZ je dáno vztahem:

$$U_{OUT} = A_u \cdot U_d \quad (2)$$

kde:

U_{OUT} výstupní napětí
 U_d diferenciální napětí
 A_u napěťové zesílení OZ

1.2 Neinvertnující zapojení OZ

Toto zapojení neposouvá fázi výstupního napětí. Výstupní napětí je dáno poměrem rezistorů R_1 a R_2 . Odvození vztahů pro OZ zapojený v neinvertnujícím zapojení za předpokladu, že OZ je ideální:

$$\begin{aligned} U_d &= 0 \\ U_d &= U_+ - U_- \\ U_+ &= U_- = U_{IN} \\ I_1 &= I_2 \\ U_- &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{OUT} \\ U_{OUT} &= A_N \cdot U_+ \\ A_N &= \frac{U_{OUT}}{U_{IN}} = \frac{U_{OUT}}{\frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{OUT}} = \frac{1}{\frac{R_1}{R_1 + R_2}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \\ A_N &= 1 + \frac{R_2}{R_1} \end{aligned} \quad (3)$$

kde:

U_{OUT} výstupní napětí
 U_{IN} vstupní napětí
 U_d diferenciální napětí
 U_+ napětí mezi neinvetujícím vstupem a pracovní zemí
 U_- napětí mezi invetujícím vstupem a pracovní zemí
 A_N napětové zesílení danné poměrem rezistorů R_1 a R_2
 R_1 rezistor
 R_2 rezistor
 I_1 proud
 I_2 proud

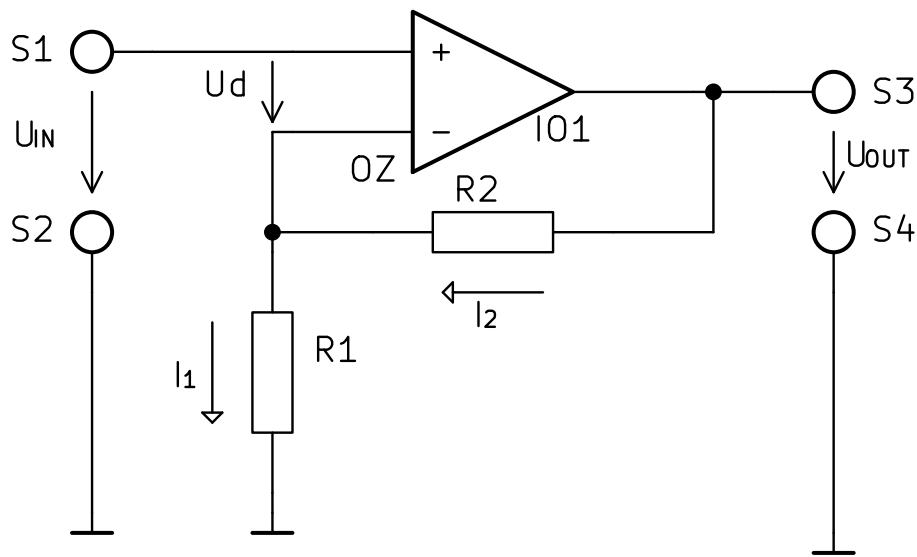


Schéma č. 1: Neinvertující zapojení OZ

1.3 Invertující zapojení OZ

Toto zapojení posouvá fázi o π . Odvození vztahů pro OZ zapojený v invertujícím zapojení za předpokladu, že OZ je ideální:

$$\begin{aligned}
 U_d &= 0 \\
 U_d &= U_+ - U_- \\
 U_+ &= U_- = U_{IN} \\
 I_1 &= -I_2 \\
 U_{IN} &= I_1 \cdot R_1 \\
 U_{OUT} &= -I_1 \cdot R_2 \\
 A_N &= \frac{U_{OUT}}{U_{IN}} = -\frac{I_1 \cdot R_2}{I_1 \cdot R_1} \\
 A_N &= -\frac{R_2}{R_1}
 \end{aligned} \tag{4}$$

kde:

U_{OUT} výstupní napětí
 U_{IN} vstupní napětí
 U_d diferenciální napětí
 U_+ napětí mezi neinvetujícím vstupem a pracovní zemí
 U_- napětí mezi invetujícím vstupem a pracovní zemí
 A_N napěťové zesílení dané poměrem rezistorů R_1 a R_2
 R_1 rezistor
 R_2 rezistor
 I_1 proud
 I_2 proud

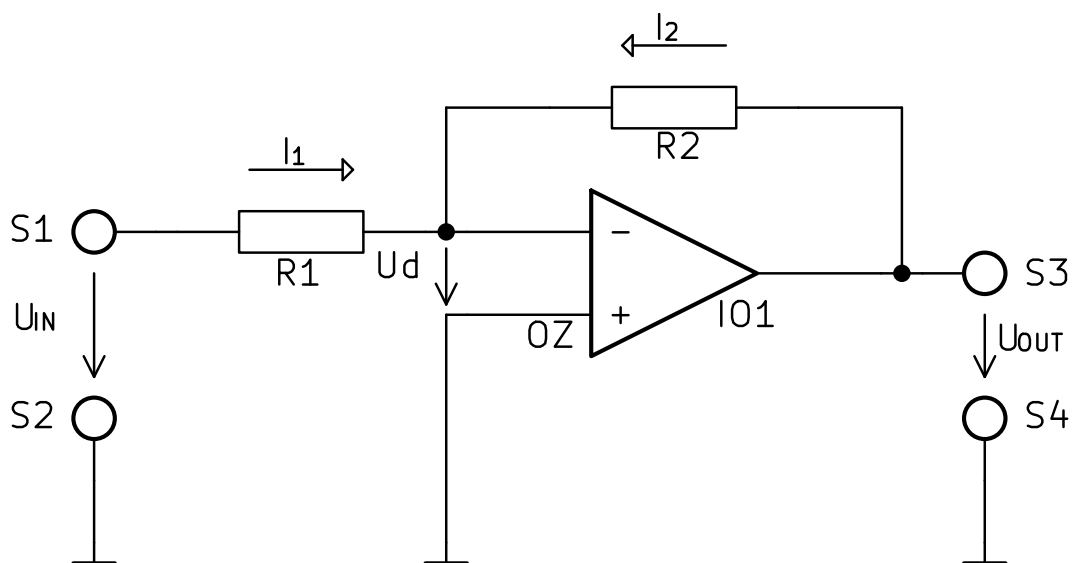


Schéma č. 2: Invertující zapojení OZ

1.4 MAA741

MAA741 je obvod, ve kterého je integrován operační zesilovač. Tento obvod se vyrábí v pouzdech TO-99, CDIP-8, PDIP-8 a CLGA. Jeho klíčové parametry jsou shrnuty v tabulce 1.

veličina	označení veličiny	hodnota
Napájecí napětí	U_{CC}	$\pm 3\text{ V} \dots \pm 22\text{ V}$
Napájecí proud	I_{CC}	$1,3\text{ mA} \dots 2,8\text{ mA}$
Diferenciální napětí	U_d	$\pm 30\text{ V}$
Vstupní napětí	U_I	$\pm 15\text{ V}$
Ztrátový výkon	P_{tot}	500 mW
Napěťové zesílení OZ	A_u	$50000 \dots 150000$
Rozsah pracovních teplot	ϑ_a	$-55\text{ }^\circ\text{C} \dots +125\text{ }^\circ\text{C}$

Tabulka č. 1: Hlavní parametry MAA741

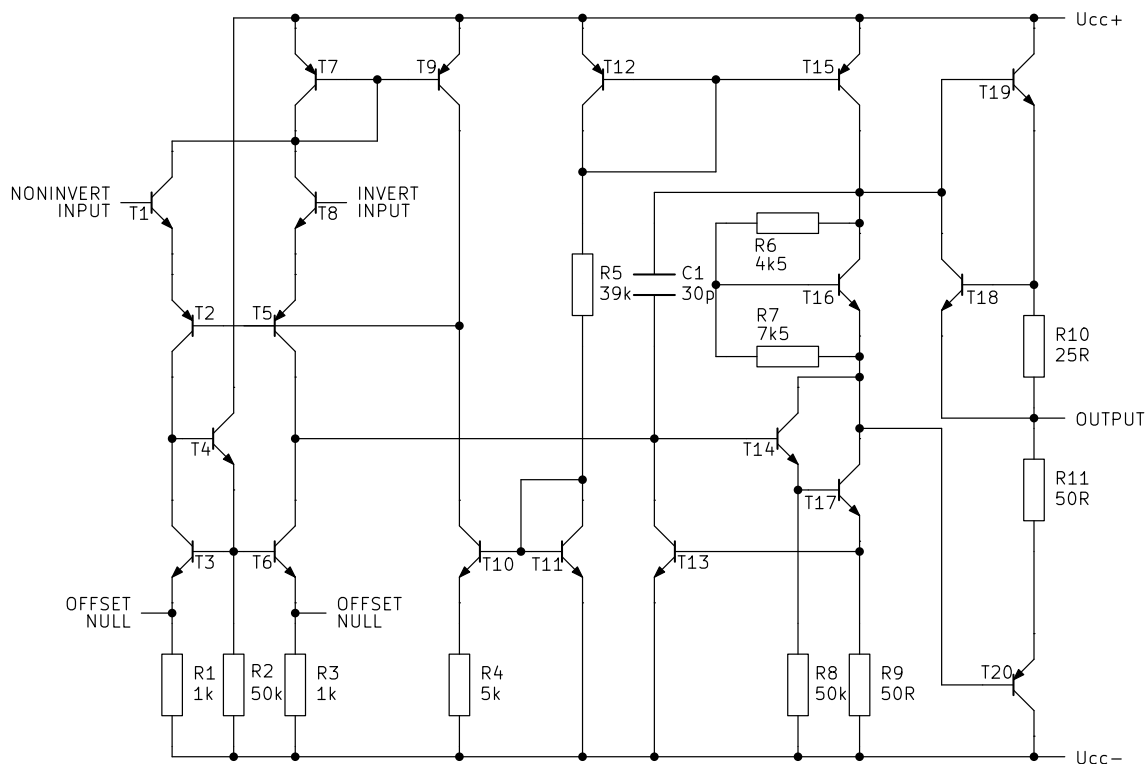


Schéma č. 3: Vnitřní zapojení MAA741

2 Schéma

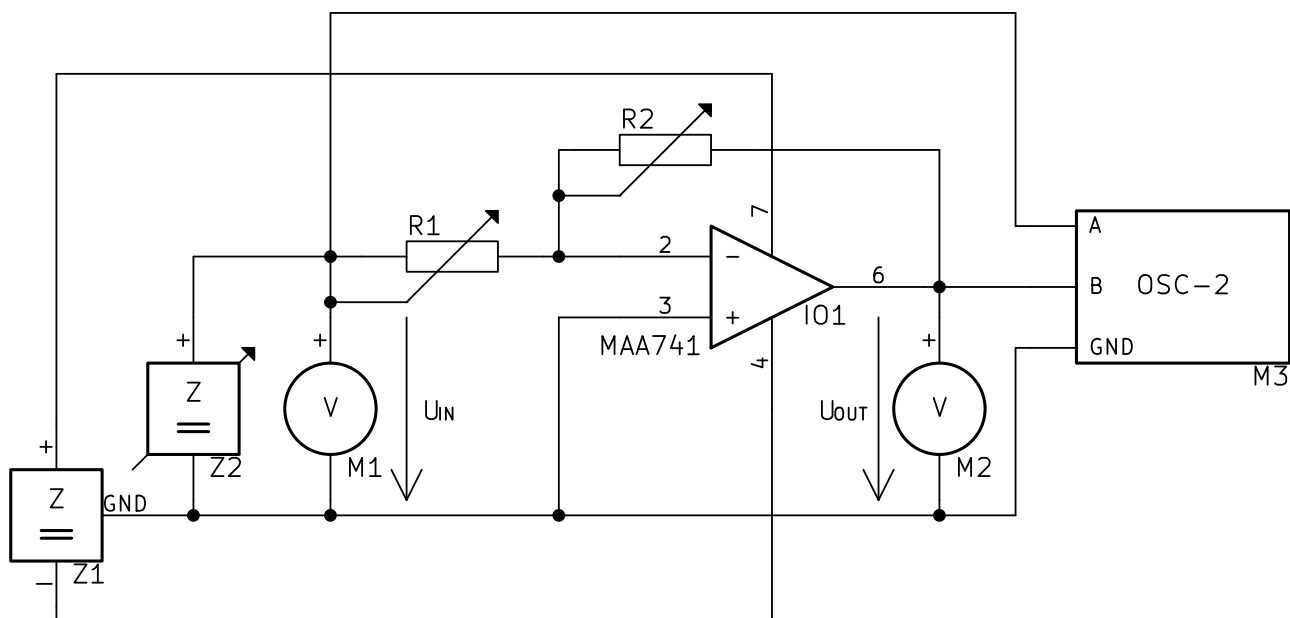


Schéma č. 4: Zapojení měřicího obvodu pro stejnosměrné buzení

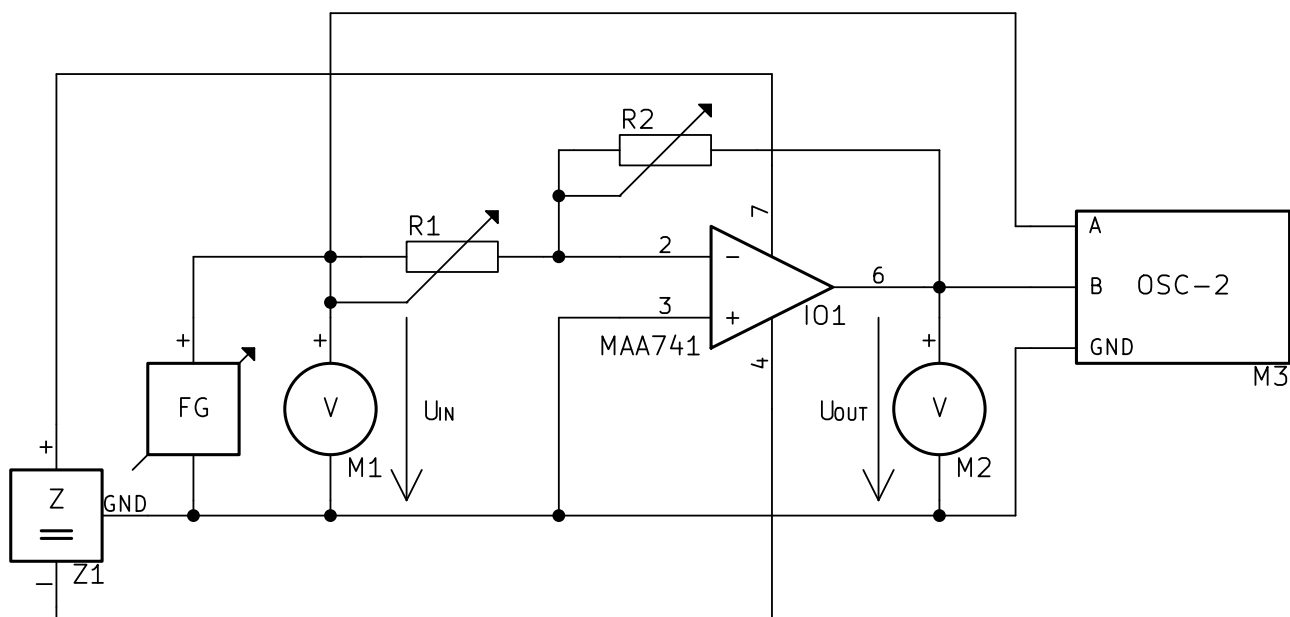


Schéma č. 5: Zapojení měřicího obvodu pro střídavé buzení

3 Tabulka použitých přístrojů

Označení v zapojení	Přístroj	Typ	Evidenční číslo
M_1	DMM	MASTECH MY-64	0655
M_2	DMM	MASTECH MY-64	0659
M_3	osciloskop	HP 54600A	0162
Z_1	zdroj s.s. symetrického napětí	TESLA BK-125	0159
Z_2	zdroj s.s. napětí	TESLA BK-127	0138
FG	generátor	Gwinstek GFG-8217A	10 – 1321/01
R_1	odporová dekáda	–	0255
R_2	odporová dekáda	–	0931

Tabulka č. 2: Tabulka použitých přístrojů

4 Postup měření

4.1 Měření zesilovače při stejnosměrném buzení

- Zapojíme měřicí obvod dle schématu č. 4.
- Nastavíme rezistor R_1 na $5\text{ k}\Omega$ a rezistor R_2 na hodnotu $5\text{ k}\Omega$.
- Pomocí voltmetru M_1 nastavíme na zdroji Z_2 napětí $0,8\text{ V}$.
- Pomocí voltmetru M_2 změříme výstupní napětí, tuto hodnotu si poznamenejme.
- Proces měření výstupního napětí a poznamenávání naměřených hodnot opakujeme i pro tyto hodnoty rezistoru R_2 : $10\text{ k}\Omega$, $20\text{ k}\Omega$, $40\text{ k}\Omega$, $60\text{ k}\Omega$, $80\text{ k}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$.

4.2 Měření zesilovače při střídavém buzení

- Na vstup připojíme místo DC zdroje generátor harmonického napětí, obvod tedy upravíme dle schématu č. 5.
- Nastavíme rezistor R_2 na $10\text{ k}\Omega$ a rezistor R_1 na hodnotu $5\text{ k}\Omega$.
- Pomocí voltmetru M1 nastavíme na zdroji FG napětí $U_{IN_{AVG}} = 0,8\text{ V}$ a $U_{IN_{RMS}} = 0\text{ V}$.
- Voltmetr M_2 přepneme na střídavý rozsah.
- Pomocí voltmetru M2 změříme výstupní napětí, tuto hodnotu si poznamenejme.
- Proces měření výstupního napětí a poznamenávání naměřených hodnot opakujeme i pro tyto hodnoty rezistoru R_1 : $10\text{ k}\Omega$, $20\text{ k}\Omega$, $40\text{ k}\Omega$, $60\text{ k}\Omega$, $80\text{ k}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$.

4.3 Měření časových průběhů $u_{IN}(t)$ a $u_{OUT}(t)$

- Nastavíme hodnoty rezistorů R_1 a R_2 na hodnoty které jsme spočítali.
- Nastavíme rezistor R_2 na $10\text{ k}\Omega$ a rezistor R_1 na hodnotu $5\text{ k}\Omega$.
- Pomocí osciloskopu M_3 změříme $U_{IN_{AVG}}$, $U_{IN_{RMS}}$, $U_{OUT_{AVG}}$ a $U_{OUT_{RMS}}$.
- Z funkčního generátoru odečteme kmitočet f vstupního signálu.
- Napěťové průběhy z osciloskopu překreslíme do grafu.
- Vypneme měřicí přístroje a zdroje.
- Ukončíme měření.

5 Tabulky naměřených a vypočítaných hodnot

$R_2\text{ [k}\Omega\text{]}$	$U_{OUT}\text{ [V]}$	$\%_{chyba}\text{ [%]}$	$\Delta_{chyba}\text{ [mV]}$	$U_{OUT_{VYP}}\text{ [V]}$	$\Delta U_{OUT_{VYP}} - U_{OUT}\text{ [V]}$
5	-0,81	1,73	14,00	-0,8	0,01
10	-1,62	1,11	18,10	-1,6	0,02
20	-3,23	0,81	26,15	-3,2	0,03
40	-6,46	0,65	42,30	-6,4	0,06
60	-9,68	0,60	58,40	-9,6	0,08
80	-12,91	0,58	74,55	-12,8	0,11
100	-13,30	0,57	76,50	-16,0	2,70

Tabulka č. 3: Měření $U_{OUT} = f(R_2)$ zapojení dle schématu č. 4

$R_1 [k\Omega]$	$U_{OUT} [V]$	$\%_{chyba} [\%]$	$\Delta_{chyba} [mV]$
5	1,496	0,86	12,866
10	0,750	0,83	6,255
20	0,373	0,82	3,048
40	$199,2 \cdot 10^{-3}$	0,81	1,609
60	$134,7 \cdot 10^{-3}$	0,81	1,0843
80	$99,6 \cdot 10^{-3}$	0,80	0,800
100	$79,7 \cdot 10^{-3}$	0,80	0,634

Tabulka č. 4: Měření $U_{OUT} = f(R_1)$ zapojení dle schématu č. 5

6 Vzory výpočtů

Výpočet relativní procentuální chyby digitu:

$$\delta_{digit\%} = \frac{\pm digit}{MH} \cdot 100 = \frac{\pm 0,01}{0,81} \cdot 100 = \underline{\underline{\pm 1,234 \%}}$$

Celková procentuální chyba:

$$\delta_{\%} = \pm \delta_{MH\%} \pm \delta_{digit\%} = \pm 0,5 \pm 1,234 = \underline{\underline{\pm 1,734 \%}}$$

Celková absolutní chyba:

$$\Delta U = \frac{\delta_{\%}}{100} \cdot MH = \frac{0,859}{100} \cdot 16,973 = \underline{\underline{\pm 145,784 \Omega}}$$

Výpočet teoretické hodnoty výstupního napětí s využitím vztahu (4)

$$U_{OUT_{VYP}} = A_N \cdot U_{IN} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{IN} = -\frac{5}{5} \cdot 0,8 = \underline{\underline{-0,8 V}}$$

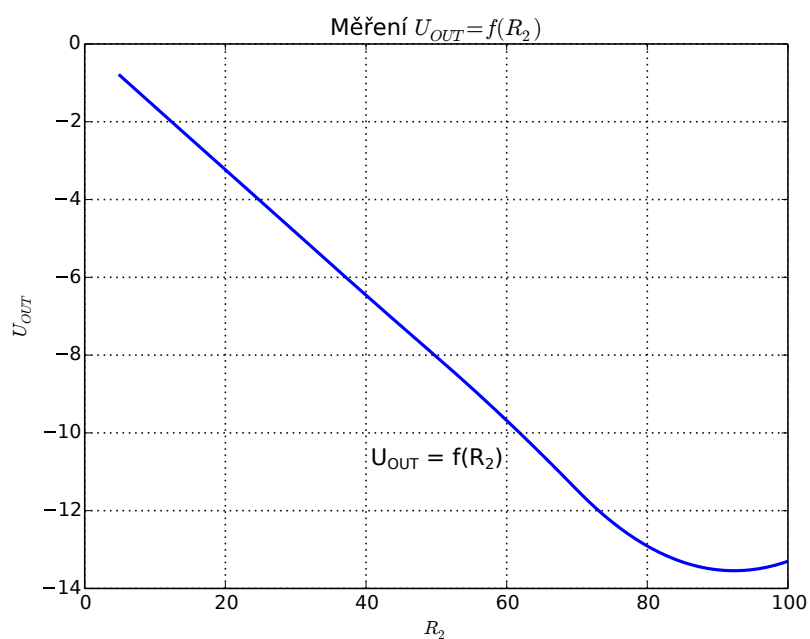
Výpočet $\Delta U_{OUT} - U_{OUT_{VYP}}$

$$\Delta U_{OUT} - U_{OUT_{VYP}} = U_{OUT} - U_{OUT_{VYP}} = -0,81 - (-0,8) = \underline{\underline{0,01 V}}$$

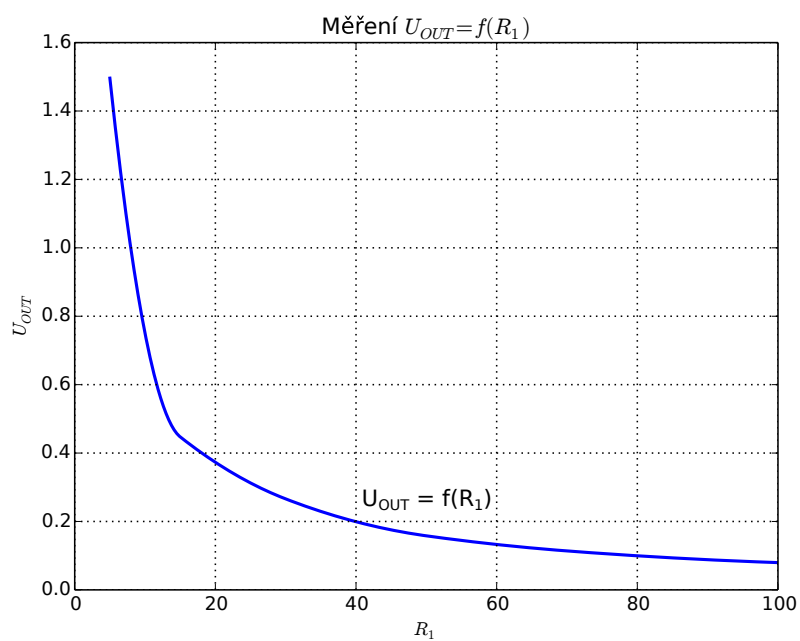
Výpočet rezistorů R_1 a R_2 pro zisk 20 dB

$$\begin{aligned}
 20 &= 20 \cdot \log \frac{U_{OUT}}{U_{IN}} \\
 1 &= \log \frac{U_{OUT}}{U_{IN}} \\
 \log 10 &= \log \frac{U_{OUT}}{U_{IN}} \\
 10 &= \frac{U_{OUT}}{U_{IN}} = -\frac{R_2}{R_1} \\
 R_1 &= \underline{\underline{10 k\Omega}} \\
 R_2 &= 10 \cdot R_1 = 10 \cdot 10 = \underline{\underline{100 k\Omega}}
 \end{aligned} \tag{5}$$

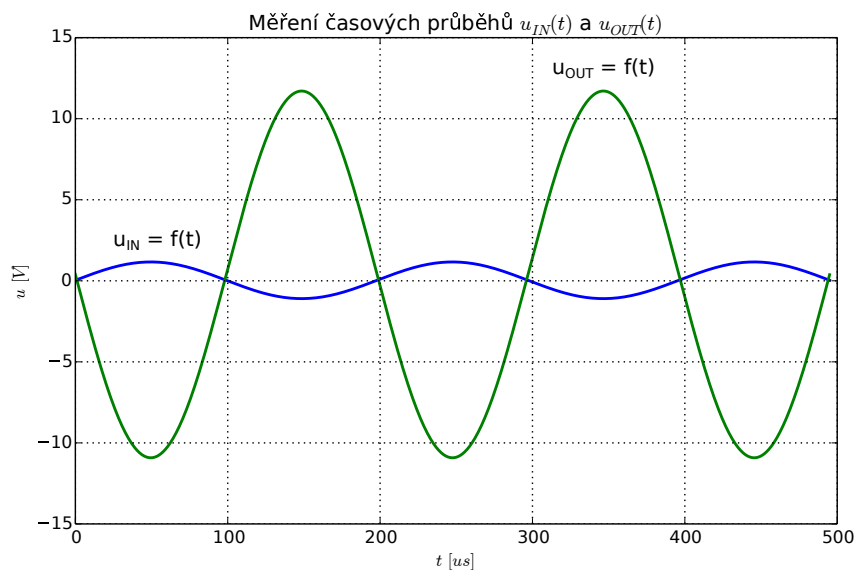
7 Grafy



Graf č. 1: Závislost U_{OUT} na R_2



Graf č. 2: Závislost U_{OUT} na R_1



Graf č. 3: Část napětových průběhů $u_{IN}(t)$ a $u_{OUT}(t)$

8 Závěr

8.1 Chyby měřících přístrojů

Procentuální chyba použitých měřících přístrojů (M_1 a M_2) nepřekročila. Při měření stejnosměrných napětí 2 % a při měření střídavých napětí 1 %, tudíž by se dali považovat použité měřící přístroje za vhodné a naměřené hodnoty za dostatečně přesné. Maximální procentuální chyba byla při měření stejnosměrných napětí 1,73 %, při měření střídavých napětí maximální procentuální chyba dosáhla hodnoty 0,85 %.

8.2 Zhodnocení

1. Zjistil jsem základní parametry OZ MAA741 a jeho klíčové parametry jsem shrnul do tabulky č. 1, dále jsem namaloval schéma vnitřního zapojení tohoto obvodu, které je rovněž obsaženo v úvodu a to pod označením schéma č. 3.
2. Změřil jsem závislost výstupního napětí na rezistoru R_2 . Tuto závislost jsem zakreslil do grafu.
3. K naměřeným hodnotám jsem vypočítal teoretické hodnoty za pomoci vztahů, které jsem odvodil v úvodu. Dále jsem spočítal absolutní odchylku naměřené hodnoty výstupního napětí od hodnoty teoretické, největší odchylka dosáhla 2,7 V.
4. Změřil jsem závislost výstupního napětí na rezistoru R_1 při stejnosměrném buzení. Naměřené hodnoty byly opět vyneseny do grafu.
5. Vypočítal jsem hodnoty rezistorů tak, aby výstupní napětí bylo desetkrát vyšší než napětí vstupní, tedy zisk o 20 dB. Změřil jsem OZ v invertujícím zapojení s těmito rezistory a výsledné průběhy zakreslil do grafu č. 3.