

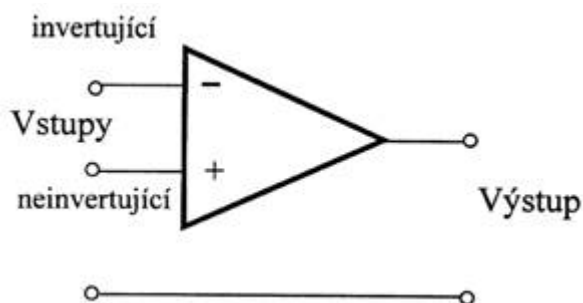
Datum: 7.4.2005

Vypracoval: Tomáš Henych

Název: Operační zesilovač, jeho vlastnosti a využití

Teorie úlohy:

Operační zesilovač je elektronický obvod, který se využívá v měřicí, výpočetní a regulační technice. Má napěťové zesílení alespoň $A_u = 10000$, vstupní odpor R_{vstup} alespoň $50\text{ k}\Omega$ a výstupní odpor R_{vyst} $50\ \Omega$. Pásmo zesilovaných frekvencí může být i několik MHz. Součástka jejíž schematická značka je na *obrázku 1* má neinvertující vstup (+), invertující vstup (-) a jeden výstup. Pokud přivedeme signál na invertující vstup, potom je výstupní signál k němu v opačné fázi, signál přivedený na neinvertující vstup je s výstupním signálem ve fázi. Na operačním zesilovači jsou také svorky pro napájení.

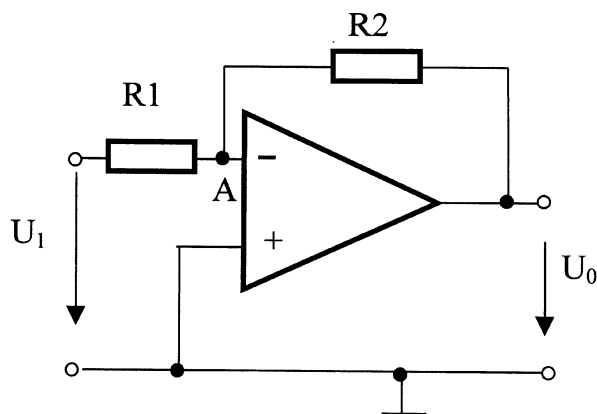


Obrázek 1: Schematická značka operačního zesilovače

Úkoly:**1. Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem**

Zapojení provedeme podle *obrázku 2*. Vstupní napětí je přivedeno na invertující vstup, druhý vstup je uzemněn. Vstupní napětí je zesíleno a na výstupu má opačnou polaritu. Výstupní napětí je přes rezistor přivedeno opět na vstup a zmenšuje vstupní napětí (má opačnou polaritu). Kvůli velkému zesílení operačního zesilovače bude v bodě A téměř nulové napětí. Podle rovnosti proudů v uzlu A platí pro výstupní napětí

$$U_0 = -\frac{R_2}{R_1} U_1.$$



Obrázek 2

2. Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem – střídavé napětí

Na vstup zesilovače zapojeného podle stejného schématu jako v předchozím případě přivedeme střídavé napětí o amplitudě 1 V. Frekvenční charakteristiku $A_u = f(f)$ - závislost zesílení na frekvenci vyneseme do grafu s logaritmickou stupnicí, tedy $A_u = f(\log f)$. Do grafu vyznačíme oblast frekvencí, pro kterou zesílení neklesne z maxima o více než 3 dB, tj. na hodnotu $\frac{A_{u\max}}{\sqrt{2}}$. Tím je definována přenosová oblast zesilovače.

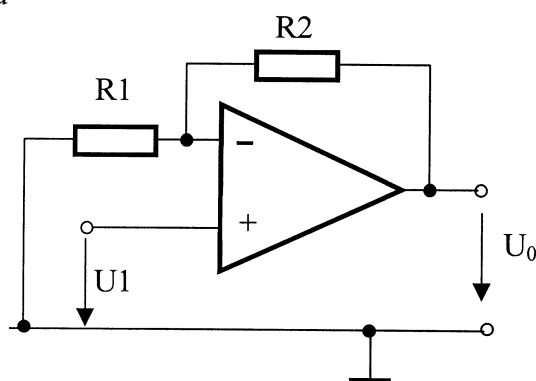
3. Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem

Vstupní napětí přivedeme na neinvertující vstup.

Invertující vstup je spojen se zemí přes rezistor R_1 a

zpětná vazba je přivedena přes rezistor R_2 . Zesilovač zapojíme podle *obrázku 3*. Pro zesílení neinvertujícího zesilovače můžeme odvodit vztah:

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



Obrázek 3

4. Rozdílový zesilovač

Kombinací invertujícího a neinvertujícího zesilovače podle obrázku 4 vytvoříme zesilovač rozdílový. Pro jeho výstupní napětí platí vztah:

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

5. Sčítací zesilovač

Tento zesilovač vytvoříme jednoduchou obměnou základního invertujícího zesilovače. Jeho schéma je na obrázku 5. Vstupní rezistory volte $10 \text{ k}\Omega$ a $22 \text{ k}\Omega$, zpětnovazební rezistor $10 \text{ k}\Omega$. Pro výstupní napětí platí:

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

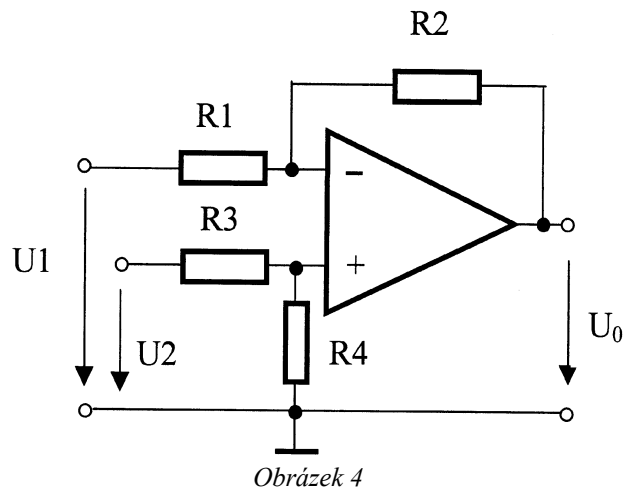
6. Komparátor

Komparátor využívá velkého zesílení operačního zesilovače. Porovnává dvě různá napětí a jeho činnost se dá odvodit z chování rozdílového zesilovače. Pokud jsou obě napětí stejná rozsvítí se dvě LED diody zapojené v obvodu. Zapojení komparátoru je na obrázku 6.

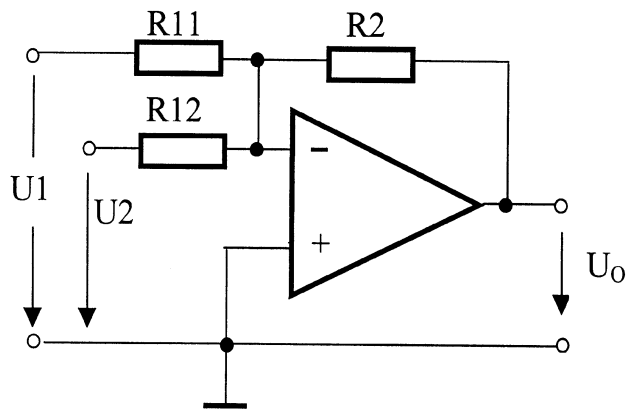
Výpočet chyb:

Většina chyb je počítána ze zákona šíření chyb. Chyby změřených hodnot jsou spočítány přímo softwarem, kterým byla data zpracována.

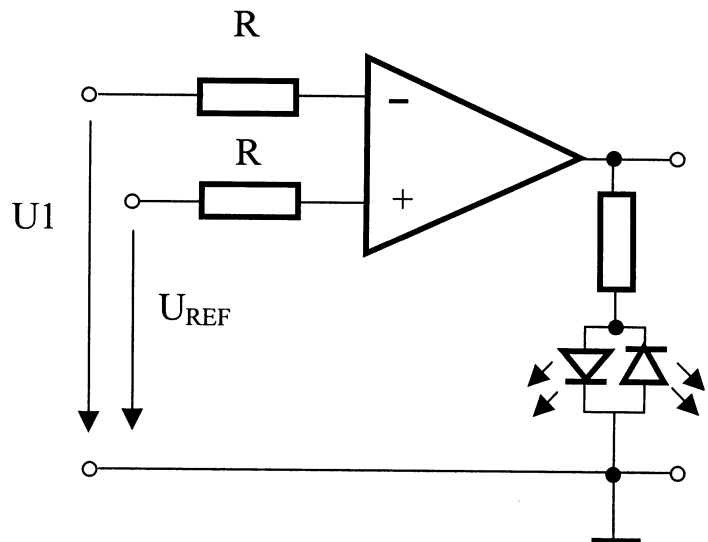
Pozn.: V jednotlivých úkolech jsou porovnávány hodnoty určené z měření z teoreticky vypočtenými hodnotami. Rovnice přímky proložených závislostí mají rovnici $y = kx + q$.



Obrázek 4



Obrázek 5



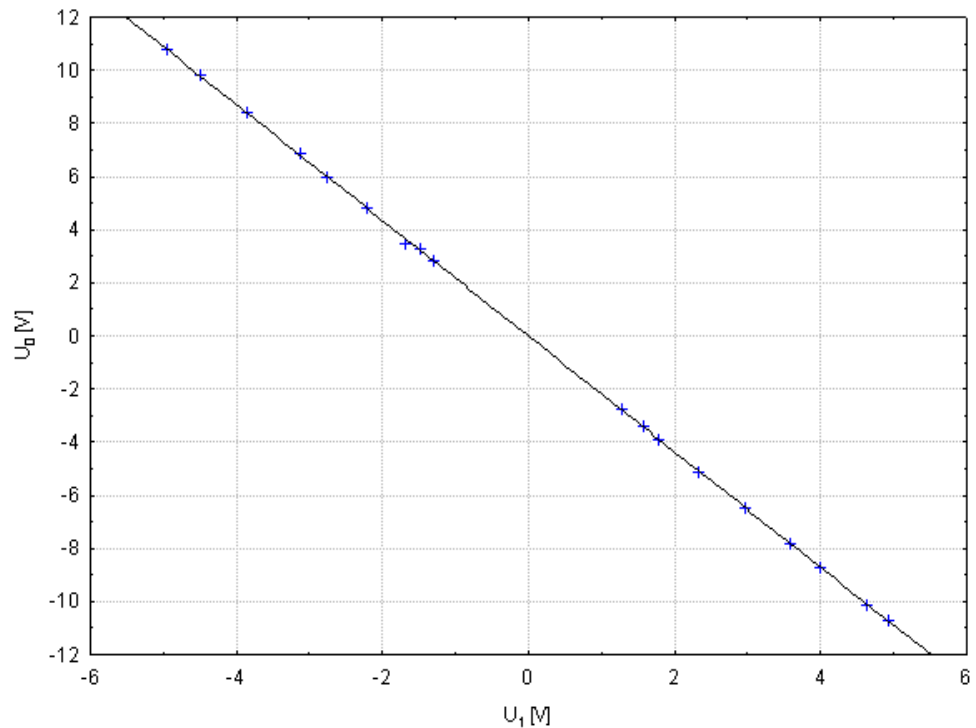
Obrázek 6

Výsledky:

1. Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem

$\frac{U_1}{V}$	$\frac{U_0}{V}$
1,28	-2,79
1,58	-3,42
1,80	-3,92
2,35	-5,14
2,98	-6,49
3,60	-7,85
4,01	-8,74
4,65	-10,14
4,93	-10,75
-1,28	2,79
-1,48	3,22
-1,68	3,44
-2,19	4,78
-2,74	5,96
-3,12	6,81
-3,85	8,39
-4,48	9,78
-4,93	10,75

Tabulka 1



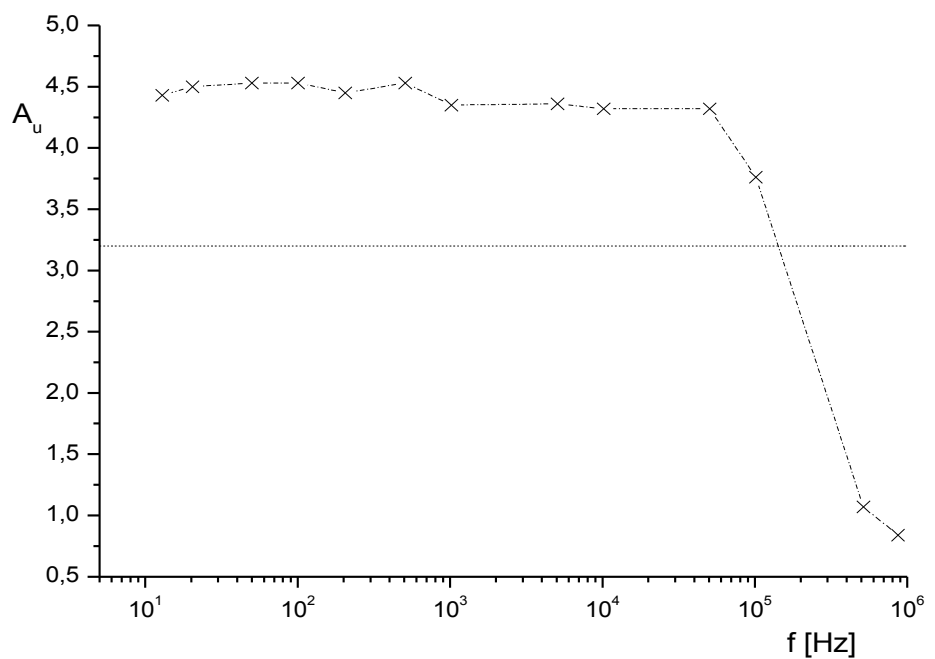
Graf 1

$$k = (-2,178 \pm 0,005) \quad \frac{R_2}{R_1} = (2,173 \pm 0,003) \quad R_1 = 9,85 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 21,4 \text{ k}\Omega$$

2. Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem – střídavé napětí

$\frac{U_1}{V}$	$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{U_0}{V}$	A_u
0,52	12,92	2,28	4,43
0,52	20,41	2,32	4,50
0,53	50,08	2,40	4,53
0,53	100,6	2,40	4,53
0,53	204,9	2,36	4,45
0,53	508,1	2,40	4,53
	$\frac{f}{\text{kHz}}$		
1,02	1,021	4,44	4,35
1,00	5,076	4,36	4,36
1,01	10,20	4,36	4,32
0,99	50,54	4,28	4,32
1,02	101,5	3,84	3,76
1,01	515,5	1,08	1,07
0,90	869,6	0,76	0,84

Tabulka 2



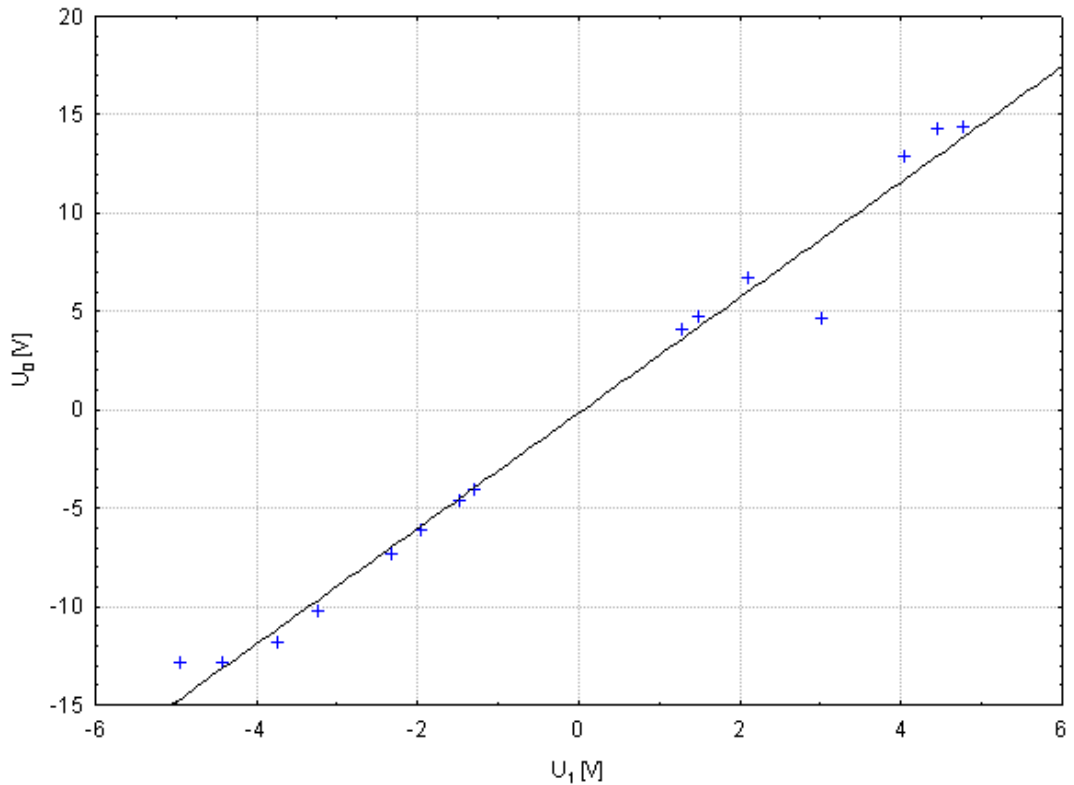
Graf 2

prověřená přenosová oblast zesilovače 13 Hz – 141,5 kHz

3. Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem

$\frac{U_1}{V}$	$\frac{U_0}{V}$
1,28	4,06
1,49	4,74
2,10	6,66
3,02	4,59
4,06	12,89
4,47	14,22
4,78	14,35
-1,28	-4,06
-1,47	-4,67
-1,94	-6,14
-2,31	-7,33
-3,23	-10,25
-3,72	-11,82
-4,41	-12,92
-4,94	-12,92

Tabulka 3



Graf 3

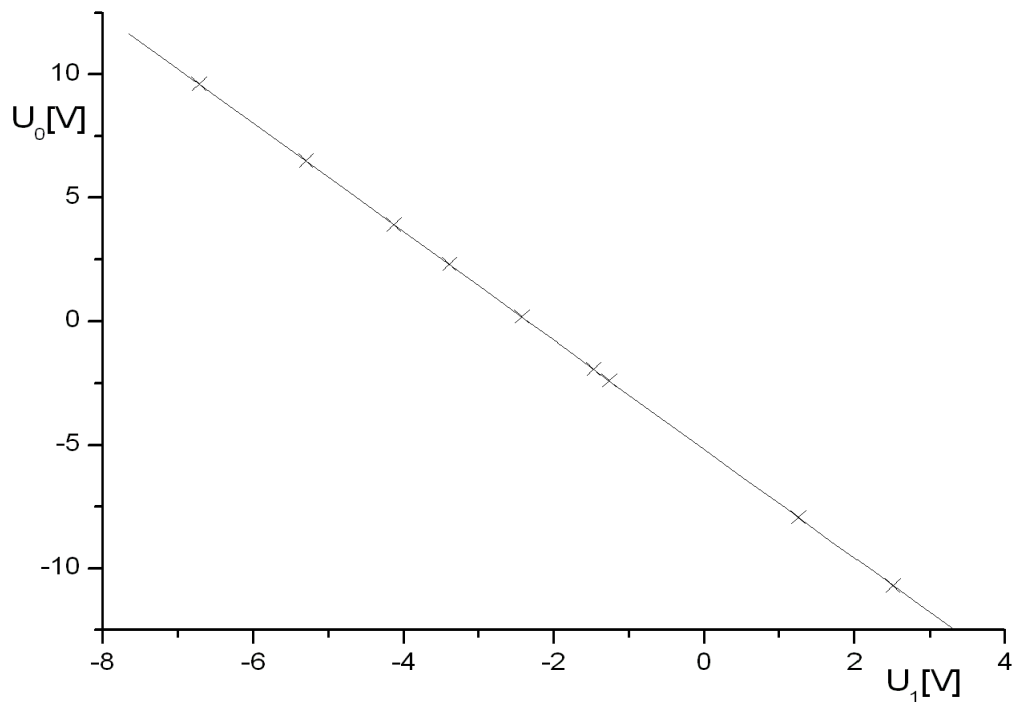
$$k = (2,94 \pm 0,12) \quad 1 + \frac{R_2}{R_1} = (3,173 \pm 0,005) \quad R_1 = 9,85 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 21,4 \text{ k}\Omega$$

4. Rozdílový zesilovač

$\frac{U_1}{V}$	$\frac{U_0}{V}$
-1,26	-2,38
-1,47	-1,93
-2,42	0,17
-3,39	2,30
-4,13	3,91
-5,30	6,50
-6,72	9,61
-8,03	12,49
-9,24	14,37
-9,94	14,37
1,26	-7,94
2,51	-10,70
3,54	-12,89
4,82	-12,97
5,83	-12,96
6,95	-12,96
7,76	-12,96
8,75	-12,96
9,57	-12,96

Tabulka 4

$$R_1 = 9,85 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 21,4 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 9,85 \text{ k}\Omega \quad R_4 = 21,7 \text{ k}\Omega$$



Graf 4: Po vyřazení hodnot označených v tabulce 4

$$U_2 = -2,36 \text{ V}$$

$$k = (-2,200 \pm 0,002)$$

$$q = (-5,166 \pm 0,005) \text{ V}$$

$$\frac{-R_2}{R_1} = (2,173 \pm 0,003)$$

$$U_2 \frac{R_4(R_1 + R_2)}{R_1(R_3 + R_4)} = (-5,15 \pm 0,03) \text{ V}$$

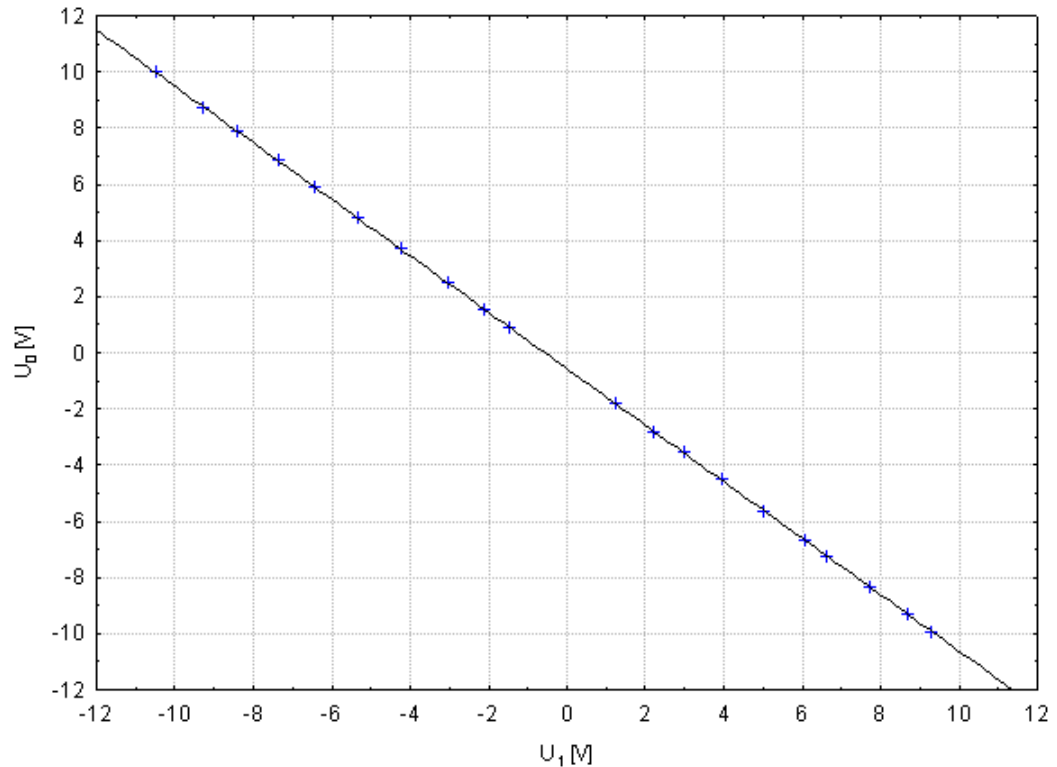
5. Sčítací zesilovač

$$R_1 = 9,85 \text{ k}\Omega \quad R_{11} = 21,4 \text{ k}\Omega \quad R_{12} = 9,85 \text{ k}\Omega$$

$\frac{U_1}{V}$	$\frac{U_0}{V}$
1,26	-1,84
2,25	-2,84
2,99	-3,58
3,96	-4,55
5,05	-5,65
6,11	-6,71
6,64	-7,25
7,75	-8,37
8,72	-9,34
9,33	-9,95
-10,47	9,95
-9,25	8,73
-8,37	7,84
-7,35	6,82
-6,40	5,86
-5,30	4,76
-4,21	3,67
-3,03	2,48
-2,10	1,54
-1,43	0,88

Tabulka 5

$$U_2 = 1,26 \text{ V}$$



Graf 5

$$k = (-1,0055 \pm 0,0002)$$

$$q = (-0,571 \pm 0,002) \text{ V}$$

$$\frac{-R_2}{R_{11}} = -1,000 \pm 0,002$$

$$\frac{-R_2}{R_{12}} U_2 = (-0,580 \pm 0,002) \text{ V}$$

6. Komparátor

Zesilovač jsem zapojil také jako komparátor. Když jsem na něj přiváděl dvě blízká napětí, tak se střídavě rozsvěcovaly LED diody zapojené v obvodu. Přesné shody napětí je obtížné dosáhnout, a tak obě diody nesvítily naráz.

Závěr:

Naměřené hodnoty se velmi dobře shodují s hodnotami vypočtenými. U rozdílového zesilovače, po vyřazení hodnot mimo rozsah měřícího přístroje, se naměřené a vypočtené hodnoty opět shodují. Z grafu 2 je patrná část přenosové oblasti zesilovače – bylo by dobré měření rozšířit i na oblast nízkých frekvencí, aby byla změřena i dolní hranice přenosové oblasti zesilovače.