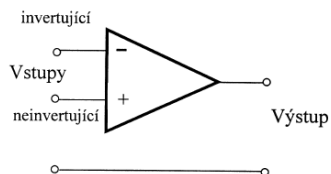


Petr Novotný

Úloha č. 7

Operační zesilovač, jeho vlastnosti a využití

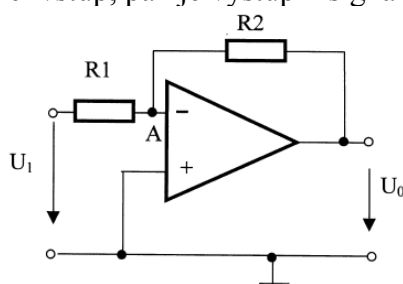
Operační zesilovač je integrovaný obvod se dvěma vstupy (invertujícím a neinvertujícím) a jedním výstupem.



Obrázek 1: Schematická značka operačního zesilovače.

Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem

Je-li signál přivedený na invertující vstup, pak je výstupní signál k němu v opačné fázi.



Obrázek 2: Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem.

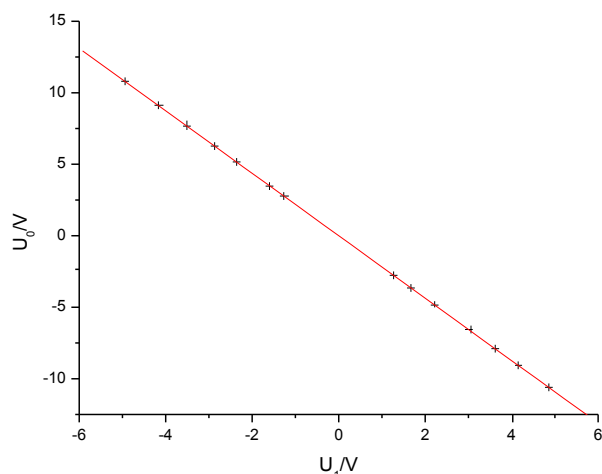
Vstupní napětí je přes rezistor R_1 přivedeno na invertující vstup, kde je zesíleno a na výstupu se objeví s opačnou polaritou. Výstupní napětí je přivedeno přes rezistor R_2 na vstup, kde zmenšuje vstupní napětí. Obvod se ustálí ve stavu, kdy je v bodě A téměř nulové napětí. Z rovnosti proudů v uzlu A plyne

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

Pro vstupní napětí v rozmezí od -5 do +5V měříme výstupní napětí

U_1/V	4,86	4,15	3,62	3,01	2,22	1,67	1,27	-1,27	-1,60	-2,36	-2,87	-3,51	-4,17	-4,94
U_0/V	-10,60	-9,06	-7,90	-6,56	-4,85	-3,65	-2,77	2,78	3,47	5,16	6,27	7,67	9,13	10,80

Do grafu vyneseme závislost $U_0 = f_{ce}(U_1)$



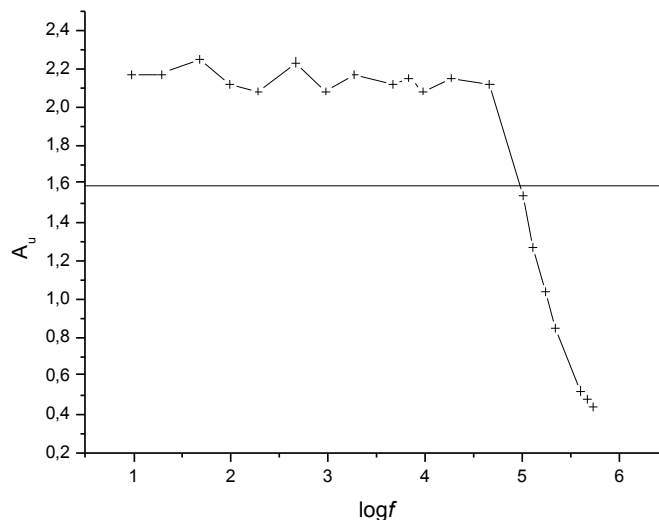
Směrnice přímky má hodnotu $-2,1841$. Tedy $R_2/R_1=2,1841$

Hodnoty použitých odporů byly $R_1=9,85\text{k}\Omega$ a $R_2=21,5\text{k}\Omega$, tedy teoretická hodnota $R_2/R_1=2,1827$

Nyní na vstup této zesilovače přivedeme střídavé napětí o amplitudě 1V a pro frekvence v rozsahu 10Hz až 700kHz měříme hodnoty U_1 a U_0 a hledáme závislost zesílení $A_u=U_0/U_1$ na frekvenci.

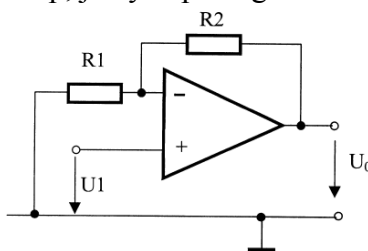
f/Hz	U_1/V	U_0/V	A_u
9,653	1,92	4,16	2,17
19,31	1,92	4,16	2,17
47,39	1,92	4,32	2,25
97,66	2,00	4,24	2,12
188,6	2,00	4,16	2,08
469,5	1,92	4,28	2,23
957,9	2,00	4,16	2,08
1866	1,92	4,16	2,17
4660	2,08	4,40	2,12
6711	2,08	4,48	2,15
9585	2,08	4,32	2,08
18800	2,08	4,48	2,15
45790	2,08	4,40	2,12
102800	2,08	3,20	1,54
129500	2,08	2,64	1,27
174400	2,00	2,08	1,04
221200	2,08	1,76	0,85
398400	2,00	1,04	0,52
463000	2,00	0,96	0,48
535700	2,00	0,88	0,44

Jelikož se frekvence mění o několik řádů, vyneseme do grafu závislost $A_u=fce(\log f)$
 Přitom přenosová oblast zesilovače je oblast, ve které zesílení neklesne z maxima o více než 3dB,
 tj. na hodnotu $A_{u_{max}}\sqrt{2}=0,707A_{u_{max}}=1,59$, čemuž odpovídá frekvence 95328Hz



Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem

Přivedeme-li signál na neinvertující vstup, je výstupní signál ve fázi se vstupním.



Obrázek 3: Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem.

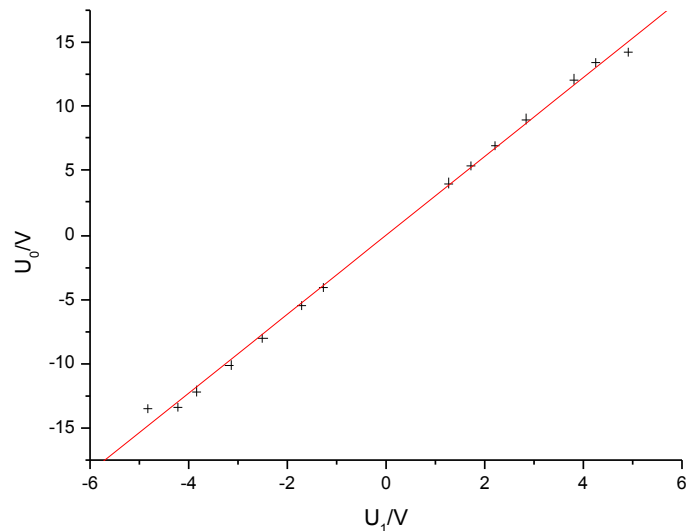
Pro zesílení neinvertujícího zesilovače platí vztah

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

Měření provádíme podobně jako v prvním případě. Hledáme závislost výstupního napětí U_0 na vstupním napětí U_1 , pomocí níž ověříme výše uvedený vztah.

U_1/V	1,27	1,72	2,21	2,84	3,81	4,25	4,91	-1,27	-1,71	-2,51	-3,18	-3,84	-4,22	-4,83
U_0/V	4,05	5,46	7,03	9,04	12,15	13,52	14,33	-4,04	-5,45	-8,00	-10,12	-12,19	-13,39	-13,49

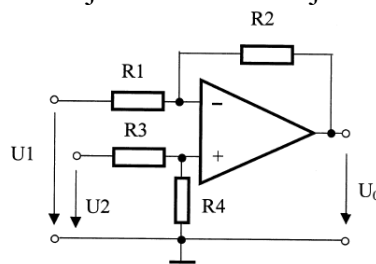
Do grafu opět vyneseme závislost $U_0=fce(U_1)$



Směrnice proložené přímkou má hodnotu $3,0791 = (1 + R_2/R_1)$, odtud $R_2/R_1 = 2,0791$
 Použity byly tytéž hodnoty odporů R_1 a R_2 , tedy teoretická hodnota $R_2/R_1 = 2,1827$

Rozdílový zesilovač

Rozdílový zesilovač je kombinací invertujícího a neinvertujícího.



Obrázek 4: Rozdílový zesilovač.

Pro jeho výstupní napětí platí vztah

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

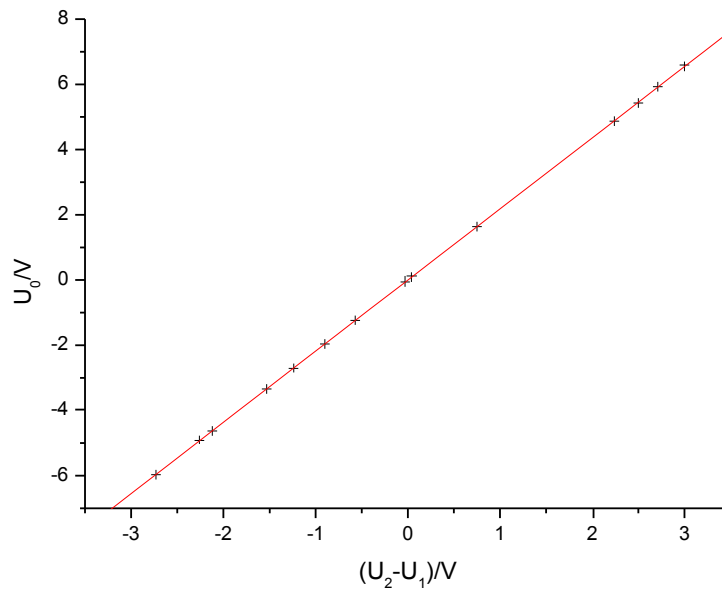
Použité odpory měly hodnoty $R_1 = 9,85\text{k}\Omega$, $R_2 = 21,5\text{k}\Omega$, $R_3 = 9,86\text{k}\Omega$ a $R_4 = 21,7\text{k}\Omega$, tedy vztah lze upravit na $U_0 = 2,188(U_2 - U_1)$

Pro vstupní napětí U_1 a U_2 měříme výstupní napětí U_0 , abychom ověřili výše uvedený vztah.

U_1/V	U_2/V	U_0/V
1,28	1,25	-0,06
2,17	2,21	0,09
2,87	2,30	-1,24
3,42	2,52	-1,96
4,18	2,94	-2,71
4,86	3,33	-3,34
5,66	3,54	-4,63

U_1/V	U_2/V	U_0/V
6,16	3,90	-4,92
6,95	4,22	-5,97
1,38	2,13	1,64
1,47	3,71	4,87
2,19	4,69	5,43
2,41	5,12	5,93
2,85	5,85	6,55

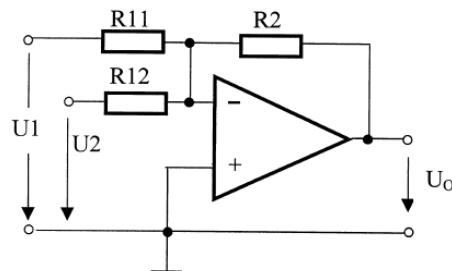
Do grafu vyneseme závislost U_0 na (U_2-U_1)



Směrnice přímky má hodnotu 2,182, tedy $U_0=2,182(U_2-U_1)$, což ověřuje teoreticky získaný vztah

Sčítačí zesilovač

Jednoduchou obměnou základního invertujícího zesilovače vytvoříme sčítačí zesilovač.



Obrázek 5: Sčítačí zesilovač.

Pro výstupní napětí platí vztah

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

kde $R_{11}=9,85k\Omega$, $R_{12}=21,7k\Omega$ a $R_2=21,5k\Omega$

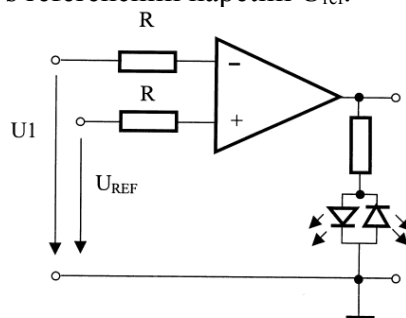
Hodnoty vstupních napětí volíme tak, aby výstupní napětí zůstalo v intervalu -10 až +10V.

U_1/V	U_2/V	U_0/V (naměřená hodnota)	U_0/V (vypočtená hodnota)
1,27	1,25	-4,00	-4,01
1,38	1,48	-4,47	-4,48
1,65	2,25	-5,82	-5,83
2,83	3,37	-9,46	-9,52
3,21	3,51	-10,44	-10,48
1,27	-1,25	-1,54	-1,53
1,45	-2,91	-0,24	-0,28
2,76	-2,91	-3,14	-3,14
1,48	-3,59	0,29	0,33
1,63	-5,28	1,63	1,67
-1,28	-1,25	4,05	4,03
-1,58	-1,46	4,87	4,90
-2,34	-2,36	7,44	7,45
-2,92	-2,73	9,07	9,08
-3,52	-3,18	10,82	10,83

Naměřené hodnoty výstupního napětí U_0 se blíží teoreticky určeným hodnotám výstupního napětí, což ověřuje výše uvedený vztah pro sčítací zesilovač.

Komparátor

Komparátor porovnává napětí U_1 s referenčním napětím U_{ref} .



Obrázek 6: Zapojení komparátoru.

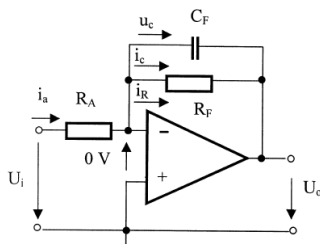
Pro několik referenčních napětí hledáme napětí U_1 , pro které žádná z diod nebude svítit. Nastavené napětí U_1 by mělo mít stejnou hodnotu jako referenční napětí.

U_{ref}/V	2,37	3,06	3,43	3,97	4,42	5,15
U_1/V	2,25	2,91	3,33	3,87	4,29	5,18

Drobné rozdíly mohly být způsobeny tím, že hodnota použitých odporů nebyla stejná (lišila se o 0,2kΩ).

Dolní propust

Použijeme-li ve vstupní nebo zpětnovazební větvi operačního zesilovače kombinaci RLC prvků, změní se jeho frekvenční charakteristika.

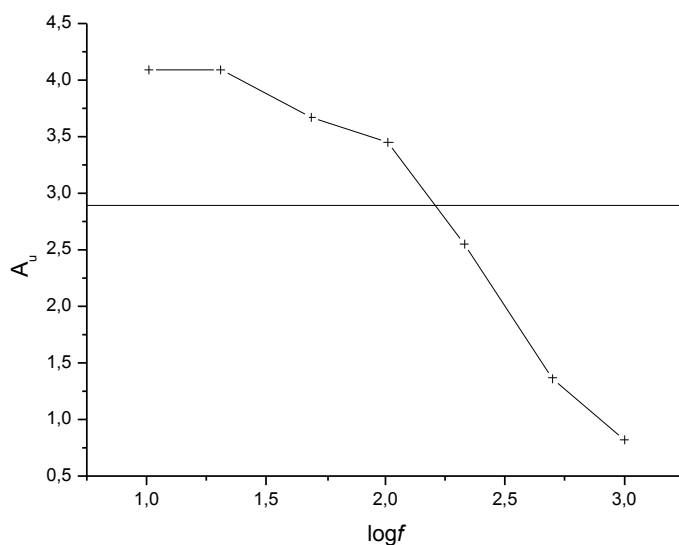


Obrázek 7: Zapojení operačního zesilovače jako dolní propust.

Hledáme závislost zesílení na frekvenci.

f/Hz	U_i/mV	U_o/mV	A_u
10,29	220	900	4,09
20,49	220	900	4,09
48,54	240	880	3,67
102,0	220	760	3,45
212,8	220	560	2,55
505,1	220	300	1,36
990,1	220	180	0,82

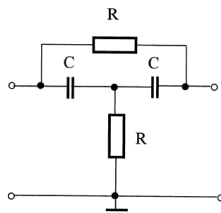
Do grafu opět vyneseme závislost $A_u = fce(\log f)$



Podobně jako v druhém úkolu je šířka přenosového pásma taková oblast, kde zesílení neklesne z maxima o více než 3dB, tj. na hodnotu $A_{u_{max}}\sqrt{2}=0,707A_{u_{max}}=2,89$, čemuž odpovídá frekvence 162Hz

Pásmová propust

Nahradíme-li v předchozím zapojení zpětnovazební RC člen přemostěným T článkem, získáme pásmovou propust.

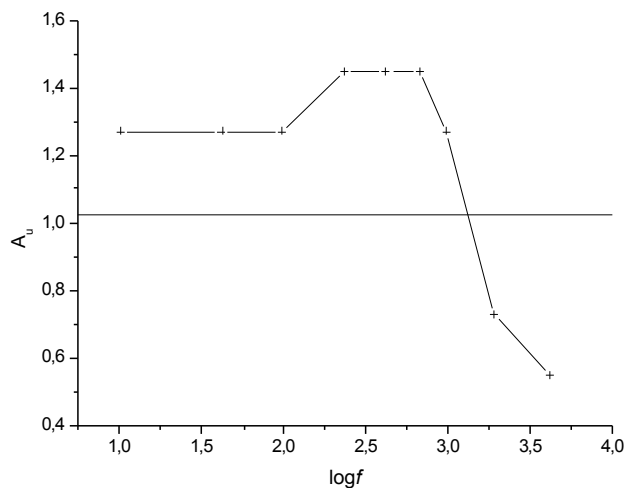


Obrázek 8: T článek.

A podobně jako v předchozím úkolu hledáme závislost zesílení na frekvenci.

f/Hz	U_1/mV	U_0/mV	A_u
10,35	220	280	1,27
41,67	220	280	1,27
98,04	220	280	1,27
236,2	220	320	1,45
413,2	220	320	1,45
675,7	220	320	1,45
970,9	220	280	1,27
1923	220	160	0,73
4167	220	120	0,55

Do grafu vyneseme závislost $A_u=fce(\log f)$



$A_{u_{max}}\sqrt{2}=0,707A_{u_{max}}=1,03$ a odpovídající frekvence je 1321Hz