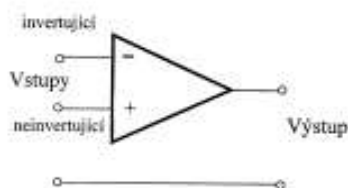


Fyzikální praktikum 3 - úloha 7

Operační zesilovač, jeho vlastnosti a využití

Teorie: Operační zesilovač je elektronická součástka využívaná v měřicí, regulační a výpočetní technice. Ideální model má nekonečně velké zesílení A_u , nekonečně velký vstupní odpor R_{vst} a nulový výstupní odpor R_{vyst} . Reálný model mívá zesílení alespoň $A_u = 10000$, vstupní odpor $R_{vst} = 50k\Omega$ a výstupní odpor $R_{vyst} = 50\Omega$.

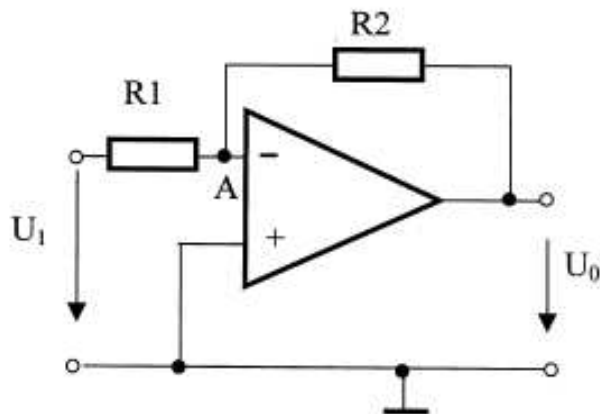
Tato součástka má dva vstupy, invertující a neinvertující, a jeden výstup. Pokud přijde signál na invertující vstup, na výstupu bude s opačnou fází, bude-li připojen na neinvertující vstup, na výstupu bude signál se stejnou fází. Operační zesilovač má dále vstupy pro napájení.



Obrázek 1: Schematická značka operačního zesilovače.

Popis měření: V tomto praktiku budeme zkoumat vlastnosti operačního zesilovače v několika zapojeních.

Zesilovač s invertujícím vstupem



Obrázek 2: Zapojení zesilovače s invertujícím vstupem.

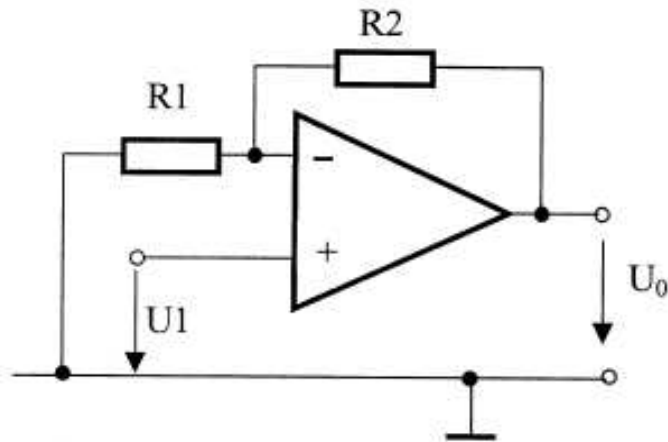
Vstupní napětí je přivedeno na invertující vstup. Po určité době bude v uzlu A téměř nulové napětí způsobené přivedením výstupního napětí na vstup. V uzlu A pak můžeme psát

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

Budeme měřit napětí U_1 a U_0 . Data proložíme přímkou a ze směrnice zjistíme experimentální hodnotu $\frac{R_2}{R_1}$. Tu můžeme porovnat s teorií.

V tomto zapojení můžeme také měřit frekvenční charakteristiku zesilovače a zjistit tak přenosovou oblast zesilovače, tedy oblast, kdy zesílení neklesne pod $\frac{\sqrt{2}}{2} A_{u_{max}}$, kde $A_{u_{max}}$ je maximální zesílení.

Zesilovač s neinvertujícím vstupem



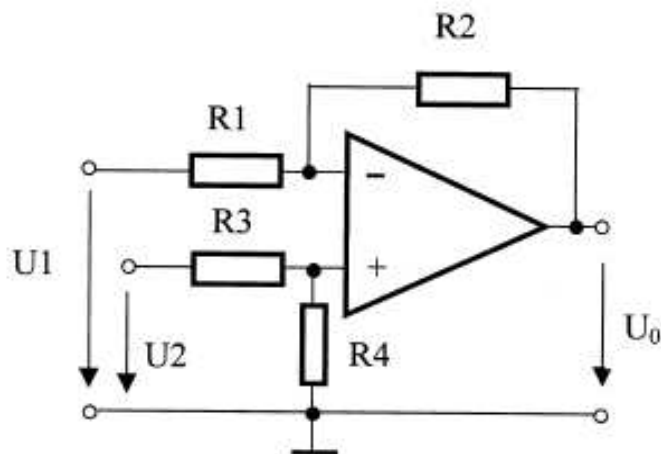
Obrázek 3: Zapojení zesilovače s neinvertujícím vstupem.

Napětí je tentokrát přivedeno na neinvertující vstup. Pro výstupní napětí lze odvodit vztah

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

Opět grafem závislosti $U_0 = f(U_1)$ můžeme proložit přímkou a naměřená data porovna s teorií.

Rozdílový zesilovač

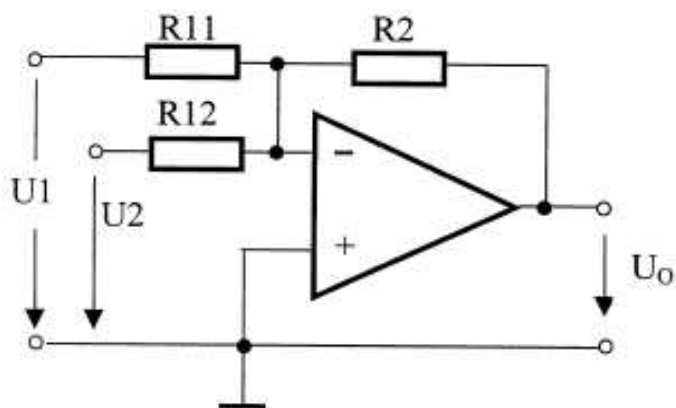


Obrázek 4: Rozdílový zesilovač.

Kombinací předchozích dvou zapojení můžeme získat rozdílový zesilovač. Výstupní napětí získáme ze vztahu

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

Sčítací zesilovač

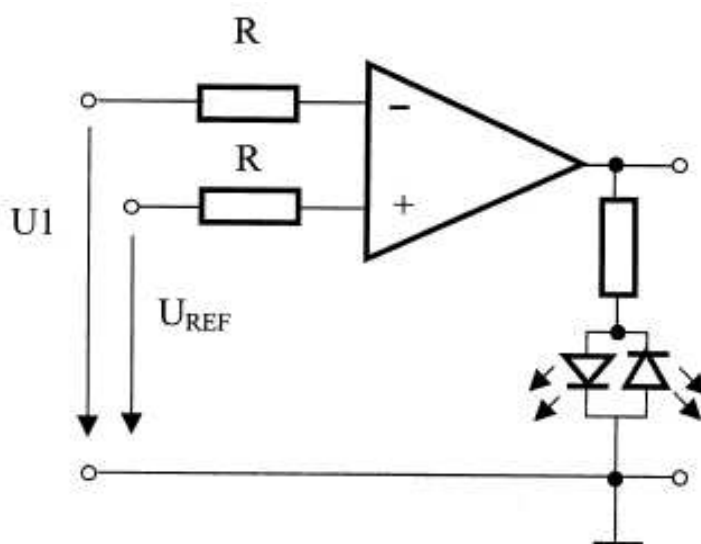


Obrázek 5: Sčítací zesilovač.

Obměnou předchozího zapojení získáme sčítací zesilovač. Pro výstupní napětí můžeme odvodit vztah

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

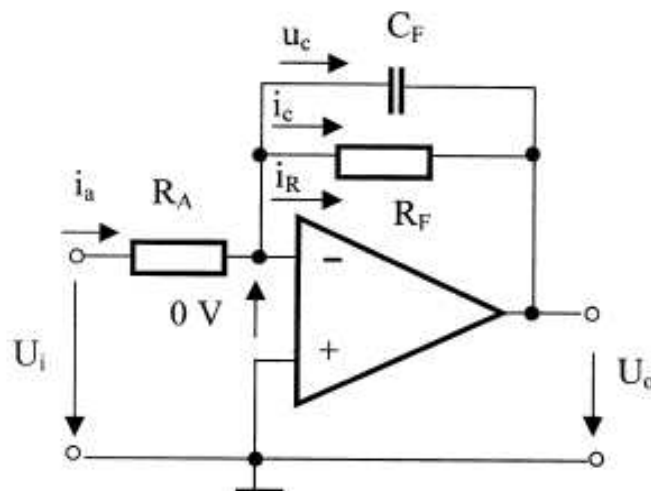
Komparátor



Obrázek 6: Zapojení komparátoru.

Toto zapojení využívá velkého zesílení operačního zesilovače. Po nastavení referenčního napětí můžeme nastavovat napětí U_1 tak, aby nesvítla ani jedna z diod. To znamená, že obě napětí na vstupu jsou stejná.

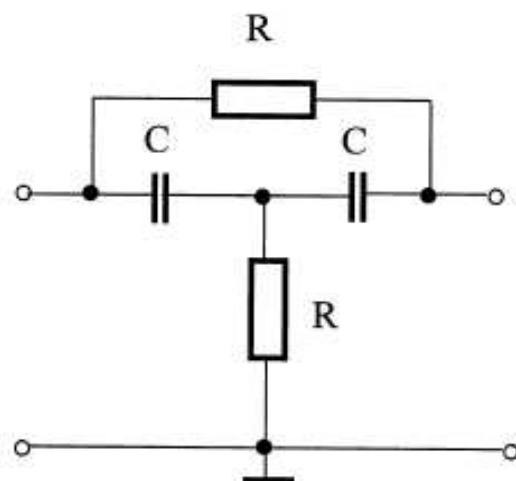
Dolní propust



Obrázek 7: Zapojení operačního zesilovače jako dolní propust.

V tomto zapojení je zapojen RC prvek, takže se mění frekvenční charakteristika. Zde nás bude zajímat šířka přenášeného pásma.

Pásmová propust

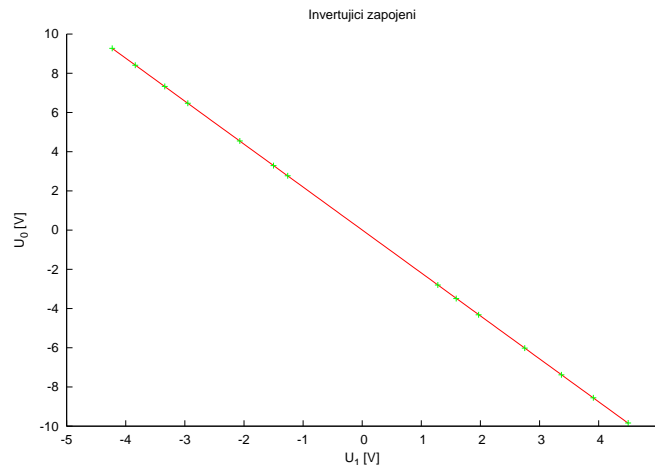


Obrázek 8: T článek.

Pokud místo RC členu v předchozí úloze zapojíme T článek, získáme pásmovou propust, jejíž frekvenční charakteristika nás bude zajímat.

Měření a výsledky: Invertující zapojení

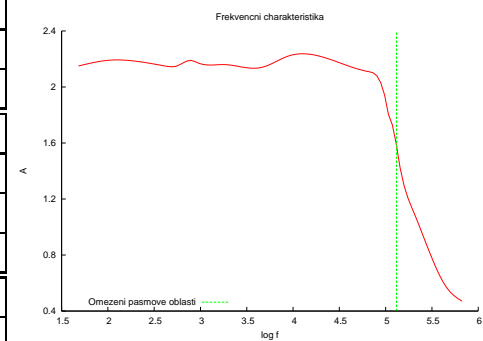
$U_1[V]$	$U_0[V]$
4,50	-9,84
3,91	-8,55
3,37	-7,38
2,75	-6,02
1,97	-4,32
1,59	-3,49
1,28	-2,80
-1,26	2,77
-1,50	3,29
-2,07	4,55
-2,95	6,47
-3,34	7,33
-3,84	8,41
-4,23	9,27



Směrnice přímky: $a = -2,1905 \pm 0,0008$

Předpokládaný poměr: $\frac{R_2}{R_1} = \frac{21,5}{9,85} = 2,1827$

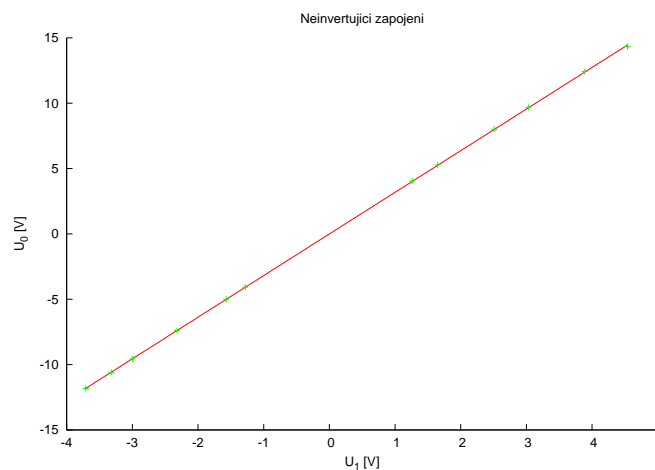
$f[Hz]$	48,08	98,81	413,2	557,1	778,2	956,0
$U_1[V]$	2,12	2,08	2,12	2,12	2,06	2,08
$U_0[V]$	4,56	4,56	4,56	4,56	4,52	4,51
A	2,15	2,19	2,15	2,15	2,19	2,17
$f[kHz]$	1,81	4,60	8,78	27,0	65,1	104,2
$U_1[V]$	2,04	2,24	2,16	2,12	2,20	2,20
$U_0[V]$	4,40	4,80	4,80	4,64	4,64	4,08
A	2,16	2,14	2,22	2,19	2,11	1,85
$f[kHz]$	108,4	121	136	200	453	670
$U_1[V]$	2,26	2,18	2,12	2,16	2,12	2,04
$U_2[V]$	4,04	3,72	3,20	2,40	1,20	0,96
A	1,79	1,71	1,51	1,11	0,57	0,47



Hranice přenosové oblasti je $130kHz$.

Neinvertující zapojení

$U_1[V]$	$U_0[V]$
1,26	4,04
1,65	5,28
2,51	8,00
3,03	9,68
3,89	12,43
4,54	14,34
-1,28	-4,08
-1,57	-5,00
-2,32	-7,40
-3,00	-9,57
-3,71	-11,83
-3,32	-10,59

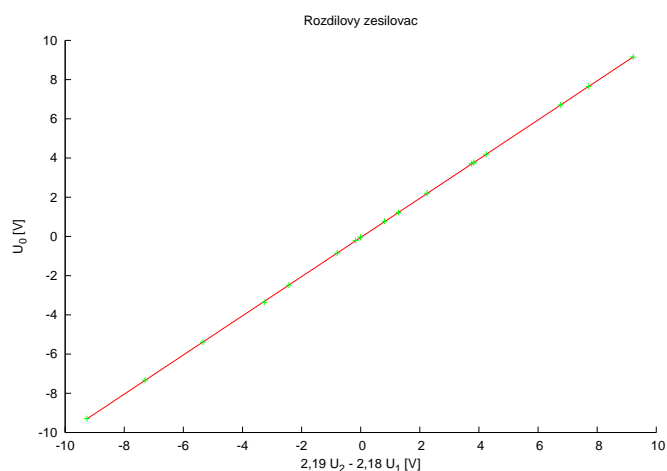


Směrnice přímky: $a = 3,185 \pm 0,005$

Předpokládaná hodnota: $1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{21,5}{9,85} = 3,183$

Rozdílový zesilovač

$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_0[V]$
1,26	5,46	9,15
1,26	4,34	6,71
1,26	3,19	4,19
1,26	2,28	2,20
1,91	2,27	0,77
2,84	3,41	1,22
3,79	3,41	-0,85
5,10	1,75	-7,33
6,00	1,75	-9,29
5,97	3,51	-5,39
5,03	3,90	-2,48
7,28	5,76	-3,36
2,74	2,65	-0,21
1,27	1,26	-0,04
2,98	4,68	3,71
3,66	5,39	3,76
1,88	5,39	7,65

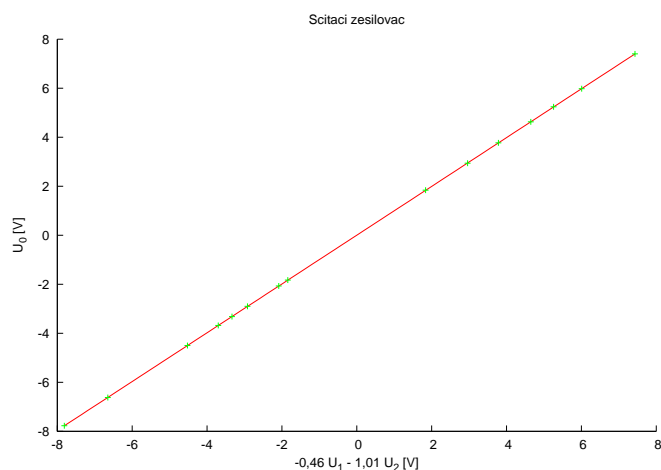


Směrnice přímky: $a = 0,9989 \pm 0,0008$

Předpoklad: $a = 1$

Sčítací zesilovač

$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_0[V]$
1,26	1,26	-1,83
1,50	1,26	-2,07
2,33	1,26	-2,90
2,30	2,23	-3,32
2,30	3,03	-3,68
3,12	3,03	-4,50
4,42	4,82	-6,62
5,58	4,81	-7,77
-1,49	-3,19	2,94
-2,31	-3,19	3,77
-2,30	-5,10	4,63
-2,91	-5,09	5,24
-2,91	-6,73	5,98
-4,33	-6,72	7,40
-4,31	-1,25	4,89
-1,26	-1,25	1,84



Směrnice přímky: $a = 0,9954 \pm 0,0002$

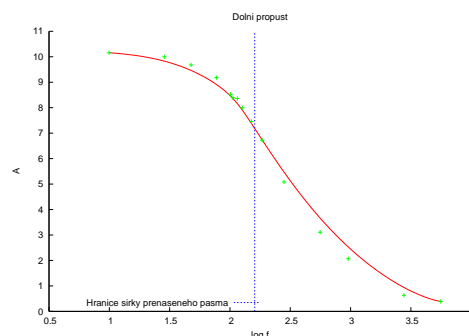
Předpoklad: $a = 1$

Komparátor

$U_{ref}[V]$	1,33	-1,40	-1,50
$U_1[V]$	1,30	-1,37	-1,49

Dolní propust

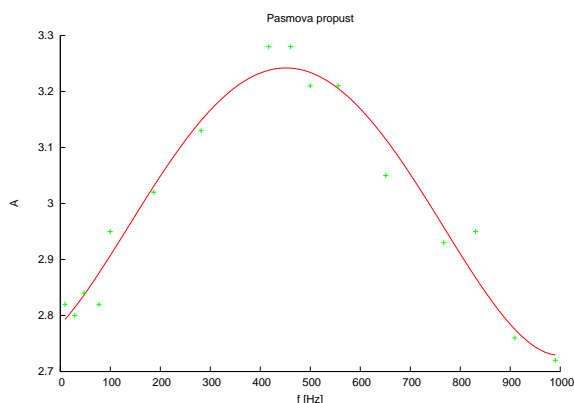
$f[Hz]$	9,95	28,61	47,6	77,2	101
$U_1[mV]$	122	120	124	122	122
$U_0[V]$	1,24	1,20	1,20	1,12	1,04
A	10,16	10,00	9,68	9,18	8,52
$f[Hz]$	105,9	115	126,6	150,6	185
$U_1[mV]$	124	122	120	118	122
$U_0[V]$	1,04	1,02	0,96	0,88	0,82
A	8,39	8,36	8,00	7,46	6,72
$f[Hz]$	280,9	559	956	2770	5580
$U_1[mV]$	122	122	116	102	102
$U_0[mV]$	620	380	240	64	40
A	5,08	3,11	2,07	0,63	0,39



Hranice přenosové oblasti je $161 Hz$.

Pásmová propust

$f[Hz]$	9,47	28,85	47,5	77,4
$U_1[mV]$	122	120	124	122
$U_0[mV]$	344	336	352	344
A	2,82	2,80	2,84	2,82
$f[Hz]$	99,8	187	281,7	416,7
$U_1[mV]$	122	122	120	122
$U_0[mV]$	360	368	376	400
A	2,95	3,02	3,13	3,28
$f[Hz]$	460,8	500	555,8	651
$U_1[mV]$	122	122	122	122
$U_0[mV]$	400	392	392	372
A	3,28	3,21	3,21	3,05
$f[Hz]$	766,9	830,6	909,1	990,1
$U_1[mV]$	120	114	116	120
$U_0[mV]$	352	336	320	326
A	2,93	2,95	2,76	2,72



Závěr: Úkolem tohoto praktika bylo ověření vlastností operačního zesilovače. První dvě úlohy se týkaly ověření invertujícího a neinvertujícího vstupu. Zesílení takto získané se dá porovnat s teoretickou hodnotou. V obou případech jsou hodnoty hodně podobné. Dále byla naměřena frekvenční závislost zesílení. Teoreticky by mělo být zesílení stejné pro všechny frekvence, ale ve skutečnosti ve vyšších frekvencích klesá. Šířka přeneseného pásma zde byla určena na $130 kHz$.

V dalších dvou úlohách se oěřovaly vlastnosti, když je zapojen invertující i neinvertující vstup. V grafech jsou zakresleny hodnoty dané příslušným vztahem, který je uveden dříve. Teoreticky by tedy měla být směrnice určena z těchto dat rovna jedné. V obou případech tomu tak téměř je, i když u sčítacího zesilovače bylo nutné jednu hodnotu zanedbat, protože byla příliš jiná. Dále byla ověřena funkce komparátoru. Je vidět, že referenční a vstupní napětí jsou podobná, takže komparátor pracoval dobře.

Poslední dvě úlohy byly zaměřeny na frekvenční závislost zesílení. Kombinací odporů a kapacit lze u dolní propusti dosáhnout různé šířky přeneseného pásma, zde byla konfigurace taková, že šířka byla $161 Hz$.