

Operačné zosilňovače

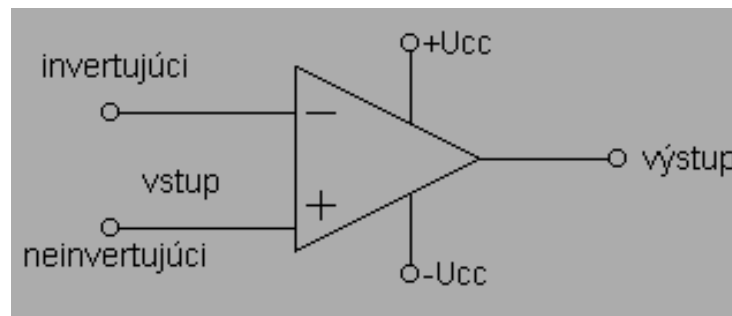
1. Spracujte teóriu operačných zosilňovačov
2. Merania s operačnými zosilňovačmi
3. Poznatky získané z internetu.

Úvod:

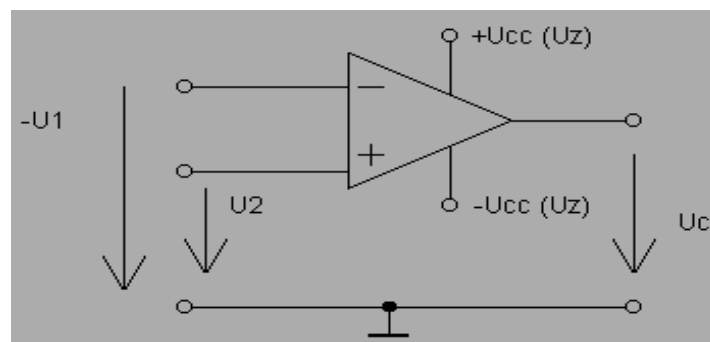
Princíp ČMP je v aplikácii vhodných zapojení operačných zosilňovačov (OZ).

Z dôvodu osvieženia vedomostí sa najskôr zopakujú princípy jednotlivých zapojení OZ a tak postupne prejdeme ku štruktúre ČMP.

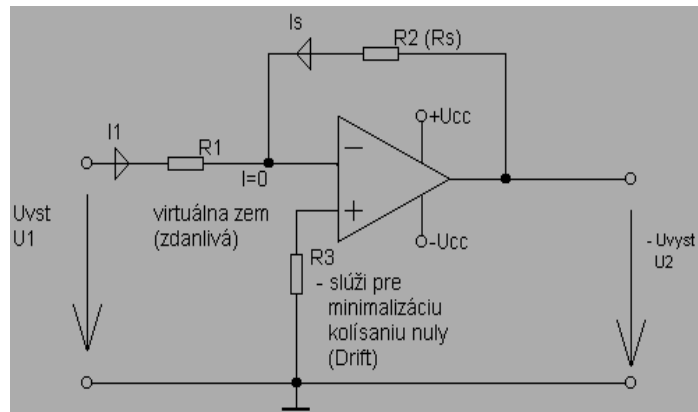
SCHÉMATICKÁ ZNAČKA OZ



ZÁKLADNÉ ZAPOJENIE OZ



1) INVERTUJÚCE ZAPOJENIE OZ (INVENTOR)



Definícia:

OZ vykonávajúci operáciu obrátenia fázy, U_{vst} má opačnú fázu než $U_{výst}$.

Vyjadruje sa to záporným znamienkom vo výraze pre výpočet A_u .

$$i_1 = \frac{u_1}{R_1}$$

$$i_s = \frac{u_2}{R_s}$$

$$\frac{u_2}{R_1} = - \frac{u_2}{R_s}$$

$$\frac{u_2}{u_1} = - \frac{R_s}{R_1}$$

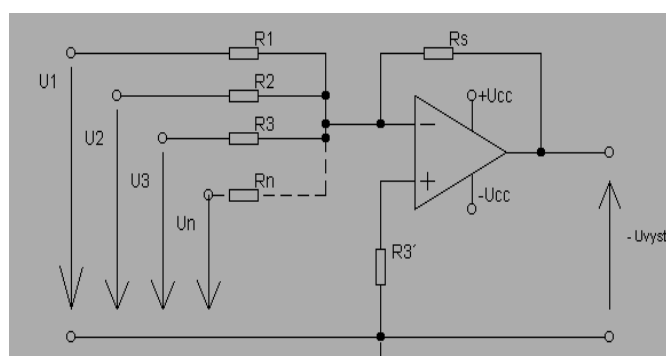
$$A_u = - \frac{R_2}{R_1}$$

$$u_{výst} = - R_2 \frac{u_{vst}}{R_1}$$

$$\frac{u_{výst}}{u_{vst}} = - \frac{R_2}{R_1}$$

- z uvedeného vs'ahu vyplýva, že pri rovnosti vstupného a spätnoväzobného odporu je $U_{výst}$ rovnaké, s opačným znamienkom.

2) SUMAČNÝ ZOSILŇOVAČ (SUMÁTOR)



Definícia:

OZ vykonávajúci operáciu súčtu „N“ napätí (s presným pripojením viacerých vstupných napätí na invertujúci vstup získame inverzné výstupné napätie).

Realizácia:

Na sumačný uzol (uzol zdanlivej zeme) uvádzame prúdy $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ cez odporníky $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$.

R_3 - rovnaká funkcia ako v prípade inventora – minimalizovanie kolísania nuly a jeho hodnota je daná vsťahom pre paralelné zapojenie všetkých vstupých odporov, čiže:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

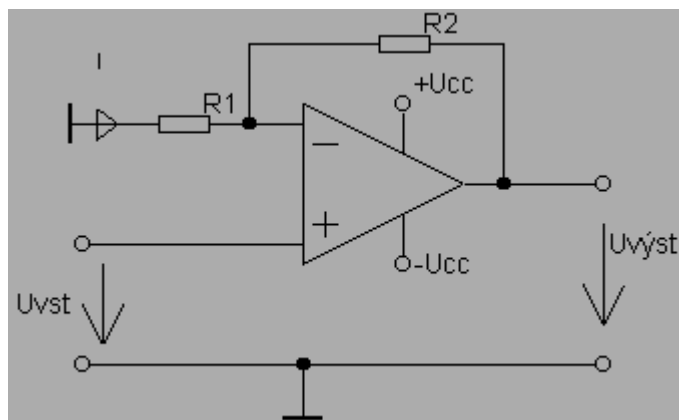
$$u_{výst} = -R_s \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right)$$

ak $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R$ na $R_1 = R_3$, tak potom

$$U_{výst} = -R_s \cdot \frac{1}{R_n} (U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n)$$

$$U_{výst} = -\sum_{i=1}^n U_i$$

3) NEINVERTUJÚCI ZOSILŇOVAČ (NEINVERTOR)



Definícia:

OZ vykonávajúci funkciu zosilňujúceho impedančného meniča s veľkým vstupným a malým výstupným odporom. Uvést je vo fáze s U_{vst} .

Pre ideálny OZ platí: $I_{vst} \pm 0$ a $A_u = \infty \Rightarrow U$ na invertujúcom vstupe je rovnaké ako U_+ na neinvertujúcom vstupe.

Zosilnenie:

$$Au = \frac{U_{výst}}{U_{vst}}$$

$$U_{vst} \cong U_{R1}$$

$$U_{vst} = I \cdot R1$$

$$U_{výst} = U_{vst} + I \cdot R2$$

$$U_{výst} = I \cdot R1 + I \cdot R2$$

$$Au = \frac{IR1 + Ir2}{IR1}$$

$$Au = 1 + \frac{R2}{R1}$$

Realizácia:

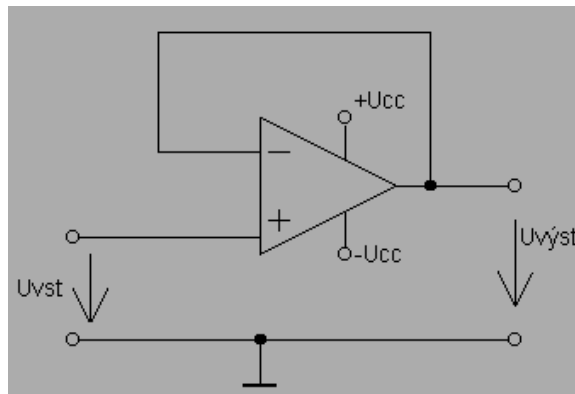
Signálové napätie privádzame na neinvertujúci vstup a dostávame veľmi vysokú hodnotu vstupného odporu OZ pre stav "naprázdno".

Vstupný prúd je nulový.

Pri silnej napät'ovej spätnej väzbe je výstupný odpor malý, (niekoľko mΩ) .

Takto sa získa zosilňujúci impedančný menič s veľkým vstupným a malým výstupným odporom.

4) IMPEDANČNÝ MENIČ



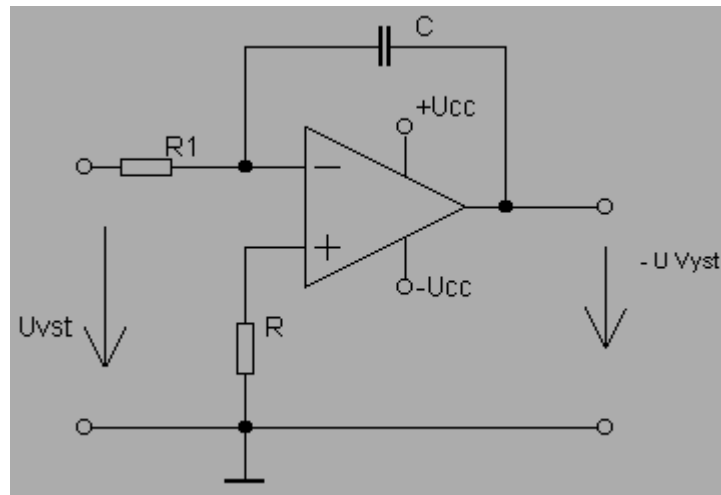
Definícia:

Neinvertujúci zosilňovač so 100% spätnou väzbou. Celé neinvertujúce výstupné napätie sa privádza späť na invertujúci vstup. Spätná väzba dosahuje 100% napät'ové zosilnenie je 1, platí $U_{výst} = U_{vst}$.

Zdroj signálu pripájame na veľký vstupný odpor zosilňovača. Výstupný odpor je malý. V dôsledku zápornej napät'ovej vstupnej väzby. Prúdové zosilnenie je veľké.

Zapojenie zodpovedá emitorovému sledovaču v tranzistorových obvodoch.

5) INTEGRAČNÝ ZOSILŇOVAČ



Definícia:

Druh Operačného zosilňovača, ktorý má v spätno-väzobnej vetve kapacitu C; jeho výstupné napätie je úmerné integrálu časového priebehu vstupného napätia!

$$u_2(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_1(t) \cdot dt$$
$$\tau = RC$$

$$u_1 = U \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

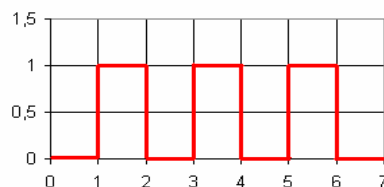
- používa sa na tvarovanie signálov

Integračný zosilňovač je základom každého analógového merača frekvencie. Meraná frekvencia sa prenáša na impulzy po konštantnej amplitúde výšky a šírke.

Potom U_{vyst} je priamoúmerné f vstupného signálu. Kondenzátor C pôsobí ako spätná väzba predovšetkým pre signály s v \check{f} pri ktorých znižuje zosilnenie, signály s nízkou f prechádzajú neovplyvnené na výstup.

Zapojenie teda pracuje ako dolný priepust. Ak na vstup privedieme pravouhlé impulzy tak ich podľa hodnoty časovej konštanty Rc tvarovo upravíme a sploštíme.

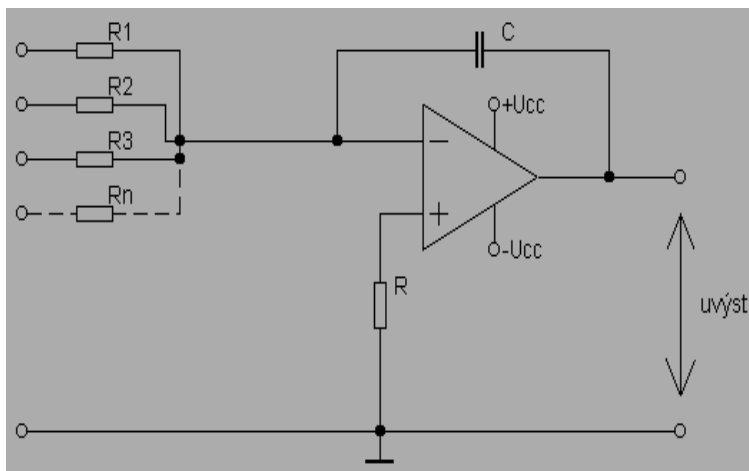
Vstupné napätie



Výstupné napätie

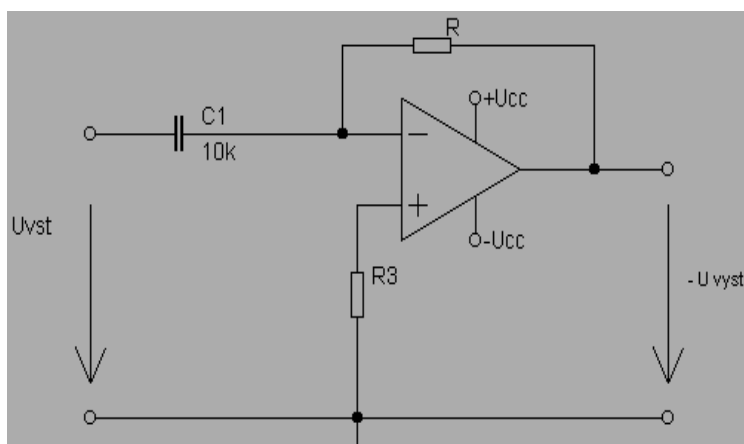


Schéma zapojenia:



$$u_{vyst} = -\frac{1}{RC} \cdot \int ([u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) + \dots + u_n(t)] dt)$$

6) DERIVAČNÝ ZOSILŇOVAČ (DERIVÁTOR)



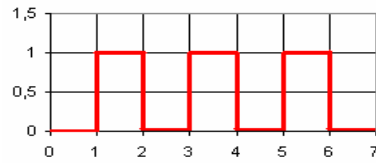
Definícia:

Druh OZ, ktorý má v spätnoväzobnej väzbe odpor R a na vstupe kondenzátor C; jeho výstupné napätie je úmerné derivácii časového priebehu U_{vst} !

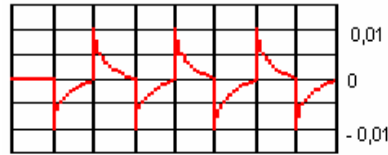
- používa sa na tvarovanie signálov, napríklad obrazových zosilňovačov. Takto získané časové priebehy sa používajú napríklad na spúšťanie preklápacích obvodov.

$$u_2 = -RC \cdot \frac{d[u_1(t)]}{dt}$$

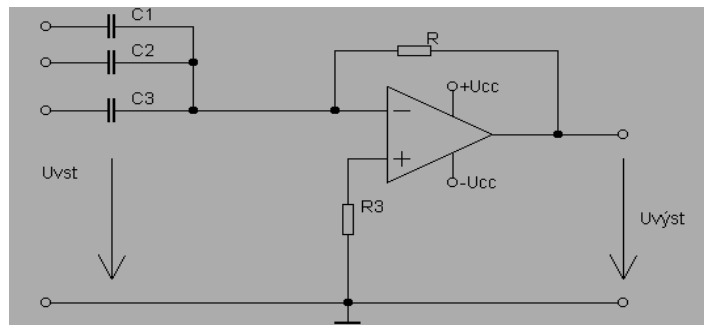
Vstupné napätie



Výstupné napätie



Realizácia derivátora:

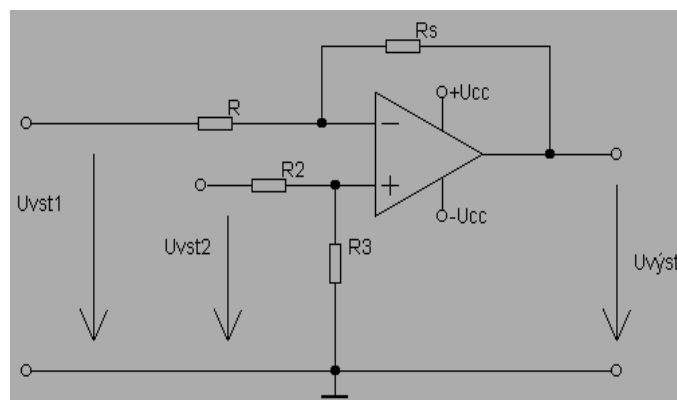


- na výstupe sú ihlovité impulzy, ktoré vznikajú prenosom vŕ zložiek signálu. Matematické odvodenie výstupného napätia pri zadaných hodnotách predstavuje diferenciálnu rovnicu, ktorá je uvedená vyššie.

7) DIFERENČNÝ ZOSILŇOVAČ

Definícia:

OZ, ktorého výstupné napätie je dané „rozdielom“ oboch vstupov.
Tento OZ zosilňuje len rozdiely vstupných signálov – rozdielový signál.



$$U_{výst} = -\frac{R_s(U_{1vst} - U_{2vst})}{R_1}; \text{ ak } R_s = R_1$$

$$U_{výst} = -(U_{1vst} - U_{2vst})$$

$$U_{výst} = U_{2vst} - U_{1vst}$$

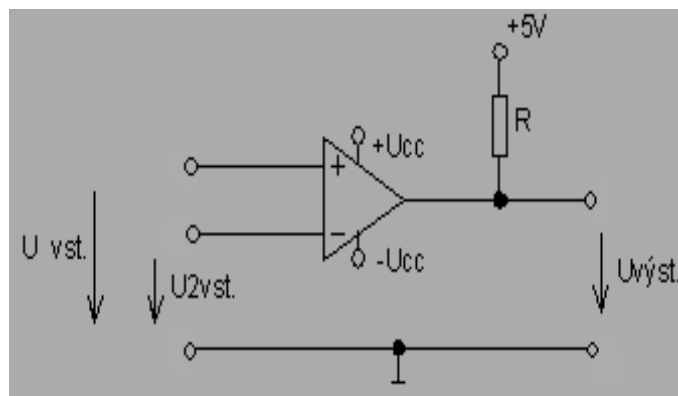
8) KOMPARAČNÝ ZOSILŇOVAČ (KOMPARÁTOR)

Toto zapojenie sa tiež nazýva „ analógový komparátor“. Analógový znamená, že zmeny budú súvislé.

Definícia:

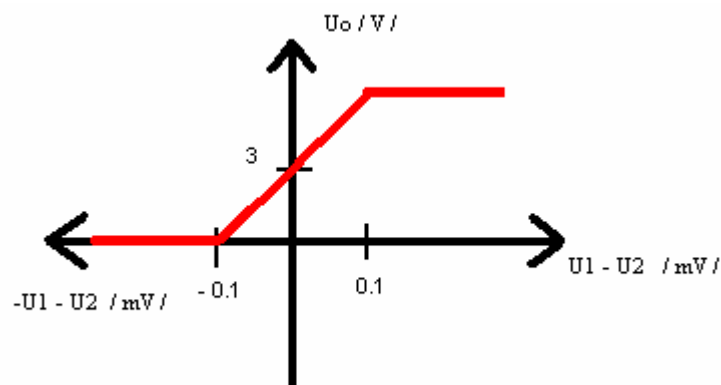
Je to OZ vybudovaný dvoma, alebo viacerými vstupnými signálmi. Je určený na presné porovnávanie dvoch veličín.

V elektronike sa najčastejšie porovnávajú napätia. Princíp činnosti KZ vychádza z diferenciálneho zosilňovača.



$U_1 > U_2$ potom $U_0 = 1$

$U_2 > U_1$ potom $U_0 = 0$



Napät'ový komparátor je obvod, na výstupe ktorého sa objaví napätie zodpovedajúce logickej 0 alebo 1 (v zmysle nášho zapojenia to bude 0 alebo 5V) v závislosti od znamienka rozdielu napätí na jeho vstupoch. Je to teda porovnávací obvod (angl. COMPARE), ktorý porovnáva signál privedený na jeden vstup s referenčným napätím na druhom vstupe, pričom zmeny znamienka rozdielu týchto dvoch napätí sa signalizujú ako zmena logického stavu obvodu na výstupe.

Z toho vyplýva: krajné hodnoty výstupných napätí sú vhodné na spoluprácu s číslicovými obvodmi. Všeobecne je jedno zo vstupných napätí jednosmerné referenčné napätie, takže napät'ový komparátor možno chápať ako 1 – bitový analógovo – číslicový prevodník.

Pre KZ volíme zosilňovacie stupne jemnou alebo strmou charakteristikou a vysokým stupňom zosilnenia.

Operačné zosilňovače I Impedančný menič

Úloha cvičenia:

1. Zistite a nakreslite schému elektronického zapojenia predloženého prípravku. Schému zapojenia doplňte o zdroje a meracie prístroje tak, aby ste mohli overiť funkčnosť obvodu
2. Vykonajte 15 meraní overujúcich funkciu činnosti obvodu ($5 +U_{vst}$, $5 -U_{vst}$, $5 \sim U_{vst}$). Zmerané hodnoty zaznamenajte do tabuľky.
3. Zdôvodnite prečo je nezhoda medzi vstupnou a výstupnou veličinou

Postup pri meraní:

Zapojenie sme zapojili podľa predloženej schémy.

Na napájanie sme použili napájací zdroj TSZ75, ktorý má dve dvojice výstupných svoriek ktoré sme prepojili, čím sme získali symetrické napájacie napätie. Paralelne k napájacím svorkám sme pripojili V-metre, ktoré merajú záporné, kladné a združené napätie.

Do série sme zapojili 2 A-metre, ktoré merali napájací prúd.

Na vstup sme najprv pripojili paralelne V-meter, do série A-meter a napájací zdroj TSZ75.

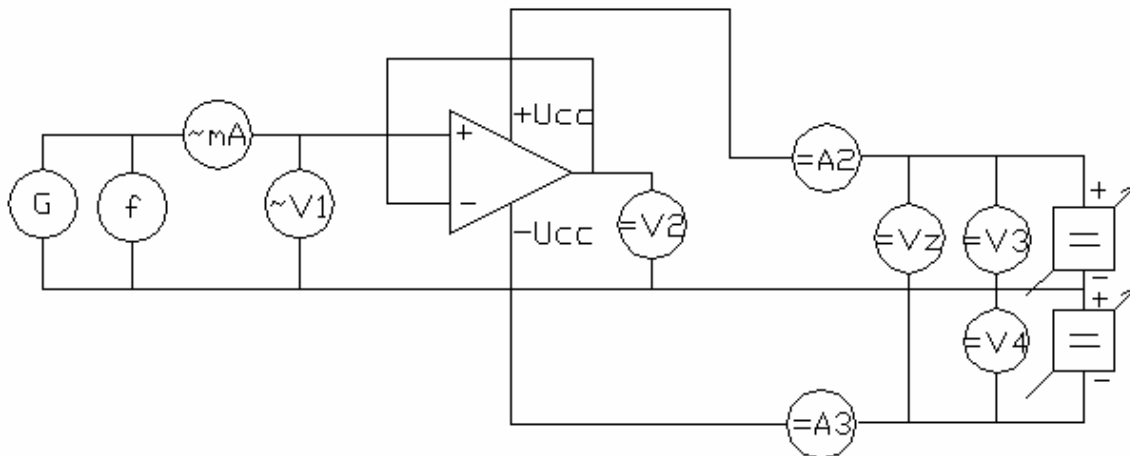
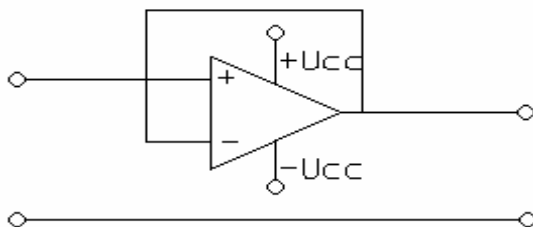
Na výstup sme pripojili V-meter.

Takto sme vykonali merania s kladným a záporným vstupným napätím.

Potom sme vstup pripojili nf milivoltmeter NV 2,85, A-meter, 1. kanál osciloskopu EO 213 a striedavý signál z RC – generátora s frekvenciou 1000Hz. Na výstup sme pripojili nf milivoltmeter NV 2,85 a 2. kanál osciloskopu EO 213.

S takto zapojeným obvodom sme vykonali meranie so striedavým vstupným napätím.

Na osciloskope sme pozorovali vstupnú i výstupnú sínusoidu.



n	Ucc1 [V]	Ucc2 [V]	Uz [V]	Icc1 [mA]	Icc2 [mA]	Uvst [V]	Ivst [A]	Uvyst [V]	
1	15,12	-14,97	30	2,12	-2,14	5,09	0,4	5,09	
2	15,12	-14,97	30	2,12	-2,14	-5,09	0,6	-5,09	
3	15,12	-14,97	30	2,12	-2,14	1	0	1,1	f = 1kHz

Zhodnotenie merania:

Meranie z môjho pohľadu bolo jednoduché i keď sa vyskytli menšie komplikácie pri zostavovaní obvodu. Stalo sa to po meraní výstupného napätia pri zápornom vstupnom napätí som zabudol naspäť pripojiť zem vstupu na zem obvodu, následkom čoho po pripojení striedavého vstupného signálu, na sa na výstupe neobjavil žiadny signál. Po odhalení a napravení chyby bolo už všetko v poriadku a úspešne sme dokončili meranie.

Samotné meranie bolo rýchle, Len zapojenie obvodu, nám zabralo trochu viac času..

Z hodnôt uvedených v tabuľkách vidieť nesymetrickosť vstupného a výstupného napätia, ktorá vzhľadom na to že v tomto obvode nie su použité žiadne externé súčiastky je spôsobená nepresnosťou meracích prístrojov. Vzhľadom na použité napájacie napätie +,-15V nebolo potrebné použiť žiadne mimoriadne bezpečnostné opatrenia.

Operačné zosilňovače II

Invertujúci operačný zosilňovač

Úloha cvičenia:

1. Zistíte a nakreslite schému elektronického zapojenia predloženého prípravku. Schému zapojenia doplňte o zdroje a meracie prístroje tak, aby ste mohli overiť funkčnosť obvodu
2. Vykonajte 3 merania overujúce funkciu činnosti obvodu ($5 +U_{vst}$, $5 -U_{vst}$, $5 \sim U_{vst}$). Zmerané hodnoty zaznamenajte do tabuľky.
3. Zdôvodnite prečo je nezhoda medzi vstupnou a výstupnou veličinou

Postup pri meraní:

Zapojenie sme zapojili podľa predloženej schémy.

Na napájanie sme použili napájací zdroj TSZ75, ktorý má dve dvojice výstupných svoriek ktoré sme prepojili, čím sme získali symetrické napájacie napätie. Paralelne k napájacím svorkám sme pripojili V-metre, ktoré merajú záporné, kladné a združené napätie.

Do série sme zapojili 2 A-metre, ktoré merali napájací prúd.

Na vstup sme najprv pripojili paralelne V-meter, do série A-meter a napájací zdroj TSZ75.

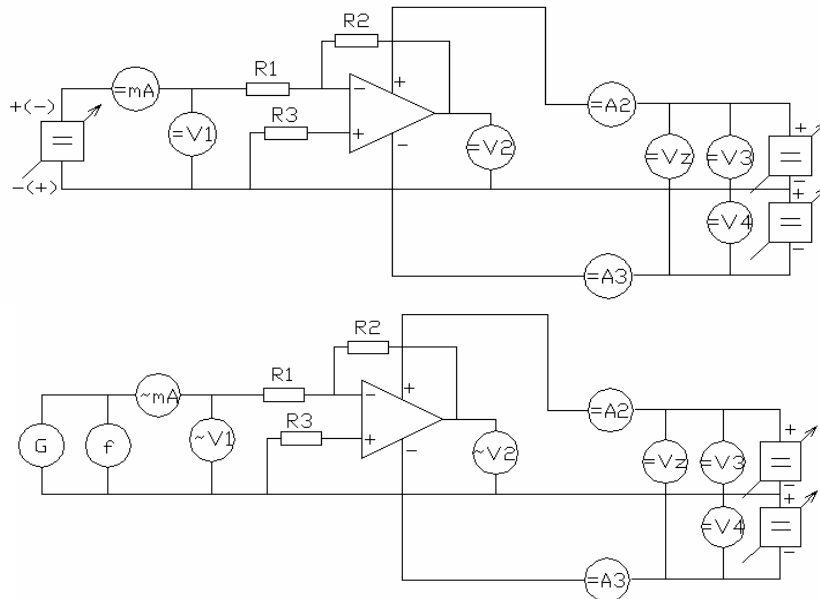
Na výstup sme pripojili V-meter.

Takto sme vykonali merania s kladným a záporným vstupným napätím.

Potom sme vstup pripojili nf milivoltmeter NV 2,85, A-meter, 1. kanál osciloskopu EO 213 a striedavý signál z RC – generátora s frekvenciou 1000Hz. Na výstup sme pripojili nf milivoltmeter NV 2,85 a 2. kanál osciloskopu EO 213.

S takto zapojeným obvodom sme vykonali meranie so striedavým vstupným napätím.

Na osciloskope sme pozorovali vstupnú i výstupnú sínusoidu.



n	+U _{cc1} [V]	-U _{cc2} [V]	U _z [V]	+I _{cc1} [mA]	-I _{cc2} [mA]	U _{vst} [V]	I _{vst} [A]	U _{vyst} [V]	
1	15,12	-14,97	30	1,4	-1,4	5,2	0	-5,06	
2	15,12	-14,97	30	1,4	-1,7	-5,2	0	5,09	
3	15,12	-14,97	30	1,4	-1,7	1,15	0	1,1	f = 1kHz

Zhodnotenie merania:

Meranie z môjho pohľadu bolo jednoduché. Po predchádzajúcom meraní už išlo všetko hladko

Z hodnôt uvedených v tabuľkách vidieť nesymetrickosť vstupného a výstupného napätia, ktorá je spôsobená nerovnakou veľkosťou vstupného odporu R₁ a odporu v spätnej väzbe R₂.

Meranie prebiehalo rýchlo a bez problémov.

Vzhľadom na použité napájacie napätie +,-15V nebolo potrebné použiť žiadne mimoriadne bezpečnostné opatrenia.

Operačné zosilňovače III Sumátor

Úloha cvičenia:

1. Zistíte a nakreslite schému elektronického zapojenia predloženého prípravku. Schému zapojenia doplňte o zdroje a meracie prístroje tak, aby ste mohli overiť funkčnosť obvodu
2. Vykonajte všetky možné kombinácie meraní overujúcich funkciu činnosti obvodu ($2^4=16$). Zmerané hodnoty zaznamenajte do tabuľky.
3. Zdôvodnite prečo je nezhoda medzi vstupnou a výstupnou veličinou

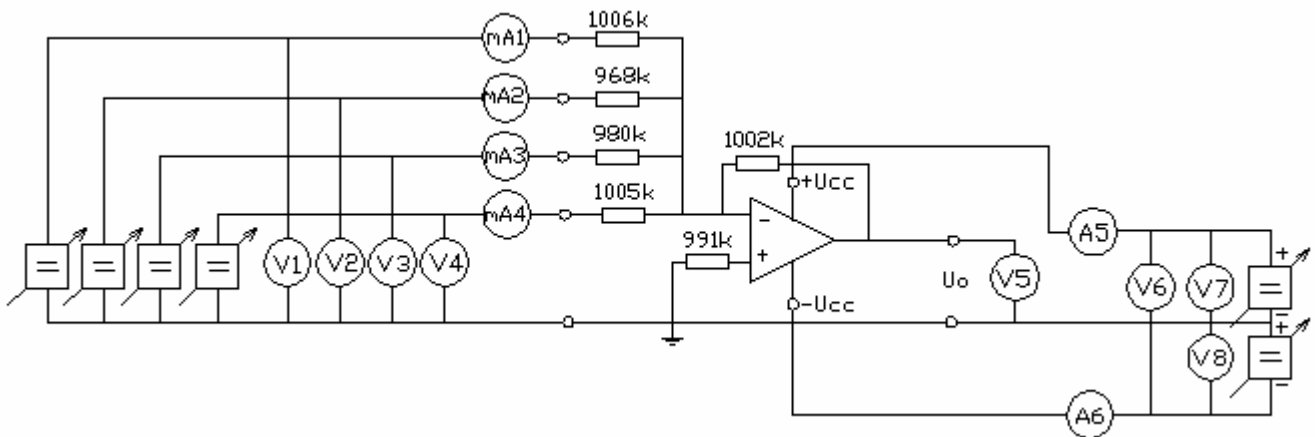
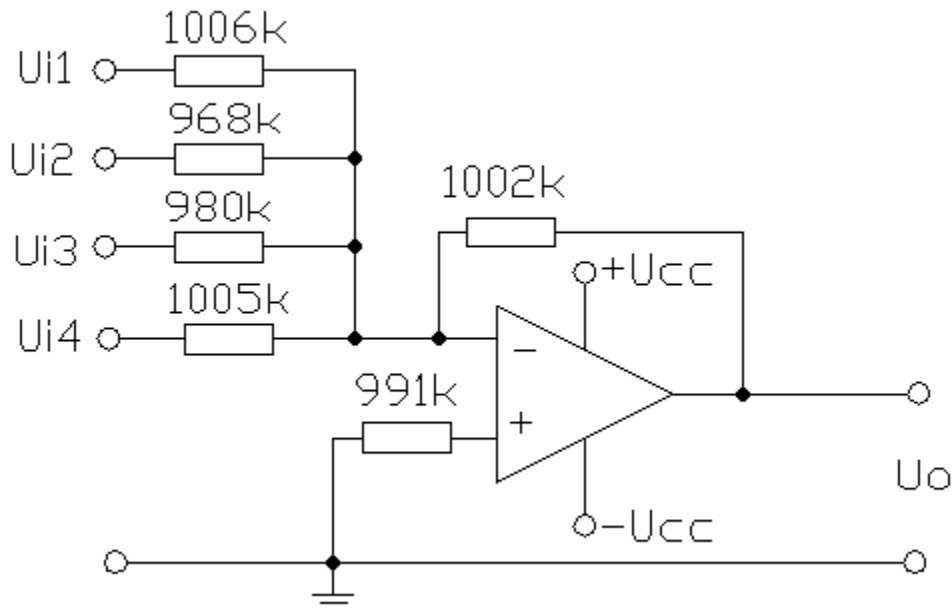
Postup pri meraní:

Obvod sme zapojili podľa predloženej schémy. Na napájanie sme použili zdroj TSZ 75. Pomocou 3 voltmetrov sme merali symetrické napájacie napätie i združené napätie a 2-mi ampérmetrami sme merali napájací prúd.

Na vstup sumátora sme pripojili 4 zdroje napätia – 3 boli realizované zdrojom TSZ 75 a 4. bol realizovaný 9V batériou. Pričom sme merali napätie jednotlivých zdrojov a aj odoberaný prúd.

Na výstup sme pripojili voltmer.

Ako meracie prístroje, či už voltmetre alebo ampérmetre, sme použili digitálne multimetre RTO – 1035N a ručičkové meracie prístroje PU 500.



Polarita vstupu	U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₃ [V]	U ₄ [V]	I ₁ [μA]	I ₂ [μA]	I ₃ [μA]	I ₄ [μA]	+ U _{cc} [V]	- U _{cc} [V]	U _z [V]	+ I _{cc} [mA]	- I _{cc} [mA]	U _{vyst} [V]
++++	9,14	0,95	1,01	1,01	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	- 11,3
+++ -	9,13	1	1,01	1,04	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	- 9,3
++ - +	9,13	1	1,01	1,04	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	- 9
++ - -	9,13	1	1,01	1,04	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	- 7,3
+ - ++	9,13	1	1,01	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	- 9
+ - + -	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	- 7,3
+ - - +	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	- 7,5
+ - - -	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	- 5,5
- +++	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	5,2
- ++ -	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	7,3
- + - +	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	7
- + - -	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	9,2
- - ++	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	7,2
- - + -	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	9
- - - +	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	10
- - - -	9,13	1	1,02	1,05	7,8	1	1	1	15	-15	30	1,61	-1,65	11,3

Zhodnotenie merania:

Meranie z môjho pohľadu bolo mierne zložité. Zapríčinilo to množstvo až 16 meraní, ktoré bolo potrebné, aby sme zmerali všetky kombinácie polarít vstupných napätí. Ďalej množstvo zapojených meracích prístrojov a nutnosť neustále prepínať polaritu vstupného napätia pred každým meraním. Toto meranie i do určitej miery spomalovalo.

Ani počas merania ani počas zostavovania obvodu nenastali žiadne komplikácie. A meranie prebiehalo rýchlo a hladko.

Vzhľadom na použité napájacie napätie +, - 15V nebolo potrebné použiť žiadne mimoriadne bezpečnostné predpisy.

Operačné zosilňovače IV Diferenčný zosilňovač

Úloha cvičenia:

1. Zistíte a nakreslíte schému elektronického zapojenia predloženej prípravky. Schému zapojenia doplňte o zdroje a meracie prístroje tak, aby ste mohli overiť funkčnosť obvodu
2. Vykonajte merania overujúce funkciu činnosti obvodu. Zmerané hodnoty zaznamenajte do tabuľky.
3. Zdôvodnite prečo je nezhoda medzi vstupnou a výstupnou veličinou

Postup pri meraní:

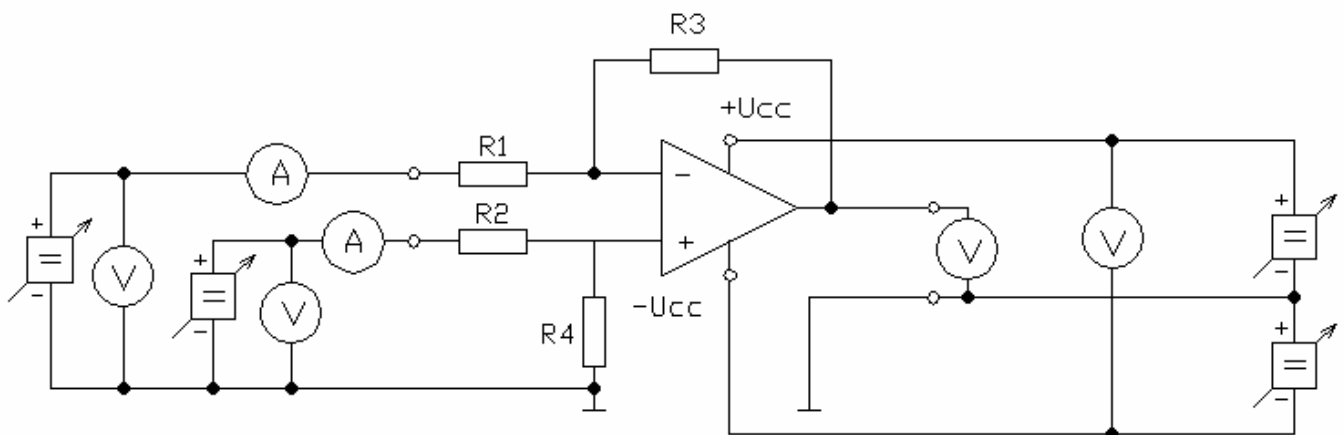
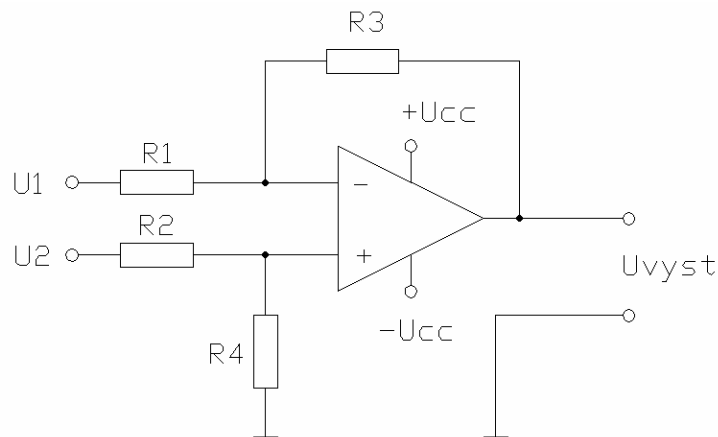
Obvod sme zapojili podľa predloženej schémy. Na napájanie sme použili zdroj TSZ 75. Pomocou digitálneho multimetra RTO – 1035N sme merali vstupné napájaci napätie.

Na vstup diferenčného OZ sme pripojili 2 zdroje napätia TSZ 75. Pričom sme merali napätie jednotlivých zdrojov a aj odoberaný prúd.

Na výstup sme pripojili voltmerer RTO – 1035N.

Vykonali sme 4 merania, ktorými sme vyskúšali všetky kombinácie polarít vstupných napätí. ($2^2=4$).

Namerané hodnoty sme zapísali do tabuľky a porovnali ich s predpokladanými vypočítanými hodnotami výstupného napätia. A tiež sme vypočítali ich odchylku vo voltoch $|\Delta U|$.



N	U1[V]	U2 [V]	Uz [V]	I1 [μ A]	I2 [μ A]	U _{vyst} [V]	U _{vyp} [V]	I Δ UI [V]
1	4,36	6,68	30,7	17,2	17,2	2,3	2,32	0,02
2	-4,35	6,68	30,7	-1,81	1,9	10,9	11,03	0,13
3	4,36	-6,68	30,7	1,98	-1,98	-10,89	-11,04	0,15
4	-4,36	-6,68	30,7	-1,9	-1,9	-2,26	-2,33	0,07

Zhodnotenie merania:

Meranie z môjho nebolo zložité. Problémy nám nespôsobilo ani zapojenie obvodu ani samotné meranie. Počas merania ani počas zostavovania obvodu nenastali žiadne komplikácie. A meranie prebiehalo rýchlo a hladko.

Z môjho pohľadu bolo meranie presné. Hoci sme namerali nejaké odchylky od vypočítaných hodnôt. To bolo spôsobené nerovnakou veľkosťou odporov R1,R2 ako aj nepresnosťou meracích prístrojov.

Vzhľadom na použité napájacie napätie +, - 15V nebolo potrebné použiť žiadne mimoriadne bezpečnostné predpisy.

Operačné zosilňovače V

Derivačný zosilňovač

Úloha cvičenia:

1. Zistite a nakreslite schému elektronického zapojenia predloženého prípravku. Schému zapojenia doplňte o zdroje a meracie prístroje tak, aby ste mohli overiť funkčnosť obvodu
2. Vykonajte merania overujúce funkciu činnosti obvodu. Zmerané hodnoty zaznamenajte do tabuľky.
3. Napíšte postup merania a zhodnotenie merania.
- 4.

Postup pri meraní:

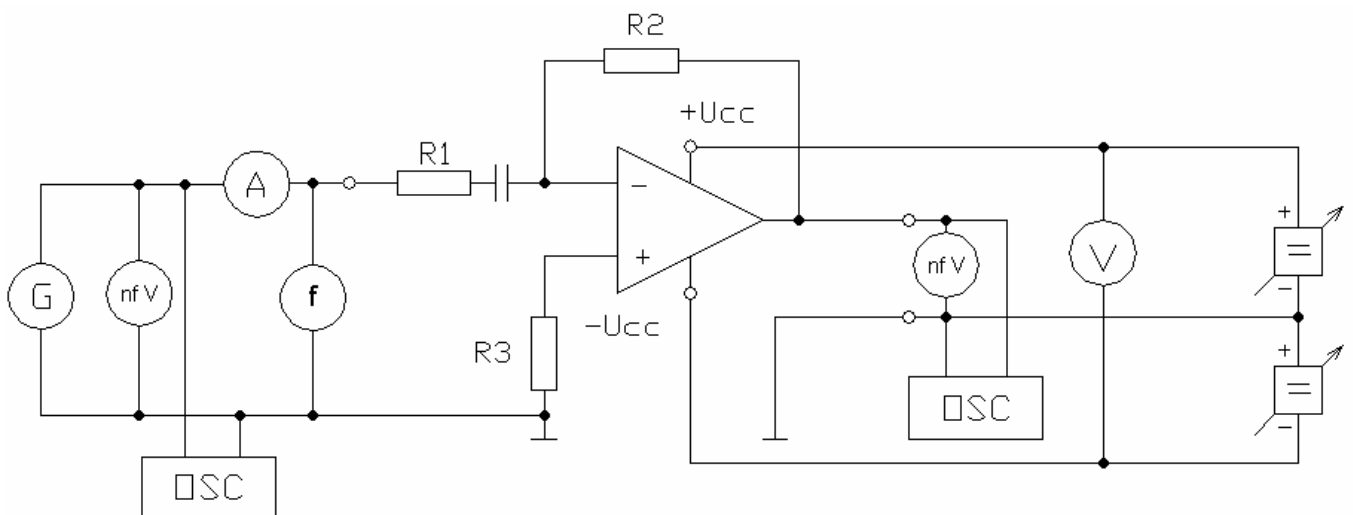
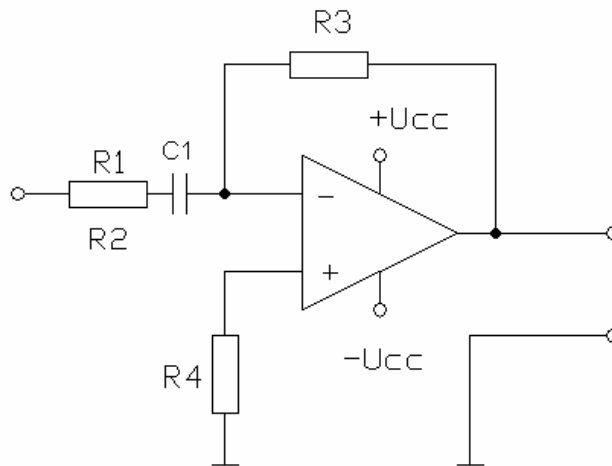
Obvod sme zapojili podľa predloženej schémy. Na napájanie sme použili symetrický zdroj $\pm 15V$ TSZ 75

Na vstup obvodu sme pripojili generátor a paralelne k nemu jeden kanál osciloskopu a nf milivoltmeter a frekvenciometer..

Na obrazovke osciloskopu sme mohli pozorovať pilovitý priebeh vstupného napätia.

Na výstup sme pripojili paralelne k nf milivoltmeter a druhý kanál osciloskopu. Na jeho obrazovke sme mohli pozorovať priebeh výstupného ihlovitého napätia a porovnať ho so vstupným.

Počas merania sme menili veľkosť vstupného napätia na 1 a 2,5 V a jeho frekvenciu na 400, 800, 8000 Hz. Odčítali sme veľkosť výstupného napätia a pozorovali sme jeho priebeh na osciloskope.



Legenda:

R1 – 82 Ω

C1 – 47n

R2 – 150 Ω

R3 – 39k Ω Ω

Prípravok č.1

f [Hz]	Uvst [V]	Uvyst [mV]
400	1	11,6
400	2,5	25,6
800	1	21
800	2,5	52,5
8000	1	94,8
8000	2,5	216

Prípravok č.2

f [Hz]	Uvst [V]	Uvyst [mV]
400	1	11,7
400	2,5	25,4
800	1	22,4
800	2,5	49
8000	1	92
8000	2,5	221

Prípravok č.3

f [Hz]	Uvst [V]	Uvyst [mV]
400	1	12
400	2,5	26
800	1	22
800	2,5	49
8000	1	98,7
8000	2,5	267

Zhodnotenie merania:

Meranie z môjho nebolo zložité. Problémy nám nespôsobilo ani zapojenie obvodu ani samotné meranie. Počas merania ani počas zostavovania obvodu nenastali žiadne komplikácie. A meranie prebiehalo rýchlo a hladko.

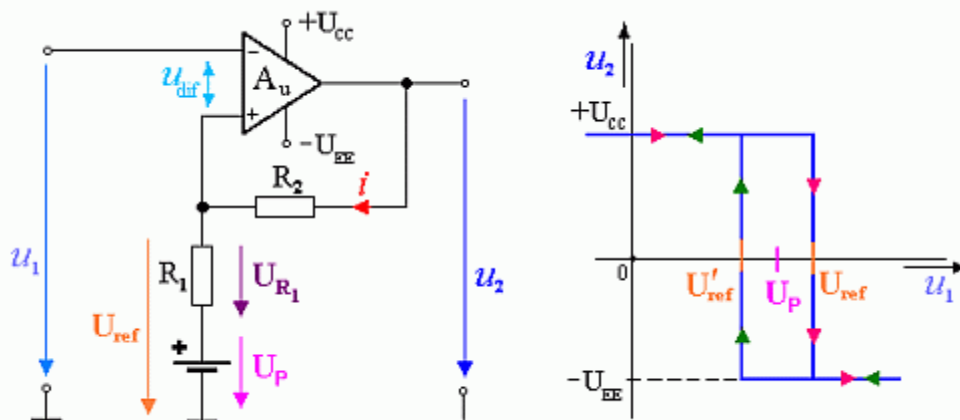
Presnosť merania nedokážem posúdiť. No predpokladám určitú odchylku vzhľadom na použité meracie prístroje najmä pri vyšších frekvenciách.

Vzhľadom na použité napájacie napätie +, - 15V nebolo potrebné použiť žiadne mimoriadne bezpečnostné predpisy.

Poznatky z internetu:

Jednoducho realizovaný komparátor má však na svojej prevodovej charakteristike už spomínanú oblasť lineárnej činnosti, ktorá môže byť príčinou nekorektného vyhodnotenia rovnosti vstupného a referenčného napätia a tiež možnou príčinou nestability komparátora. Ak operačný zosilňovač pracuje v tejto oblasti, správa sa ako lineárny zosilňovač a teda zosilňuje všetky signály, ktoré sa objavia na jeho vstupe. Táto skutočnosť sa môže nepriaznivo prejaviť vtedy, ak sa vstupné napätie u_1 mení veľmi pomaly a je na ňom nasuperponované rušiacie napätie, napr. naindukované napätie z elektrorozvodnej siete 220V/50Hz. Operačný zosilňovač toto rušiacie napätie zosilní napäťovým zosilnením A_u a na výstupe získame obdĺžnikový signál s frekvenciou rušiaceho signálu, čím sa stratí schopnosť komparátora jednoznačne určiť okamih rovnosti vstupného a referenčného napätia. Šírka tejto oblasti, tak ako sme už spomenuli, je $\pm \Delta u_1$ v okolí referenčného napätia U_{ref} a v praxi dosahuje rádovo niekoľko desiatín až jednotiek milivoltov.

Túto nedobrou vlastnosť jednoduchého komparátora odstraňuje zapojenie komparátora so zavedenou kladnou spätnou väzbou. Zapojenie aj s prevodovou charakteristikou je na nasledujúcom obrázku.



Ako z obrázka vidno, zdroj referenčného napätia nie je tvorený samostatným zdrojom napätia U_{ref} ako to bolo u jednoduchého komparátora, ale je získaný zo zdroja prahového napätia U_P a úbytku napätia na rezistore R_1 , ktorý je súčasťou napäťového deliča tvoreného rezistormi R_1 a R_2 . Teda :

$$U_{ref} = U_P + U_{R1}$$

Zároveň rezistorom R_2 tohto napäťového deliča je zavedená kladná spätná väzba z výstupu komparátora na jeho neinvertujúci vstup. Zavedením kladnej spätnej väzby sa vytvorí na prevodovej charakteristike komparátora určitá oblasť necitlivosti (hysterézy) komparátora na prípadné malé zmeny vstupného napätia u_1 a zároveň sa zabezpečí zostrnenie prechodu výstupu komparátora z kladnej saturácie do zápornej alebo naopak.

Poznámka:

Na tom mieste je potrebné aby sme si uvedomili, že samotný operačný zosilňovač má vždy svoju typickú prevodovú charakteristiku (o ktorej sme hovorili v téme "Zosilňovače", v stati "Operačné zosilňovače") a to aj s oblasťou lineárnej činnosti, širokou od $U_{ref} - \Delta u_1$ až po $U_{ref} + \Delta u_1$, tak ako je to znázornené na prevodovej charakteristike pri zapojení jednoduchého komparátora vyššie. Operačný zosilňovač nemá žiaden dôvod meniť túto charakteristiku. My však vhodným zapojením vonkajších obvodových prvkov (v našom prípade rezistorov do vetvy kladnej spätnej väzby) vieme zabezpečiť, aby sa táto nežiaduca oblasť, oblasť lineárnej činnosti, na prevodovej charakteristike výsledného obvodu (u nás komparátora) neuplatnila.

Keďže napätie U_{R1} je výstupným napätím napäťového deliča tvoreného rezistormi R_1 a R_2 , jeho veľkosť aj polarita je závislá od vstupného napätia u_2 tohto deliča, ktoré je zároveň výstupným napätím komparátora. Veľkosť napätia U_{R1} vypočítame zo vzťahu

Zdrojová stránka:

[http:// www.alzat.szm.sk/selektory/amplitud/kompar/kompar.htm](http://www.alzat.szm.sk/selektory/amplitud/kompar/kompar.htm)

STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ V PEŠŤANOCH
Nám. SNP 8

Operačné zosilňovače
KOMPLEXNÁ PRÁCA č. II

