

Operačné zosilňovače

OBSAH:

1. Teoretický úvod.
2. Merania s operačnými zosilňovačmi.
3. Poznanky o operačných zosilňovačoch získané z internetu.

Teoretický úvod

Operačné zosilňovače(OZ) sú analógové integrované obvody(analógové – vstupné i výstupné signály sa menia spojitou, to znamená, že môžu nadobúdať nekonečne veľké hodnoty). Sú to zosilňovače s veľkým napäťovým prenosom.

Vlastnosti ideálneho OZ:

1. Nekonečné napäťové zosilnenie.
2. Nekonečná vstupná impedancia.
3. Nulová výstupná impedancia.
4. Nekonečne široké frekvenčné pásmo – frekvenčná nezávislosť.

Vlastnosti OZ sú ovplyvňované spätnou väzbou, čím je silnejšia, tým sú stabilnejšie.

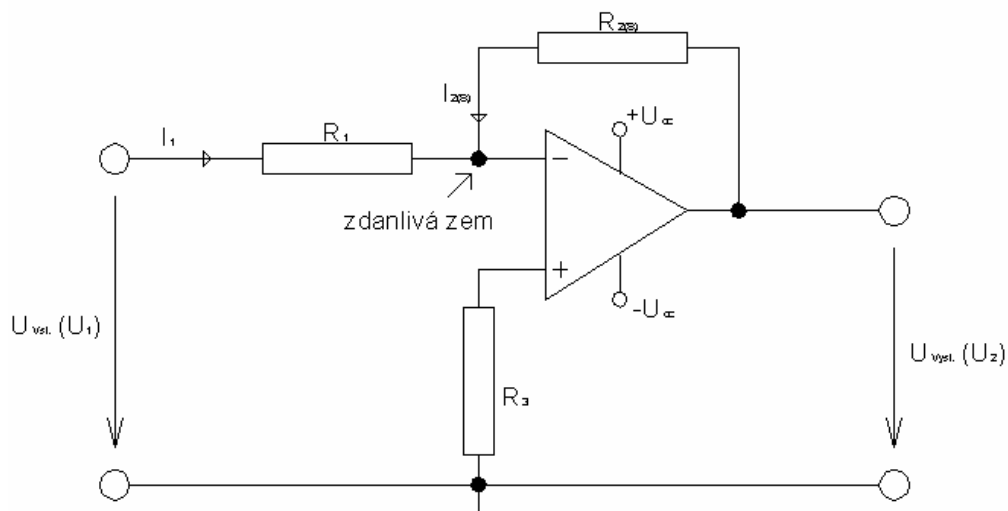
OZ má dva vstupy:

- a. Invertujúci (-)
- b. Neinvertujúci (+)

I. Invertujúci OZ – invertor

OZ vykonávajúci operáciu obrátenia fázy vstupného napätia(výstupné napätie má **OPAČNÚ FÁZU** než vstupné napätie). Vyjadruje sa to záporným znamienkom vo výraze pre výpočet A_U .

SCHÉMA ZAPOJENIA:



Odporník R_3 slúži na minimalizovanie kolísania nuly – DRIFT. Jeho veľkosť vypočítame:

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_{2(s)}}{R + R_{2(s)}}$$

Výpočet zosilnenia:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

$$U_{Vyst..(2)} = -R_{2(s)} \cdot \frac{U_{Vst.(1)}}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_{2(s)}}$$

$$\frac{U_{Vyst..(2)}}{U_{Vst.(1)}} = -\frac{R_{2(s)}}{R_1}$$

Pri nulovom napätí medzi vstupmi OZ bude:

Z uvedeného vzťahu vyplýva, že pri rovnosti vstupného a spätnoväzobného odporu je výstupné napätie rovnaké, ale s opačnou fázou ako vstupné.

$$I_1 = -I_{2(s)}$$

$$\frac{U_1}{R} = -\frac{U_2}{R_{2(s)}}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = -\frac{R_{2(s)}}{R_1}$$

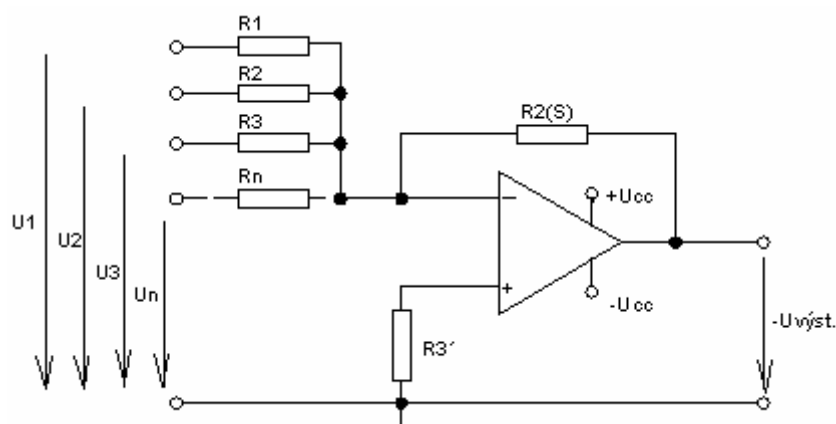
$$A_U = -\frac{R_{2(s)}}{R_1}$$

$$A_U = -\frac{R_{2(s)}}{R_1}$$

II. Sumačný OZ – sumátor

OZ vykonávajúci funkciu súčtu „n“ napätí. Súčasným pripojením viacerých vstupných napätí na invertujúci vstup získame invertované výstupné napätie.

SCHÉMA ZAPOJENIA:



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

Odporník R_3' slúži na minimalizovanie kolísania nuly. Jeho veľkosť vypočítame:

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

$$U_{V_{yst.}(2)} = -R_{2(s)} \cdot \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right)$$

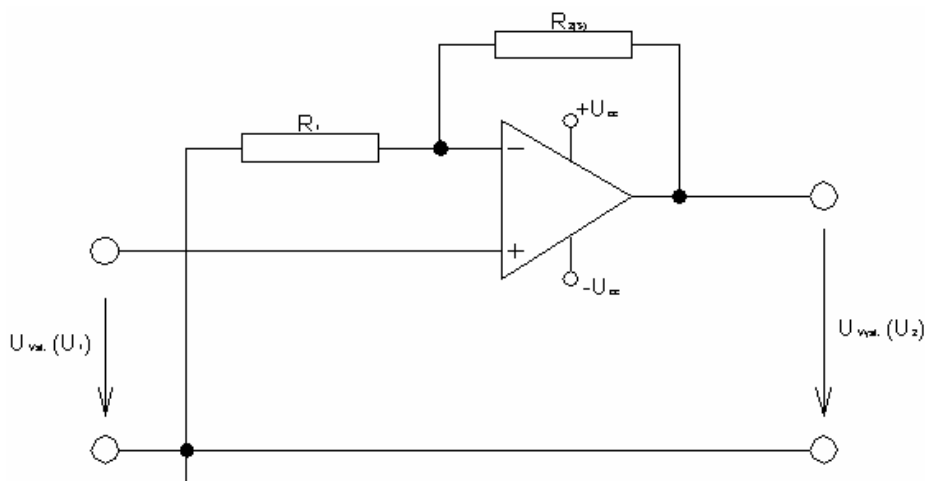
Ak $R_1=R_2=R_3=\dots=R_n$ a $R_1=R_{2(s)}$

$$U_{V_{yst.}(2)} = -\sum_{n=1}^{\infty} U_i$$

III. Neinvertujúci OZ

OZ vykonávajúci funkciu zosilňujúceho impedančného meniča s veľkým vstupným a malým výstupným odporom. Výstupné napätie je vo fáze so vstupným napätím.

SCHÉMA ZAPOJENIA:



Signálové napätie privádzame na neinvertujúci vstup a dostávame veľmi vysokú hodnotu vstupného odporu OZ pre stav naprázdno. Vstupný prúd je nulový. Pri silnej napäťovej spätnej väzbe jen výstupný odpor malý(niekoľko $m\Omega$). Takto sa získa zosilňujúci impedančný menič s veľkým vstupným a malým výstupným odporom. Výpočet zosilnenia:

$$U_{Vst.} = U_{R1}$$

$$U_{Vst.} = I \cdot R_1$$

$$U_{Vyst.} = U_{Vst.} + I \cdot R_2$$

$$U_{Vyst.} = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$$

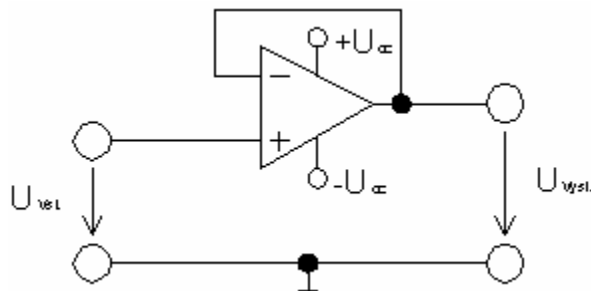
$$A_U = \frac{I \cdot R_1 + I \cdot R_2}{I \cdot R_1}$$

$$A_U = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

IV. Impedančný menič

Neinvertujúci OZ so 100% spätnou väzbou.

SCHÉMA ZAPOJENIA:



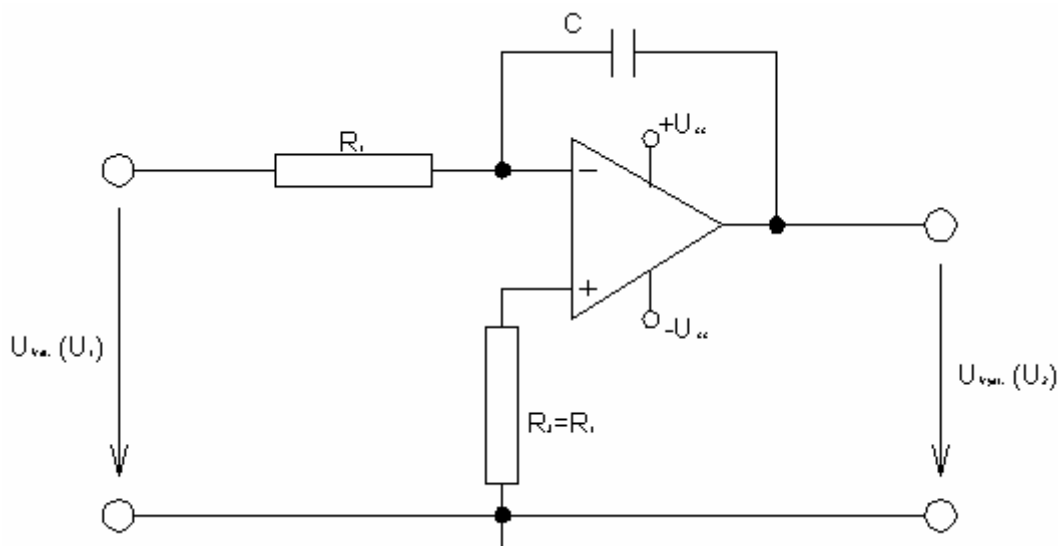
Celé výstupné neinvertujúce napätie sa privádza späť na invertujúci vstup. Spätná väzba dosahuje 100%, napäťové zosilnenie je 1, platí $U_{Vyst.} = U_{Vst.}$. Zdroj signálu pripájame na veľký vstupný odpor zosilňovača. Výstupný odpor je malý v dôsledku zápornej napäťovej spätnej väzby. Prúdové zosilnenie je veľké. Zapojenie zodpovedá emitorovému sledovaču v tranzistorových obvodoch.

V. Integračný zosilňovač

OZ, ktorý má v spätnoväzobnej vetve kapacitu C. Jeho výstupné napätie je úmerné integrálu časového priebehu vstupného napätia.

$$u_{Vyst.(2)}(t) = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t u_{Vst.(1)}(t) \cdot dt$$

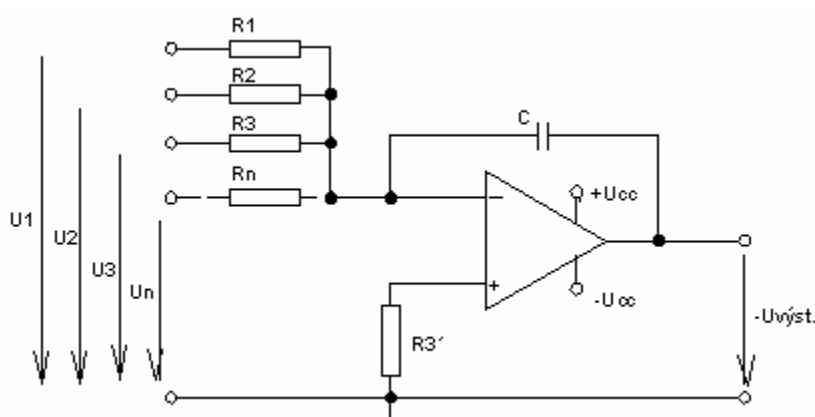
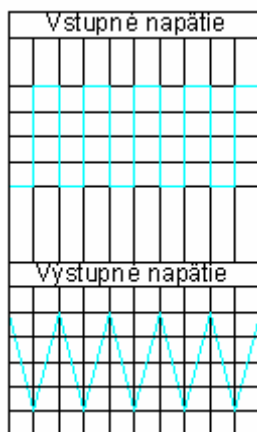
SCHÉMA ZAPOJENIA:



Integračný OZ je základom každého analógového merača frekvencie. Meraná frekvencia sa prevádza na impulzy po konštantnej amplitúde a šírke, výška a šírka. Potom je výstupné napätie priamoúmerné frekvencii vstupného signálu.

Kondenzátor C pôsobí ako spätná väzba predovšetkým pre signály s vysokými frekvenciami, pri ktorých znižuje zosilnenie. Signály s nízkymi frekvenciami prechádzajú menej ovplyvnené na výstup. Zapojenie teda pracuje ako dolný priepust.

Ak na vstup privedieme pravouhlé impulzy, tak ich podľa hodnoty vstupného odporu a kondenzátora tvarovo upravíme sploštíme:



Ak privádzame prúdy $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ cez odporníky $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, potom výstupné napätie bude:

$$u_{V_{\text{výst.}}} = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t [u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) + \dots + u_{n1}(t)] \cdot dt$$

$$u_{V_{\text{výst.}}} = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t [\sum u_i(t)] \cdot dt$$

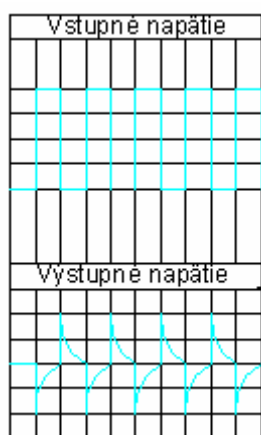
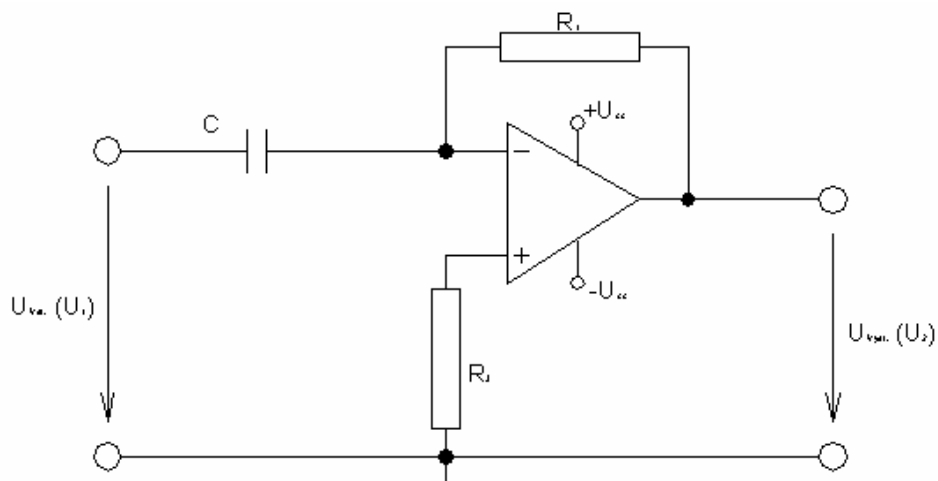
VI. Derivačný zosilňovač

OZ, ktorý má v spätnoväzobnej vetve odpor R a na vstupe kondenzátor. Jeho výstupné napätie je úmerné derivácii časového priebehu vstupného napätia.

$$u_{V_{\text{výst.}}}(t) = -R \cdot C \frac{d[u_1(t)]}{dt}$$

Používa sa na tvarovanie signálov, napr. obrazových zosilňovačov. Takto získané priebehy sa používajú napr. na spúšťanie preklápacích obvodov.

SCHÉMA ZAPOJENIA:

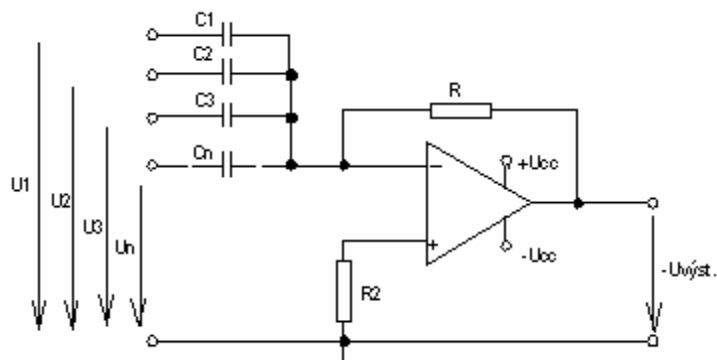


Na výstupe sú ihlovité impulzy, ktoré vznikajú prenosom VF zložiek signálu. Matematické odvodenie výstupného napätia pri zadaných hodnotách predstavuje diferenciálnu rovnicu, ktorá je uvedená vyššie.

Ak privádzame prúdy $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ cez kondenzátory $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$, potom výstupné napätie bude:

$$u_{V_{\text{yst.}}} = -RC \frac{d[u_1(t) + u_2(t) + u_3(t) + \dots + u_{n1}(t)]}{dt}$$

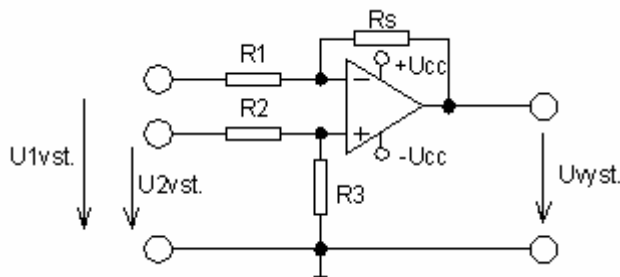
$$u_{V_{\text{yst.}}} = -RC \frac{d[\sum u_i(t)]}{dt}$$



VII. Diferenčný zosilňovač

OZ, ktorého výstupné napätie je dané rozdielom napätí oboch vstupov.

SCHÉMA ZAPOJENIA:



$$U_{Vyst.} = -\frac{R_S}{R_1}(U_{1Vst.} - U_{2Vst.}) \text{ ak } R_S=R_1 \text{ potom:}$$

$$U_{Vyst.} = -(U_{1Vst.} - U_{2Vst.})$$

$$U_{Vyst.} = U_{2Vst.} - U_{1Vst.}$$

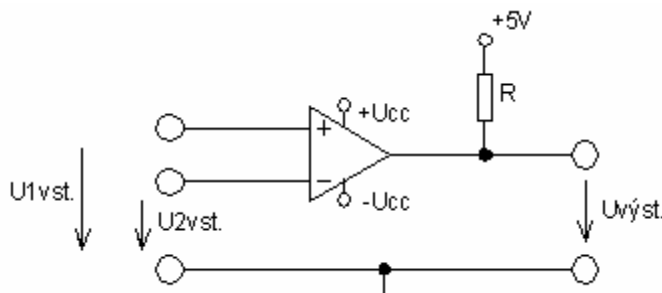
Tento OZ zosilňuje iba rozdiely vstupných signálov, čiže rozdielový signál.

VIII. Komparačný zosilňovač

Toto zapojenie sa tiež nazýva termínom: ANALÓGOVÝ KOMPARÁTOR.

OZ vybudení dvomi alebo viacerými vstupnými signálmi. Je určený na presné porovnávanie rovnosti dvoch veličín.

SCHÉMA ZAPOJENIA:



$U_1 > U_2$ potom $U_0 = 1$

$U_2 > U_1$ potom $U_0 = 0$

Napätový 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 napätový komparátor možno chápať ako 1 – bitový analógovo – číslicový prevodník.

Frekvenčná kompenzácia

Každý tranzistorový systém v integrovanom obvode vykazuje parazitné kapacity vzhľadom na spoločnú podložku. Tie pôsobia ako dolnopriepustný filter, to znamená, že pri vysokých frekvenciách zosilnenie klesá a vzniká fázový posun. Ak je viac zosilňovacích stupňov môžu sa tým vytvoriť podmienky pre vlastné nežiadúce oscilácie, tj. nestabilitu zosilňovača. Nestabilitu upravíme umelou úpravou frekvenčnej charakteristiky OZ na tvar dolnopriepustného RC člena s poklesom o -6dB na oktávu čomu zodpovedá fázový posun max. 90° , pri ktorom zosilňovač nemôže oscilovať a teda je stabilný.

Oktáva – pomer dvoch frekvencií za sebou sa rovná 2: $\frac{f_2}{f_1} = 2$

Merania s operačnými zosilňovačmi

Invertujúci OZ

Úloha :

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

Schéma zapojenia predloženého prípravku:

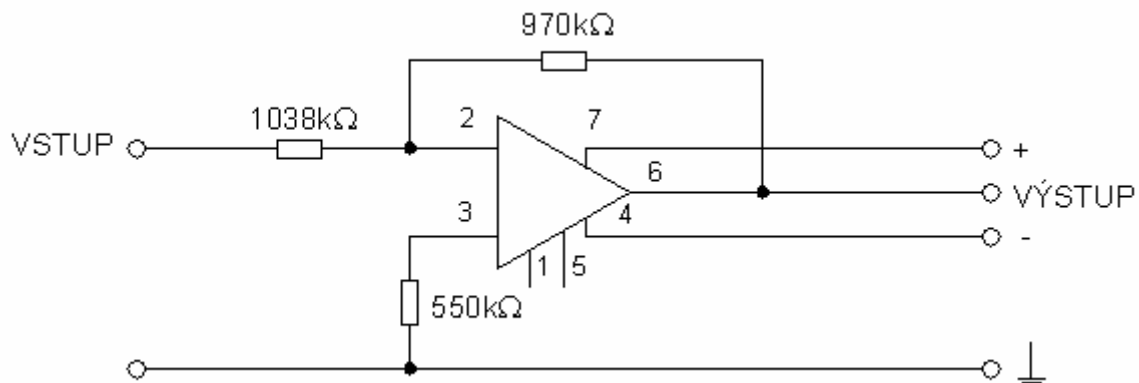
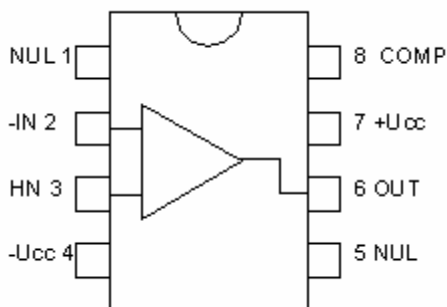


Schéma zapojenia vývodov:



- 1 – kompenzačné U_O
- 2 – invertujúci vstup
- 3 – neinvertujúci vstup
- 4 – $-U_{cc}$
- 5 – kompenzačné U_{IO}
- 6 – výstup
- 7 – $+U_{cc}$
- 8 – MAA741 CN nezapojený

Postup pri meraní:

Najskôr pripojím napájacie napätie OZ $+U_{cc}=15V$, $-U_{cc}=-15V$.

Na vstup OZ pripojím jednosmerné napätie $+U_{vst.}$. Na zdroj pripojím paralelne voltmeter, na ktorom si kontrolujem napätie na zdroji. Na výstup taktiež pripojím paralelne voltmeter. Reguláciou napätia zdroja kontrolujem napätie na vstupe a na výstupe. Ak som postupoval správne tak na výstupe by som mal mať približne rovnaké napätie ako na vstupe, ale so záporným znamienkom. Tak postupujem i pri ďalších meraniach.

Ak na vstup pripojím jednosmerné napätie $-U_{vst.}$, tak na výstupe dostanem približne rovnaké napätie ako na vstupe, ale s kladným znamienkom.

Ak na vstup pripojím striedavé napätie $\sim U_{vst}$, tak na výstupe dostanem približne rovnaké napätie ako na vstupe. Pri striedavom napätí meriam pri frekvencii 1000Hz.

POZOR: Nesmiem prekročiť max. vstupné napätie OZ, ktoré je uvedené v katalógu.

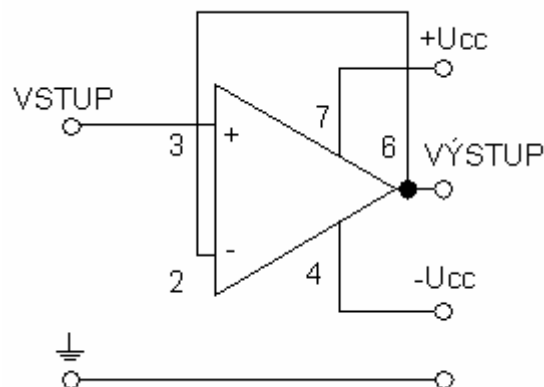
POZNÁMKA: Ak privádzam na vstup jednosmerné napätie, tak voltmetre na vstupe a výstupe musia byť nastavené na meranie jednosmerného napätia a ak privádzam na vstup striedavé napätie, tak voltmetre na vstupe a výstupe musia byť nastavené na meranie striedavého napätia.

Impedančný menič

Úloha :

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

Schéma zapojenia predloženého prípravku:



Postup pri meraní:

Postupujem presne ako pri meraní Invertujúceho OZ, **na výstupe impedančného meniča musí byť približne rovnaké napätie ako na vstupe bez zmeny znamienka**. Nezhody sú spôsobené nepresnosťou meracích prístrojov.

Sumátor

Úloha :

4. Zistíte a nakresíte schému elektronického zapojenia predloženého prípravku. Schému doplňte o zdroje a meracie prístroje tak, aby ste mohli overiť funkčnosť obvodu.
5. Vykonaťte 16 meraní overujúcich funkciu činnosti obvodu.
6. Zdôvodnite prečo je nezhoda medzi vstupnou a výstupnou veličinou.

Schéma zapojenia predloženého prípravku:

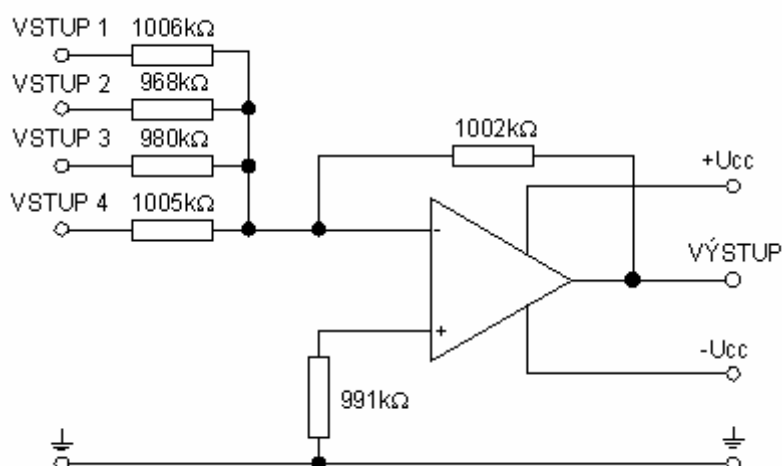
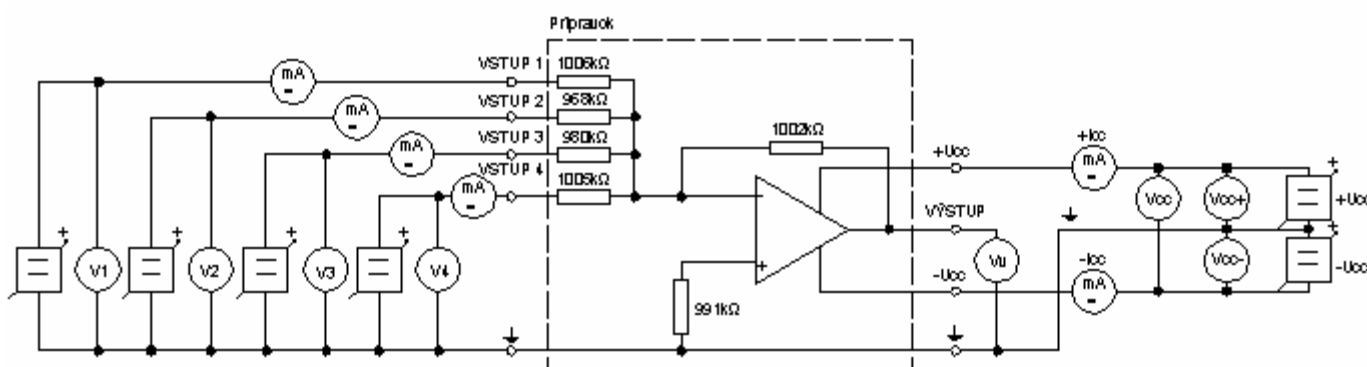


Schéma zapojenia:



Postup pri meraní:

Najskôr pripojím napájacie napätie OZ $+U_{cc}=15V$, $-U_{cc}=-15V$.

Na každý vstup pripojím jednosmerný napájací zdroj a na každý napájací zdroj pripojím paralelne voltmetr.

Výstupné napätie kontrolujem voltmetrom.

Mám práve 16 možných kombinácií vstupných napätí, a preto meriam 16krát. Jednotlivé kombinácie sú uvedené v tabuľke.

Všetky voltmetre mám nastavené na meranie jednosmerného napätia.

Ak som postupoval správne, tak na výstupe dostanem sumu všetkých vstupných napätí s opačným znamienkom.

Nezhody medzi vstupnou a výstupnou veličinou sú spôsobené rozdielnou veľkosťou odporu v spätnej väzbe a odporov na vstupe. Opäť dbám na to aby som neprekročil max. vstupné napätie OZ.

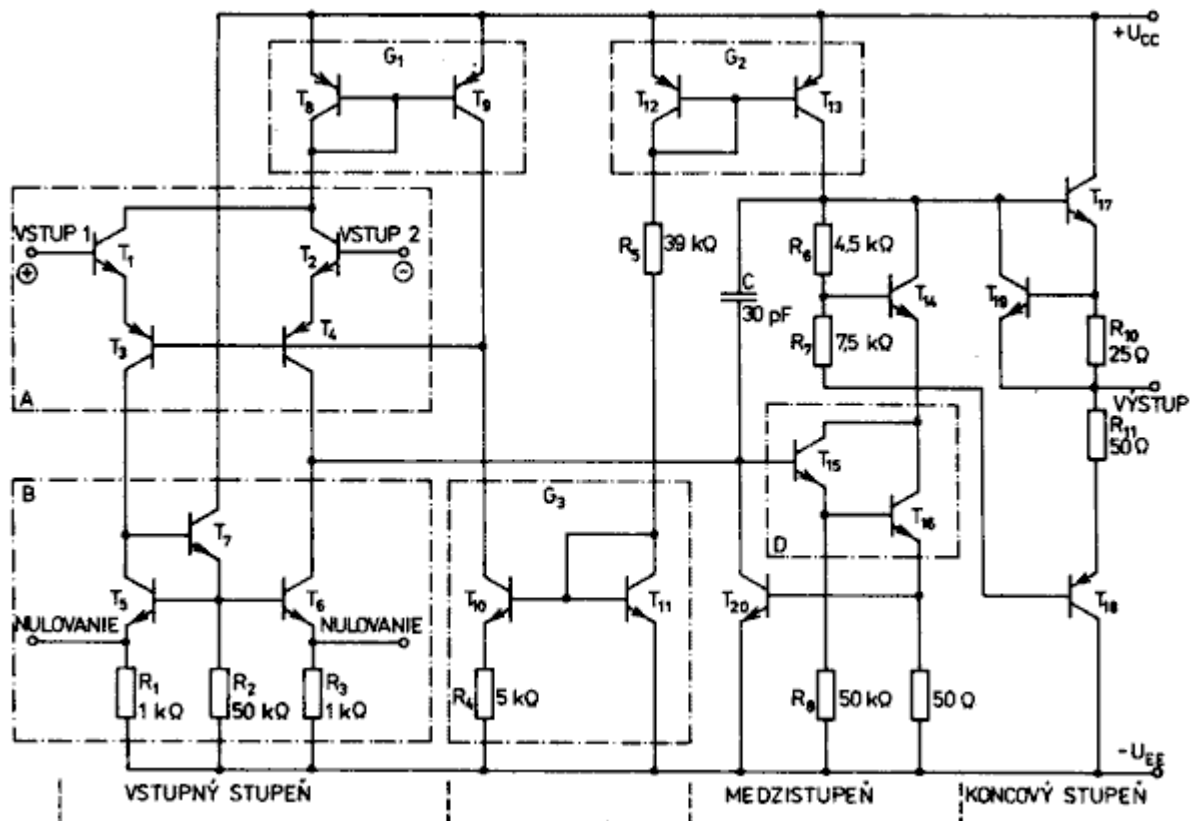
Tabuľka:

N	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 _{výst.} [V]
++++	3	2,97	3	2,97	3,9	3,4	3,4	3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-12,2
+++-	3	2,93	3	-2,97	3,9	3,4	3,4	-3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-6,37
++--	3	2,96	-2,99	-2,96	3,9	3,4	-3,4	-3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-0,23
----	3	-2,97	-3	-2,98	3,9	-3,4	-3,4	-3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	5,89
----	-2,98	-2,98	-2,99	-2,98	-3,9	-3,4	-3,4	-3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	11,85
---+	-2,99	-2,98	-2,99	2,99	-3,9	-3,4	-3,4	3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	5,95
--++	-2,98	-2,99	3	2,99	-3,9	-3,4	3,4	3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-0,18
-+++	-2,99	2,99	3	2,99	-3,9	3,4	3,4	3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-6,3
+--+	3	-2,98	3	-2,99	3,9	-3,4	3,4	-3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-0,17
-+-+	-2,98	2,97	-2,99	3	-3,9	3,4	-3,4	3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-0,17
++-+	2,99	2,98	-2,99	3	3,9	3,4	-3,4	3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-6,13
+--+	2,99	-2,98	3	3	3,9	-3,4	3,4	3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-6,07
-+--	-2,98	2,98	-2,99	-2,99	-3,9	3,4	-3,4	-3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	5,65
--+-	-2,98	-2,99	2,99	-2,98	-3,9	-3,4	3,4	-3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	5,71
-+-+	-2,98	2,99	2,99	-2,98	-3,9	3,4	3,4	-3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	-0,48
+--+	2,98	-2,98	3	2,98	3,9	-3,4	3,4	3,3	-14,3	14,1	28	-1,7	1,75	0,05

Poznatky o operačných zosilňovačoch získané z internetu

Prvý OZ s elektrónkami realizoval v roku 1948 G. A. Philbrick. Názov obvodu pochádza z jeho prvotného historického určenia. Mal to byť obvod vykonávajúci základné matematické operácie (súčet, rozdiel, súčin, umocňovanie, integrovanie atď.) v analógových počítačoch. Ide o univerzálny obvod s takmer neohraničenými možnosťami použitia.

Veľmi veľké zosilnenie operačného zosilňovača sa dosahuje viacstupňovou štruktúrou, pričom možnosť zosilňovania jednosmerného signálu je zabezpečená použitím jednosmernej medzistupňovej väzby. Obvody spätnej väzby sa pripájajú zvonku integrovaného obvodu. Vzhľadom na veľmi veľké zosilnenie A_{U_0} operačného zosilňovača, výsledné napäťové zosilnenie je určené výhradne veľkosťou prvkov tvoriacich spätnú väzbu. Pre ilustráciu vnútornej štruktúry je na obrázku nakreslená schéma zosilňovača μA 741, jedného z najrozšírenejších operačných zosilňovačov.

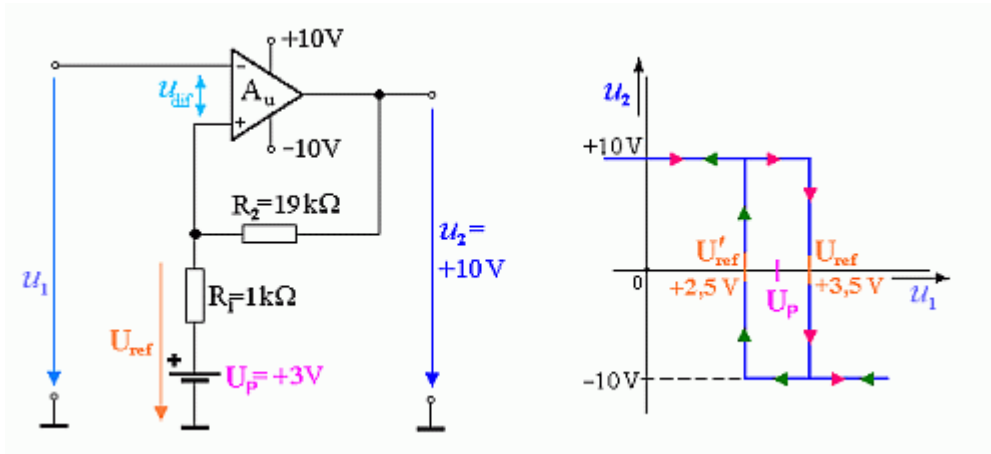


Vlastnosti reálnych operačných zosilňovačov definuje asi 25 ďalších parametrov. Vo väčšine prípadov stačí poznať asi 12 základných parametrov:

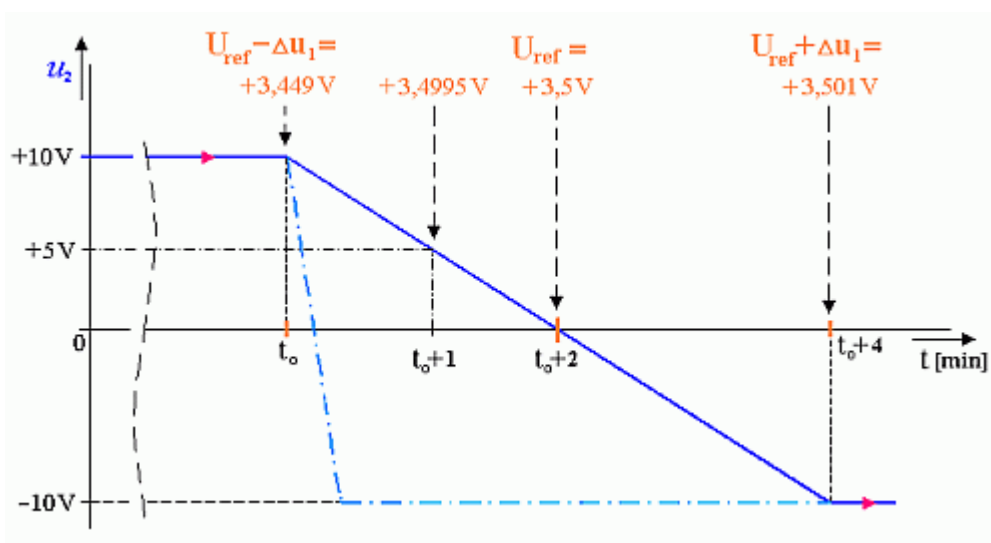
- **napäťové zosilnenie naprázdno A_{U_0}** . Je to zosilnenie pri otvorenej slučke spätnej väzby.
- **vstupný a výstupný odpor R_{vst} , $R_{výst}$**
- **vstupné napätie u_{vst}** potrebné na vybudenie menovitého výstupného napätia
- **maximálny rozkmit výstupného napätia**
- **kľudový prúd I_0** , ktorý odoberá operačný zosilňovač z napájacieho zdroja v režime bez vybudenia vstupným signálom
- **maximálne napájacie napätie $+U_{CC}$, $-U_{EE}$**
- **frekvenčný rozsah**, šírka prenášaného pásma, v ktorom A_{U_0} poklesne o 3 dB vzhľadom na hodnotu pri referenčnej frekvencii f_0 . Často sa určuje aj hodnota tranzitnej frekvencie f_T , pri ktorej $A_U(f_T) = 1$
- **prúdovú nesymetriu vstupov I_{Nsvt}** . Určuje sa ako rozdiel vstupných prúdov i_- , i_+ pri nulovom $u_{výst}$
- **napäťová nesymetria vstupov U_{Nsvt}** . Určuje sa napätím na vstupe u_{vst} , pri ktorom $u_{výst} = 0$ V
- **činiteľ potlačenia súčtového signálu CMR**, ktorý sa vyjadruje pomerom vstupného napäťového rozsahu u_{vst} k maximálnej zmene napäťovej nesymetrie v tomto rozsahu pri otvorenej slučke spätnej väzby.
[dB, V, V]
- **citlivosť na zmenu napájacích napätí SVR**, ktorá sa vyjadruje pomerom zmeny napäťovej nesymetrie vstupov ΔU_{Nsvt} ku zmene napájacích napätí ΔU_{CC}
[mV/V, mV, V]
- **teplotný drift**, ktorý sa vyjadruje veľkosťou napäťovej alebo prúdovej nesymetrie vstupov vplyvom teploty, t.j. $\Delta U_{Nsvt} / \Delta t$, prípadne $\Delta I_{Nsvt} / \Delta t$.
- **rýchlosť prebehu SR** výstupného napätia, označovaná ako "slew rate". Ide o dôležitú dynamickú vlastnosť každého OZ. Udáva rýchlosť zmeny výstupného napätia pri veľkom vstupnom signále. Táto hodnota úzko súvisí s maximálnou frekvenciou prenosu f_p a amplitúdou signálu U_0 na výstupe OZ a je daná vzťahom:

Komparátory

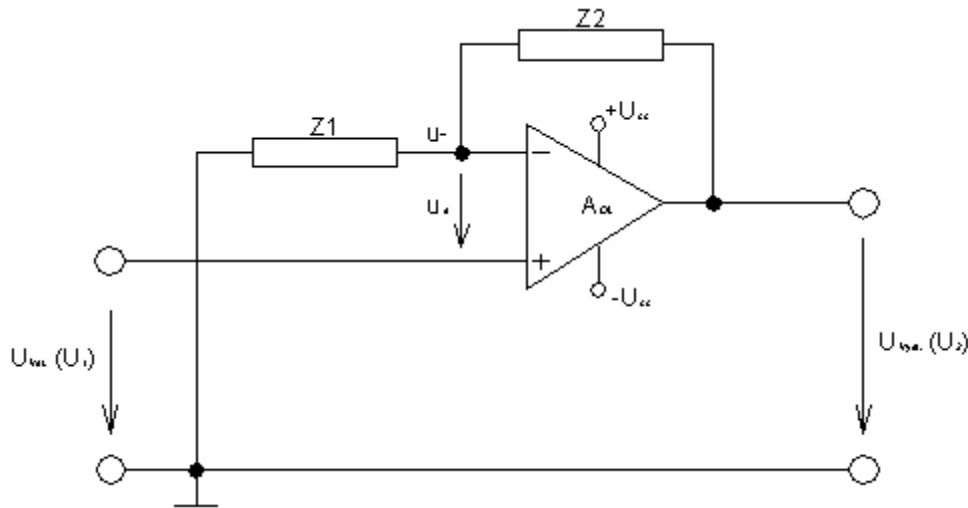
Komparátor je obvod, pomocou ktorého môžeme indikovať časový okamih, v ktorom určitý signál nadobudne vopred stanovenú napäťovú hladinu. V obvodoch komparátorov kvôli extrémne veľkému napäťovému zosilneniu A_u sa s obľubou používajú operačné zosilňovače. Jednoduchý komparátor s operačným zosilňovačom a jeho prevodovou charakteristikou je znázornený na nasledujúcom obrázku.



Ako vidíme, zapojenie je veľmi jednoduché. Ide v podstate o zapojenie operačného zosilňovača vo funkcii rozdielového zosilňovača bez zavedenej zápornej spätnej väzby, t.j. s maximálnym ziskom. Vstupné napätie u_1 sa privádza na invertujúci vstup operačného zosilňovača a referenčné, porovnávacie napätie U_{ref} sa privádza na jeho neinvertujúci vstup. Na prevodovej charakteristike vidíme, že má tri pracovné oblasti a to, oblasť kladnej saturácie, vtedy má výstupné napätie u_2 teoreticky veľkosť kladného napájacieho napätia $+U_{CC}$, oblasť lineárnej činnosti, kde operačný zosilňovač pracuje ako lineárny zosilňovač vstupného signálu a oblasť zápornej saturácie, vtedy má výstupné napätie u_2 teoreticky veľkosť záporného napájacieho napätia $-U_{EE}$. Šírka oblasti lineárnej činnosti je daná veľkosťou napätia Δu_1 a je ohraničená zdola napätím $U_{ref} - \Delta u_1$ a zhora napätím $U_{ref} + \Delta u_1$.



Určenie zosilnenia neinvertujúceho OZ



u_1 – Vstupné napätie

u_2 – Výstupné napätie

u_d – Rozdielové napätie na vstupe

u_- – Napätie na invertujúcom vstupe

A_{OL} – Zosilnenie OZ bez spätnej väzby

A_N – Zosilnenie OZ so vstupnou väzbou

$$A_{IN} = \frac{u_2}{u_1}$$

Určenie hodnoty vstupného napätia:

$$u_1 = u_d + u_-$$

$$u_d, u_- = ?$$

u_d určíme zo zosilnenia reálneho zosilňovača bez spätnej väzby:

$$A_{OL} = \frac{u_2}{u_d} \Rightarrow u_d = \frac{u_2}{A_{OL}}$$

u_- určíme zo vzťahov pre napäťový delič tvorený Z_1 a Z_2 :

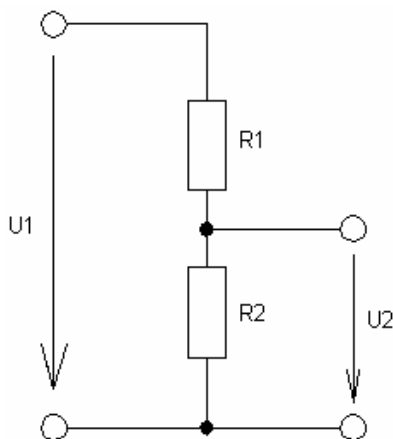
$$u_- = u_2 \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Potom:

$$u_1 = \frac{u_2}{A_{OL}} + u_2 \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Riešením tejto rovnice získame vzťah pre zosilnenie neinvertujúceho OZ.

Pre napäťový delič platí:



$$I = \frac{u_1}{R_1 + R_2}; I = \frac{u_2}{R_2}$$

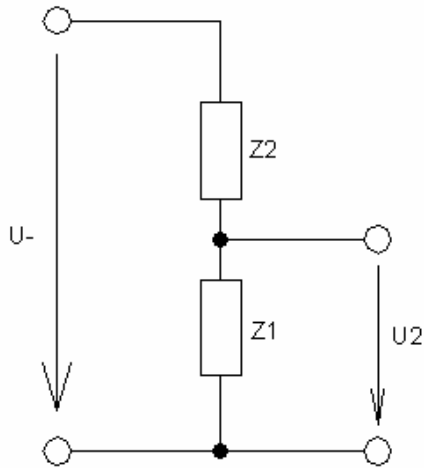
$$I = I$$

$$\frac{u_1}{R_1 + R_2} = \frac{u_2}{R_2}$$

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

V našom prípade:



$$\frac{u_-}{u_2} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$u_- = u_2 \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

Určenie zosilnenia:

$$u_1 = u_2 \cdot \left(\frac{1}{A_{OL}} + \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)$$

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{1}{A_{OL}} + \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{1}{\frac{1}{A_{OL}} + \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}}$$

$$A_N = \frac{1}{\frac{Z_1 + Z_2 + Z_1 A_{OL}}{A_{OL}(Z_1 + Z_2)}}$$

$$A_N = \frac{Z_1 + Z_2}{\frac{Z_1 + Z_2 + Z_1 A_{OL}}{A_{OL}}}$$

$$A_N = \frac{Z_1 \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right)}{Z_1 + \frac{Z_1 + Z_2}{A_{OL}}} = \frac{Z_1 \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right)}{Z_1 + \frac{Z_1 \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right)}{A_{OL}}} = \frac{Z_1 \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right)}{Z_1 \left(1 + \frac{1 + \frac{Z_2}{Z_1}}{A_{OL}} \right)} = \frac{1 + \frac{Z_2}{Z_1}}{1 + \frac{1 + \frac{Z_2}{Z_1}}{A_{OL}}}$$

Pre ideálny OZ platí:

$$A_{OL} = \infty \quad u_d = 0$$

Potom:

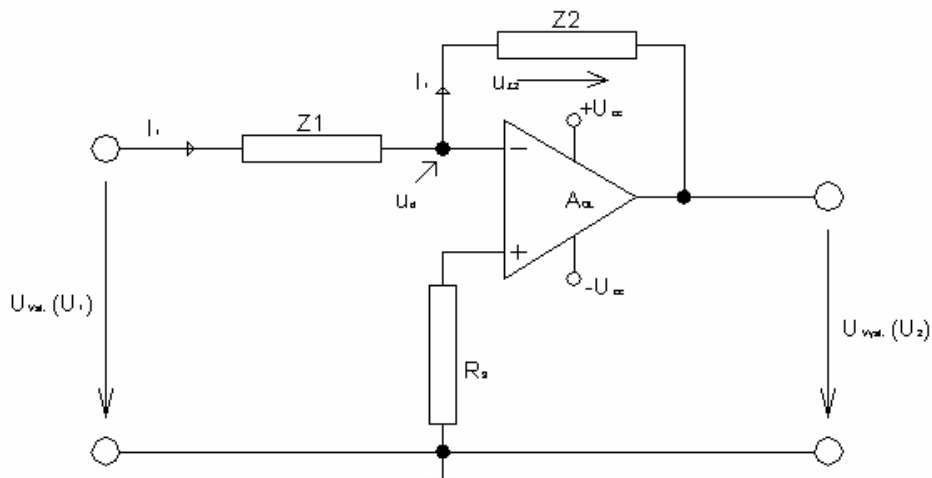
$$A_N = \frac{1 + \frac{Z_2}{Z_1}}{1 + \frac{1 + \frac{Z_2}{Z_1}}{A_{OL} \rightarrow \infty}} = 1 + \frac{Z_2}{Z_1}$$

ZÁVER: Zosilnenie určujú len spätnoväzobné impedancie Z_1 a Z_2 .

OZ nemá vplyv.

Do neinvertujúceho vstupu netečie žiadny prúd, vstupný odpor je nekonečne veľký.

Určenie zosilnenia invertujúceho OZ



u_1 – Vstupné napätie

u_2 – Výstupné napätie

u_d – Rozdielové napätie na vstupe

A_{OL} – Zosilnenie OZ bez spätnej väzby

A_{IN} – Zosilnenie OZ so vstupnou väzbou

$$A_{IN} = \frac{u_2}{u_1}$$

Zo schémy zapojenia vyplýva:

$$i_1 = \frac{u_1 + u_d}{Z_1}$$

$$i_1 = \frac{u_{Z2}}{Z_2} \Rightarrow u_{Z2} = i_1 \cdot Z_2$$

$$u_2 = -u_d - u_{Z2}$$

u_d určíme zo zosilnenia reálneho zosilňovača bez spätnej väzby; platí:

$$A_{OL} = \frac{u_2}{u_d} \Rightarrow u_d = \frac{u_2}{A_{OL}}$$

$$u_2 = -\frac{u_2}{A_{OL}} - (i_1 \cdot Z_2)$$

$$u_2 = -\frac{u_2}{A_{OL}} - \left(\frac{u_1 + u_d}{Z_1} \right) Z_2$$

$$u_2 = -\frac{u_2}{A_{OL}} - \left(\frac{u_1 + \frac{u_2}{A_{OL}}}{Z_1} \right) Z_2$$

$$u_2 = -\frac{u_2}{A_{OL}} - u_1 \frac{Z_2}{Z_1} - u_2 \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{1}{A_{OL}}$$

$$u_2 + \frac{u_2}{A_{OL}} + u_2 \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{1}{A_{OL}} = -u_1 \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$u_2 \left(1 + \frac{1}{A_{OL}} + \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{1}{A_{OL}} \right) = -u_1 \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$A_{IN} = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-\frac{Z_2}{Z_1}}{1 + \frac{1}{A_{OL}} + \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{1}{A_{OL}}}$$

Ak A_{OL} sa blíži k nekonečnu, tak:

$$A_{IN} = \frac{-\frac{Z_2}{Z_1}}{1 + \frac{1}{\infty} + \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{1}{\infty}} = \frac{-\frac{Z_2}{Z_1}}{1 + 0} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

ZÁVER: Zosilnenie je určené len spätnoväzobnými impedanciami obvodu.
Vstupný prúd je určený napätím u_1 a impedanciou Z_1 .

POUŽITÁ LITERATÚRA:

www.kre.elf.stuba.sk/~michalek/info/alyat_mirror/oz.htm
www.alzat.szm.sk/selektory/amplitud/kompar/kompar.htm
 Amatérské rádio, ročník 42, 1993/IV