

# 11. Operačný zosilňovač

## Zadanie:

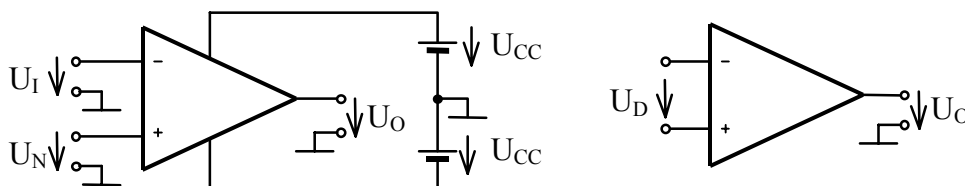
1. Oboznámte sa so základnými vlastnosťami OZ.
2. Vypíšte katalógové medzné a charakteristické hodnoty predloženého operačného zosilňovača (MAA741CN, MAA748CN, MAA748C alebo MAA748) .
3. Navrhnite invertujúci zosilňovač pre zisk 1, 2, a 5.
4. Odmerajte prevodovú charakteristiku navrhnutého invertujúceho operačného zosilňovača pre aspoň jeden z nastavených ziskov pri plnom napájacom napätí  $U_{CC}$ .
5. Pri tých istých podmienkach odmerajte prevodovú charakteristiku navrhnutého invertujúceho operačného zosilňovača pri pľovičnom napájacom napätí  $U_{CC}$ .
6. Overte činnosť invertujúceho operačného zosilňovača pre aspoň jeden z nastavených ziskov pri plnom napájacom napätí  $U_{CC}$ . Zmerajte frekvenčnú charakteristiku operačného zosilňovača.

použitá literatúra ES-prednášky, <http://alzat.szm.sk/Zosil/Jednosmr/oz/oz.htm>

## Podklady k realizácii úloh zadania

### K bodu 1:

Operačný zosilňovač je lineárny zosilňovač navrhnutý tak, že jeho prenosové vlastnosti závisia predovšetkým od obvodov spätnej väzby a nie od jeho vnútornej konštrukcie. S ohľadom na to sú operačné zosilňovače navrhované ako priamo viazané zosilňovače s nulovými kľudovými vstupnými a výstupnými napätiami, majú vysoký zisk, vysoký vstupný a nízky výstupný odpor.



**Obr. 11-1.** Schéma operačného zosilňovača s naznačenými napájacimi zdrojmi a zjednodušená schéma bez zemniacich svoriek.

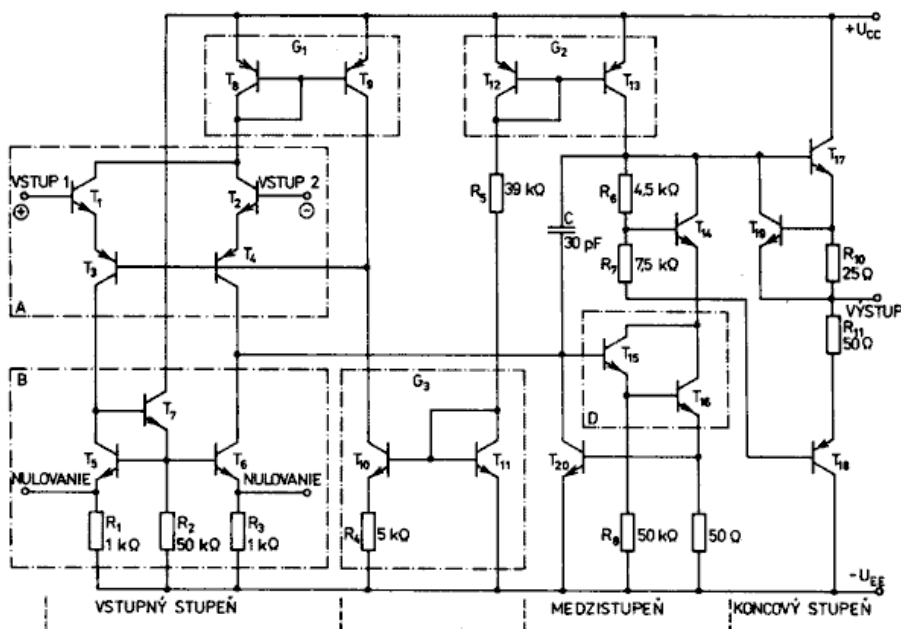
Základné vlastnosti charakterizujúce **ideálny a reálny operačný zosilňovač**.

		<b>IDEÁLNY</b>	<b>REÁLNY</b>	
<b>vstupný odpor</b>	$R_{VST}$	$\infty$	$10^6 \div 10^8$	[ $\Omega$ ]
<b>výstupný odpor</b>	$R_{VYST}$	<b>0</b>	$10^1 \div 10^2$	[ $\Omega$ ]
<b>napät'ové zosilnenie naprázdno</b>	$A_{Uo}$	$\infty$	$10^4 \div 10^6$	[-]
<b>vstupné diferenčné napätie</b>	$U_d$	<b>0</b>	<b>0,1 <math>\div</math> 0,2</b>	[mV]
<b>žadny rušivý vplyv (offset, drift ...)</b>				

Ďalšie vlastnosti reálnych operačných zosilňovačov

<b>napät'ové zosilnenie naprázdno <math>A_{U_0}</math></b> Je to zosilnenie pri otvorenej slučke spätnej väzby.
<b>vstupný a výstupný odpor <math>R_{vst}</math> <math>R_{výst}</math></b>
<b>vstupné napätie <math>u_{vst}</math></b> potrebné na vybudenie menovitého výstupného napätia
<b>maximálny rozkmit výstupného napätia</b>
<b>kľudový prúd <math>I_0</math></b> , ktorý odoberá operačný zosilňovač z napájacieho zdroja v režime bez vybudenia vstupným signálom
<b>maximálne napájacie napätie <math>+U_{CC}, -U_{EE}</math></b>
<b>frekvenčný rozsah</b> , 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 $A_U(f_T) = 1$
<b>prúdovú nesymetriu vstupov <math>I_{Nvst}</math></b> . Určuje sa ako rozdiel vstupných prúdov $i_-, i_+$ pri nulovom $u_{výst}$
<b>napät'ová nesymetria vstupov <math>U_{Nvst}</math></b> . Určuje sa napätím na vstupe $u_{vst}$ , pri ktorom $u_{výst} = 0$ V
<b>činiteľ potlačenia súčtového signálu CMR</b> , ktorý sa vyjadruje pomerom vstupného napät'ového rozsahu $u_{vst}$ k maximálnej zmene napät'ovej nesymetrie v tomto rozsahu pri otvorenej slučke spätnej väzby.
$CMR = 20 \cdot \log \frac{u_{vst}}{\Delta U_{Nvst}} \quad [dB, V, V]$
<b>citlivosť na zmenu napájacích napätí SVR</b> , ktorá sa vyjadruje pomerom zmeny napät'ovej nesymetrie vstupov $\Delta U_{Nvst}$ ku zmene napájacích napätí $\Delta U_{cc}$
$SVR = \frac{\Delta U_{Nvst}}{\Delta U_{cc}} \quad [mV/V, mV, V]$
<b>teplotný drift</b> , ktorý sa vyjadruje veľkosťou napät'ovej alebo prúdovej nesymetrie vstupov vplyvom teploty, t.j. $\Delta U_{Nvst} / \Delta t$ , prípadne $\Delta I_{Nvst} / \Delta t$ .
<b>rýchlosť prebehu SR výstupného napätia</b> , 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: $SR = 2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot U_0$

**K bodu 2:**

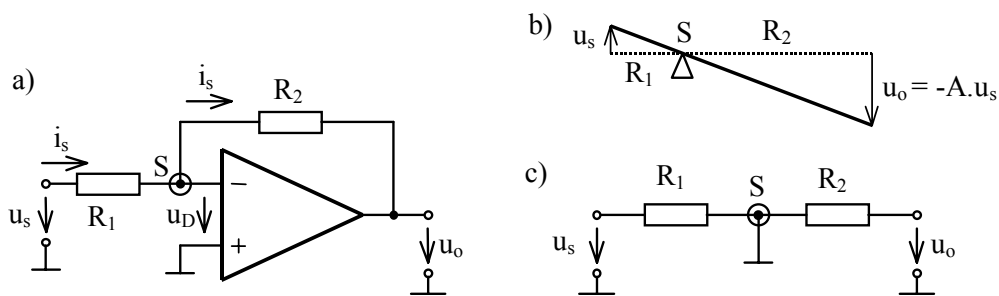


**Obr. 11.2.** Vnútna štruktúra OZ MAA 741, jedného z najrozšírenejších operačných zosilňovačov.

Odčítajte z katalógu základne parametre uvedené v podkladoch k úlohe 1.

**K bodu 3:**

Invertujúci zosilňovač je zapojenie operačného zosilňovača ako napät'ového zosilňovača, ktorý otáča fázou - invertuje signál na výstupe (obr.11.3).



**Obr. 11.3.** a) Schéma zapojenia invertujúceho zosilňovača, b) virtuálna nula a c) náhradná schéma zapojenia.

Operačný zosilňovač je zapojený tak, že vstupný signál je privedený na invertujúci vstup operačného zosilňovača cez sériový rezistor  $R_1$ , neinvertujúci vstup operačného zosilňovača je pripojený na zem. Z výstupu je vedená záporná spätná väzba na invertujúci vstup cez rezistor  $R_2$ .

Činnosť zapojenia môžeme analyzovať nasledovne. Na vstup je pripojené vstupné napätie  $U_I$ . Invertujúci vstup operačného zosilňovača je v dôsledku pravidla virtuálnej nuly na rovnakom potenciáli ako neinvertujúci. V tomto prípade to je  $0V$ . Z Ohmovho zákona vieme určiť prúd tečúci cez rezistor  $R_1$   $I_1 = \frac{U_I}{R_1}$ . Tento prúd pretekajúci cez odpor  $R_1$  prichádza na invertujúci vstup.

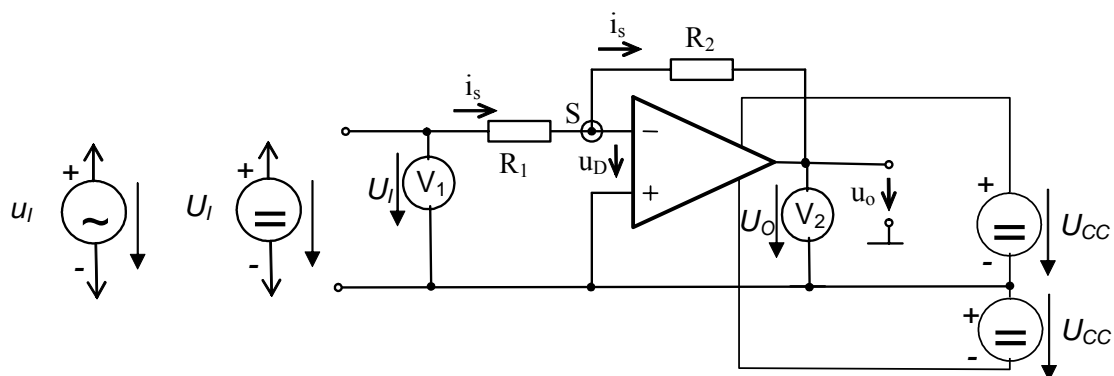
V dôsledku druhého pravidla do vstupu netečie žiaden prúd, a preto celý prúd  $I_1$  je tlačný do obvodu spätnej väzby, teda rezistoru  $R_2$ . Na rezistore  $R_2$  pri prúde  $I_1$  vzniká úbytok napätia  $U_2 = R_2 \cdot I_2 = -R_2 \cdot I_1$ . Ak si uvedomíme, že výstupné napätie celého zosilňovača je zhodné s napätím na rezistore  $R_2$  v dôsledku virtuálnej nuly, potom výstupné napätie môžeme vyjadriť  $U_O = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_I$ .

Z toho je napät'ové zosilnenie (zisk) invertujúceho zosilňovača  $A = -\frac{R_2}{R_1}$ . Je zrejmé, že

**zosilnenie nie je závislé od konštrukcie samotného operačného zosilňovača ale je dané len pomerom spätoväzbových odporov.** Znamienko mínus znamená invertovanie signálu. Prúd tečúci cez napät'ový delič  $R_1, R_2$  dodáva generátor - predchádzajúci stupeň, preto tento musí byť dostatočne výkonný. Vstupný odpor zosilňovača je  $r_i = R_1$ .

**K bodu 4, 5:**

Použite schému merania na obr.11.4. Odmerajte min 8 bodov napät'ovej prevodovej charakteristiky  $U_O = f(U_I)$ . Napájacie napätie  $U_I$  meníte od  $-U_{CC}$  ( $-U_{CC}/2$ ) do  $U_{CC}$  ( $U_{CC}/2$ ).

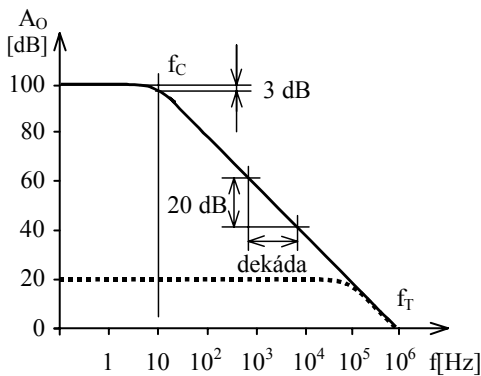


**Obr. 11.4.** Schéma zapojenia pre úlohu 4,5 a 6

**K bodu 6:**

Zapojte schému merania na obr.11.4. Na napájanie použite generátor striedavého signálu. Pomocou osciloskopu sledujte vstup a výstup vstup a výstup a odčítavajte pri danej frekvencii maxima

amplitúd vstupného a výstupného signálu aby ste mohli zobraziť graficky frekvenčnú charakteristiku operačného zosilňovača (obr. 11.5).

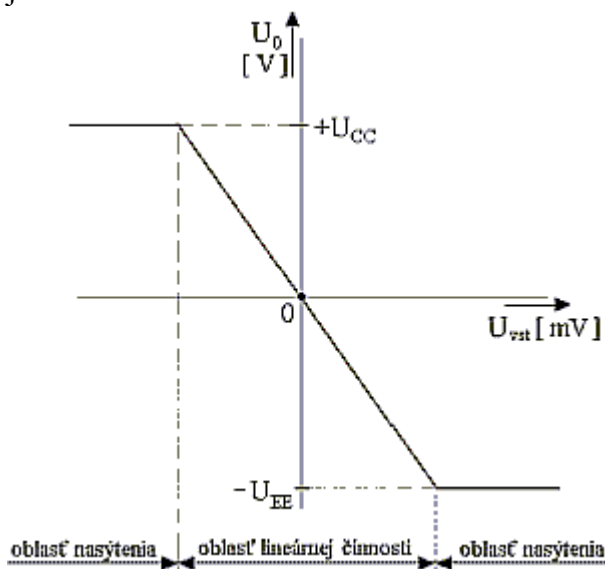


**Obr. 11.5** Frekvenčná charakteristika operačného zosilňovača. Čiarkovaným je naznačená charakteristika po zavedení spätnej väzby

*Poznámka:*

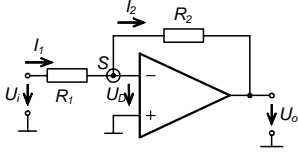
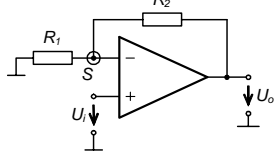
Zosilnenie operačného zosilňovača bez spätnej väzby udávané v katalógoch výrobcov platí len pre určité frekvenčné pásmo. Ako z definície vyplýva, operačný zosilňovač je jednosmerný zosilňovač s vysokým zosilnením bez spätnej väzby  $A_0$ . Znamená, že zosilnenie  $A_0$  platí pre signál s frekvenciami od nula až po  $f_c$ , t.j. od jednosmerného signálu až po signál s medznou frekvenciou  $f_c$ . Presnejšie definujeme **medznú frekvenciu** operačného zosilňovača  $f_c$  ako frekvenciu, pri ktorej dochádza k poklesu zosilnenia o 3 dB ( $= 1/\sqrt{2}$ ). Ideálne by operačný zosilňovač mal mať nekonečne široké frekvenčné pásmo. Z dôvodu stability reálneho operačného zosilňovača je jeho zosilnenie s otvorenou spätnou väzbou obmedzené zabudovaným dolnopriepustným frekvenčným filtrom s poklesom amplitúdy o 20 dB na dekádu až do **hraničnej frekvencie**  $f_T$ , kedy prestane zosilňovač zosilňovať ( $A_0 = 1$ ). Medzná frekvencia je vzhľadom na vysoké zosilnenie operačného zosilňovača relatívne nízka. Frekvenčný rozsah od 0 Hz do  $f_c$  sa nazýva **frekvenčné pásmo zosilňovača** pri otvorenej spätnej väzbe. Pokles zosilnenia 20 dB na dekádu znamená, že zosilnenie je nepriamo úmerné frekvencii, teda že pri frekvencii o rád väčšej je zosilnenie 10 krát menšie a platí  $A \cdot f = |A_0| \cdot f_c = f_T$ . Zosilnenie pri hraničnej frekvencii  $f_T$  je 1. Súčin zisku a šírky pásma charakterizuje frekvenčné vlastnosti zosilňovača.

Operačný zosilňovač má symetrické napájanie a to kladné  $+U_{CC}$  a záporné  $-U_{EE}$ . charakteristika je na obrázku.



**Obr. 11.6.** Prevodová charakteristika OZ.

Charakteristické pre OZ je existencia troch pracovných oblastí. Sú dve oblasti nasýtenia, kedy výstup nadobúda napät'ovú úroveň rovnú približne kladnému alebo zápornému napájaciemu napätiu. Tieto pracovné oblasti sa využívajú v zapojeniach OZ vo funkcii komparátora. Tretia oblasť je oblasť lineárnej činnosti OZ, kedy OZ pracuje ako zosilňovač malých vstupných signálov (rádovo mV až  $\mu V$ ) so zosilnením  $A_{U_0}$ .

	<b>Invertujúci OZ</b>	<b>Neinvertujúci OZ</b>
zapojenie		
vstupné napätie sa prenáša na výstup	s opačnou polaritou ⇒ otáča fázu– invertuje	s rovnakou polaritou ⇒ neotáča fázu– neinvertuje
záporná napät'ová spätná väzba	paralelná	sériová∞
prúd tečúci cez delič napätia $R_1, R_2$	$I_1 = \frac{U_i}{R_1}$	$I_1 = \frac{U_i}{R_1}$
prúd tečúci cez delič napätia dodáva	zdroj signálu ⇒ požiadavka veľkého výkonu vstupného signálu	výstup OZ ⇒ možnosť nevýkonového budenia vstupu
napät'ové zosilnenie	$A = -\frac{R_2}{R_1}$	$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$
vstupný odpor	$r_i = R_1$	$R_i \rightarrow \infty$

Porovnanie základných vlastností invertujúceho a neinvertujúceho operačného zosilňovača.