

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra biomedicínskeho inžinierstva a meraní
Fakulta elektroniky a informatiky
Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií

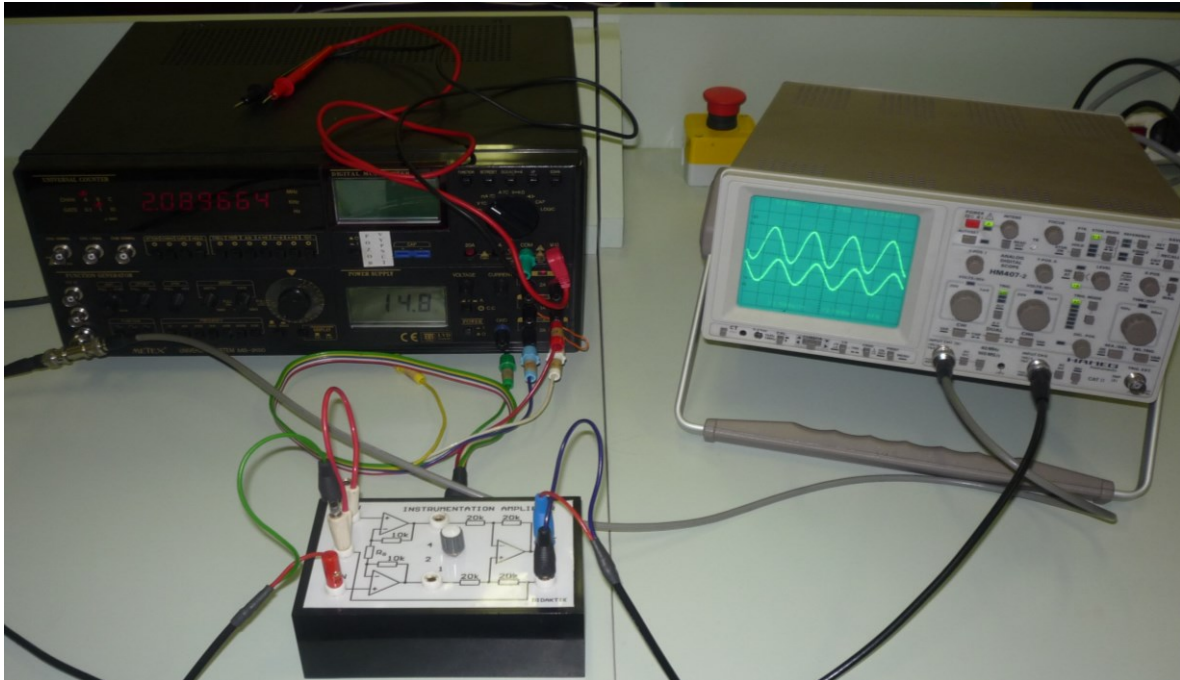
Meranie prístrojového zosilňovača (TL084, MAE625)

V Košiciach, ...

ZOZNAM ÚLOH TL084

1. Odvodte vzťah pre výpočet celkového zosilnenia daného obvodu
2. Vypočítajte hodnoty rezistora R_G pri zosilnení G (1, 2, 4, 8)
3. Odmerajte amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku prístrojového zosilňovača pri zvolených hodnotách zosilnenia ($G = 4$ a $G = 8$)
4. Určite šírku pásma a hraničnú frekvenciu obvodu

POUŽITÉ PRÍSTROJE



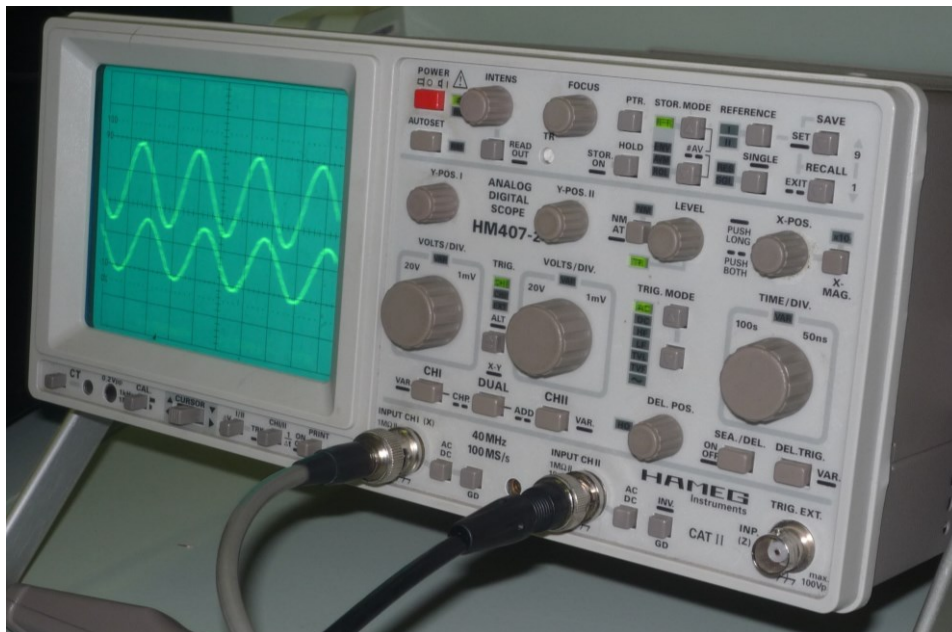
1. Metex universal system MS – 9150



Specification

Universal Frequency Counter				Function Generator	
Display	8 digit LED			Wave forms	Sine, Square, Triangle, Skewed Sine, Ramp, Pulse, TTL level Square
Channel A&B	A & B / 70mV _{eff} 5Hz – 100MHz			Frequency	0.02Hz–2MHz (MS-9150) 1Hz–10MHz (MS-9160) 7 range
Channel C	C / 35mV _{eff} 100MHz – 1.3GHz			Output Impedance selectable	50Ω / 600Ω Max. 20V _{pp}
Gate Time	10ms, 100ms, 1s, 10s			Output Amplitude	2V _{pp} – 20V _{pp} open load 1V _{pp} – 10V _{pp} 50Ω load
Oscillator Frequency	10MHz			Symmetry	Min. 1:10
Max. Input Voltage	1:1 / 3V _{eff} 1:10 / 3V _{eff}			VCF Voltage Level	0 – 10V (max. ±15V)
Period Measurement Range	0.1 – 10 sec.			Sweep Width More than	100:1
Totalize	A or B 0 – 99999999			Digital Multimeter	
Ratio	A / B 5Hz – 100MHz			Display	3½ digit LCD + Bargraph
Difference, Addition	A+B, A-B 5Hz – 100MHz			DC Voltage	400mV – 1000V
Pulse Width	A → B			AC Voltage	400mV – 750V
Output Voltage	Terminal 1 0 – 30V	5V Fixed	15V Fixed	DC Current	4mA – 20A
Output Amps				AC Current	4mA – 20A
MS-9150	0 – 2A	2A	1A	Resistance	400Ω - 40MΩ
MS-9160	0 – 3A	2A	1A	Capacity	4nF - 400μF
Ripple	1mV max	2mV max	2mV max	Others	Auto, Mem, RS-232, Min, Max, Logic, Rel True RMS (MS-9160)
Load Regulation	0,1%+5mV	70mV	0,1%+5mV		
Line Regulation	0,1%+5mV	70mV	0,1%+5mV		
Output Current	2A	2,2A	1,2A		
(Maximum)	Current limit	Fold back	Fold back		

2. Hameg instruments HM – 407 – 2

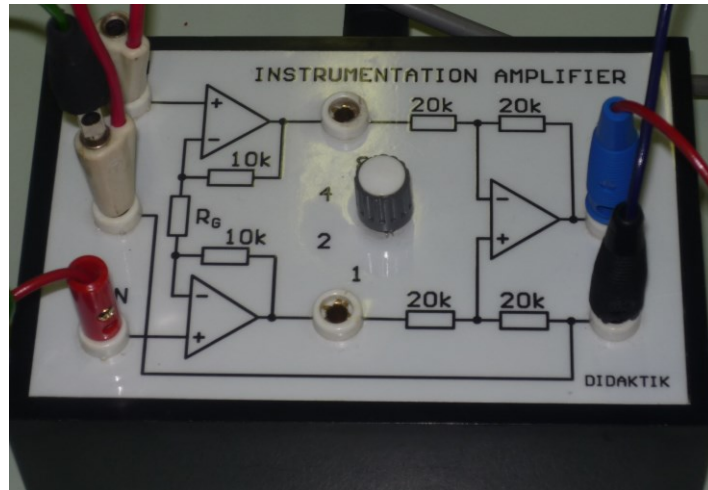


Osciloskop HM407 umožňuje vyšetrenie napätia jednosmerného prúdu a opakovaných signálov vo frekvenčnom rozsahu od 40 MHz (-3dB).

V dôsledku redukcie zisku je potrebné vziať do úvahy pri meraní vysokofrekvenčných signálov stálu chybu – nepresnosť merania. Táto chyba sa stáva viditeľná pri cca 14MHz. Pri cca 18MHz je zníženie cca 10%, reálna hodnota napätia je 11% vyššia.

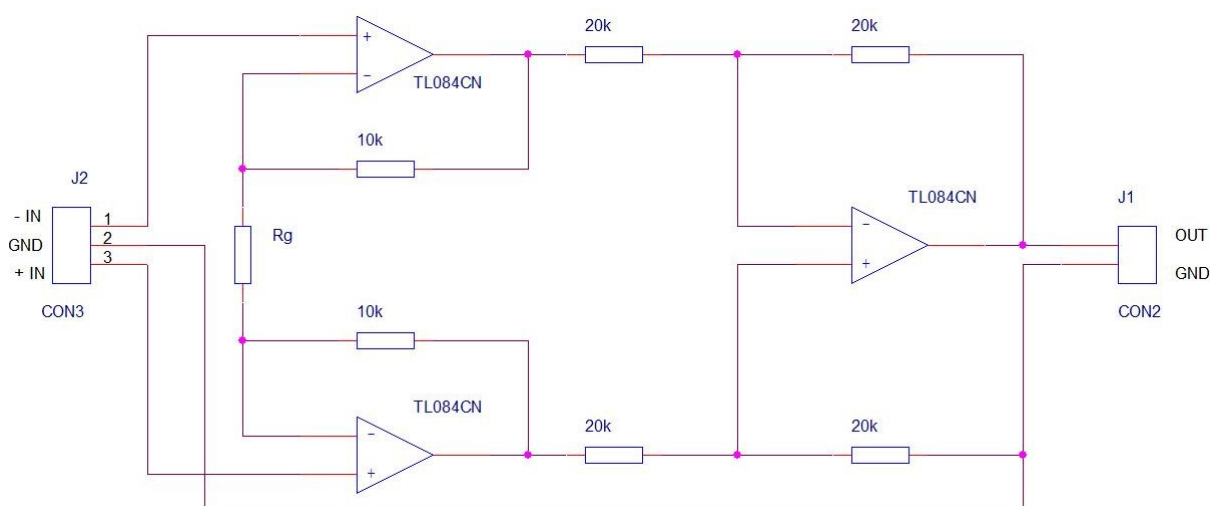
Pre zníženie zisku chyba nemôže byť presne definovaná ako -3dB a šírka pásma zosilňovača sa pohybuje medzi 40MHz a 42MHz. Pre sínusový signál I-6dB limita je cca 50MHz.

3. Merací prípravok s integrovaným obvodom TL084CN



Typ integrovaného obvodu: operačný zosilňovač, ktorého šírka prenosového pásma je: 4MHz, a rozsah napájacieho napätia AC/DC: 6...36V. Puzdro : DIP14. Montáž: THT. Počet kanálov: 4. Rýchlosť priebehu : 13V/ μ s. Pracovná teplota: 0...70°C

SCHÉMA ZAPOJENIA MERACIEHO PRÍPRAVKU



DÁTOVÝ LIST INTEGROVANÉHO OBVODU TL084CN

TL084 - TL084A - TL084B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL084I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL084C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3 3 1	10 6 3 13 7 5		3	10 13	mV
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 4		5	100 4	pA nA
I_{ib}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	200 20		20	400 20	pA nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{CC}	Supply Current, no load, per amplifier $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.4	2.5 2.5		1.4	2.5 2.5	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		± 11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{os}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 10	40	60 60	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		10 12 10 12	12 13.5	10 12 10 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain	8	16		8	16		V/ μs
t_r	Rise Time ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		0.1		0.1			μs
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		10		10			%
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		10		10			%
GBP	Gain Bandwidth Product ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$	2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}		10^{12}			Ω
THD	Total Harmonic Distortion ($T_{amb} = +25^{\circ}C$), $f = 1kHz$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $A_v = 20dB$, $V_o = 2V_{pp}$		0.01		0.01			%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$, $f = 1KHz$		15		15			$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		45		45			degrees
V_{o1}/V_{o2}	Channel Separation $A_v = 100$		120		120			dB

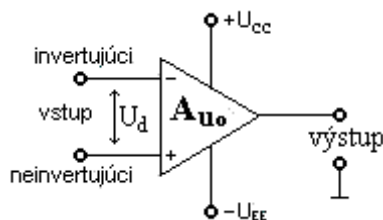
TEORETICKÝ ROZBOR

1. OPERAČNÉ ZOSILŇOVAČE

Operačný zosilňovač (OZ) je v podstate rozdielový zosilňovač s veľmi vysokým zosilnením pre jednosmerné aj striedavé signály realizovaný v integrovanej forme. Jeho funkčné vlastnosti možno meniť príslušnou spätnou väzbou.

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_{u0} operačného zosilňovača, výsledné napätové zosilnenie je určené výhradne veľkosťou prvkov tvoriacich spätnú väzbu.

Schématická značka operačného zosilňovača a základné vlastnosti charakterizujúce ideálny a reálny operačný zosilňovač:



IDEÁLNY REÁLNY

vstupný odpor	R_{vst}	∞	$10^6 \div 10^8$	[Ω]
výstupný odpor	$R_{výst}$	0	$10^1 \div 10^2$	[Ω]
napätové zosilnenie naprázdno	A_{u0}	∞	$10^4 \div 10^6$	[-]
vstupné diferenčné napätie	U_d	0	0,1 \div 0,2	[mV]

12 základných parametrov, ktoré definujú vlastnosti reálnych OZ:

- **napätové zosilnenie naprázdno A_{u0} .** 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_{u0} 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_{nvst} .** Určuje sa ako rozdiel vstupných prúdov i_- , i_+ pri nulovom $u_{výst}$

- **napät'ová nesymetria vstupov U_{Nvst} .** Určuje sa napätím na vstupe U_{vst} , pri ktorom $U_{výst} = 0 V$
- **činiteľ potlačenia súčtového signálu CMR**, ktorý sa vyjadruje pomerom vstupného napät'ového rozsahu U_{vst} k maximálnej zmene napät'ovej nesymetrie v tomto rozsahu pri otvorenej slučke spätnej väzby.

$$CMR = 20 \cdot \log \frac{U_{vst}}{\Delta U_{Nvst}} \quad [dB, V, V]$$

- **citlivosť na zmenu napájacích napätí SVR**, ktorá sa vyjadruje pomerom zmeny napät'ovej nesymetrie vstupov ΔU_{Nvst} ku zmene napájacích napätí ΔU_{cc}

$$SVR = \frac{\Delta U_{Nvst}}{\Delta U_{cc}} \quad [mV/V, mV, V]$$

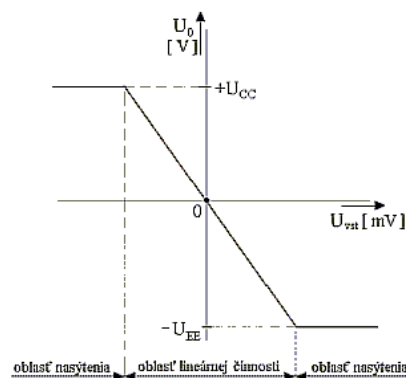
- **teplotný drift**, ktorý sa vyjadruje veľkosťou napät'ovej alebo prúdovej nesymetrie vstupov vplyvom teploty, t.j. $\Delta U_{Nvst} / D_t$, prípadne $D I_{Nvst} / D_t$.
- **rýchlosť prebehu SR** výstupného napätia, označovaná ako "slew rate". Ide o dôležitú dynamickú vlastnosť každého OZ. Udáva rýchlosť 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:

$$SR = 2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot U_0$$

Uvedené parametre platia pre určité predpísané pracovné podmienky operačného zosilňovača.

Operačný zosilňovač môže mať vstup aj výstup symetrický alebo nesymetrický. Najčastejšie sa používa kombinácia symetrický vstup - nesymetrický výstup. Potom jeden zo symetrických vstupov, ktorý nespôsobuje otočenie fázy výstupného signálu voči vstupnému sa nazýva neinvertujúci, označujeme ho znamienkom + a druhý, ktorý spôsobuje otočenie fázy sa nazýva invertujúci, označujeme ho znamienkom -.

Operačný zosilňovač má symetrické napájanie a to kladné $+U_{cc}$ a záporné $-U_{ee}$. Jeho prevodová charakteristika je na obrázku.



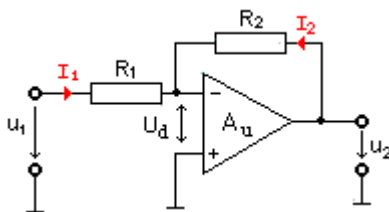
Charakteristické pre OZ, ako vidno z grafu, je existencia troch pracovných oblastí. Sú dve oblasti nasýtenia, kedy výstup nadobúda napäťovú úroveň rovnú približne kladnému alebo zápornému napájaciemu napätiu. Tieto pracovné oblasti sa využívajú v zapojeniach OZ vo funkcii komparátora. Tretia oblasť je oblasť lineárnej činnosti OZ, kedy OZ pracuje ako zosilňovač malých vstupných signálov (rádovo μV až mV) so zosilnením A_{u0} .

ZÁKLADNÉ ZAPOJENIA S OPERAČNÝM ZOSILŇOVAČOM

Invertujúci zosilňovač

Podmienky : $U_d = 0 \text{ V}$

$$I_1 = - I_2$$



Potom:

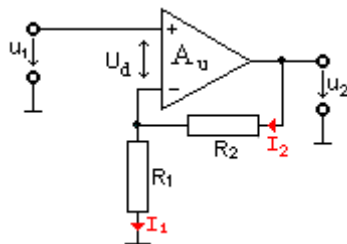
$$I_1 = U_1 / R_1 \quad ; \quad I_2 = U_2 / R_2$$

$$\frac{U_1}{R_1} = - \frac{U_2}{R_2} \Rightarrow U_2 = -U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow A_u = \frac{U_2}{U_1} = - \frac{R_2}{R_1}$$

Neinvertujúci zosilňovač

Podmienky : $U_d = 0 \text{ V}$

$$I_1 = I_2$$



Potom:

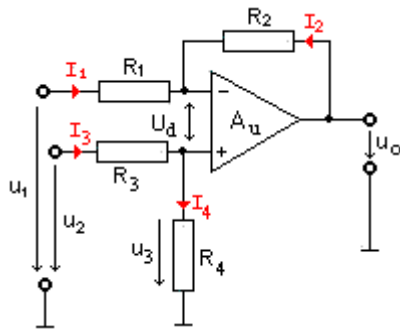
$$I_1 = U_1 / R_1 \quad ; \quad I_2 = (U_2 - U_1) / R_2$$

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2 - U_1}{R_2} \Rightarrow U_1 \cdot R_2 = R_1 \cdot (U_2 - U_1) \Rightarrow A_u = \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Rozdielový zosilňovač

Podmienky : $U_d = 0 \text{ V}$

$$I_1 = - I_2 \quad ; \quad I_3 = I_4$$



Potom:

$$\frac{u_1 - u_3}{R_1} = \frac{u_3 - u_0}{R_2}$$

$$\frac{u_3}{R_4} = \frac{u_2 - u_3}{R_3}$$

Z rovnice (1) a (2) vyjádříme u_3 a výrazy dáme do rovnosti:

$$R_2 \cdot u_1 - R_2 \cdot u_3 = R_1 \cdot u_3 - R_1 \cdot u_0 \Rightarrow u_3 = \frac{u_1 \cdot R_2 + u_0 \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

$$R_3 \cdot u_3 = R_4 \cdot u_2 - R_4 \cdot u_3 \Rightarrow u_3 = u_2 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

teda :

$$\frac{u_1 \cdot R_2 + u_0 \cdot R_1}{R_1 + R_2} = u_2 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

po roznásobení :

$$u_2 \cdot R_4 \cdot (R_1 + R_2) = u_1 \cdot R_2 \cdot (R_3 + R_4) + u_0 \cdot R_1 \cdot (R_3 + R_4)$$

po úpravě :

$$u_0 \cdot R_1 \cdot (R_3 + R_4) = u_2 \cdot R_4 \cdot (R_1 + R_2) - u_1 \cdot R_2 \cdot (R_3 + R_4) \quad (3)$$

Z rovnice (3) už můžeme vyjádřit výstupné napätie u_0 :

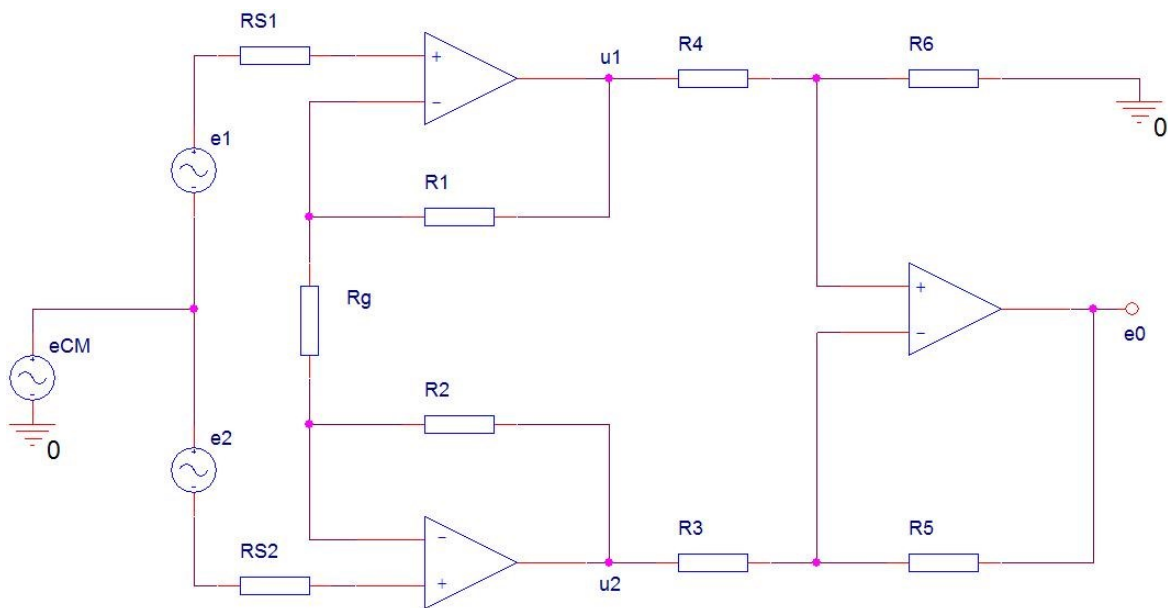
$$u_0 = \frac{u_2 \cdot R_4 \cdot (R_1 + R_2) - u_1 \cdot R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_1 \cdot (R_3 + R_4)} \quad (4)$$

Ak položíme $R_1 = R_3$ a $R_2 = R_4$, potom pre výstupné napätie u_0 dostaneme jednoduchý vzťah :

$$u_0 = \frac{R_2}{R_1} \cdot (u_2 - u_1) \quad (5)$$

Okrem týchto zapojení existuje nespočetné množstvo najrôznejších zapojení s OZ a to vo filtroch, komparátoroch, napájacích zdrojoch, oscilátoroch, generátoroch a pod.

VÝPOČET VÝSTUPNÉHO NAPÄTIA e_0 A ODVODENIE ZOSILNENIA



1. $e_2, e_{CM} = 0$

$$u_1 = \left(1 + \frac{R_1}{R_G}\right) \cdot e_1$$

2. $e_1, e_{CM} = 0$

$$u_1 = -\frac{R_1}{R_G} \cdot e_2$$

3. $e_1, e_2 = 0$

u_1 pre neinvertujúci operačný zosilňovač:

$$u_1 = \left(1 + \frac{R_1}{R_G}\right) \cdot e_{CM}$$

u_1 pre invertujúci operačný zosilňovač:

$$u_1 = \left(-\frac{R_1}{R_G}\right) \cdot e_{CM}$$

sčítaním čiastkových výpočtov dostaneme pre u_1 vzťah:

$$u_1 = \left(1 + \frac{R_1}{R_G}\right) \cdot e_1 - \frac{R_1}{R_G} \cdot e_2 + e_{CM} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_G} - \frac{R_1}{R_G}\right) = e_1 \cdot \frac{R_1 + R_G}{R_G} - e_2 \cdot \frac{R_1}{R_G} + e_{CM}$$

u_2 pre invertujúci operačný zosilňovač:

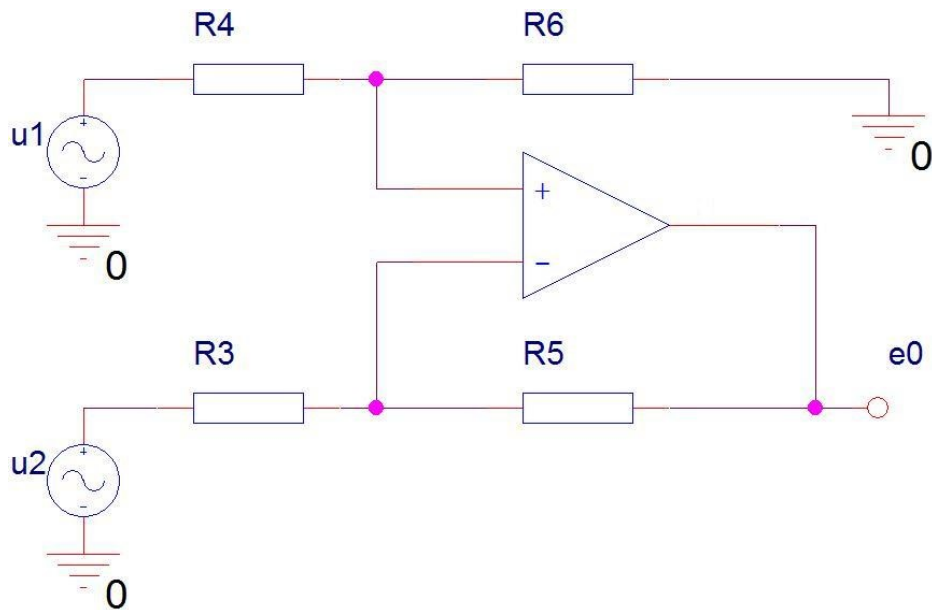
$$u_2 = \left(-\frac{R_2}{R_G} \right) \cdot e_{CM}$$

u_2 pre neinvertujúci operačný zosilňovač:

$$u_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_G} \right) \cdot e_{CM}$$

sčítaním čiastkových výpočtov dostaneme pre u_2 vzťah

$$u_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_G} \right) \cdot e_1 - \frac{R_2}{R_G} \cdot e_2 + e_{CM} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_G} - \frac{R_2}{R_G} \right) = e_1 \cdot \frac{R_2 + R_G}{R_G} - e_2 \cdot \frac{R_2}{R_G} + e_{CM}$$



e_{01} pozostáva zo zosilnenia neinvertujúceho zapojenia operačného zosilňovača a napätového deliča

$$e_{01} = \left(\frac{R_3 + R_5}{R_3} \right) \cdot \left(\frac{R_6}{R_4 + R_6} \right) \cdot u_1$$

e_{02} pozostáva iba zo zosilnenia invertujúceho zapojenia operačného zosilňovača

$$e_{02} = \left(-\frac{R_5}{R_3} \right) \cdot u_2$$

výsledný vzťah pre e_0 dostaneme sčítaním e_{01} a e_{02}

$$e_0 = e_{01} + e_{02} = \left(\frac{R_3 + R_5}{R_3} \right) \cdot \left(\frac{R_6}{R_4 + R_6} \right) \cdot u_1 - \frac{R_5}{R_3} \cdot u_2$$

v obvode sa $R_3 = R_5$, $R_4 = R_6$; použitím týchto podmienok môžeme predošlý vzťah ďalej upraviť na tvar

$$e_0 = (1+1) \cdot \frac{1}{2} \cdot u_1 - 1 \cdot u_2 = u_1 - u_2$$

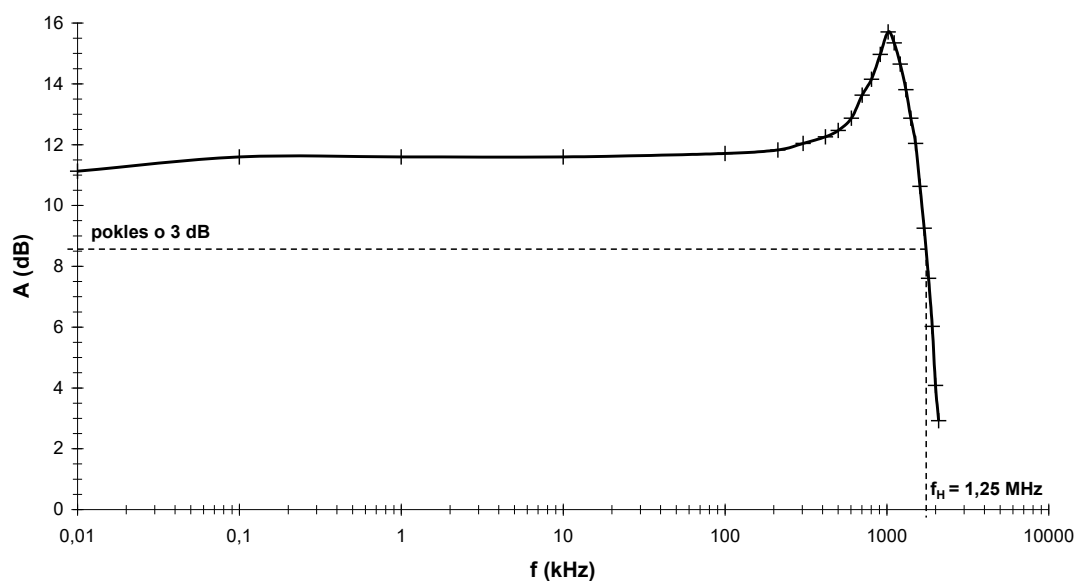
f (kHz)	1020	1111	1210	1312	1408	1506	1603	1700	1810	1906	2000	2088
U (V)												

A = 8 a vstupné napätie 1 V

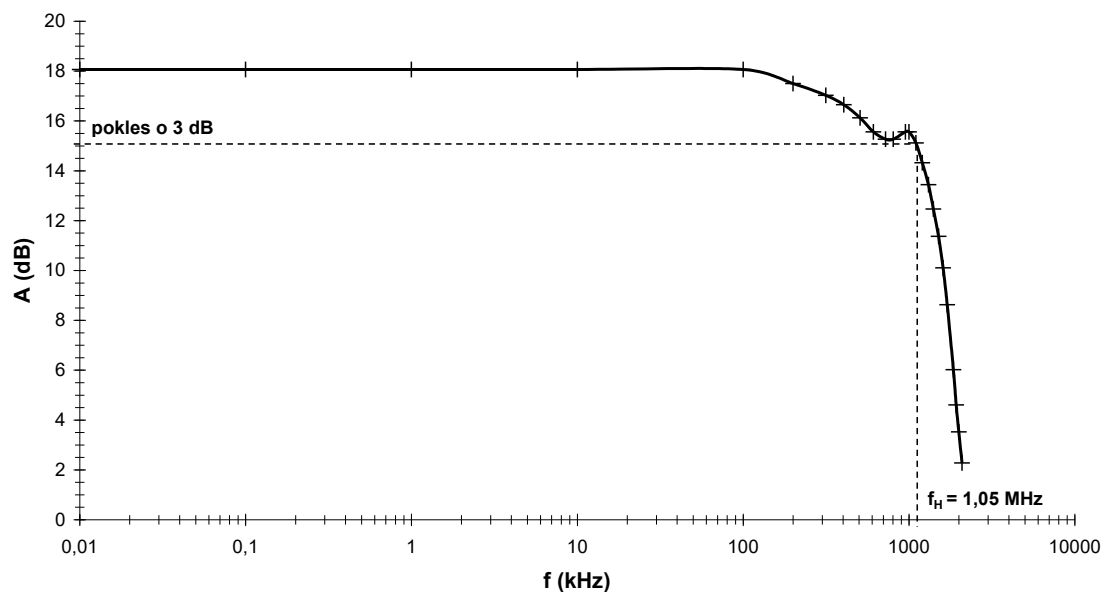
f (kHz)	0,01	0,1	0	10	100	200,1	315,5	404,3	507,7	611	722,3	804	951,7
U (V)													
f (kHz)	1000	1102	1203	1311	1402	1508	1607	1703	1853	1926	2000	2089	
U (V)													

GRAFICKÉ ZÁVISLOSTI

AMPLITÚDOVÁ FREKVENČNÁ CHARAKTERISTIKA PRE A = 4



AMPLITÚDOVÁ FREKVENČNÁ CHARAKTERISTIKA PRE A = 8



Úloha MAE625:

1. Navrhnete obvodové prvky pre nastavenie zisku: 1, 10, 100 a 1000.
2. Zistíte meraním (pre zisk 1000, 100 a 10) a porovnáte zisk a hraničnú frekvenciu prístrojového zosilňovača podľa hodnôt uvedených v katalógu elektronických súčiastok.
3. Overte potlačenie vstupného súhlasného napätia prístrojového zosilňovača ($G=1000$).
4. Odmerajte frekvenčnú charakteristiku prístrojového zosilňovača pre $G=4$ (zobrazte graficky v dB mierke).

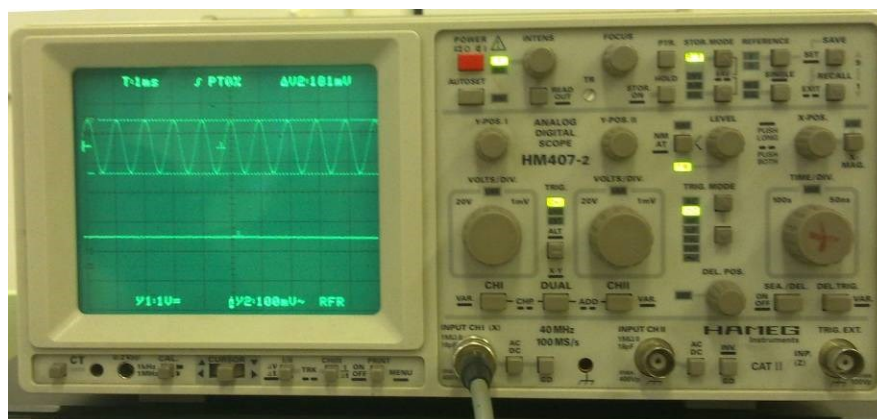
Použité prístroje:

- Univerzálny merací systém METEX-MS 9150



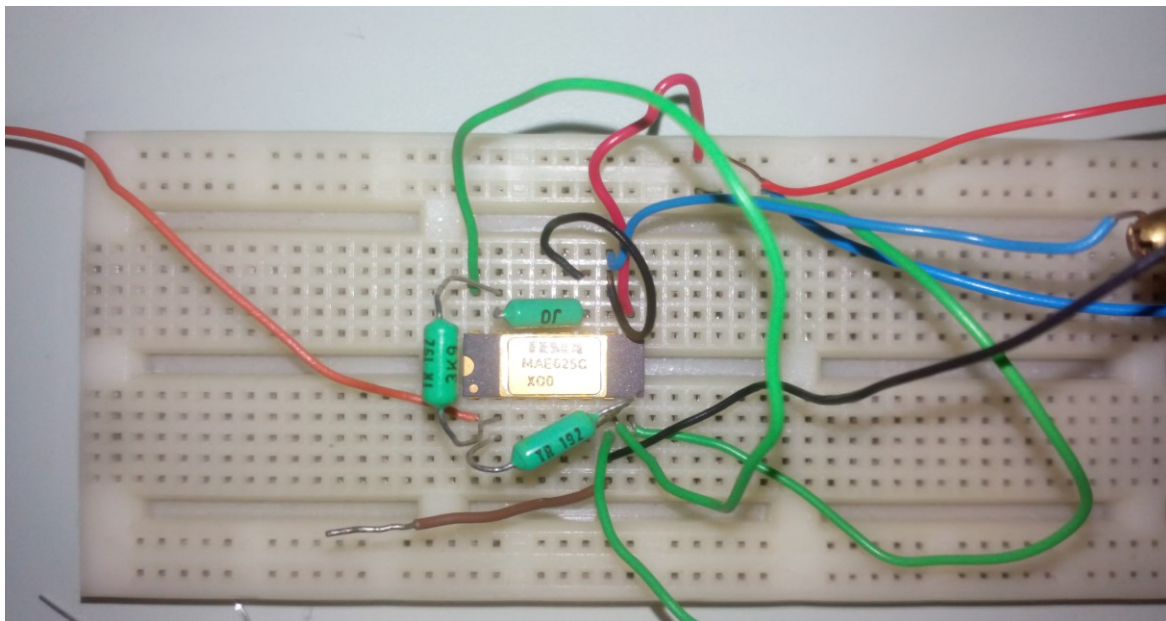
Obr. 1 Generátor použitý na generovanie vstupného harmonického signálu

- Osciloskop analógovo-číslicový HAMEG HM407-2



Obr. 2 Osciloskop použitý na snímanie výstupov z meraného EEG zosilňovača

- BNC T konektor, BNC kábel, 2 BNC káble s 2 banánikmi, banániky
- Merací prípravok prístrojového zosilňovača



Obr. 3 Meraný prístrojový zosilňovač

1. Teoretický úvod

Prístrojový zosilňovač je elektronické zapojenie, ktoré zosilňuje diferenčný (rozdielový) signál pričom zlepšuje vlastnosti samostatného operačného zosilňovača. Jeho zapojenie možno vyjadriť pomocou troch operačných zosilňovačov.

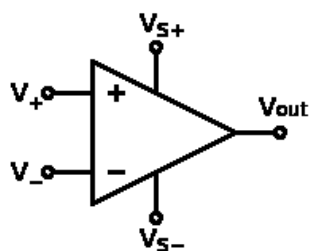
1.1. Operačný zosilňovač

Reálny operačný zosilňovač (OP) je analógový elektronický obvod realizovaný v integrovanej podobe, ktorý spĺňa nasledujúce vlastnosti:

- Veľký zisk pri otvorenej slučke spätnej väzby (zosilnenie)
- Vysoká vstupná impedancia (takmer nulový vstupný prúd)
- Nízka výstupná impedancia
- Offsetové napätie čo najbližšie k nule (tzv. virtuálna nula)
- Veľké potlačenie súhlasných signálov (CMR)
- Veľká šírka pásma s nulovým fázovým posunom zosilňovaných frekvenčných zložiek

K uvedeným parametrom je potrebné dodať aj možné ďalšie parametre zohľadňované pri návrhu operačného zosilňovača pre konkrétnu aplikáciu (rozsah pracovných teplôt, šumové číslo, napájacie napätie, rozsah vstupných napätí, rozsah výstupných napätí, spotreba, pokojový prúd atď.). V literatúre sa často stretávame s pojmom „ideálny“ operačný zosilňovač, ktorý nezohľadňuje limity reálnych elektronických prvkov a zjednodušuje analýzu obvodov úpravou vlastností reálneho zosilňovača k ich ideálnym hodnotám (napr. nekonečný zisk, nekonečný vstupný odpor, nulový výstupný odpor a pod.).

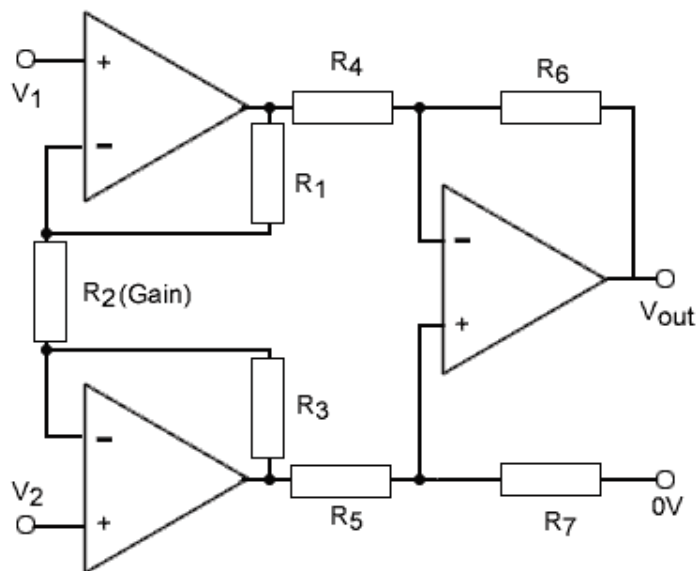
Schematická značka operačného zosilňovača je na Obr. 1:



Obr. 1 Schematická značka operačného zosilňovača

1.2. Prístrojový zosilňovač

Pod pojmom prístrojový zosilňovač rozumieme elektronické zapojenie, ktorého hlavnou výhodou je veľmi vysoké potlačenie akumulovaného šumu na vstupných svorkách zosilňovača t.j. vysoké CMRR. Z princípu zapojenia tiež vyplýva, že zosilňovač má extrémne vysoký vstupný odpor a nízky DC ofset. Vstupný signál je zosilňovaný v diferencnom režime. Tieto vlastnosti predurčujú zosilňovač pre veľmi presné a nízkošumové aplikácie



Obr. 2 Schéma zapojenia prístrojového zosilňovača

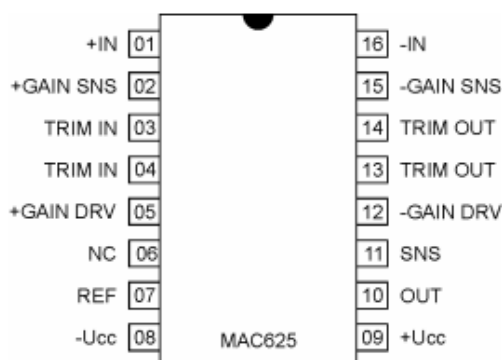
Na obrázku Obr. 2 je zapojenie prístrojového zosilňovača pomocou troch operačných zosilňovačov, u ktorých sa predpokladá rovnakosť všetkých parametrov. Vo väčšine aplikácií sa sú tiež splnené podmienky $R_6 = R_7$, $R_4 = R_5$ a $R_1 = R_3 = R_f$. Voľbou odporu $R_2(R_G)$ potom možno voliť zisk podľa vzťahu (1).

$$G = \frac{V_{OUT}}{(V_1 - V_2)} = \frac{R_6}{R_4} \left[1 + \frac{2R_1}{R_{2(GAIN)}} \right] \quad (1)$$

2. Postup merania

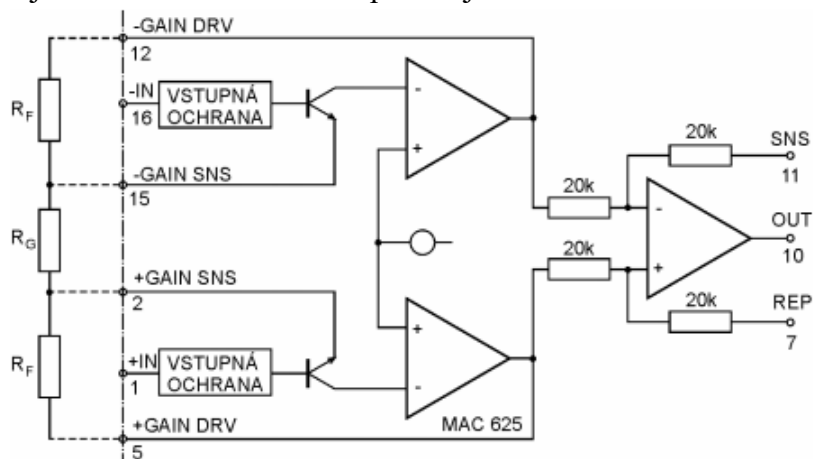
1.3. Programovateľný zosilňovač MAE625C

V rámci cvičenia sme merali prístrojový zosilňovač realizovaný programovateľným obvodom MAE625C. Tento monolitický obvod sa vyznačuje veľkou linearitou a dobrými dynamickými vlastnosťami. Rozloženie pinov je na obrázku Obr. 3.



Obr. 3 Rozloženie pinov obvodu MAE625C

Realizácia prístrojového zosilňovača vnútri púzdra je znázornená na obrázku Obr. 4.



Obr. 4 Princípna schéma obvodu MAE625C - prístrojový zosilňovač

Zo vzťahu (1) vyplýva, že ak je navyše $R_6 = R_4 = R_5 = R_7$, potom zosilnenie je dané vzťahom (1).

$$G = \frac{V_{OUT}}{(V_1 - V_2)} = 1 + \frac{2R_1(f)}{R_2(GAIN)} \quad (2)$$

1.4. Základné parametre obvodu MAE625C

Približné hodnoty medznej frekvencie a potlačenia súhlasných signálov v závislosti od nastaveného zisku sú v prehľadovej tabuľke Tab. 1 pričom medzné hodnoty zosilňovača sú v Tab. 2.

Zisk (G)	CMR [dB]	f_m [kHz]
1		
10		
100		
1000		

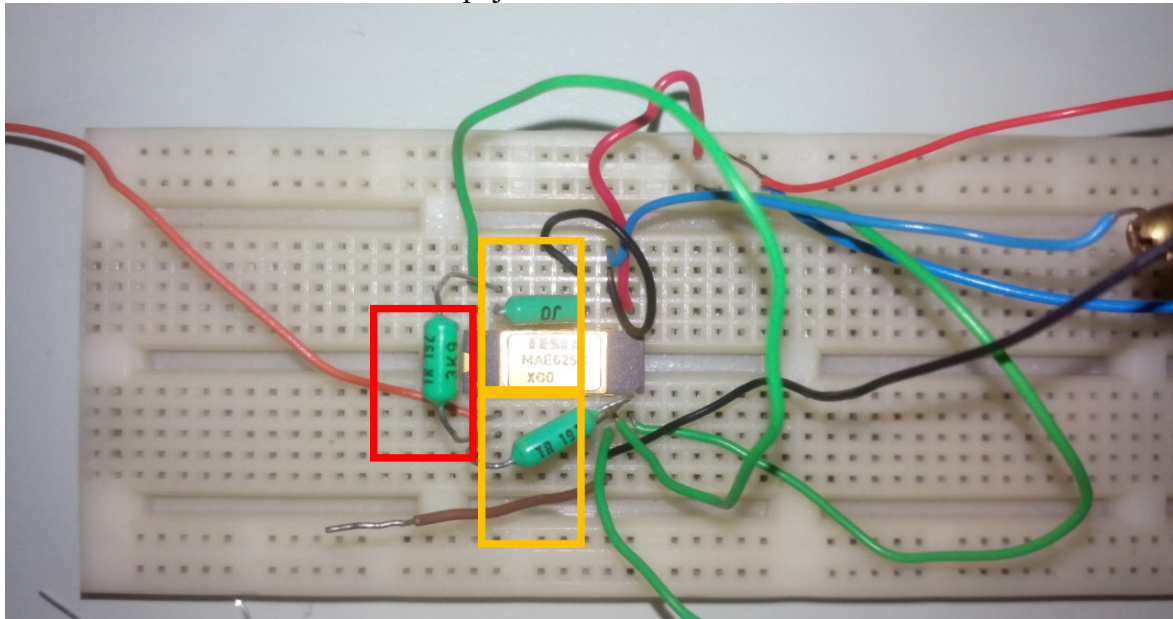
Tab. 1 Medzná frekvencia pri rôznych ziskoch obvodu MAE625C

Napájacie napätie	U_{CC}	± 18	[V]
Trvanie skratu na výstupe zosilňovača	t_{OS}	∞	[s]
Stratový výkon	P_{tot}	180	[mW]
Vstupné diferenčné napätie	U_{ID}	± 36	[V]
Vstupné napätie na svorku zosilňovača	U_I	± 18	[V]
Napätie referenčného vstupu	U_{IR}	± 18	[V]

Tab. 2 Prehľad hraničných parametrov zosilňovača MAE625C

1.5. Merané zapojenie

V rámci tohto zadania sme merali zapojenie na obrázku Obr. 5.



Obr. 5 Zapojenie meraného obvodu

Odpor pre riadenie zisku na Obr. 5 je 3,9 k Ω (vyznačený červeným rámčekom). Počas merania však boli vlastnosti zosilňovača preverované aj pri inom zisku, ktorý sme dosiahli výmenou uvedeného odporu za 329 Ω (330 podľa farebného značenia na Obr. 6), čím sa zisk značne zvýšil. Hodnota odporov rezistorov $R_{1(f)}$ na obrázku vyznačených žltým rámčekom bola odmeraná multimetrom a určená na 15 k Ω .



Obr. 6 Farebné označenie alternatívneho rezistora R_G

Zisky pre uvedené hodnoty zapojených odporov dosadením do vzorca sú:

$$G_{3,9k\Omega} = 1 + \frac{2R_{1(f)}}{R_{2(GAIN)}} = 1 + \frac{30000}{3900} = 8,692 \quad (3)$$

$$G_{398\Omega} = 1 + \frac{2R_{1(f)}}{R_{2(GAIN)}} = 1 + \frac{30000}{329} = 92,185 \quad (4)$$

Zosilňovač bol symetricky napájaný napätím ± 15 V.

Meracia apratúra:

- Generátor signálu a zdroj napájania – METEX MS9150

- Analógový osciloskop - HAMEC HM407-2
- Obvod MAE625C – prístrojový zosilňovač

1.6. Priebeh merania

1. Overenie základného vzťahu pre zisk zosilňovača

- Pri zmenách vstupného napätia bola sledovaná reakcia výstupného napätia na osciloskope. Pomerom amplitúd vstupného a výstupného signálu bol vypočítaný zisk, ktorý bol následne porovnaný s očakávaným ziskom podľa vzťahov (3) a (4).
- Frekvencia vstupného signálu bola pri tomto meraní 110 Hz.

2. Určenie amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky zosilňovača

- Vykonaných bolo niekoľko meraní pri rôznych frekvenciách vstupného sínusového signálu.
- Frekvencia bola zvyšovaná až po medznú frekvenciu t.j. pokles o – 3dB.

3. Určenie prevodovej charakteristiky zosilňovača

- Frekvencia vstupného signálu bola konštantná počas tejto fázy merania: cca 150 Hz
- Na osciloskope bolo pozorované duálne rozmietanie vstupného signálu na osi x a výstupného signálu na osi y za účelom určenia okamihu saturácie výstupného signálu pri určitej amplitúde vstupného signálu.

Fotodokumentácia meracieho pracoviska je na Obr. 7.



Obr. 7 Fotodokumentácia meracieho pracoviska

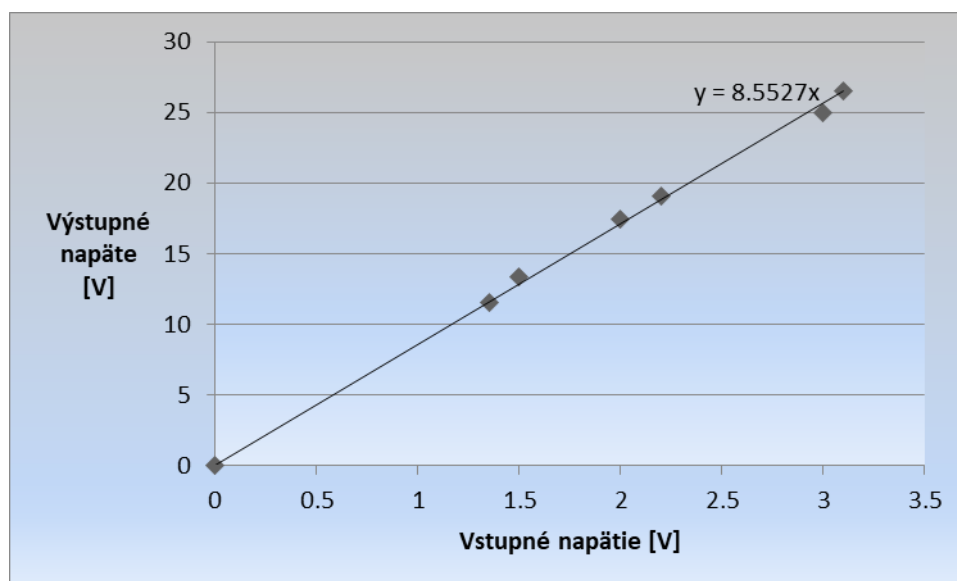
2. Výsledky merania

2.1. Meranie zisku zosilňovača

V rámci tohto merania sme merali zisk zosilňovača postupne pri odporoch R_G 3,9 k Ω a 329 Ω . Výsledky sú zaznamenané v tabuľkách Tab. 3 a Tab. 4.

$u_{vst}[V]$	$u_{výst}[V]$	VYPOČÍTANÝ ZISK
Priemerný zisk		8,61

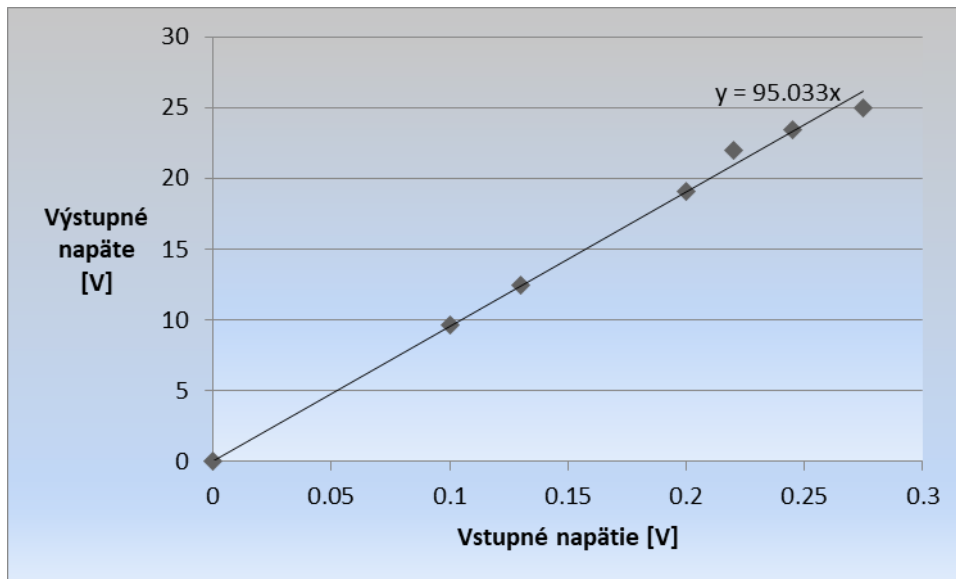
Tab. 3 Namerané hodnoty a vypočítaný zisk pre $R_G = 3,9 \text{ k}\Omega$



Obr. 8 Grafický výstup nameraných dát pre $R_G = 3,9 \text{ k}\Omega$

$u_{vst}[mV]$	$u_{výst}[V]$	VYPOČÍTANÝ ZISK
Priemerný zisk		95,62

Tab. 4 Namerané hodnoty a vypočítaný zisk pre $R_G = 330 \Omega$



Obr. 9 Grafický výstup nameraných dát pre $R_G = 330 \Omega$

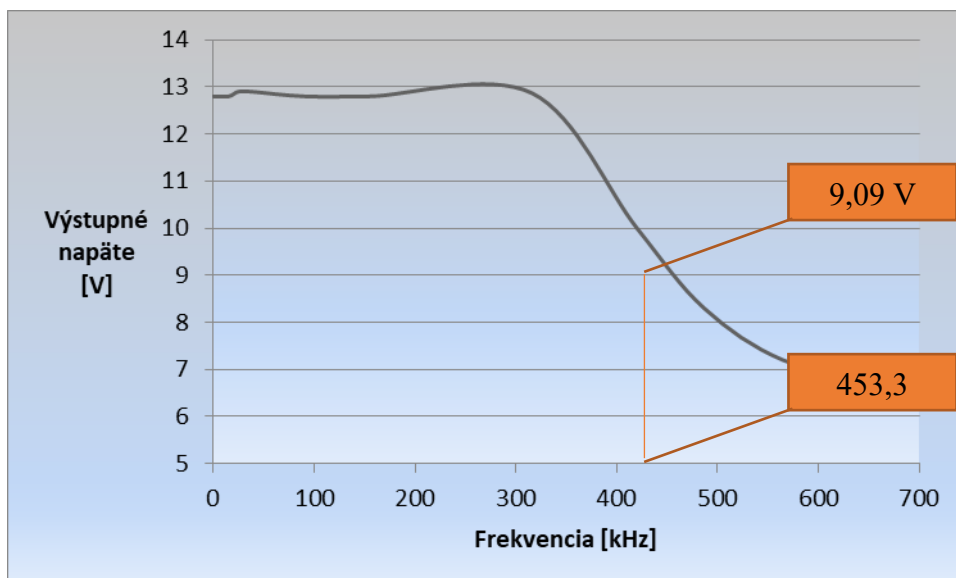
Vo všetkých prípadoch je vstupné i výstupné napätie uvádzané ako hodnota špička-špička nakoľko analógovo rozmiataný priebeh bol zarovnaný k najbližšej deliacej čiare a pre jednoduchosť bol odčítaný najvzdialenejší bod (maximum) od minima pozorovanej vlny. Amplitúda signálov teda dosahuje iba polovičnej hodnoty z výsledkov uvádzaných v tabuľke.

2.2. Meranie amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky

Amplitúda vstupného signálu bola pred týmto meraním nastavená približne na hodnotu 1,5 V pre $R_G = 3,9 \text{ k}\Omega$ a 190 mV pre $R_G = 329 \Omega$. Frekvencia bola postupne zvyšovaná až do okamihu poklesu napätia na úroveň aspoň 9,096 V (alebo menej) pre prvý prípad a 13,433 V (alebo menej) pre druhý prípad (t.j. na 0,707 krát pôvodnej hodnoty: -3 dB). Výsledky sú v tabuľkách Tab. 5 a Tab. 6.

Číslo merania	f_{gen} [kHz]	u_{out} (špička – špička) [V]
1	0	
2	15,3	
3	24,9	
4	37,5	
5	90,9	
6	155,1	
7	316,2	
8	420	
9	486,6	
10	564,6	
11	664,2	
12	744	

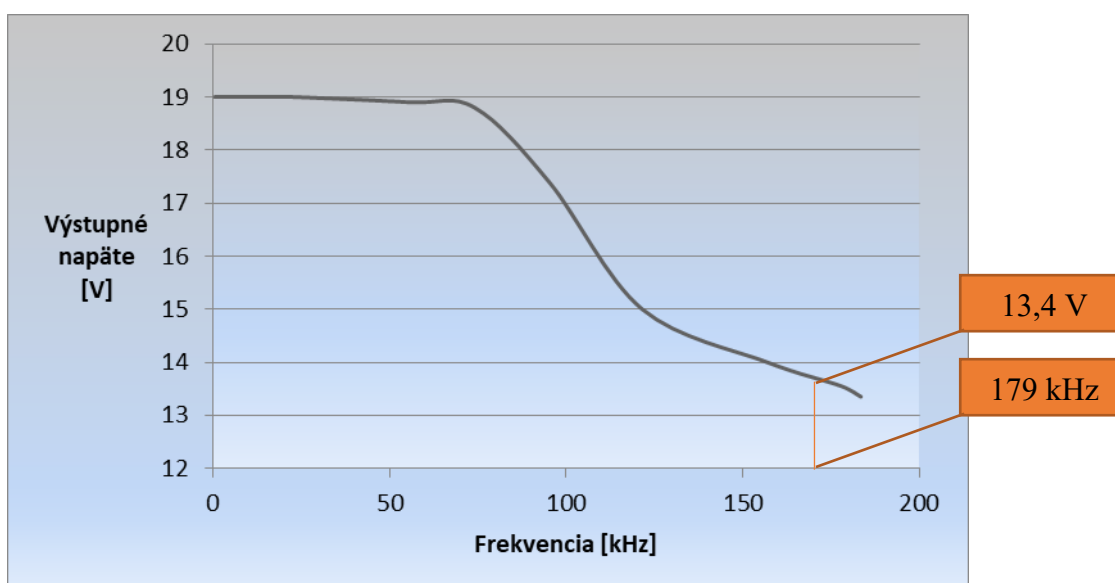
Tab. 5 Hodnoty výstupného napätia pri rôznych frekvenciách vst. signálu pre $R_G = 3,9 \text{ k}\Omega$



Obr. 10 Amplitúdová frekvenčná charakteristika meraného obvodu pre $R_G = 3,9 \text{ k}\Omega$

Číslo merania	$f_{gen} \text{ [kHz]}$	$u_{out} \text{ (špička - špička) [V]}$
1	0,418	
2	0,508	
3	1,54	
4	3	
5	5,65	
6	7,79	
7	10	
8	15	
9	22,5	
10	55,6	
11	74	
12	95,1	
13	119,5	
14	156,89	
15	177,87	
16	183,43	

Tab. 6 Hodnoty výstupného napätia pri rôznych frekvenciách vst. signálu pre $R_G = 330 \text{ k}\Omega$

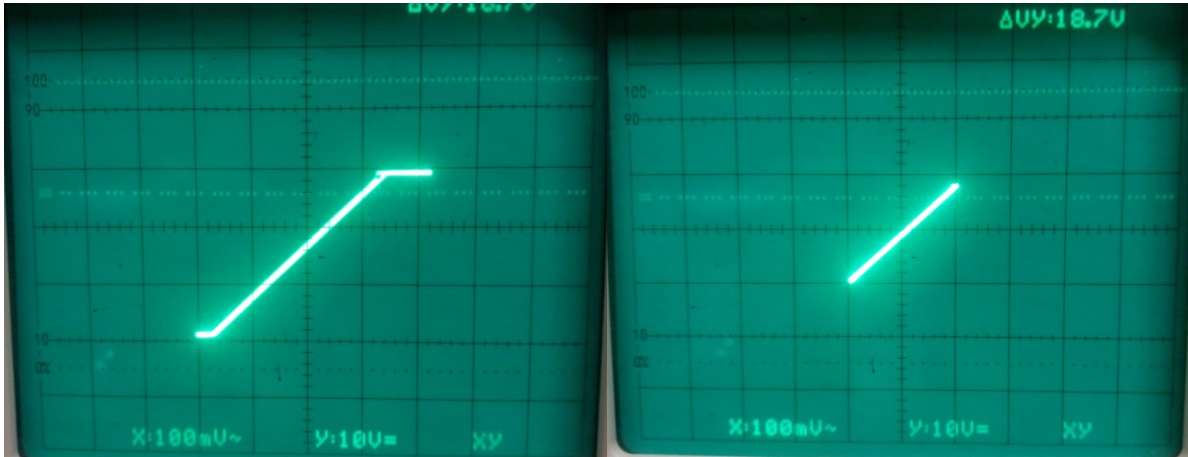


Obr. 11 Amplitúdová frekvenčná charakteristika meraného obvodu pre $R_G = 330 \text{ }\Omega$

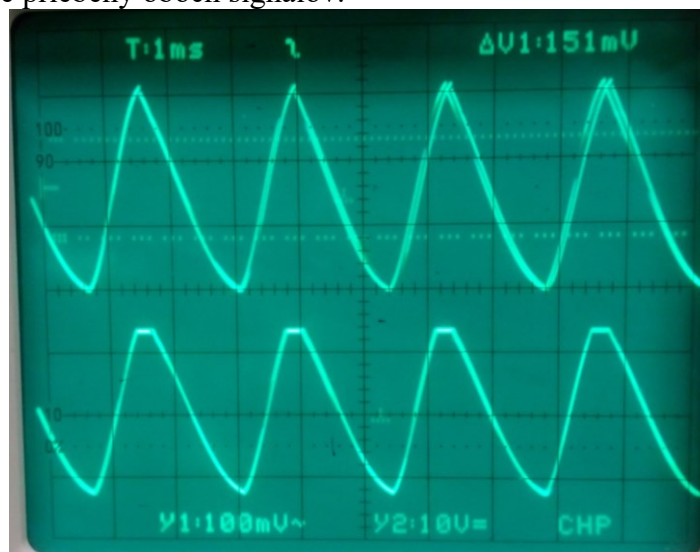
2.3. Meranie prevodovej charakteristiky

Pri tomto meraní sme nastavili frekvenciu vstupného signálu na 150 Hz. Nasledujúce obrázky zachytávajú pozorované priebehy na obrazovke osciloskopu.

Obr. 12 Výstup z osciloskopu pre meraní prevodovej charakteristiky



Z obrázkov je zrejmé, že zosilňovač sa dostáva do saturácie približne pri výstupnom napätí 30 V (V_{pp}) a dochádza k výraznému skresleniu. Tento jav bol pozorovaný pri oboch meraných scenároch t.j. oboch hodnotách odporu R_G . Tento efekt je zrejмый aj na obrázku Obr. 12, kde sú zachytené časové priebehy oboch signálov.



Obr. 13 Porovnanie výstupného signálu so vstupným pri saturácii

ZHODNOTENIE MERANIA

...