

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH  
Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií

## **Meranie na EEG zosilňovači**

V Košiciach, ...

## Úlohy:

1. Odvodte a napíšte vzťahy pre výpočet parametrov obvodu (zisky zosilňovačov a hraničné frekvencie filtrov).
2. Zistite meraním zisky a hraničné frekvencie prístrojového zosilňovača v určených bodoch a porovnajte ich s odvodenými hodnotami (v úlohe 1).
3. Odmerajte frekvenčnú charakteristiku prístrojového zosilňovača v určených bodoch (zobrazte graficky v decibelovej mierke).
4. Určte veľkosti rušenia na výstupe PZ

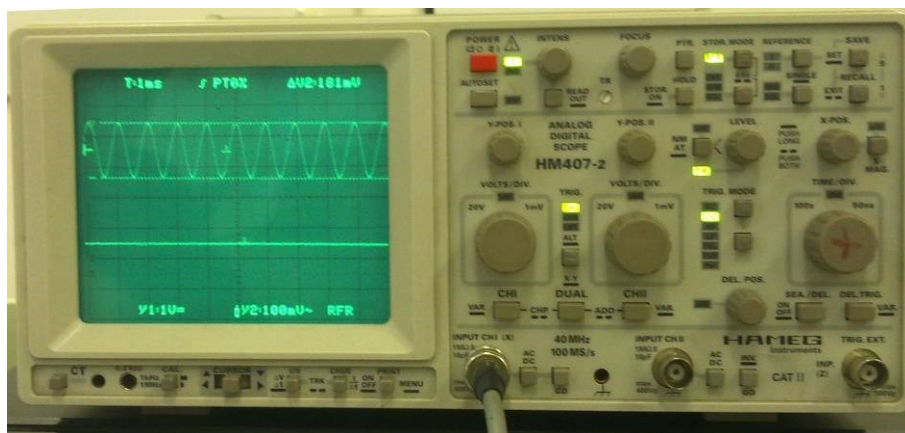
## Použité prístroje:

- Univerzálny merací systém METEX-MS 9150



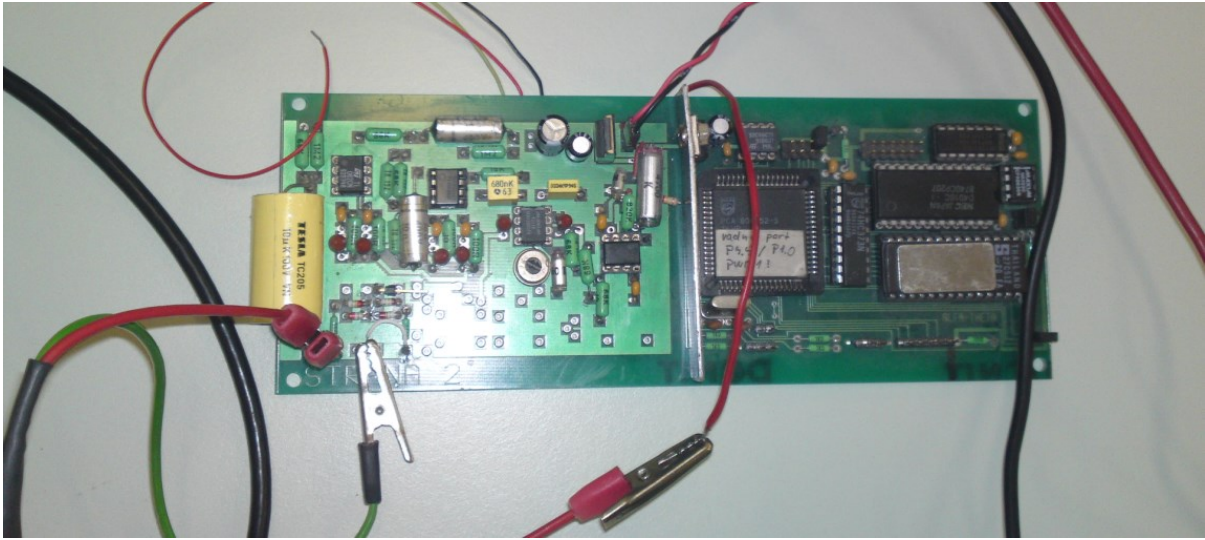
Obr. 1 Generátor použitý na generovanie vstupného harmonického signálu

- Osciloskop analógovo-číslicový HAMEG HM407-2



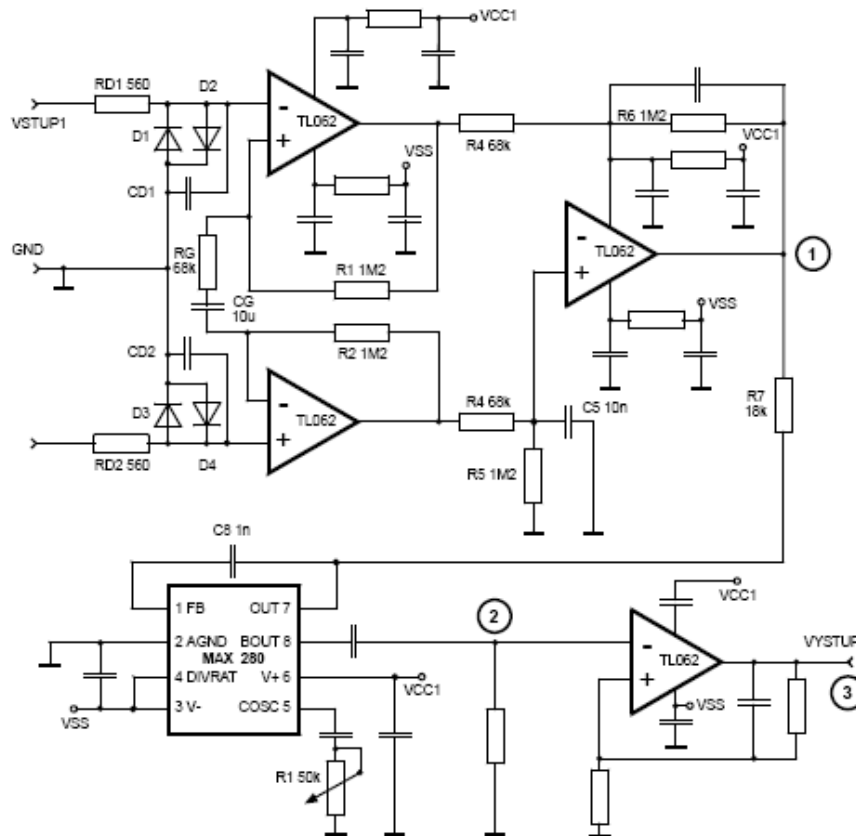
Obr. 2 Osciloskop použitý na snímanie výstupov z meraného EEG zosilňovača

- BNC T konektor, BNC kábel, 2 BNC káble s 2 banánikmi, banániky
- Merací přípravok – EEG zosilňovač



Obr. 3 Meraný EEG zosilňovač

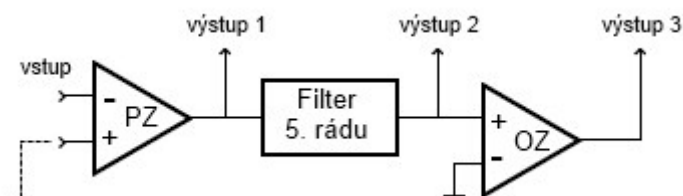
Schéma použitého prípravku:



## Obr. 4 Schéma meraného EEG zosilňovača

### Analýza obvodu:

EEG zosilňovače sa používajú na zosilnenie slabých signálov z mozgu, aby mohli byť tieto signály ďalej analyzované vo výstupných zariadeniach. Tieto zosilňovače sú diferenčné keďže zosilňujú signály relatívne nízkej úrovne. Signály sú zvyčajne zosilnené 100 až 1000 krát.



Obr. 5 Funkčná schéma meraného EEG zosilňovača so zobrazeným vstupom a troma meranými výstupmi

Na obrázku hore je znázornený funkčná schéma EEG zosilňovača použitého v merní. Vstupný signál z generátora bol privedený na vstup prístrojového zosilňovača tak ako to je zobrazené hore. Výstupný signál zosilňovača potom sledujeme na troch miestach:

#### 1. Na výstupe prístrojového zosilňovača:

Kapacity v paralelnej kombinácii s rezistormi (obr. 4) v prístrojovom zosilňovači vytvárajú hornopriepustný filter 2. rádu s hraničnou frekvenciou 4Hz. Odfiltrované nízko-frekvenčné rušivé signály mohli byť tvorené prácou očných svalov, klipkaním očí, alebo pohybom jazyka v ústnej dutine.

#### 2. Na výstupe DP filtra:

Použitý filter 5. rádu slúži k odfiltrovaniu rušenia na frekvenciách vyšších ako 41Hz. Odfiltrované frekvenčné pásmo pre nás nie je zaujímavé keďže signály tvorené v mozgu sú v rozmedzí od 4 do 40Hz.

#### 3. Na výstupe operačného zosilňovača:

Vyfiltrovaný signál je na záver zosilnený operačným zosilňovačom, zapojeným v neinvertujúcom móde. V schéme na obrázku 4 možno opäť vidieť paralelnú kombináciu odporov OZ s kapacitami, podobne ako pri prístrojovom zosilňovači. Takýto typ filtra slúži k odstráneniu rušenia na vyšších frekvenciách, ktoré je zavedené oscilátorom DP filtra (druhý blok na funkčnej schéme – obrázok 5).

Výstupný signál z generátora je pred privedením na vstup EEG zosilňovača zmenšený odporovým deličom v pomere:

$$U_2 = U_1 \frac{330}{2,7M + 330} \doteq \dots$$

Teda úroveň signálu  $U_2$  vstupujúceho do zosilňovača je voči úrovni signálu  $U_1$  nastavenému generátorom v pomere:

$$U_2 \doteq \dots \cdot 10^{-6}$$

Vypracovanie:

**1. úloha - Odvod'te a napíšte vz'tahy pre výpočet parametrov obvodu**

Zariadenie, ktorého charakteristiky máme odmerať slúži na meranie prejavov aktivity mozgu. Keďže sú tieto signály malej frekvencie, ale aj malej amplitúdy, je nutné zabezpečiť dôkladné odfiltrovanie vyšších frekvencií a dostatočné zosilnenie signálu. Môžeme ho rozdeliť na niekoľko častí. Vstupný obvod pre *Vstup 1*, ktorý je zložený z prvkov  $RD_1, CD_1, D_1$  a  $D_2$  (analogicky potom pre *Vstup 2*). Použitie diód je potrebné na obmedzenie vstupného signálu a zapojenie rezistora a kondenzátora technicky realizuje dolnopriepustný filter.

Pri odvádzaní hraničných frekvencií filtrov vychádzame z Laplace–Carsonovej transformácie, pre ktorej obraz platí:

$$F(p) = p \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} dt$$

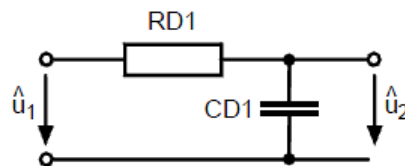
,kde  $f(t)$  je vzor a  $F(p)$  je jeho obraz.

Potom pre napätie na rezistore a kondenzátore platia vz'tahy:

$$\hat{u} = R \hat{i} \quad \hat{u}_c = \frac{1}{pC} \hat{i} + u_c(0-)$$

,kde  $u_c(0-)$  je napätie na kondenzátore v čase pred začatím prechodového deja.

Potom pre DP filter platí:



*Dolnopriepustný filter*

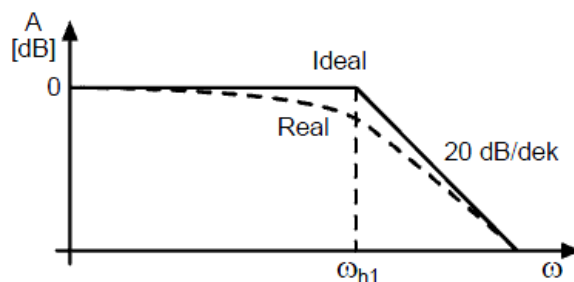
$$\hat{u}_1' = \frac{\hat{u}_1}{1 + pR_{D1}C_{D1}} \quad \hat{i} = \frac{\hat{u}_1}{R_{D1} + \frac{1}{pC_{D1}}}$$

pre prenos teda platí:

$$A = \frac{\hat{u}_1'}{\hat{u}_1} = \frac{1}{1 + pR_{D1}C_{D1}} \quad A_{dB} = 20 \log \frac{\hat{u}_1'}{\hat{u}_1} = 20 \log \frac{1}{1 + pR_{D1}C_{D1}}$$

Z Bodeho asymptotickej aproximácie vyplývajú vz'tahy pre hraničnú frekvenciu:

$$\omega_{h1} = \frac{1}{R_{D1}C_{D1}} \quad f_{h1} = \frac{1}{2\pi R_{D1}C_{D1}}$$



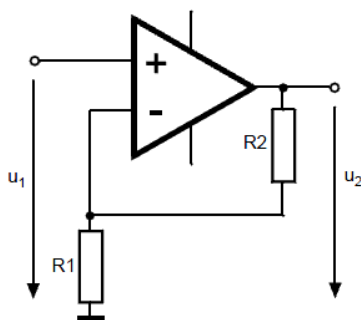
Zariadenie používa neinvertujúce zapojenie operačných zosilňovačov (OZ).

$$-u_1 + iR_1 = 0$$

$$iR_1 + iR_2 - u_2 = 0$$

a po ich úprave dostane vzťah pre zisk neinvertujúceho zapojenia OZ tvar:

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



*Neinvertujúce zapojenie OZ*

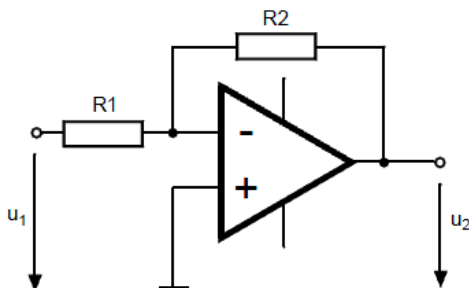
Pre invertujúce zapojenie OZ platia preň vzťahy:

$$-u_1 + iR_1 = 0$$

$$-u_1 + iR_1 + iR_2 - u_2 = 0$$

a po úprave bude mať vzťah pre zisk invertujúceho zapojenia OZ tvar:

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



*Invertujúce zapojenie OZ*

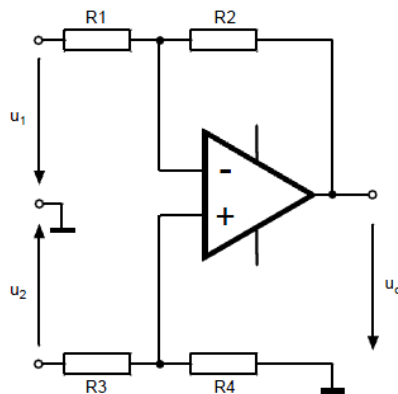
Pre diferenčný zosilňovač môžeme písať nasledujúce rovnice:

*Predpokladáme  $R_1=R_3$  a  $R_2=R_4$*

$$\begin{aligned}
 -u_1 + i_1 R_1 + i_1 R_2 + u_0 &= 0 \\
 -u_2 + i_2 R_1 + i_2 R_2 &= 0 \\
 -u_1 + i_1 R_1 - i_2 R_1 + u_2 &= 0,
 \end{aligned}$$

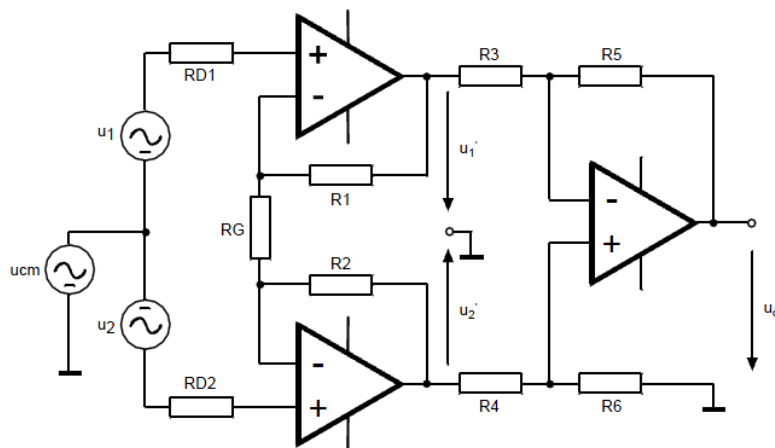
ktoré nám po úprave dajú vzťah pre výstupné napätie:

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



*Diferenčný zosilňovač s OZ*

S využitím týchto znalostí a metódy superpozície môžeme popísať prístrojový zosilňovač znázornený pomocou nasledujúcich rovníc:



*Prístrojový zosilňovač*

$$u_1' = u_1 \left( 1 + \frac{R_1}{R_G} \right) + u_2 \left( -\frac{R_1}{R_G} \right) + u_{cm}$$

$$u_2' = u_2 \left( 1 + \frac{R_2}{R_G} \right) + u_1 \left( -\frac{R_2}{R_G} \right) + u_{cm}$$

$$u_0 = \left( 1 + \frac{R_5}{R_3} \right) \left( \frac{R_6}{R_6 + R_4} \right) u_2' - \frac{R_5}{R_3} u_1'$$

Výsledné  $u_0$  potom upravíme podľa podmienky že  $\frac{R_5}{R_3} = \frac{R_6}{R_4} = 1$ , potom:

$$u_0 = u_2' - u_1'$$

Po dosadení za  $u_1'$  a  $u_2'$  a upravení rovnice dostaneme:

$$u_0 = (u_2 - u_1) \left( \frac{R_1 + R_2 + R_G}{R_G} \right),$$

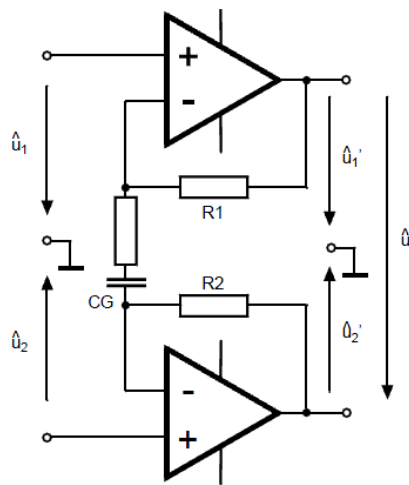
a za podmienky že  $R_1 = R_2$ :

$$u_0 = (u_2 - u_1) \left( \frac{2R_1 + R_G}{R_G} \right) \Rightarrow A = \frac{u_0}{u_2 - u_1} = \frac{2R_1}{R_G} + 1 \Rightarrow A_{dB} = 20 \log \left( \frac{2R_1}{R_G} + 1 \right)$$

a ak  $R_1 = R_2$ ,  $R_3 = R_4$  a  $R_5 = R_6$  dostaneme

$$A = \frac{u_0}{u_2 - u_1} = \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_G} \right) \frac{R_5}{R_3} \quad A_{dB} = 20 \log \left( \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_G} \right) \frac{R_5}{R_3} \right)$$

Kondenzátor  $C_G$  v zapojení na nasledujúcom obrázku spôsobí, že prenos obvodu podľa danej schémy nebude konštantný, ale frekvenčne závislý. Sériové zapojenie  $R_G$  a  $C_G$  predstavuje  $Z_1$ .



Vstupný zosilňovač

S využitím metódy superpozície dostávame (v operátorovom vyjadrení, pretože uvažujeme reaktanciu v obvode):

$$\hat{u}_1' = \hat{u}_1 \left( 1 + \frac{R_1}{Z_1} \right) - \hat{u}_2 \frac{R_1}{Z_1}$$

$$\hat{u}_2' = \hat{u}_2 \left( 1 + \frac{R_1}{Z_1} \right) - \hat{u}_1 \frac{R_1}{Z_1}$$

$$\hat{u}' = \left( \hat{u}_1 - \hat{u}_2 \right) \left( 1 + \frac{2R_1}{Z_1} \right)$$

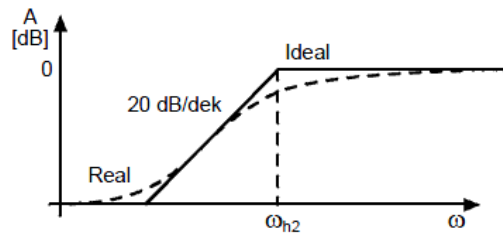


a po dosadení za  $Z_1$  dostaneme:

$$\hat{u}' = \left( \hat{u}_1 - \hat{u}_2 \right) \left( 1 + \frac{pC_G(2R_1 + R_G)}{1 + pC_G R_G} \right)$$

po zohľadnení, že  $C_G R_G \ll 2C_G R_1$  pre hraničnú frekvenciu môžeme písať:

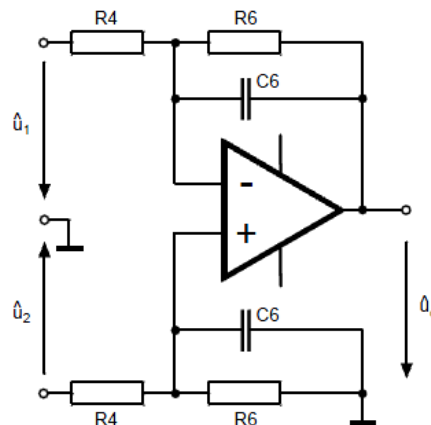
$$f_{h2} \doteq \frac{1}{2\pi R_G C_G} \text{ a pre } R_G = 68k\Omega, C_G = 10\mu F \text{ sa } f_{h2} = 0,234Hz.$$



*Prenosová charakteristika vstupného zosilňovača*

Obdobne pre zapojenie diferenčného zosilňovača rovnakým postupom dostávame:

$$A = \frac{R_6}{R_4(1 + pR_6 C_6)}$$

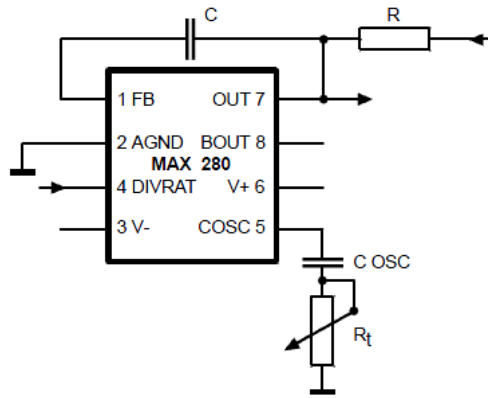


*Diferenčný zosilňovač*

,kde  $Z_2$  predstavuje paralelné zapojenie  $R_6$ ,  $C_6$  a pre hraničnú frekvenciu môžeme písať:

$$f_{h3} \doteq \frac{1}{2\pi R_6 C_6} \text{ a pre } R_6 = 1,2M\Omega, C_6 = 10nF \text{ sa } f_{h3} = 13,3Hz.$$

Filter so spínanými kapacitami 5.teho rádu MAX 280 na obr. predstavuje DP filter. Využíva externé  $R$  a  $C$ . (Filter je sám o sebe 4.tého rádu, ale spolu so vstupným filtrom tvoria filter 5.teho rádu.) Medzná frekvencia  $f_C$  je riadená vnútornými hodinami  $f_{CLK}$ , alebo vonkajšími hodinami, pričom platí:  $f_{CLK} : f_C = 100 : 1$  ( $f_{CLK} = 140kHz$ )



Filter so spínanými kapacitami 5.teho rádu

Frekvenciu  $f_{CLK}$  môžeme ovplyvniť podľa vzťahu:

$$f_{osc} = 140kHz \left( \frac{33pF}{33pF + C_{osc}} \right) = 140kHz \left( \frac{33pF}{33pF + 680pF} \right) = 6480Hz$$

alebo externým odporom  $R_t$ :

$$f'_{osc} = \left( \frac{f_{osc}}{1 - 4R_t C_{osc} f_{osc}} \right) = 140kHz \left( \frac{6480}{1 - 4 \cdot 5,7k\Omega \cdot 680pF \cdot 6480} \right) = 7203Hz$$

$f_{CLK}$  je možné meniť zmenou deliaceho pomeru pripojením nasledujúcich napätí na deliaci vstup (*DIVRAT*–*Division Ratio*):

$$\begin{aligned} +V &\rightarrow f_{CLK} : f_{osc} = 1 \\ -V &\rightarrow f_{CLK} : f_{osc} = 1/4 \\ GND &\rightarrow f_{CLK} : f_{osc} = 1/2 \end{aligned}$$

V našom prípade je vstup *DIVRAT* pripojený na  $-V$ , teda platí vzťah  $f_{CLK} : f_{osc} = 1/4$  a teda  $f_{CLK} = 1800Hz$ . Z toho nám pre pomer 100 : 1 výjde:

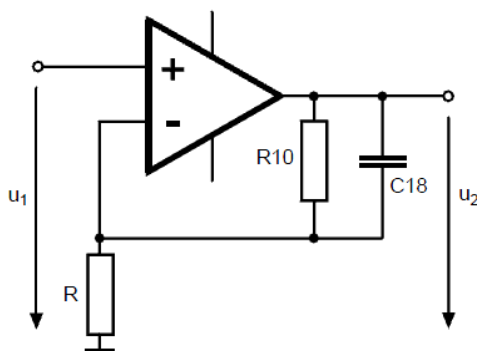
$$f_c = 18Hz$$

Pre vstupný DP filter tvorený  $R$  a  $C$  bude hraničná frekvencia podľa Thomsonovho vzťahu pre rezonančnú frekvenciu:

$$f_m = 28,4Hz \quad (R=560\Omega, C=10\mu F)$$

Pre koncový zosilňovač s využitím základných poznatkov o neinvertujúcom zapojení OZ dostávame ( $Z_1$  predstavuje paralelné zapojenie  $R_{10}$  a  $C_{18}$ ):

$$\hat{u}_2 = \hat{u}_1 \left( 1 + \frac{Z_1}{R_{11}} \right) \qquad \hat{u}_2 = \hat{u}_1 \left( 1 + \frac{R_{10}}{R_{11}(1 + pC_{18}R_{10})} \right)$$



*Koncový zosilňovač*

Z Bodeho asymptotickej aproximácie vyplýva vzťah pre hraničnú frekvenciu:

$$f_{h5} \doteq \frac{1}{2\pi R_{10} C_{18}} \text{ a pre } R_{10}=820k\Omega, C_{18}=4,7nF \text{ sa } f_{h5}=41,3Hz.$$

**2. úloha - Zistíte meraním zisky a hraničné frekvencie prístrojového zosilňovača v určených bodoch a porovnájte ich s odvodenými hodnotami**

1. Prípravok na meranie EEG signálov sme si pripojili na zdroj na ktorom sme si nastavili vstupné napätie 7V.

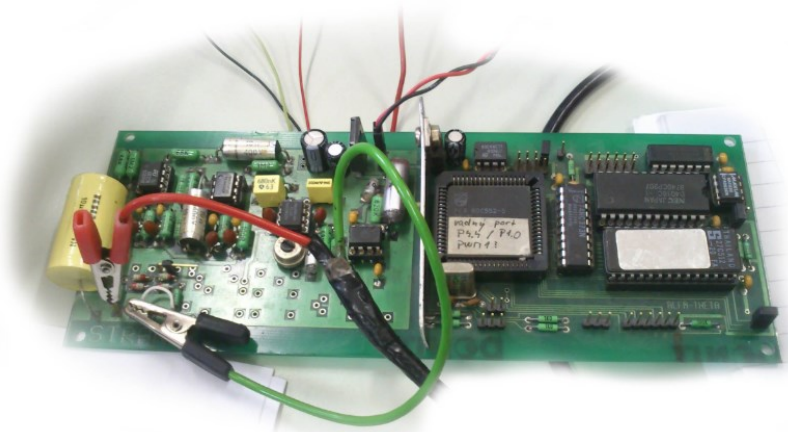
2. Pomocou frekvenčného generátora sme menili frekvenciu a pomocou osciloskopu sme sledovali priebehy výstupného signálu následne sme odčítavali hodnoty napätia z obrazovky.

3. Frekvenciu sme nastavovali s ľubovoľným krokom od 2Hz-100Hz.

4. Priebeh napätia pri zmene frekvencií sme pomocou sondy osciloskopu merali na 3 výstupoch oddelených farbou zelenou, červenou a čiernou.

5. Namerané hodnoty napätia a vypočítané hodnoty zisku sme zaznamenávali do tabuľky, následne sme s vypočítaných hodnôt zostrojili grafy.

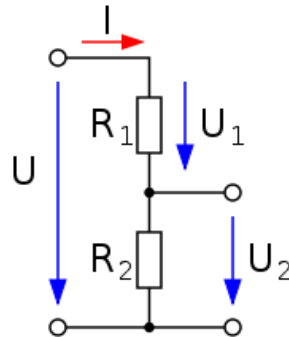
Zariadenie ktoré nám slúžilo na meranie EEG signálov:



**Obr. 1 Merací prvok**

Napät'ový delič ktorý sme vyžívali počas merania:

**Hodnoty rezistorov:**  $R_1=4M7 \Omega$   
 $R_2=330 \Omega$



Obr. 2 Schéma zapojenia napät'ového deliča



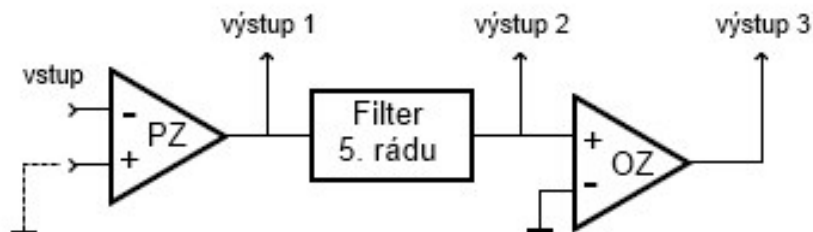
Obr. 3 Znáozornenie napät'ového deliča

Pomer napät'ového deliča a vstupné napätie sme vypočítali podľa vzťahu:

$$U = \frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{330\Omega}{330\Omega + 2,7 \cdot 10^6\Omega} = 1,22 \cdot 10^{-4} V$$

Dostali sme pomer: 0,12 :1000, po úprave sme sa dopracovali k deliacemu pomeru 1:8333

Napätie zo zdroja ktoré nadobúdalo hodnotu 7V sa nám pomocou napät'ového deliča a pomeru 1:8333 zmenilo na hodnotu 0,84mV.



Obr. 6 Funkčná schéma EEG zosilňovača

Výpočet ziskov pre jednotlivé merané body zosilňovača:

$$A_1 = 20 \log \frac{\text{Výstupný signál 1}}{\text{Vstupný signál}},$$

$$A_{1+2} = 20 \log \frac{\text{Výstupný signál 2}}{\text{Vstupný signál}},$$

$$A_{1+2+3} = 20 \log \frac{\text{Výstupný signál 3}}{\text{Vstupný signál}}$$

Vzorový výpočet pre 7. riadok tabuľky 1:

$$A_1 = 20 \log \frac{0,08}{1,334 \cdot 10^{-4}} = 53,065 \text{ dB},$$

$$A_{1+2} = 20 \log \frac{0,0605}{1,334 \cdot 10^{-4}} = 55,492 \text{ dB},$$

$$A_{1+2+3} = 20 \log \frac{0,8}{1,334 \cdot 10^{-4}} = 75,492 \text{ dB}$$

Tabuľka 1. Hodnoty namerané a vypočítané z troch výstupov EEG zosilňovača

f[Hz]	Vstupný signál [V]	Výstupný signál 1 [V]	Výstupný signál 2 [V]	Výstupný signál 3 [V]	A1 [dB]	A1+2 [dB]	A1+2+3 [dB]
2							
3							
4,4							
5,8							
7							
8,4							
10							
11,3							
13,1							
14,2							
15,8							
17,2							
18,7							
26,5							
32,7							
38,5							
42,2							
51,8							
73,6							
93,8							

Hraničnú frekvenciu jednotlivých výstupov sme hľadali pre bod, v ktorom poklesne amplitúda signálu o 3dB.

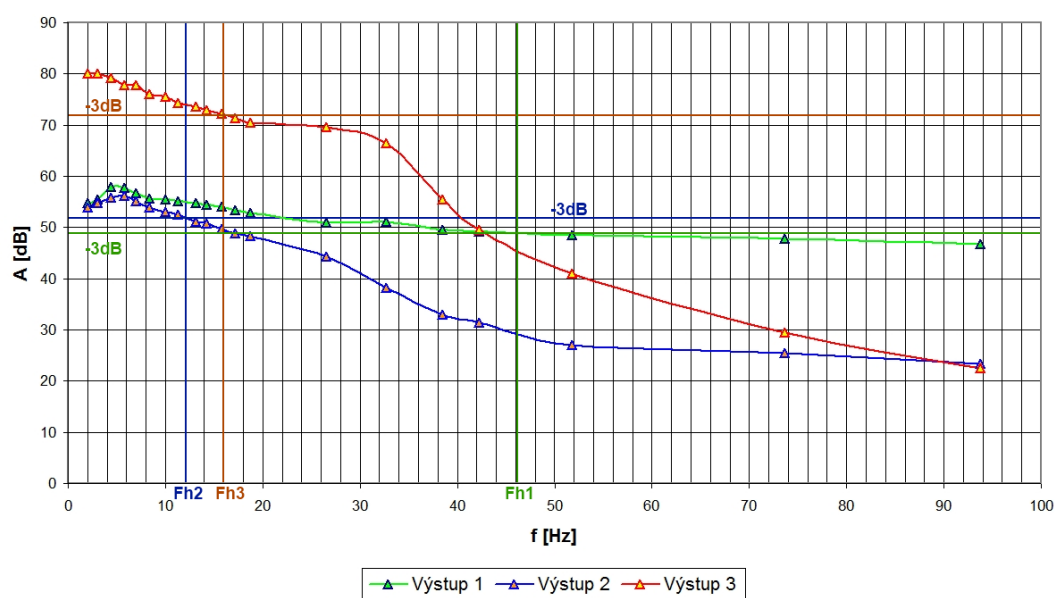
Tabuľka 2. Hraničné frekvencie EEG zosilňovača

Výstup	Amplitúda [dB]	$f_H$ [Hz]	$f_H$ teoretické [Hz]
1			
2			
3			

### 3. úloha - Odmerajte frekvenčnú charakteristiku prístrojového zosilňovača v určených bodoch

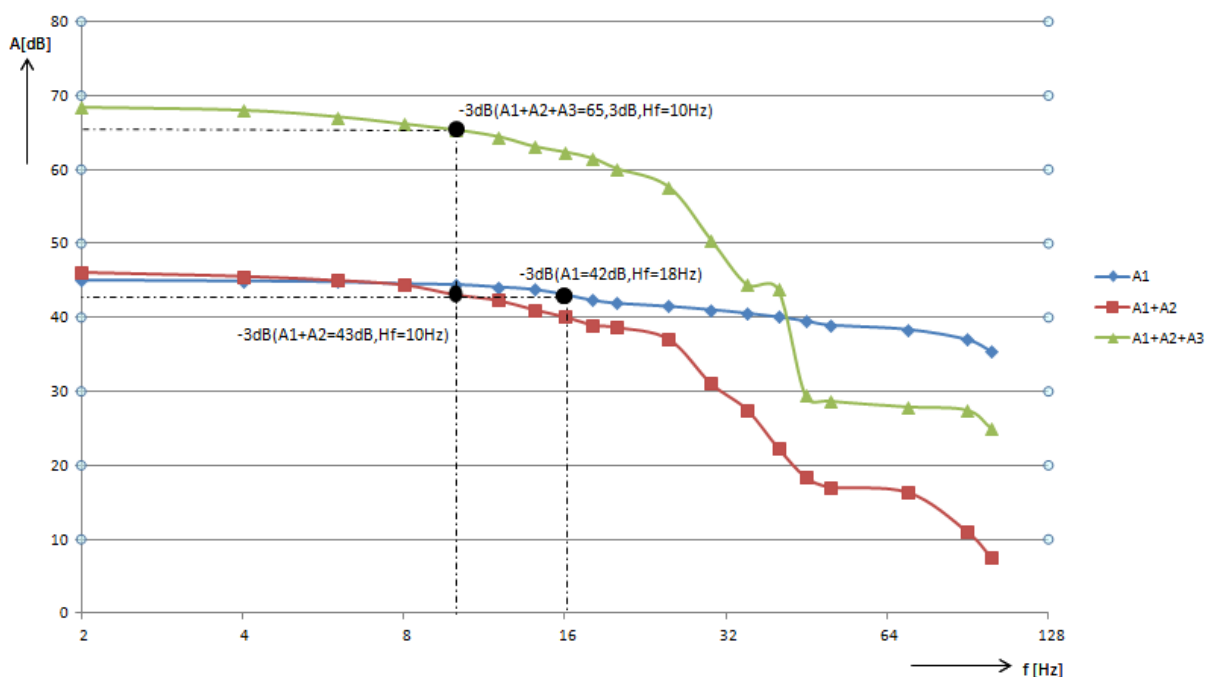
Na vstup meraného prípravku sme priviedli sínusový signál o veľkosti 1,1V špička-špička a zároveň sme tento signál pripojili aj na jeden vstupný kanál osciloskopu. Na prípravku sme potom po jednom merali jeho tri rôzne výstupy ako to je vidieť na obr. 5. Meraný výstup sme pripojili na druhý kanál osciloskopu a pre postupne rastúce frekvencie vstupného signálu od 2 do 100 Hz sme sledovali a zapisovali intenzity výstupného signálu z obrazovky osciloskopu.

Namerané hodnoty zobrazené v tabuľke 1 sme vykreslili v prvom z nasledujúcich grafov a v druhom sme pridali zobrazené hraničné frekvencie jednotlivých výstupov.



Obr. 6 AFCH EEG zosilňovača pre jeho 3 výstupné body

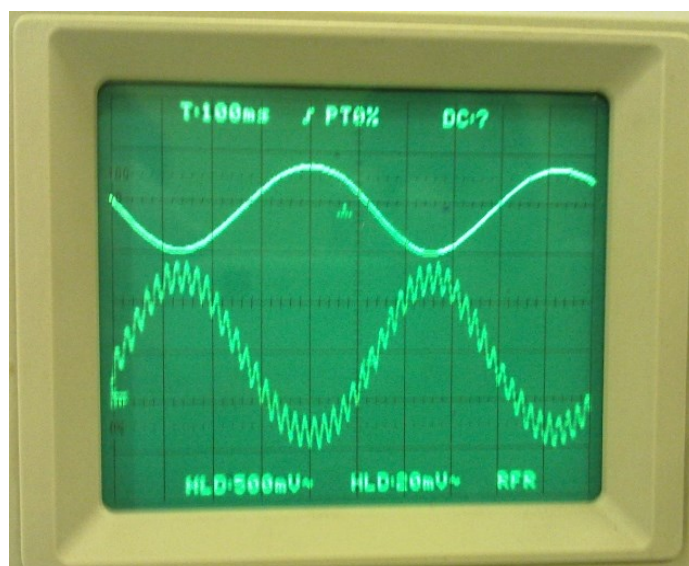
### Frekvenčná charakteristika prístrojového zosilňovača



Obr. 7 AFCH EEG zosilňovača pre jeho 3 výstupné body s vyznačenými poklesmi

#### 4. úloha – určenie veľkosti rušenia na výstupe PZ

Na prvom meranom výstupe z prístrojového zosilňovača sa okrem základného vstupného signálu prejaví aj signál vyššej frekvencie. Takýto prípad je zobrazený na nasledujúcom obrázku



Obr. 9 Výstupný signál z PZ

Obrázok zobrazuje displej osciloskopu s nastavenou časovou základňou 100ms/dielik. Plný rozsah displeja, 10 dielikov, teda zobrazuje 1 celú sekundu, na ktorej má signál vyššej

frekvencie presne 50 periód. Je to rušiaci signál s amplitúdou 12mV a frekvenciou 50Hz, pochádzajúci zo siete napájania zosilnený prístrojovým zosilňovačom spolu s užitočným signálom. Tento rušiaci signál je v nasledujúcom bloku filtra 5. rádu eliminovaný.

Samotný užitočný zosilňovaný signál má pri tom amplitúdu 64mV a frekvenciou 1,92Hz.

...