

Student: Lambru Eusebiu-Vasilica

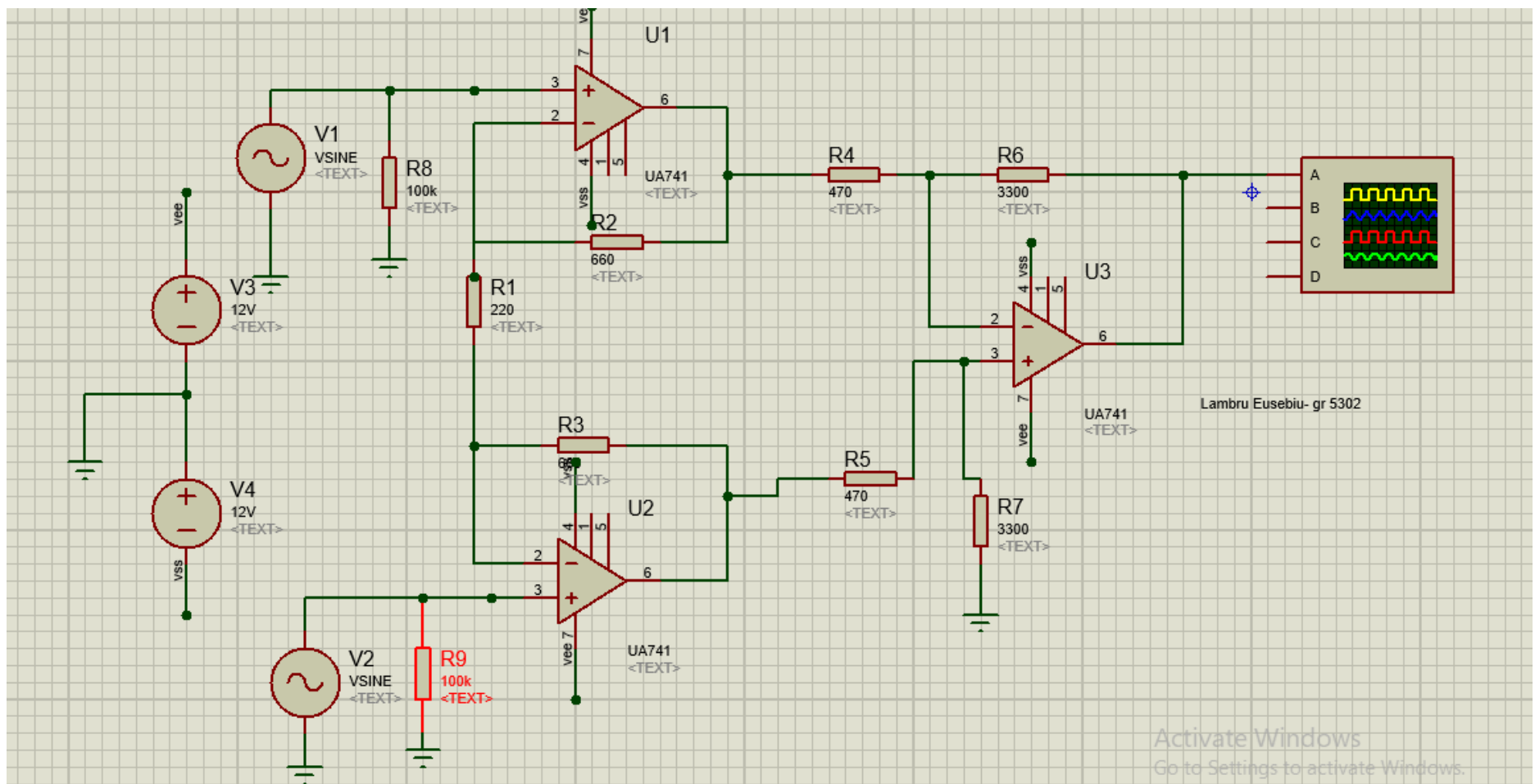
Grupa:5302

Amplificator de instrumentatie

Etape proiect:

1. Realizarea unui amplificator de instrumentatie (AdI) standard, folosind 3 AO tip 741
2. Masurarea amplificatorului realizat: amplificare, tensiune de decalaj la intrare, banda de trecere
3. Proiectarea unui AdI cu banda trecere 0,1 Hz -100 folosind un filtru de ordin 1 trece sus pe etajul de intrare si un filtru trece jos de ordin 1 pe etajul de iesire
4. Calculul unului filtru oprește banda de 50 Hz (se vor discuta avantajele/dezavantajele conectării la intrare sau la ieșire a acestui filtru)
5. Calcul complet de zgomot
6. Calculul tensiunii de decalaj si de fugă cu temperatura, pentru plaja de temperaturi 0..50
7. Calcul estimativ (cu ipoteze realiste) a perturbatiilor vazute la iesirea AdI

Schema amplificator de instrumentatie:



Etapa I :

Componente circuit practic:

Amplificatorul folosit: UA741CP

$R1 = 220\Omega$

$R2=R3=3*R1=660\Omega$

$R4=R5=470\Omega$

$R6=R7=7R4=7R5=7*470=3.3k\Omega$

$R8=R9=100k\Omega$

Tensiunea de iesire in functie de diferenta tensiunii de la intrare: $v_0 = \frac{R_6}{R_4} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) (v_2 - v_1)$

Pentru a avea o amplificare intre 50-60 am considerat rezistentele : $R_6=R_7=7R_4=7R_5$, $R_2=R_3=3R_1$

Pt R_1 am ales 220Ω => $R_2=R_3=3R_1=660\Omega \pm 1\%$

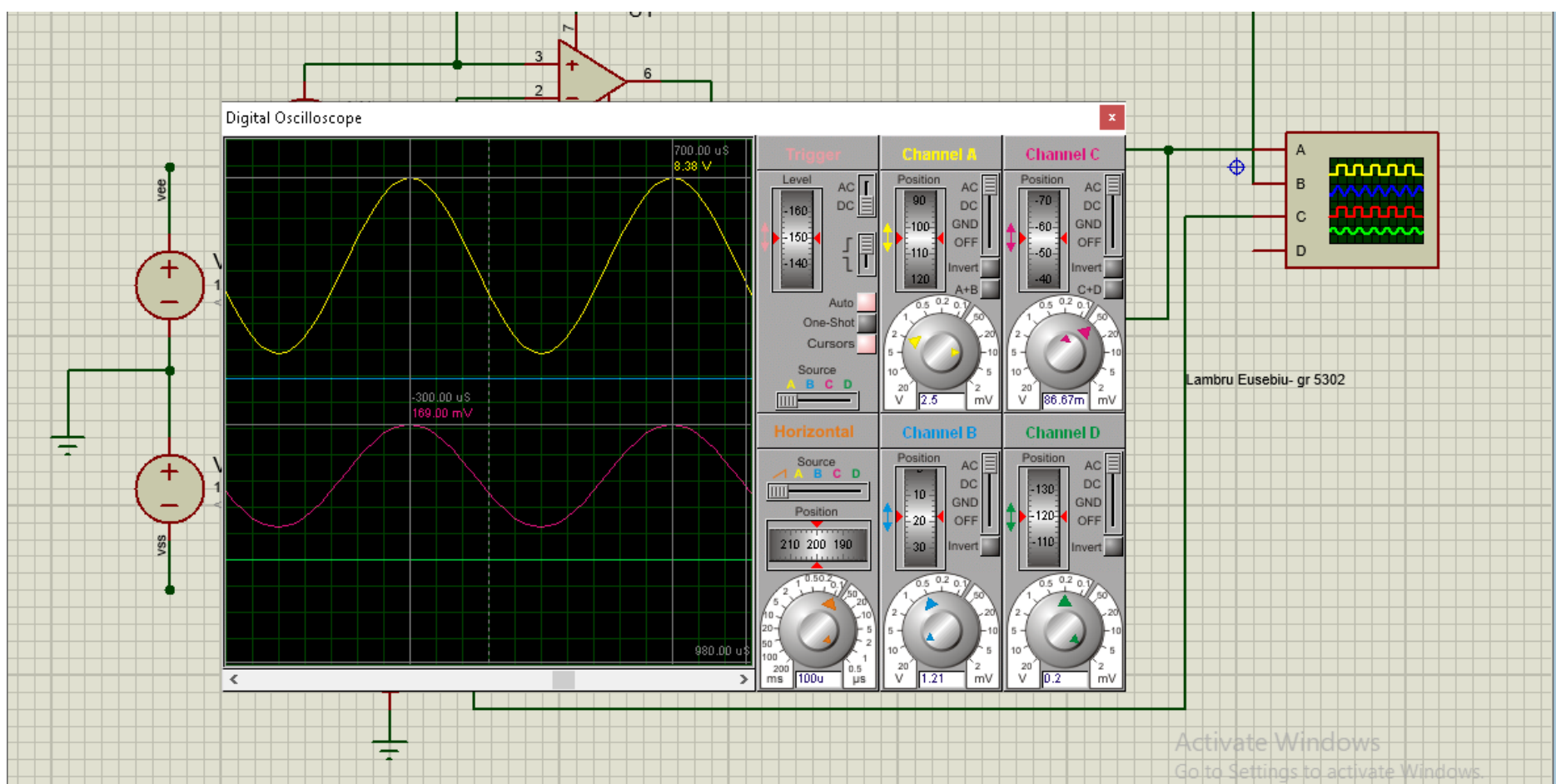
Pt $R_4=R_5 = 470\Omega$ => $R_6=R_7=7R_4=7R_5=3.3k\Omega \pm 1\%$

Pt R_8, R_9 de la intrarile neinversoare , am ales o rezistenta de $100k\Omega$

$$\Rightarrow A = \frac{R_6}{R_4} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) = \frac{3.3k}{470} \left(1 + 2 * \frac{660}{220} \right) = 49.14$$

Presupunem ca $V_{in} = 170mV$ => $v_0 = 49.14 * 0.17 = 8.35[V]$

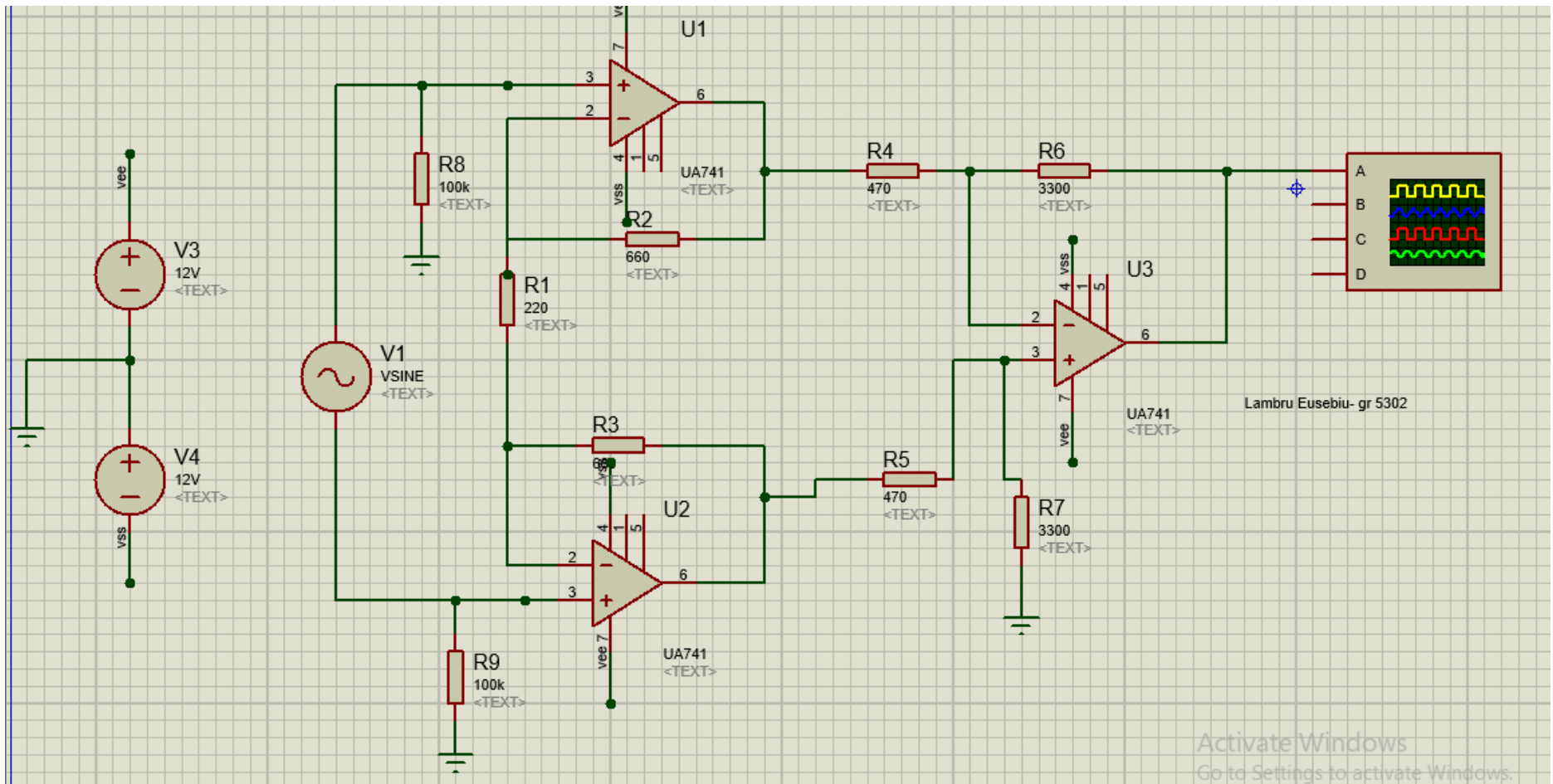
Forma de unda obtinuta pentru frecventa de 200Hz si semnal de intrare de 170mV



Etapa 2:

Pentru alimentarea amplificatorului, am ales o sursa dubla de alimentare de $\pm 10V$, astfel, putem varia tensiunea de la intrare doar in intervalul $[170mV : 200mV]$

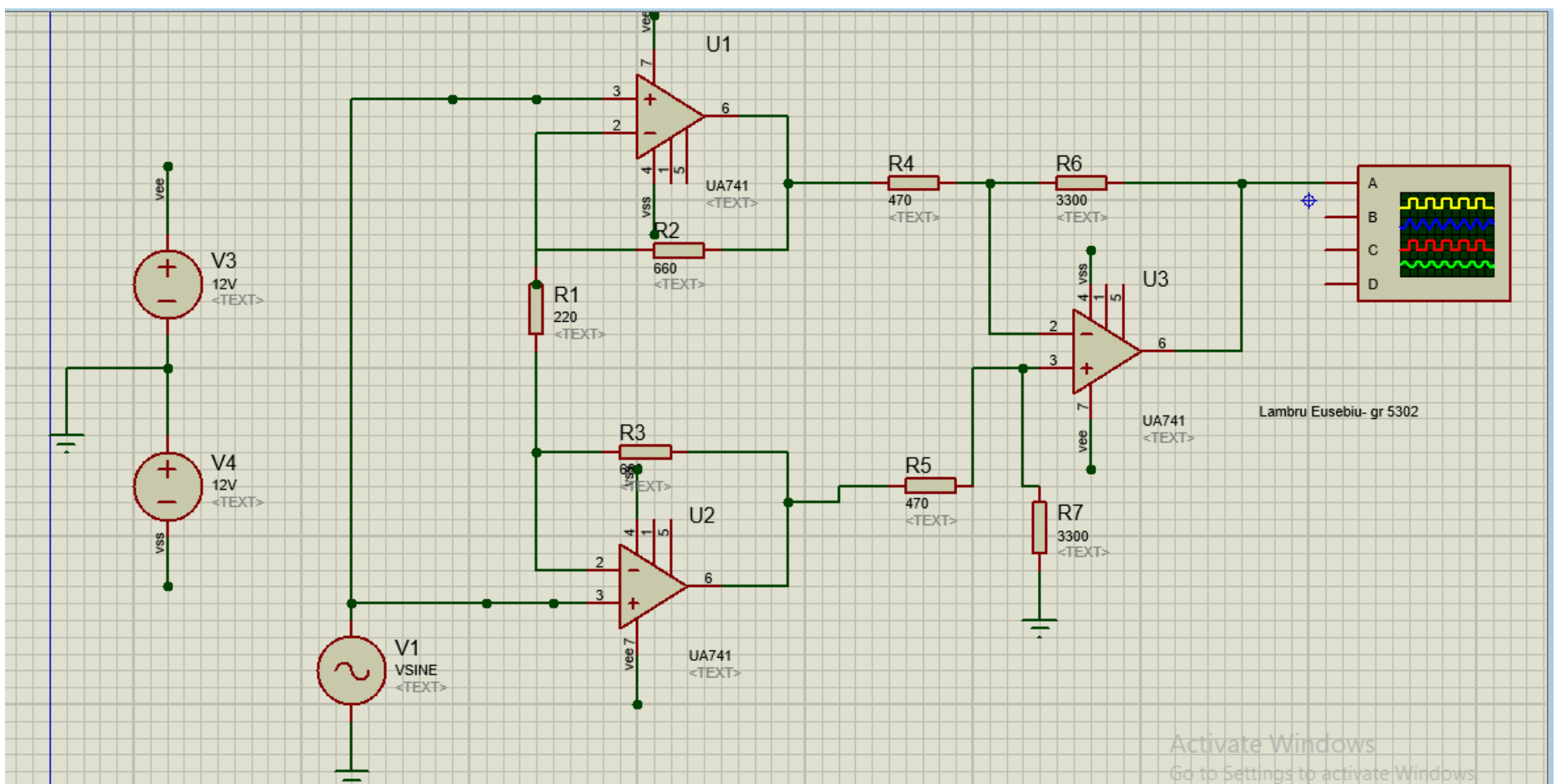
Pentru determinarea amplifiării diferențiale s-a folosit schema de mai jos



Masurari practice:

Pentru sursa de semnal la intrare, am folosit $V_{in}=200\text{mV} \Rightarrow V_{out}= 9.8\text{V} \Rightarrow A_d = 9.8 / 0.2 = 49$

Pentru determinarea amplifiării de mod comun s-a folosit schema următoare:



Masurari practice

$V_{out} = 25\text{mV}$, $V_{in}=200\text{mV} \Rightarrow A_{cm} = v_{out}/v_{in} = 25\text{mV} / 200\text{mV} = 0.125$

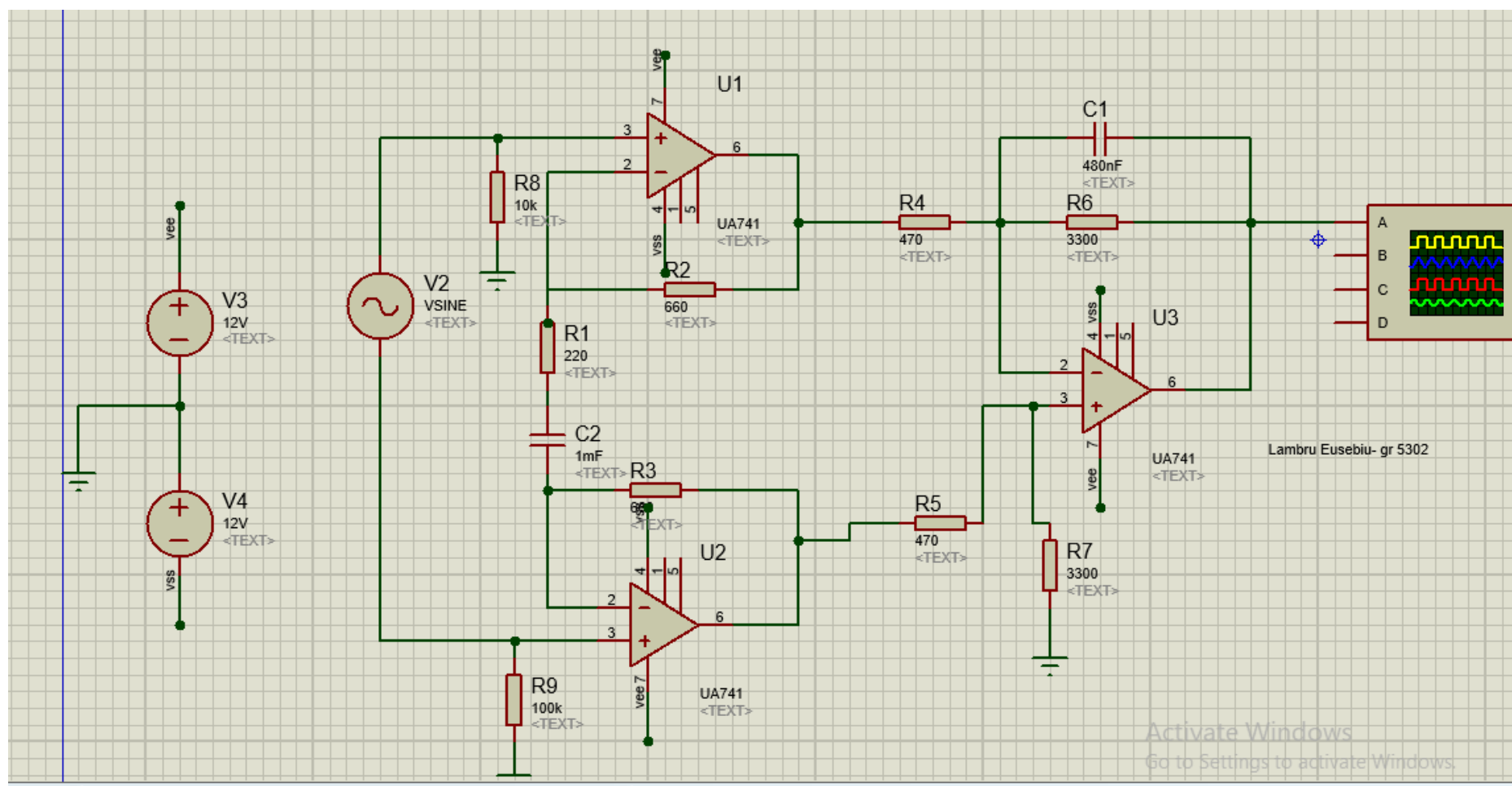
Factorul de rejectie al modului comun: $CMRR = A_d / A_c = 49 / 0.125 = 392$

Valoarea exprimata in dB : $20\log(392) = 51.86$

Etapa 3

Cerinta: Proiectarea unui AdI cu banda trecere 0,1 Hz -100 folosind un filtru de ordin 1 trece sus pe etajul de intrare si un filtru trece jos de ordin 1 pe etajul de iesire

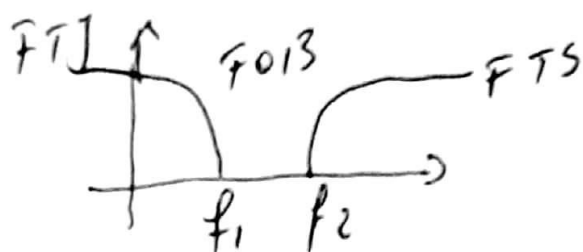
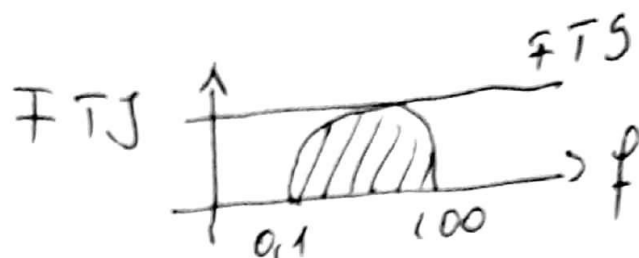
Schema folosita cu implementarea filtrelor FTJ/FTS:



Calculul valori condensatoare pentru FTS respectiv FTJ:

Lombro Eusebio
Grupo 5302

Banda: $[0,1 \text{ } 100] \text{ Hz}$



$$\begin{cases} F_{TS} : \phi = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{2\pi f_{F_{TS}}} \\ \phi = R_1 C_1 \\ f_{F_{TS}} = 0,1 \end{cases}$$

$$R_1 = 220 \, \Omega$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_{F_{TS}} \cdot R_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 220} = 7,23 \text{ mF}$$

$$P_p \text{ 1 mF}$$

$$f_{F_{TS}} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{6,28 \cdot 220 \cdot 10^{-3}} = 0,72 \text{ Hz}$$

Vom alege $C_1 = 1 \text{ mF}$

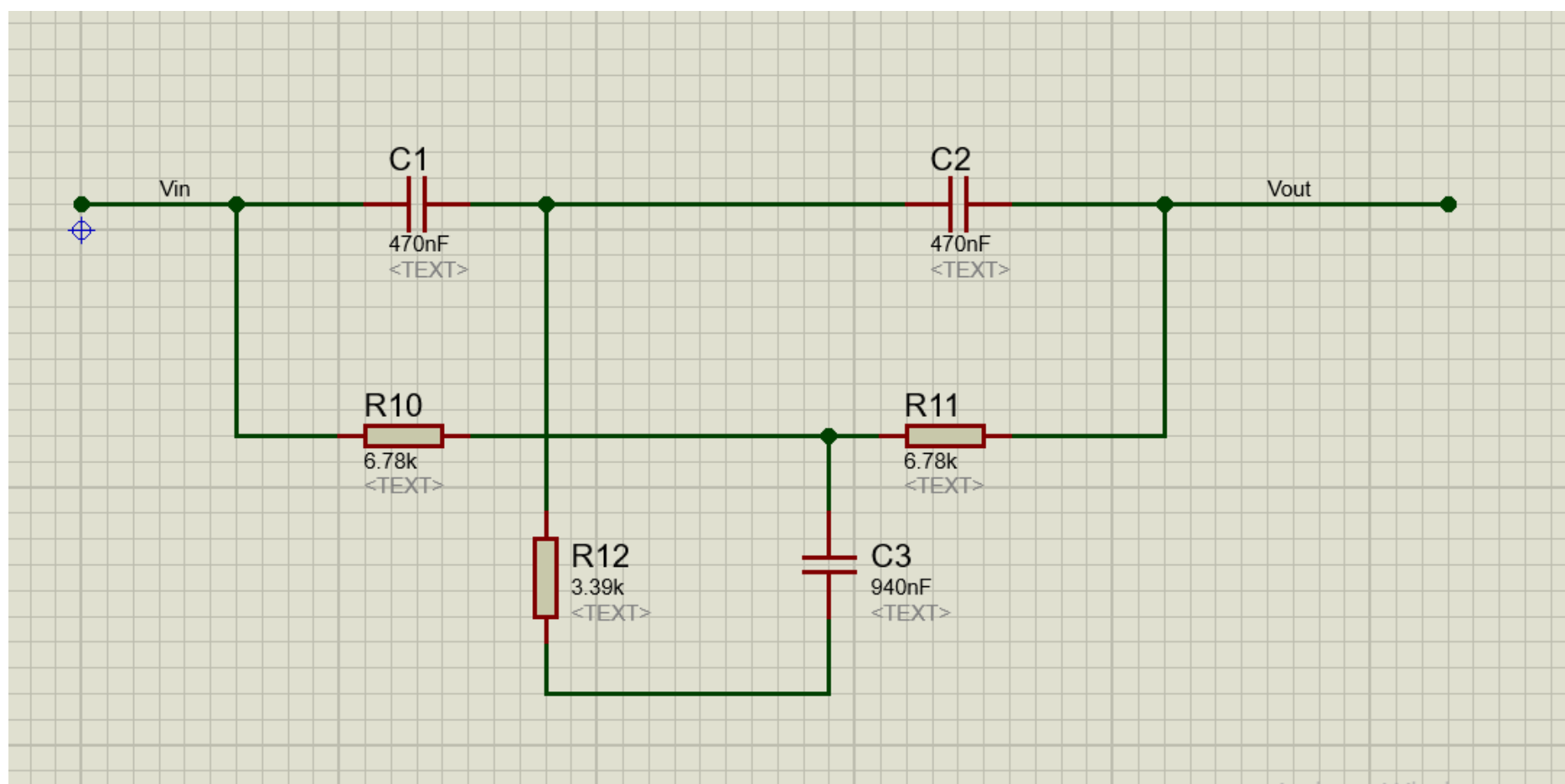
$$F_{TJ} \begin{cases} \phi = \frac{1}{2\pi f_{F_{TJ}}} \\ f_{F_{TJ}} = 100 \text{ Hz} \\ \phi = R_6 C_2 \end{cases}$$

$$R_6 = 3,3 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{1}{2\pi f \cdot R_6} = \frac{1}{6,28 \cdot 10^2 \cdot 3,3 \cdot 10^3} \\ &= 4,8 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{100}{100} \\ &\Rightarrow 480 \text{ mF} \end{aligned}$$

Etapa 4 – Filtrul Notch

Circuitul folosit este un filtru T(Notch) pasiv



$C=470\text{nF}$

$R=6.37\text{k}\Omega$

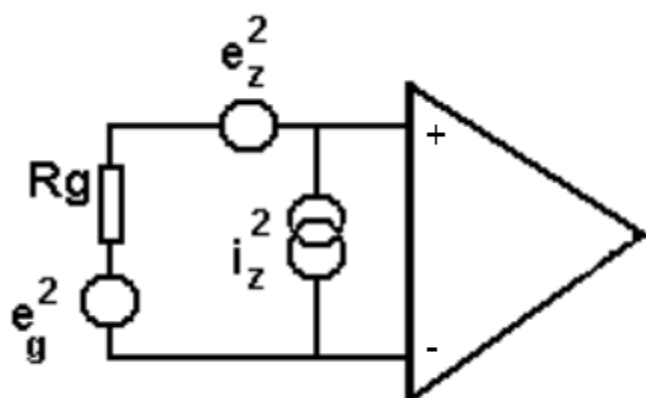
$$F = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{6.28 \cdot 6.78 \cdot 10^3 \cdot 470 \cdot 10^{-9}} = 49.94\text{Hz}$$

Filtrul Notch se aplica la iesirea amplificatorului nostru de instrumentatie deoarece zgomotul are o amplificare mai mica in al doilea etaj al amplificatorului , pe cand daca l-am pune la intrarea amplificatorului , am amplifica zgomotul de 50-60 ori mai mult

Etapa 5

Etapa 5 – Calculul complet de zgomot

Schema unui singur AO pentru calculul de zgomot:



e_z^2 – densitatea spectrală de putere a generatorului echivalent de zgomot la intrare (în tensiune)

i_z^2 -densitatea spectrală de putere a generatorului echivalent de zgomot la intrare în curent,

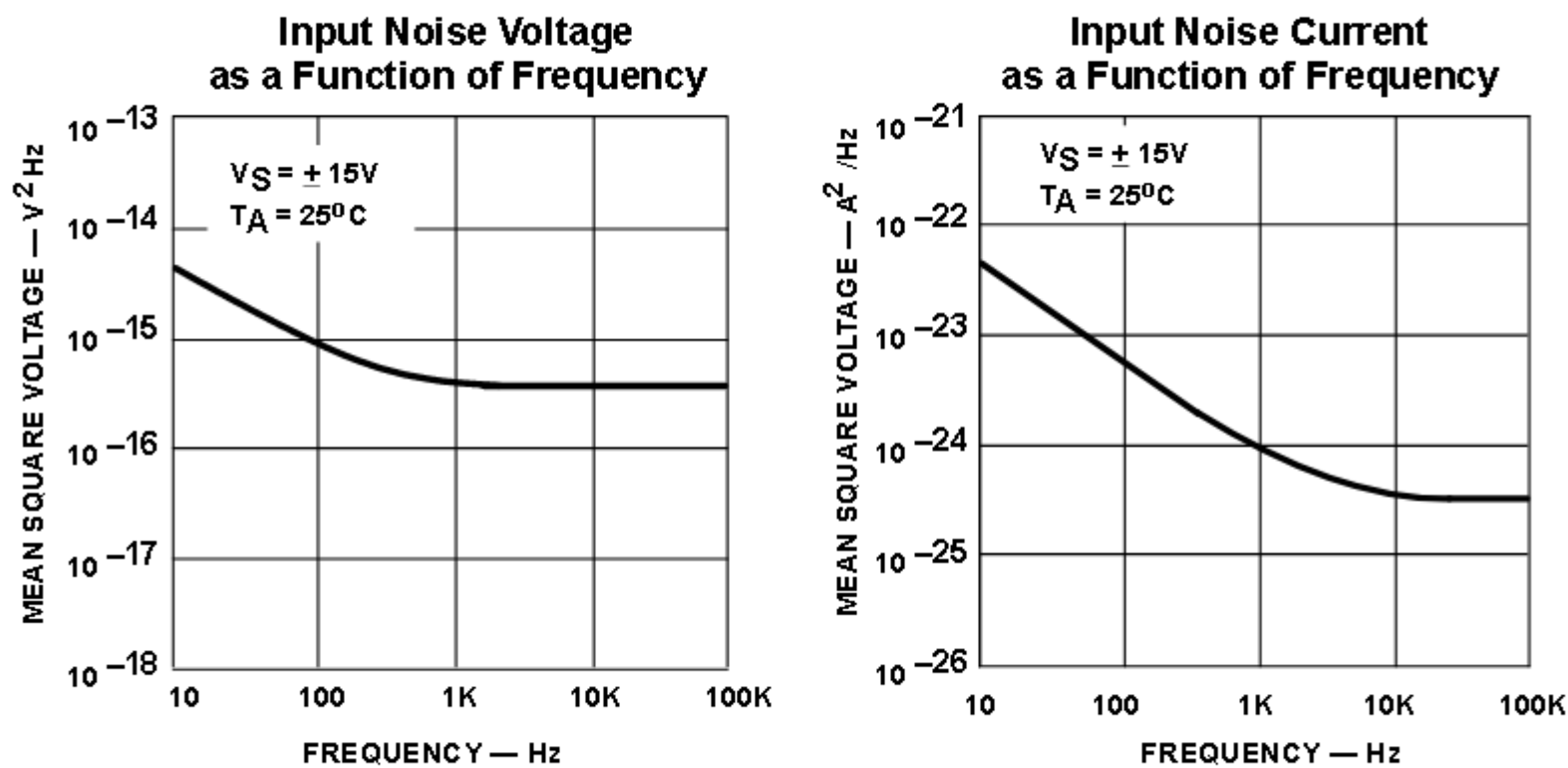
e_g^2 -densitatea spectrală de putere a zgomotului termic specific generatorului,

R_g -rezistența internă a generatorului

Grafice pentru densitățile spectrale de putere

Sursa:

<https://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/pdf/microcircuits/students/amps/ua741philip.pdf>



Valorile extrase din grafic:

a,b-> extrase din primul grafic a densitatii spectrale de putere a genneratorului echivalent de zgomot(in tensiune)

1. $a = 60 * 10^{-14} [V^2/Hz]$
2. $b = 40 * 10^{-15} [V^2/Hz]$
3. $f = 10 [Hz]$

A,B ->extrase din al doilea grafic a densitatii spectrale de putere a generatorului echivalent de zgomot(in curent)

1. $A = 60 * 10^{-22} [A^2/Hz]$
2. $B = 30 * 10^{-25} [A^2/Hz]$
3. $f = 10 [Hz]$

$$e^2(f) = a + \frac{b}{f} [V^2/Hz] \quad (\text{pentru zgomotul de tensiune})$$

$$i^2(f) = A + \frac{B}{f} [A^2/Hz] \quad (\text{pentru zgomotul de current})$$

Inlocuim cu valorile din grafic si obtinem:

1. $e^2(f) = 60 * 10^{-14} + \frac{40 * 10^{-15}}{f} [V^2/Hz]$
2. $i^2(f) = 60 * 10^{-22} + \frac{30 * 10^{-25}}{f} [A^2/Hz]$

Schema completa de zgomot:

Calcul de zgomot pentru $e^2(f)$ si $i^2(f)$

Lombro Eusebio
Grupo 5302

$$\begin{cases} a = 60 \cdot 10^{-14} \text{ V}^2/\text{Hz} \\ b = 40 \cdot 10^{-15} \text{ V}^2/\text{Hz} \end{cases}$$

$$\begin{cases} A = 60 \cdot 10^{-22} \text{ A}^2/\text{Hz} \\ B = 30 \cdot 10^{-25} \text{ A}^2/\text{Hz} \end{cases}$$

$$e^2(f) = a \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right) + b(f_2 - f_1)$$

$$i^2(f) = A \ln\left(\frac{f_2}{f_1}\right) + B(f_2 - f_1)$$

$$\begin{aligned} e^2(f) &= 60 \cdot 10^{-14} \ln\left(\frac{100}{1}\right) + 40 \cdot (100 - 1) \cdot 10^{-15} \\ &\stackrel{\approx 200}{\approx} 240 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 10^3 \cdot 10^{-15} \\ &\approx 2 \cdot 10^{-12} + 4 \cdot 10^{-12} = 6 \cdot 10^{-12} \approx \sqrt{10^{-11}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i^2(f) &= 60 \cdot 10^{-22} \cdot 4 + 30 \cdot 10^{-25} \cdot 100 \\ &= 2 \cdot 10^{-20} + 3 \cdot 10^{-22} \approx 2 \cdot 10^{-20} \\ &\approx \sqrt{10^{-20}} \end{aligned}$$

Cum $e^2(f) = 6 \cdot 10^{-12}$, am aproximat cu 10^{-11} , avand o toleranta de 50%

Din calcule rezulta ca $i^2(f) = 10^{-20}$

Calcul de zgomot total pentru iesire/intrare:

Lombro Eusebio
Grupo 5302

$$R_g = 1k\Omega, e_g = ?$$

$$R_1 = 220\Omega, e_1 = ?$$

$$100k\Omega \rightarrow 40mV/\sqrt{Hz} \xrightarrow{(1)^2} 16 \cdot 10^{-16} \approx 2 \cdot 10^{-15}$$

$$100k\Omega \text{ ---- } e_R^2 = 4kTR(f_2 - f_1) \xrightarrow{\approx 100} = 2 \cdot 10^{-13}$$

$$R_g = 1k\Omega \text{ ---- } e_g^2 = 2 \cdot 10^{-15}$$

$$R_1 = 220\Omega \text{ ---- } e_{R_1}^2 = 2 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{220}{1k\Omega} \approx 4 \cdot 10^{-16}$$

$$U_{total-im}^2 = e_g^2 + 2e^2 + e_1^2 + 2i^2(R_g^2 + R_1^2)$$

$$= 2 \cdot 10^{-15} + 2 \cdot 10^{-11} + 4 \cdot 10^{-16} + 2 \cdot 10^{-20} (10^6 + 22^2)$$

$$= 2 \cdot 10^{-15} + 2 \cdot 10^{-11} + 4 \cdot 10^{-16} + 2 \cdot 10^{-20} (10^6 + 5 \cdot 10^4) \quad R_1 = 22$$

$$= 2 \cdot 10^{-11} + \frac{2 \cdot 10^{-20} \cdot 10^6}{10^{-14}} \Rightarrow U_{total-im} = 2 \cdot 10^{-11}$$

$$U_{total-out}^2 = 10^{-11} \cdot A_1 \cdot A_2 + U_{rt} \cdot A_2$$

$$\Leftrightarrow 10^{-11} \cdot 50 = 5 \cdot 10^{-10} \approx \underline{\underline{10^{-10}}}$$

\rightarrow negligible

$$\text{Din calcule } \Rightarrow U_{total_intrare} = 10^{-11} \Rightarrow U_{total_iesire} = 10^{-11} \cdot 50 = 10^{-10}$$

Etapă 6

Pentru gama de temperaturi 0..50°C , se iau din datasheet urmatoarele valori:

Uoffset=1mV si Ioffset=20nA

Pentru Rg=1kΩ => tensiunea de offset la intrare este: Uoffset + Ioffset*Rg = 1mV + 20*10⁻⁹*10³ = 1mV + 2*10⁻⁵ <=> 1mV (2*10⁻⁵ se simplifica)

Tensiunea de drift tipica data de producator este de aproximativ 10 μV / °C

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

T_A = 25°C, V_S = ±15V, unless otherwise specified.

| SYMBOL | PARAMETER | TEST CONDITIONS | μA741 | | | μA741C | | | UNIT |
|----------------------|---------------------------|---|-------|-----|------|--------|-----|-----|-------|
| | | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| V _{OS} | Offset voltage | R _S =10kΩ R _S =10kΩ, over temp. | | 1.0 | 5.0 | | 2.0 | 6.0 | mV |
| ΔV _{OS} /ΔT | | | | 1.0 | 6.0 | | | 7.5 | mV |
| | | | | 10 | | | 10 | | μV/°C |
| I _{OS} | Offset current | Over temp. T _A =+125°C T _A =-55°C | | 20 | 200 | | 20 | 200 | nA |
| | | | | | | | | 300 | nA |
| ΔI _{OS} /ΔT | | | | 7.0 | 200 | | | | nA |
| | Input bias current | Over temp. T _A =+125°C T _A =-55°C | | 20 | 500 | | | | nA |
| I _{BIAS} | | | | 30 | 500 | | 80 | 500 | nA |
| ΔI _B /ΔT | | | | 300 | 1500 | | | 800 | nA |
| | Output voltage swing | R _L =10kΩ R _L =2kΩ, over temp. | | 1 | | | 1 | | nA/°C |
| V _{OUT} | | | ±12 | ±14 | | ±12 | ±14 | | V |
| | | | ±10 | ±13 | | ±10 | ±13 | | V |
| A _{VOI} | Large-signal voltage gain | R _L =2kΩ, V _O =±10V | 50 | 200 | | 20 | 200 | | V/mV |
| | | R _L =2kΩ, V _O =+10V | | | | | | | |