



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

PROIECT TEHNICI CAD

Senzor Pentru Măsurarea Nivelului De Lichid

Șmuliac Evelin Larisa

Grupa 2124, Seria A

Cuprins

1. Cerința proiectului	3
1.1. Specificații de proiectare	3
2. Aspecte teoretice și dimensionare	3
2.1. Schemă bloc	3
2.2. Divizor de tensiune	4
2.3. Circuit pentru extinderea domeniului.....	6
2.3.1. Amplificator de instrumentație.....	6
2.3.2. Amplificator sumator	8
2.4. Afișaj.....	9
2.4.1. Calcul praguri	9
2.4.2. Calcul rezistențe pentru divizoare de tensiune	10
2.4.3. Modelarea LED-urilor.....	11
3. Circuit final	16
4. Bibliografie	18

1. Cerința proiectului

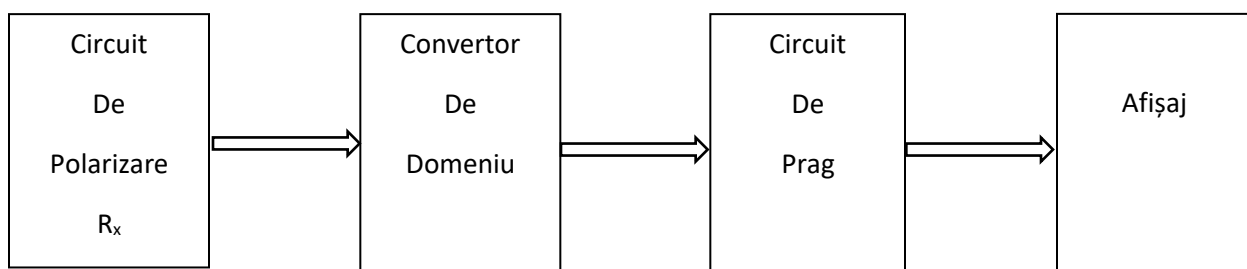
Să se proiecteze un circuit electronic pentru măsurarea nivelului de lichid dintr-un recipient în domeniul specificat. Circuitul este prevăzut cu 4 sau mai multe indicatoare luminoase (LED) care semnalizează depășirea pragurilor. De asemenea, circuitul este alimentat la tensiunea $\pm VCC$. LED-urile trebuie să fie de culori diferite pentru fiecare domeniu specificat. Rezistența electrică a traductorului de nivel variază neliniar cu valoarea nivelului de lichid măsurat – se va proiecta un circuit de liniarizare pentru aceasta. Suplimentar, circuitul trebuie prevăzut cu extinderea domeniului de măsură, luând în calcul valoarea maximă a VCC . Modul de aprindere a LED-urilor este specificat în coloană Mod semnalizare și poate fi de tip coloană (fiecare LED este aprins și rămâne aprins cu depășirea domeniului) sau individual (fiecare LED se aprinde doar în domeniul pe care îl semnalizează).

1.1. Specificații de proiectare

Nivel maxim de măsură [cm]	Domeniul de variație al rezistenței senzorului (R_{senzor})	VCC	Semnalizări [%]	Mod semnalizare
470	20k - 30k	16	0-30%, 30-60%, 60-75%, 75-100%	Individual

2. Aspecte teoretice și dimensionare

2.1. Schemă bloc



2.2. Divizor de tensiune

Divizorul de tensiune este folosit pentru a asigura nivele de tensiune diferite de la o sursă de alimentare comună. Combinația de rezistențe din acest caz ne oferă posibilitatea de a folosi Regula Divizorului de Tensiune pentru a calcula tensiunea de la ieșirea **out** cu formula:

$$V_0 = \frac{R_x}{R_x + R_1} \cdot V_{CC} \quad (1)$$

Observație: Am notat $V_{CC} = V_1$.

Rezistența R_1 , aleasă de $100k\Omega$ (seria E24, cu toleranță de 5%), stabilește domeniul la care va aparține tensiunea de pe senzor, V_o .

Pe lângă cele două rezistențe din divizor, am mai conectat încă una, R_3 , în paralel cu R_x , având rolul de a liniariza caracteristica tensiunii de ieșire. Valoarea rezistenței R_3 se alege în așa fel încât să obținem o caracteristică de ieșire cât mai liniară.

Rezistența echivalentă: $R_s = R_x || R_3$

Tensiunea minimă pe care o putem obține la ieșirea divizorului se calculează luând $R_x = 20k$:

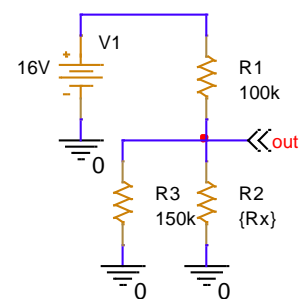
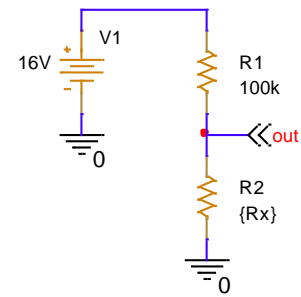
$$R_{s_min} = \frac{R_x \cdot R_3}{R_x + R_3} = \frac{20k \cdot 150k}{20k + 150k} = \frac{3000k^2}{170k} = 17,64k$$

$$V_{o_min} = \frac{R_s}{R_s + R_1} V_1 = \frac{17,64k}{17,64k + 100k} \cdot 16V = \frac{282,24}{117,64} = 2,4V$$

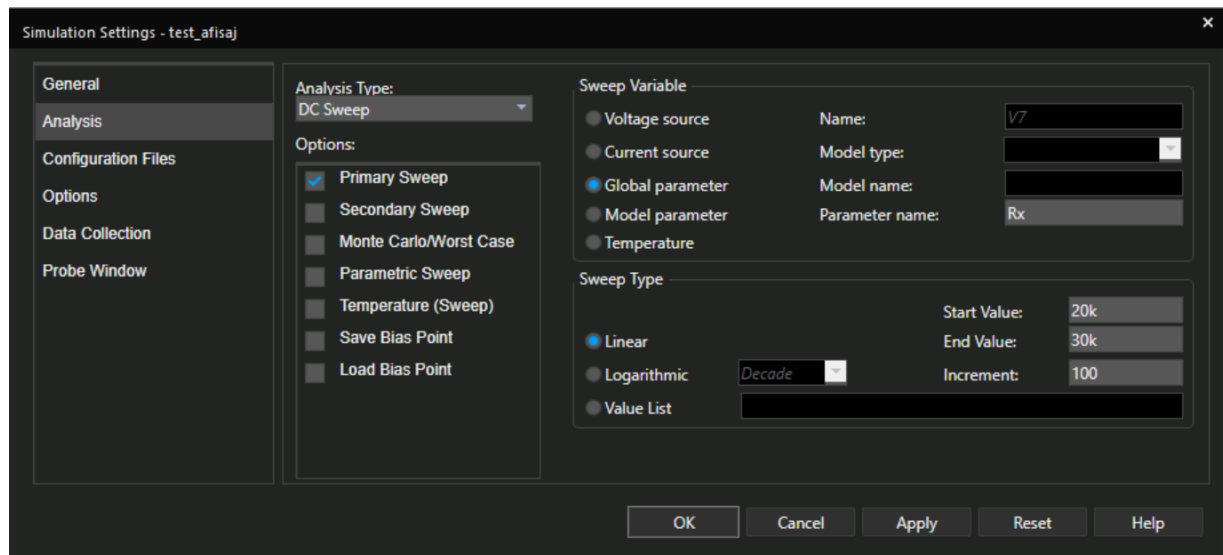
Analog, tensiunea maximă se obține luând $R_x = 30k$:

$$R_{s_max} = \frac{R_x \cdot R_3}{R_x + R_3} = \frac{30k \cdot 150k}{30k + 150k} = \frac{4500k^2}{180k} = 25k$$

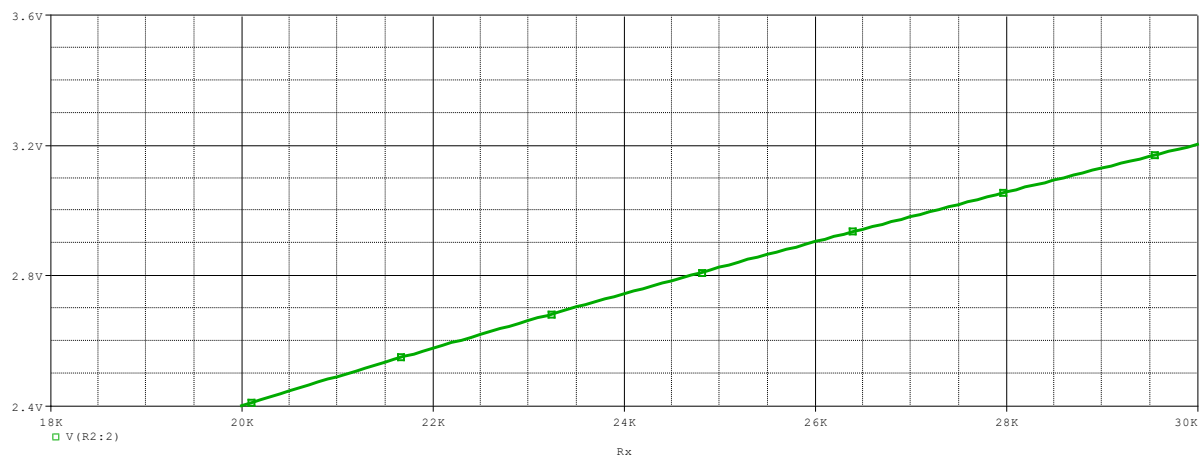
$$V_{o_max} = \frac{R_s}{R_s + R_1} \cdot V_1 = \frac{25k}{25k + 100k} \cdot 16V = \frac{400}{125} = 3,2V$$



Putem observa cele două rezultate obținute pentru V_o conectând un marker de tensiune la ieșirea circuitului și baleind valoarea lui R_x între $20\text{k}\Omega$ și $30\text{k}\Omega$, cu increment de 100.



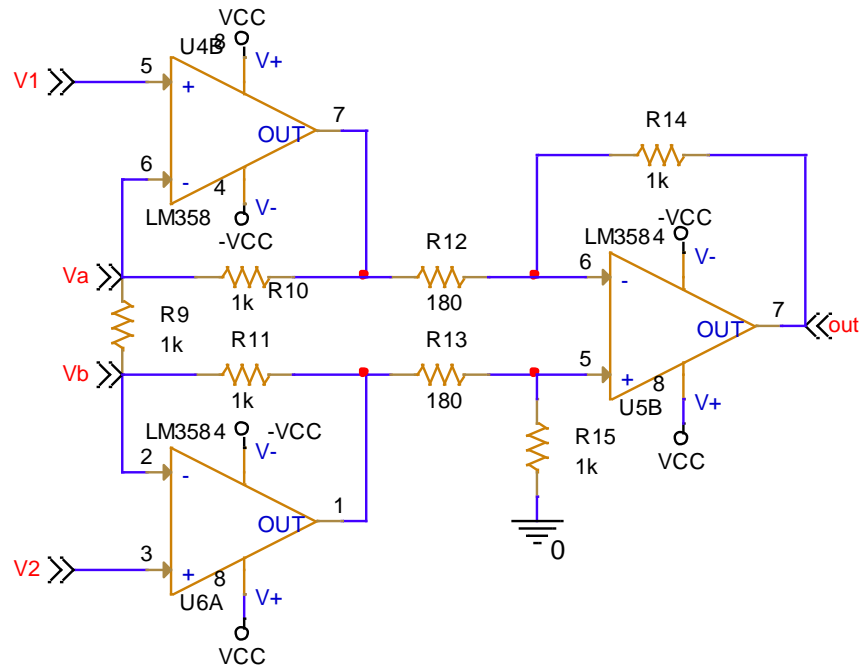
Rezultatul simulării:



2.3. Circuit pentru extinderea domeniului

Având în vedere că la ieșirea divizorului de tensiune obțin o tensiune între 2,4V și 3,2V, este necesar să proiectez un circuit de extindere al domeniului. Acesta va fi format dintr-un amplificator de instrumentație și un sumator, între care voi lega un buffer, pentru a face adaptare de impedanță.

2.3.1. Amplificator de instrumentație



Toate amplificatoarele pe care le-am folosit în cadrul acestui proiect sunt *LM358*, deoarece este potrivit pentru tensiunea aplicată la intrarea circuitelor.

Cele două amplificatoare neinversoare de la intrare formează un etaj de intrare diferențială care face adaptare de impedanță și amplifică tensiunile V_1 și V_2 cu un câștig de $1 + \frac{2 \cdot R_{10}}{R_9}$ (2)

De asemenea, fiind amplificatoare cu reacție negativă în buclă închisă, tensiunea V_a va fi egală cu V_1 , iar tensiunea V_b va fi egală cu V_2 . Deci, tensiunea de la capătul superior al lui R_9 va fi egală cu V_1 , iar tensiunea de la capătul inferior va fi egală cu V_2 .

Cel de-al treilea amplificator acționează ca un scăzător, calculând diferența dintre V_1 și V_2 , pe care mai apoi o amplifică.

Ecuția amplificatorului de instrumentație:

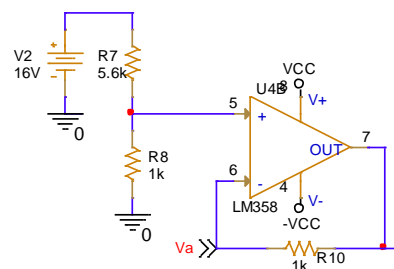
$$V_o = (V_2 - V_1) \cdot \left(1 + \frac{2R_{10}}{R_9}\right) \cdot \frac{R_{14}}{R_{12}} \quad (3)$$

Pentru dimensionarea rezistențelor din cadrul amplificatorului am pornit de la faptul că tensiunea V_2 , pe care am legat-o la ieșirea divizorului de tensiune, este egală cu $2,4V$. Așadar, la intrarea amplificatorului de sus am conectat un divizor de tensiune care să preia de la sursa V_{CC} tot $2,4V$, pentru a aduce pragul inferior al domeniului de tensiune la $0V$.

Am ales $R_8 = 1k$ (seria E24, toleranță de 5%), iar apoi am aflat valoarea lui R_7 :

$$2,4 = \frac{R_7}{R_7 + 1} \cdot 16 \Rightarrow 2,4 \cdot R_7 + 2,4 = R_7 \cdot 16$$

$$\Rightarrow R_7 = 5,6k\Omega \text{ (din seria E12, cu toleranță de 10\%)}$$

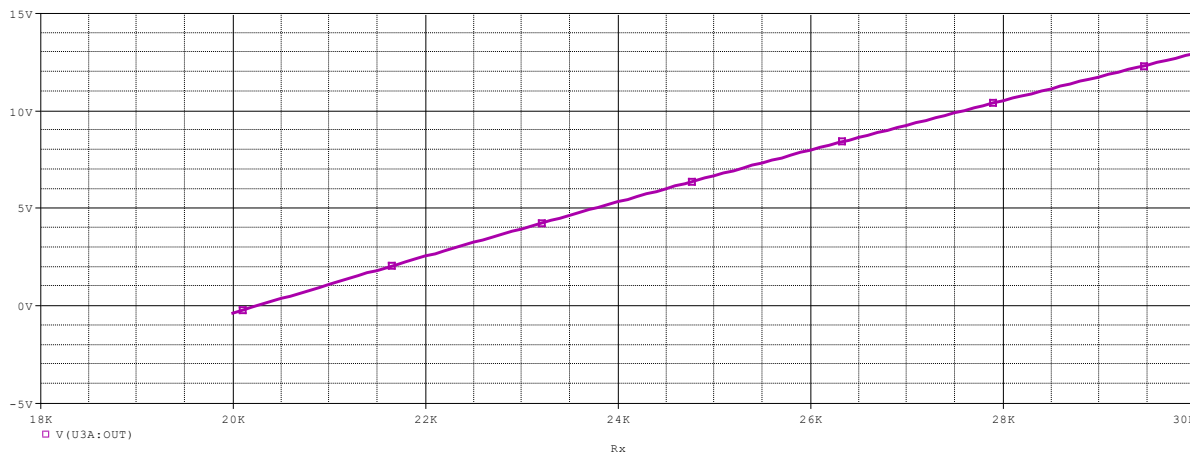


La ieșirea circuitului vreau să obțin o tensiune cuprinsă în intervalul $0V \div 14V$. Pentru simplitatea calculelor am ales $R_9 = R_{10} = R_{11} = R_{14} = R_{15} = 1k$, și am aflat valoarea rezistențelor $R_{12} = R_{13}$ din relația (1).

$$V_o = (3,2 - 2,4) \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot \frac{1}{R_{12}} \Rightarrow R_{12} = R_{13} = 171\Omega$$

Am ales $R_{12} = R_{13} = 180\Omega$ (seria E12, cu toleranță de 10%)

Rezultatul simulării circuitului format din divizor și amplificator de instrumentație prin baleierea lui R_x în domeniul de $20k \div 30k$:



Putem observa că se obține o tensiune între $0V$ și $13V$.

2.3.2. Amplificator sumator

Amplificatorul sumator efectuează operația matematică de adunare a tensiunilor de la una dintre cele două intrări ale sale. În cazul de față, am ales un amplificator neinversor, pentru a nu fi nevoie să inversez încă o dată tensiunea obținută la ieșirea circuitului.

Astfel, tensiunea de la ieșire devine proporțională cu suma tensiunilor V_1 și V_2 . Ecuația amplificatorului sumator este:

$$V_o = \frac{R_{23}}{R_{17}} \cdot (V_1 + V_2) \quad (4)$$

Am ales $R_{17} = R_{16} = R_{23} = R_{24} = 1k\Omega$ (seria E24, toleranță 5%)

Înainte de rezistența R_{17} am legat ieșirea circuitului anterior, iar înainte de R_{16} am legat prin intermediul unui buffer un divizor de tensiune prin care să obțin o tensiune de 1V pe care o adun, ca să nu rămân cu domeniul începând de la 0V.

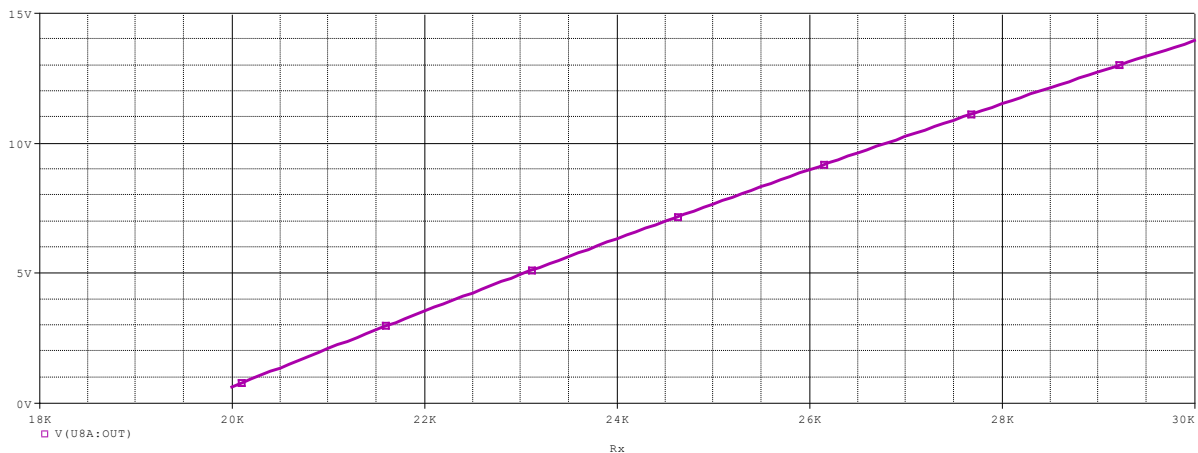
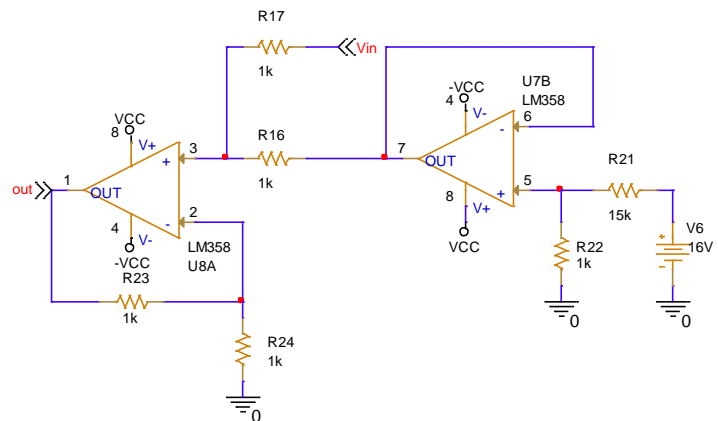
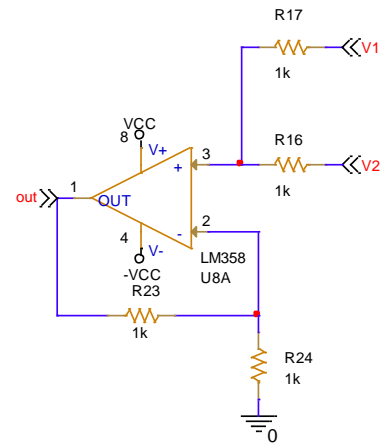
Calculul rezistențelor din divizorul de tensiune:

$$V_{iesire_buffer} = \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{21}} \cdot V_{CC}$$

Am ales $R_{22} = 1k\Omega$ (seria E24, toleranță 5%)

=> $R_{21} = 15k\Omega$ (seria E24, toleranță 10%)

Rezultatul simulării de la ieșirea circuitului format din toate cele prezentate până acum:



Se obține, așa cum am calculat, o tensiune de ieșire între aproximativ 1V și 14V.

2.4. Afișaj

Afișajul este format din patru comparatoare legate în paralel, la ieșirea fiecăruia fiind legate LED-urile care vor semnaliza nivelul de apă din recipient. Cum afișajul este de tip individual, este nevoie ca ieșirile să fie conectate între ele.

Astfel, atunci când tensiunea trece de pragul primului comparator, LED-ul albastru se va aprinde, iar atunci când tensiunea de alimentare a circuitului depășește pragul primului comparator, LED-ul de va stinge. În momentul în care tensiunea de alimentare trece de pragul celui de-al doilea comparator, LED-ul galben se va aprinde, și tot așa.

2.4.1. Calcul praguri

⇒ Nivel 0%

$$0\% \rightarrow 0 \text{ cm} \Rightarrow 20k\Omega \rightarrow 1V$$

Deci, $PRAG_1 = 1V$

⇒ Nivel 30%

$$30\% \rightarrow 141 \text{ cm} \Rightarrow 23k \rightarrow 4,84V$$

$$\frac{30}{100} \cdot 470 \text{ cm} = 141 \text{ cm}$$

$$20k + \frac{30}{100} \cdot 10k = 23k$$

$$1V + \frac{30}{100} \cdot 12,8V = 4,84V$$

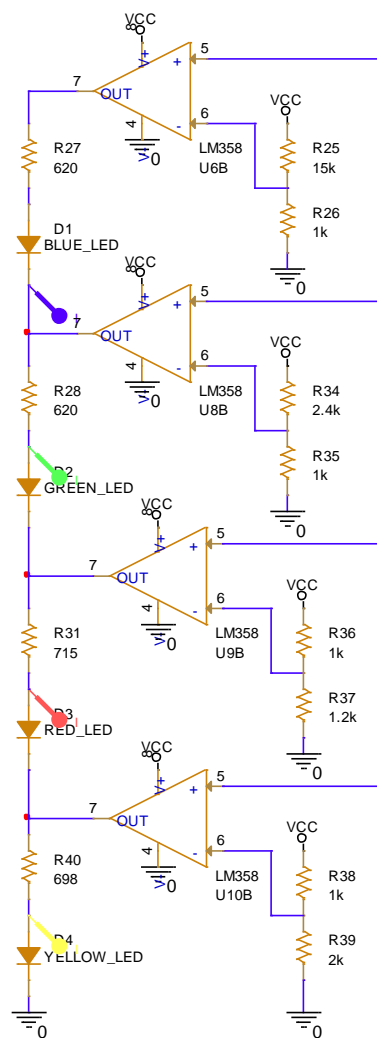
Deci, $PRAG_2 = 4,84V$

⇒ Nivel 60%

$$60\% \rightarrow 282 \text{ cm} \Rightarrow 26k \rightarrow 8,68V$$

$$\frac{60}{100} \cdot 470 \text{ cm} = 282 \text{ cm}$$

$$20k + \frac{60}{100} \cdot 10k = 26k$$



$$1V + \frac{60}{100} \cdot 12,8V = 8,68V$$

$$\text{Deci, } PRAG_3 = 8,68V$$

$$\Rightarrow \text{Nivel } 75\%$$

$$75\% \rightarrow 352,5cm \Rightarrow 27,5k \rightarrow 10,6V$$

$$\frac{75}{100} \cdot 470cm = 352,5cm$$

$$20k + \frac{75}{100} \cdot 10k = 27,5k$$

$$1V + \frac{75}{100} \cdot 12,8V = 10,6V$$

$$\text{Deci, } PRAG_4 = 10,6V$$

2.4.2. Calcul rezistențe pentru divizoare de tensiune

Fiecare comparator va avea una dintre intrări alimentată cu tensiunea de prag corespunzătoare. Această tensiune va fi obținută dintr-un divizor de tensiune la care am calculat rezistențele necesare.

$PRAG_1$:

$$\frac{R_{26}}{R_{26}+R_{25}} \cdot 16V = 1V \Rightarrow \begin{cases} R_{26} = 1k \\ R_{25} = 15k \text{ (seria E12, toleranță 10\%)} \end{cases}$$

$PRAG_2$:

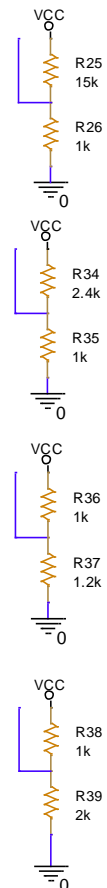
$$\frac{R_{35}}{R_{34}+R_{35}} \cdot 16V = 4,84V \Rightarrow \begin{cases} R_{35} = 1k \\ R_{34} = 2,4k \text{ (seria E24, toleranță 5\%)} \end{cases}$$

$PRAG_3$:

$$\frac{R_{37}}{R_{37}+R_{36}} \cdot 16V = 8,68V \Rightarrow \begin{cases} R_{36} = 1k \\ R_{37} = 1,2k \text{ (seria E12, toleranță 10\%)} \end{cases}$$

$PRAG_4$:

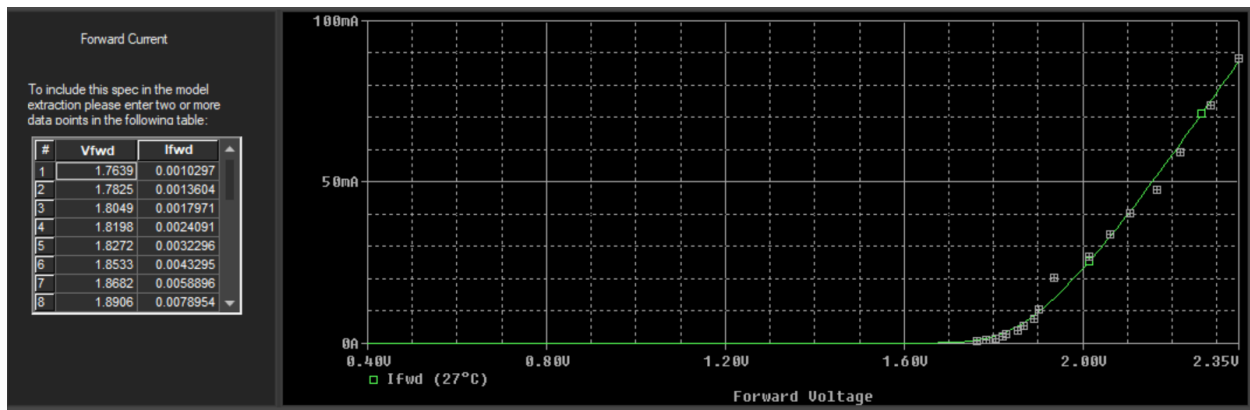
$$\frac{R_{39}}{R_{39}+R_{38}} \cdot 16V = 10,6V \Rightarrow \begin{cases} R_{38} = 1k \\ R_{39} = 2k \text{ (seria E24, toleranță 5\%)} \end{cases}$$



2.4.3. Modelarea LED-urilor

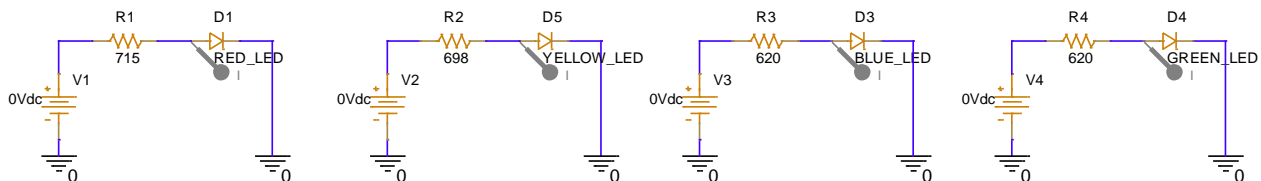
Pentru fiecare LED în parte am luat caracteristicile cu numele “*Forward Voltage vs Forward Current*” din datasheet, le-am încărcat în Plot Digitizer, iar apoi am introdus punctele obținute în Model Editor. După aceea, am intrat la Tools -> Extract parameters și am salvat fișierul în același folder cu proiectul.

Spre exemplu, caracteristica obținută în Model Editor pentru LED-ul roșu:

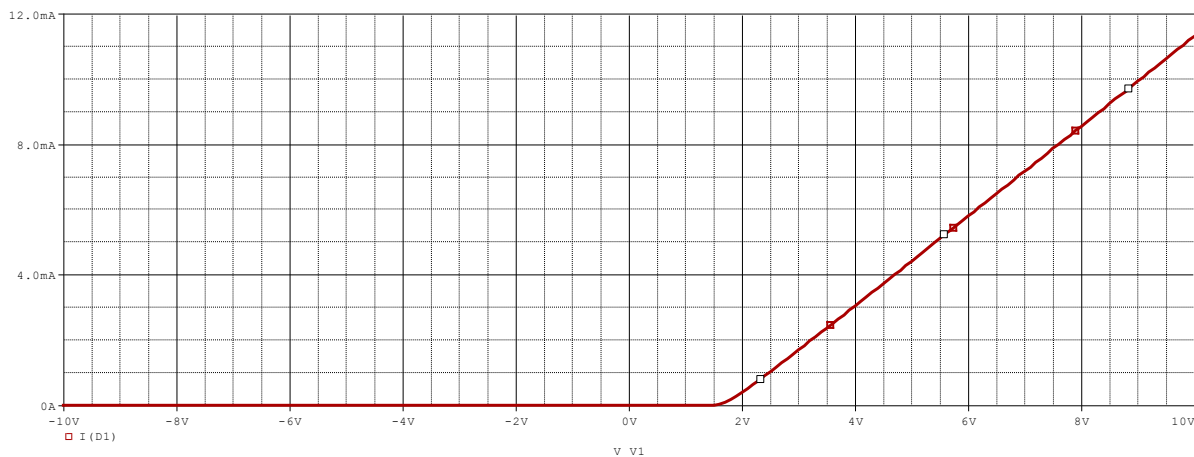


Următorul pas este de a reveni în Orcad și de a asocia modelul nou unei diode de tip Dbreak. De asemenea, librăria ce poartă numele LED-ului trebuie introdusă în profilul de simulare, la secțiunea Configuration files -> Library.

Pentru fiecare LED în parte am proiectat câte un circuit de testare format dintr-o sursă de tensiune de tip DC și o rezistență conectată în serie.



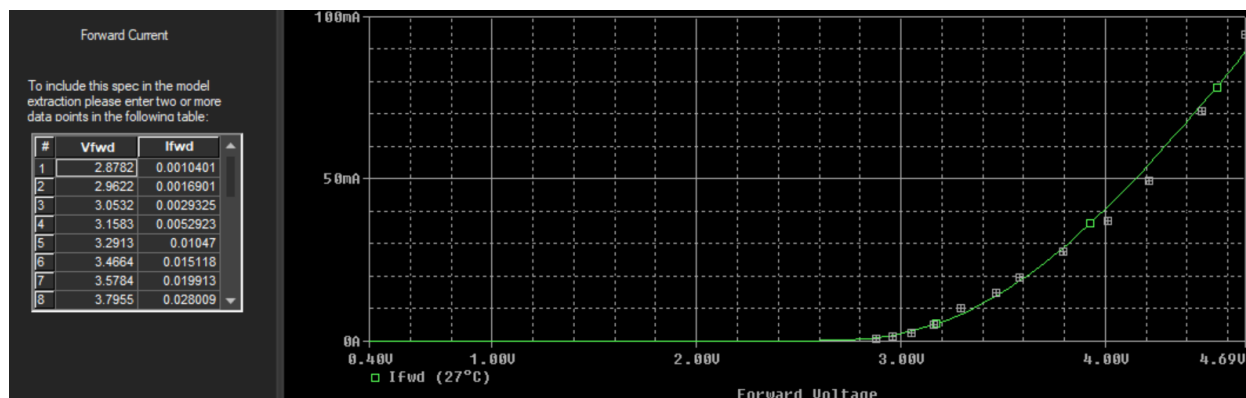
În urma unei analize de tip DC Sweep, în care baleiez tensiunea de intrare din circuit între $-10V$ și $10V$, cu increment de $0,1$, se obține pentru *LED-ul roșu* o caracteristică de forma:



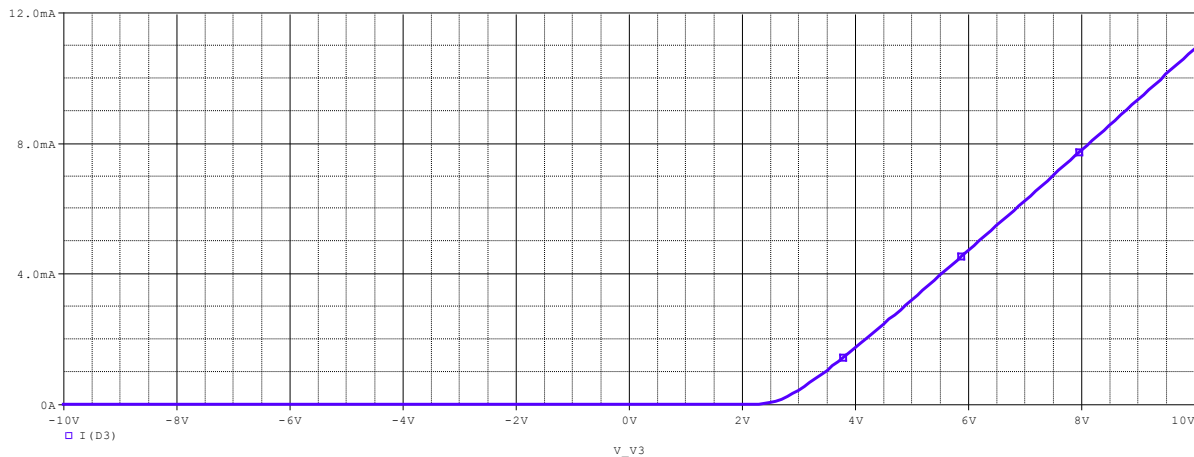
Aceiași pași se aplică și pentru restul LED-urilor.

⇒ *LED albastru*

Caracteristica din Model Editor:

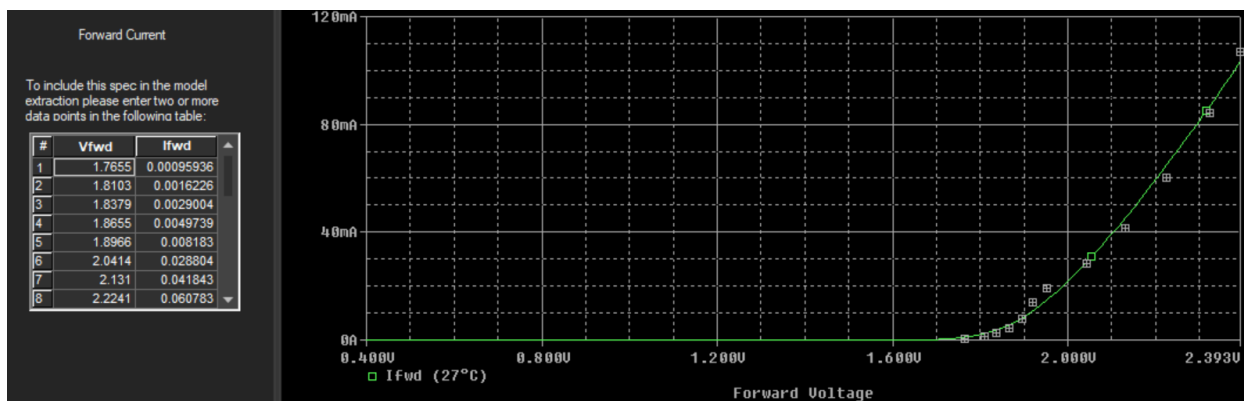


Caracteristica obținută la testare:

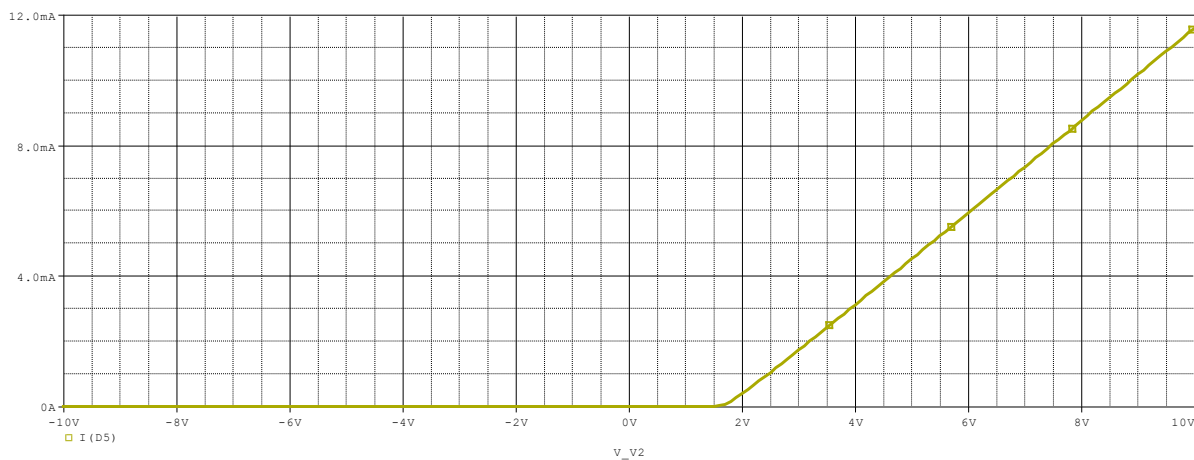


⇒ LED galben

Caracteristica din Model Editor:

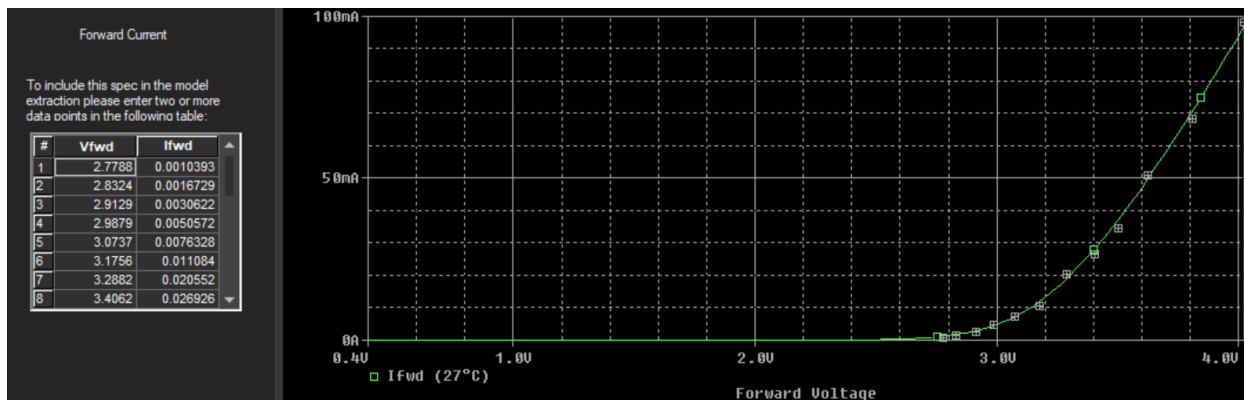


Caracteristica obținută la testare:

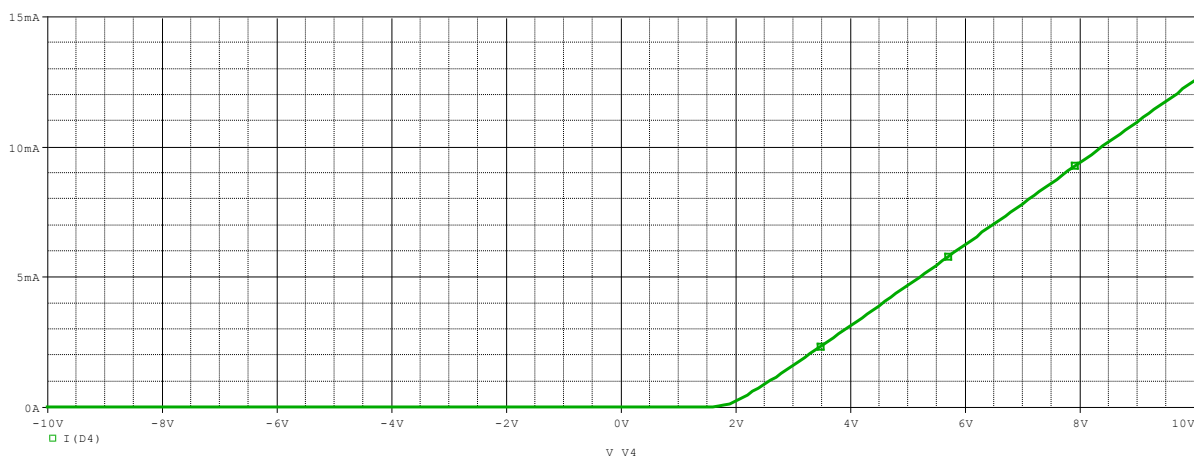


⇒ LED verde

Caracteristica din Model Editor:



Caracteristica obținută la testare:



Rezistențele înseriate cu LED-urile le-am calculat folosindu-mă de formula:

$$R = \frac{V_{CC} - V_D}{I_D} \quad (5)$$

unde V_D este tensiunea care trebuie să treacă prin diodă pentru a conduce, iar I_D este curentul maxim care are voie să parcurgă dioda

Rezistențele le-am ales în așa fel încât V_D să se încadreze în limitele date în datasheet.

⇒ *LED roșu:*

$$V_D = 2V$$

$$R_{RED} = \frac{16 - 2}{20 \cdot 10^{-3}} = 700\Omega$$

Aleg $R_{RED} = 715\Omega$ (seria E48, toleranță 2%) => $V_D = 2,4V$

⇒ *LED galben:*

$$V_D = 1,8V$$

$$R_{YELLOW} = \frac{16 - 1,8}{20 \cdot 10^{-3}} = 710\Omega$$

Aleg $R_{YELLOW} = 698\Omega$ (seria E96, toleranță 1%) => $V_D = 2V$

⇒ *LED albastru:*

$$V_D = 3,2V$$

$$R_{BLUE} = \frac{16 - 3,2}{20 \cdot 10^{-3}} = 640\Omega$$

Aleg $R_{BLUE} = 620\Omega$ (seria E24, toleranță 5%) => $V_D = 3,6V$

\Rightarrow *LED verde:*

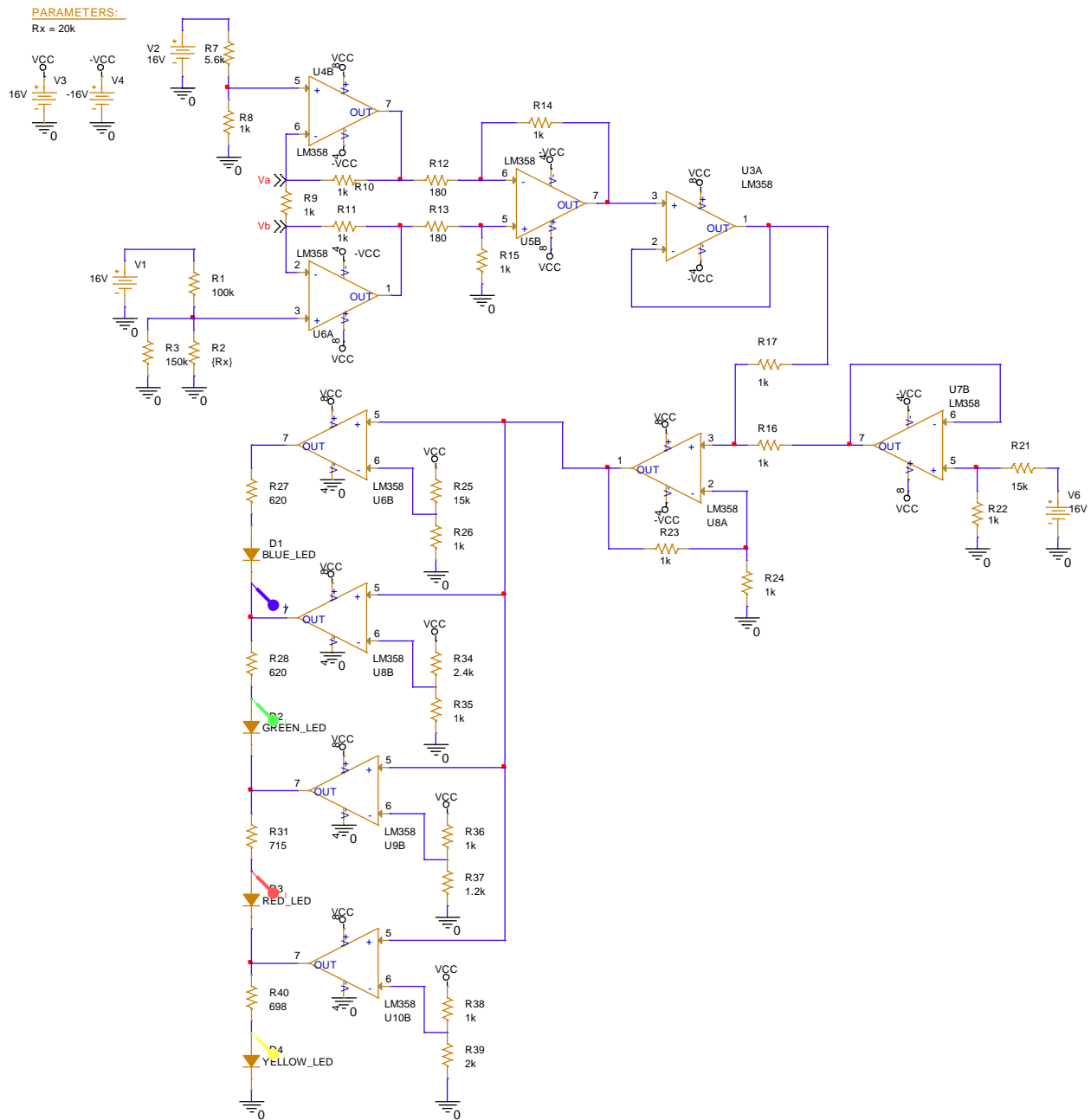
$$V_D = 3,2V$$

$$R_{GREEN} = \frac{16 - 3,2}{20 \cdot 10^{-3}} = 640\Omega$$

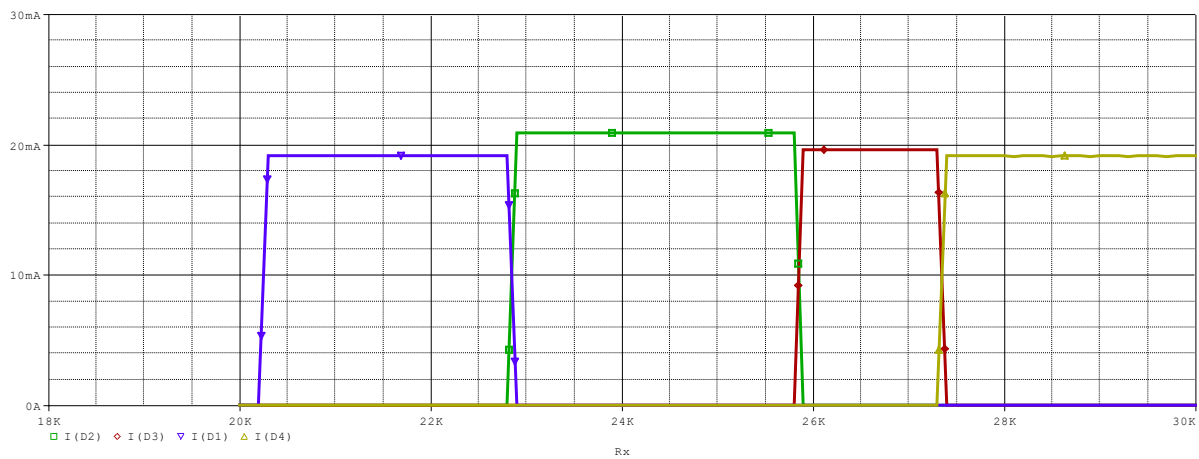
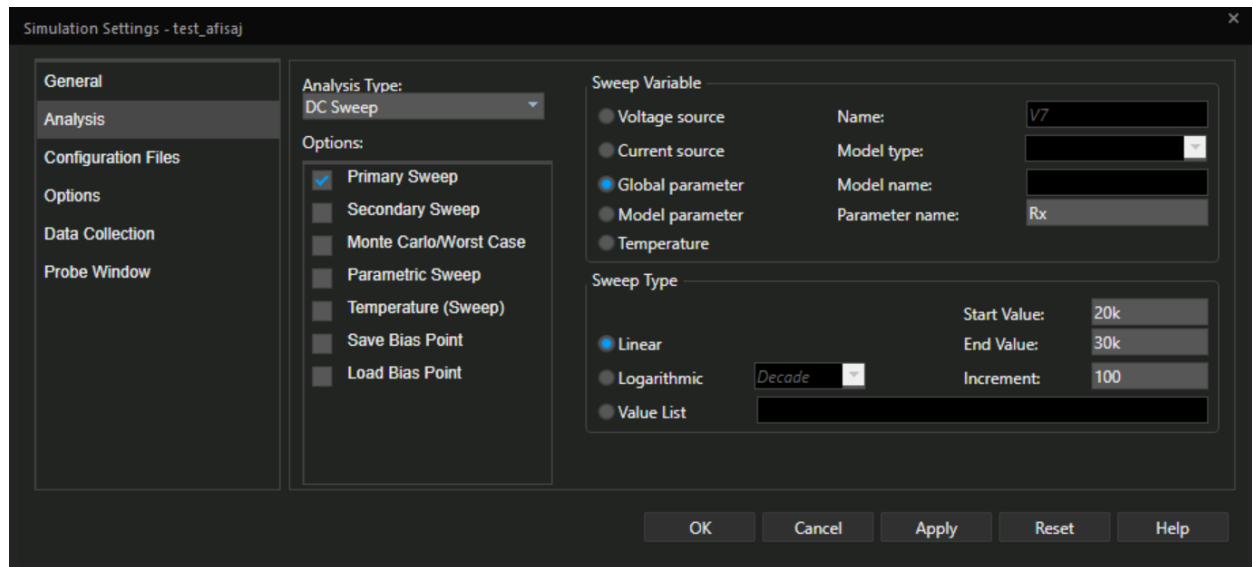
$$\text{Aleg } R_{YELLOW} = 620\Omega \text{ (seria E24, toleranță 5\%)} \Rightarrow V_{PRAG} = 3,6V$$

3. Circuit final

După conectarea tuturor circuitelor prezentate mai sus se obține:



Rezultatul analizei de tip DC Sweep prin baleierea senzorului R_x între $20k$ și $30k$, cu increment de 100:



Fiecare culoare de pe grafic aparține LED-ului de aceeași culoare. Se poate observa faptul că prin fiecare LED trece un curent de $20mA$, egal cu cel din datasheet. De asemenea, se poate vedea că fiecare LED se aprinde individual, la pragurile corespunzătoare.

4. Bibliografie

- ❖ Proiectare Asistată De Calculator - Ovidiu Pop, Raul Fizeșan, Gabriel Chindriș, editura U.T. Press, Cluj-Napoca, 2013
- ❖ <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-standards-and-codes/resistor-values/#>
- ❖ <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-applications/resistor-for-led/#>
- ❖ <https://sites.google.com/site/bazeleelectronicii/home/amplificatoare-operationale/5-amplificator-diferential>
- ❖ <https://sites.google.com/site/bazeleelectronicii/home/amplificatoare-operationale/4-amplificator-sumator>
- ❖ <http://descargas.cetronic.es/WW05C3AYP4-N2.pdf>
- ❖ <http://descargas.cetronic.es/WW05A3SBQ4-N.pdf>
- ❖ <http://descargas.cetronic.es/WW05A3SRP4-N%20.pdf>
- ❖ <https://descargas.cetronic.es/WW05A3SGQ4-N.pdf>
- ❖ <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1144175/KEXIN/LM358.html>