

Referat

Proiect 1 - Dispozitive și circuite electronice Stabilizator de tensiune cu element de reglaj serie

Ungurașu Ioan-Andrei
Grupa 435E

București 2020

Cuprins

Tema proiectului și datele	3
Date stabilizator:	3
Cerințe privind realizarea:	3
Cerințe privind traseele de interconectare	4
Cerințe privind fișierele Gerber standard 274X	4
Schema bloc	5
Schema electrică	6
Schema electrică de trecere în PCB editor:	6
Referința de tensiune:	6
Amplificatorul diferențial:	6
Element de reglaj serie:	7
Rețeaua de reacție:	7
Circuitul de protecție în temperatură:	7
Circuitul de protecție în curent:	7
Calcul	8
Componente	12
Simulări	13
Layout	16
TOP	17
BOT	18
Silk Screen Top	19
Solder Mask Top	20
Solder Paste Top	21
Fab	22
Foaie de catalog	23
Caracteristici:	23
Mod de utilizare:	23

Tema proiectului și datele

Date stabilizator:

- $N = 21$
- Tensiunea de ieșire reglabilă în intervalul 10.5 – 21 V.
- Sarcina la ieșire de 1.05 kOhm.
- Deriva termică $1.06 < 2 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$.
- Protecție la suprasarcină la 100 °C și la curent maxim 0.4 A.
- Tensiunea de intrare în intervalul 37.8 – 42 V.
- Domeniul temperaturilor 0° – 70°C.
- Amplificarea în tensiune minimă (în buclă deschisă) a amplificatorului de eroare: minim 200.
- Semnalizarea prezenței tensiunilor de intrare/ieșire cu diodă de tip LED.

Cerințe privind realizarea:

Circuitul va fi realizat sub forma unui modul electronic a cărui structura de interconectare (PCB) va respecta următoarele **cerințe de proiectare**:

- **Dimensiunile PCB: 40mm x 40mm;**
- **Material FR4, dublu strat/ grosimea foliei de cupru 18 μm , grosimea plăcii 1,5 mm;**
- **Originea (punctul de coordonate (0,0)) va fi plasat în colțul din stânga-jos al plăcii de cablaj imprimat, astfel toate elementele proiectului vor avea coordonate pozitive;**
- **Dimensiunea traseelor și spațierea lor în concordanță cu specificațiile menționate.**
- Toate componentele se vor plasa pe față superioară a plăcii, TOP;
- Componente pasive SMD chip 0805;
- Se pot folosi numai tranzistoare bipolare și TEC-MOS în capsule SMD (SOT 23, DPAK). Tranzistoarele TEC-J pot fi utilizate numai dacă se justifică necesitatea acestora.
- Puncte de test: pătrate, maxim 5 – justificate de planul de testare;
- Originea (punctul de coordonate (0,0)) va fi plasat în colțul din stânga-jos al plăcii de cablaj imprimat, astfel toate elementele proiectului vor avea coordonate pozitive;
- Față de marginea plăcii, se va păstra o gardare („clearance”) de 1,2 mm; aici nu vor fi plasate componente, trasee, texte, etc.;
- Placa va fi prevăzută cu 2 markeri fiduciali globali pe layerul TOP, la distanța de 200 mil față de marginea plăcii, plasați convenabil; acești markeri vor exista și pe layerul
- Solder Paste Top (suprapuși peste cei de pe TOP); vor fi utilizați în momentul alinierii sablonului cu placa. Marcajul fiducial va fi un cerc de diametru minim 1mm pe layerul respectiv, aflat într-un spațiu circular de diametru minim dublu față de cercul interior, în care nu se va afla nimic pe nici un layer;
- Se va acorda o atenție sporită layer-ului Mască de inscripționare (Silk Screen); acesta nu trebuie să se regăsească pe pad-urile componentelor;
- Se va genera un nou layer neelectric, MECANIC. Acesta va conține: conturul plăcii, desenul de găurire („drill drawing”) și tabelul de găurire („drill chart/table”, „drill

legend”), o secțiune transversală prin circuitul imprimat proiectat („layer stack-up”) și informațiile mecanice necesare pentru fabricația PCB;

- Cotele de gabarit/dimensiunile plăcii nu trebuie să se regăsească pe layer-ul electric TOP; acestea, dacă există, se vor plasa pe un layer neelectric mecanic;
- Placa va fi prevăzută cu elementele de identificare ale proiectantului (nume, prenume, grupă, PDCE I 2020-2021).

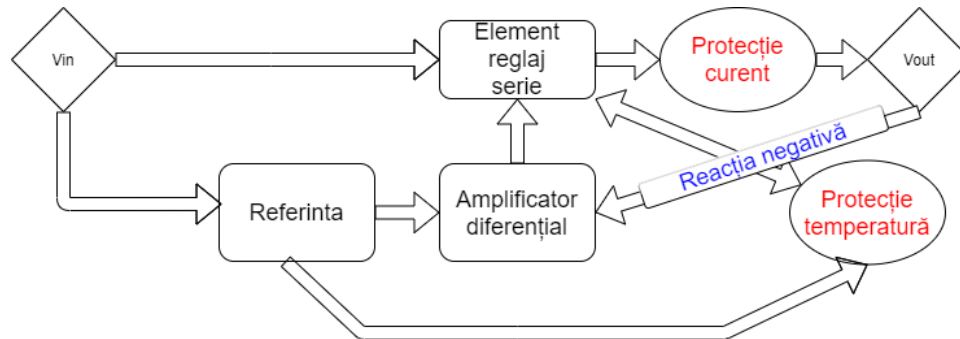
Cerințe privind traseele de interconectare

- Curent de sute de 1A – 30 mil ;
- Curent de sute de mA - 22 mil;
- Semnal – 16 mil ;
- Spațierea, în toate cazurile, va fi de 12 mil.
- Găurile de trecere pentru semnale (vias-uri) vor avea diametrul de 0,4 mm.

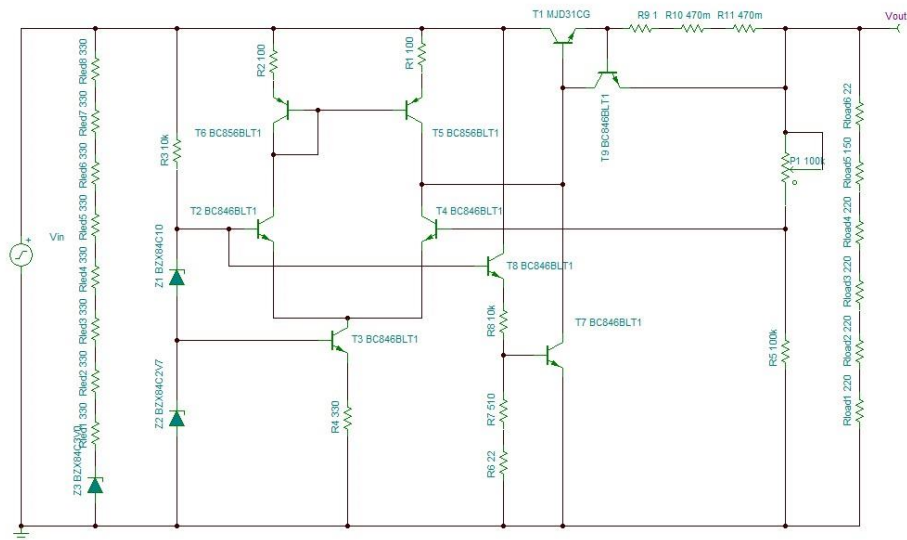
Cerințe privind fișierele Gerber standard 274X

- Conturul plăcii (board outline);
- Layer electric TOP;
- Layer electric BOTTOM;
- Layer neelectric Mască de inscripționare (Silk Screen Top);
- Layer neelectric Mască de protecție (Solder Mask Top);
- Layer neelectric Șablon (Solder Paste Top);
- Lista de aperturi și fișierul de găurire.

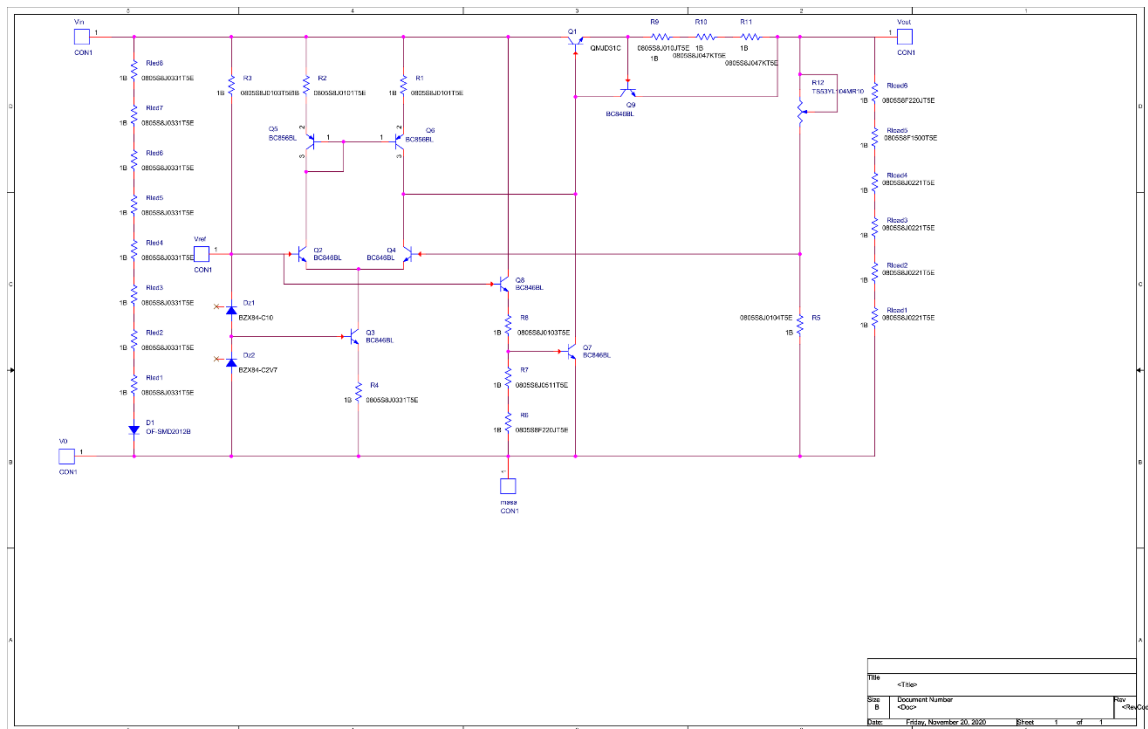
Schema bloc



Schema electrică



Schema electrică de trecere în PCB editor:



Referința de tensiune:

Dz1, Dz2

Două diode zenner în serie pe care tensiunea va fi de 12.7V. Acestea au drift termic foarte mic.

Amplificatorul diferențial:

R1, R2, R4, Q2, Q3, Q4, Q5

Amplificator diferențial cu emitori degenerați și cu oglindă de curent (Q5, Q6). Tensiunea de referință pe baza lui Q2, reacția negativă închisă prin baza lui Q4.

Amplificarea în buclă deschisă:

$$a_v = g_{m_4} \times R_o = g_{m_4} \times (R\pi_1 + (1 + \beta) \times [(R_5 + R_{P1}) || R_{LOAD}]).$$

Element de reglaj serie:

Q1

De tip MJD31C pentru a face față curentului de ordinul sutelor de miliamperi care poate apărea înainte de activarea protecției în curent.

Rețeaua de reacție:

P1(R12), R5

$$\text{Tensiunea eșantionată } V_{es} = V_{OUT} \times \frac{R_5}{R_5 + R_{12}}$$

Circuitul de protecție în temperatură:

Q8, Q7, R6, R7, R8

Deriva termică fiind de 2mV/degC, și observând că tranzistorul are nevoie de V_{be} aproximativ 800mV în viața reală pentru a se deschide complet, am pus la baza lui un divizor de tensiune care să îl țină la 600mV.

Circuitul de protecție în curent:

Q9, R9, R10, R11

Am ales rezistențele în așa fel încât atunci când pe la colectorul lui Q1 avem un curent de 400mA, să avem $V_{be9} = 800\text{mV}$, ca să se deschide Q9, protecția.

$P_D T_7, T_9, T_1 T_3$ im Glycerin
 $P_D T_1, 2, 3, 4, 5, 6, 8$ im RAN
 $P_D J_E = 0 \Rightarrow J_C = J_E$
 $J_{R5} = \frac{V_{out}}{R_{in} + R_5} = \frac{20}{153} = 0,131 \text{ mA}$
 $U_{R5} = J_{R5} \cdot R_5 = 12,6 \text{ V} \Rightarrow U_{CE5} = V_{out} - U_{RP1} \Rightarrow U_{RP1} = 7,4 \text{ V}$
 TK2: $V_{DZ2} = V_{CE3} + U_{R4} \Rightarrow U_{R4} = 2,1 \text{ V} \Rightarrow J_{E3} = 7,1 \text{ mA}$
 TK2: $V_{BE4} + V_{CE3} + U_{R4} = U_{R5} \Rightarrow V_{CE3} = 9,9 \text{ V}$
 TK2: $V_{in} - V_{out} = V_{CE1} \Rightarrow V_{CE1} = 22 \text{ V}$
 $V_{CE1} = V_{BE1} + V_{CE1} \Rightarrow V_{CE1} = 21,4 \text{ V}$
 $J_{EG} = J_{E5}$
 $J_{EG} + J_{E5} = J_{E3} \Rightarrow J_{EG} = J_{E5} = 3,2 \text{ mA} \Rightarrow U_{R1} = U_{R2} = 0,32 \text{ V}$
 TK2: $U_{R1} + V_{CE5} = V_{CE1} \Rightarrow V_{CE5} = 21,1 \text{ V} \Rightarrow V_{CE5} = 20,5 \text{ V}$
 TK2: $V_{in} = U_{R1} + V_{CE5} + V_{CE4} + V_{CE3} + U_{R4} \Rightarrow V_{CE4} = 8,6 \text{ V}$

$$TK2: V_{BC5} + V_{CE4} = V_{BC6} + V_{CE2} \Rightarrow V_{CE2} = 23,1V$$

$$TK2: V_{in} = U_{R3} + U_{D21} + U_{D22} \Rightarrow U_{R3} = 29,3V \Rightarrow I_{R3} = 2,9mA$$

$$V_{CE2} = V_{BC2} + V_{BE2} \Rightarrow V_{BC2} = 28,5V$$

$$TK2: U_{R3} = U_{R2} + V_{EC6} + V_{BC2} \Rightarrow V_{EC6} = 0,5V$$

$$TK2: V_{in} = U_{R4d} + U_{D1} \Rightarrow U_{R4d} = 39V \Rightarrow U_{R4d,1,2,3,4,5,6,7,8} = 4,3V$$

$$I_{R4d} = 16mA$$

$$I_{R4d} = \frac{V_{out}}{R_{4d}} = 19mA$$

$$U_{R4d,1,2,3,4} = 4,2V$$

$$U_{R4d,5} = 2,9V$$

$$U_{R4d,6} = 0,4V$$

TK

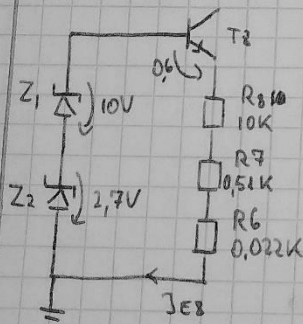
$$I_{E1} = I_{R5} + I_{R4d} = 19,126mA$$

$$U_{R5} = 0,0253V = 25,3mV$$

$$U_{R10,11} = 0,018V = 11,8mV$$

$$U_{R9} = 0,0253V = 25,3mV$$

$$P_p T8 2m RAN$$



$$TK2: V_{Z1} + V_{Z2} = V_{BE8} + U_{R6} + U_{R7} + U_{R8}$$

$$U_{R6} + U_{R7} + U_{R8} = 12,1V$$

$$TK2: V_{out} = V_{CE8} + U_{R6} + U_{R7} + U_{R8} \Rightarrow V_{CE8} = 29,3V$$

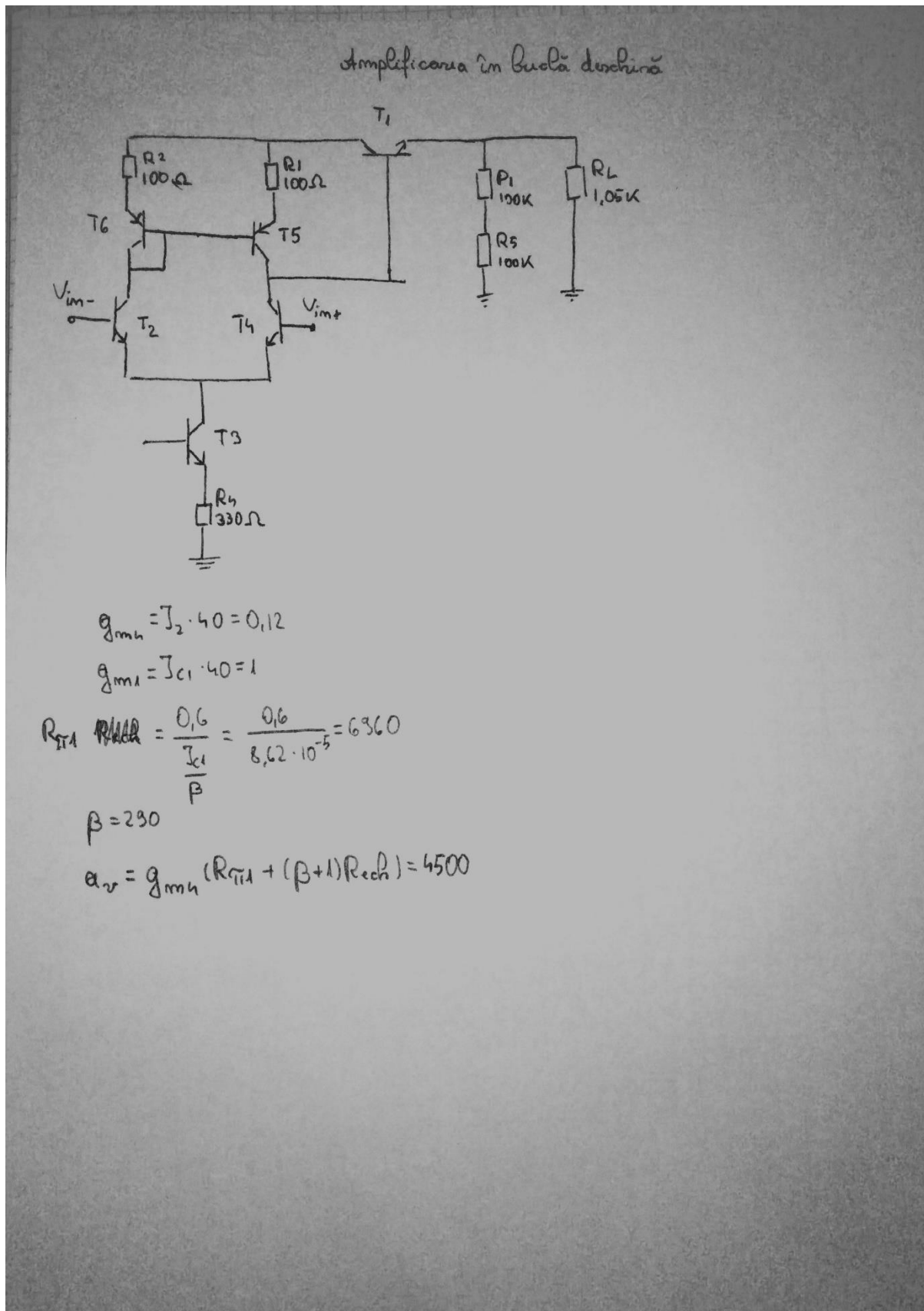
$$I_{R6,7,8} = I_{E8} = 1,1mA$$

$$U_{R6} = 25,2mV$$

$$U_{R7} = 0,5V$$

$$U_{R8} = 11V$$

$$\begin{aligned}
 P_{Rload1,2,3,4,5} &= 0,08 \text{ W} \\
 P_{Rload1,2,3,4} &= 0,08 \text{ W} \\
 P_{Rload5} &= 0,06 \text{ W} \\
 P_{Rload6} &= 0,0076 \text{ W} \\
 P_{R12} &= 0,01 \text{ W} \\
 P_{R3} &= 0,08 \text{ W} \\
 P_{R4} &= 0,013 \text{ W} \\
 P_{R5} &= 0,08 \text{ W} \\
 P_{R6} &= 2,67 \cdot 10^{-5} \text{ W} \\
 P_{R7} &= 0,0006 \text{ W} \\
 P_{R8} &= 0,012 \text{ W} \\
 P_{R9} &= 0,0006 \text{ W} \\
 P_{R10} &= 0,0003 \text{ W} \\
 P_{R11} &= 0,0003 \text{ W} \\
 P_{P1} &= 0,05 \text{ W} \\
 I_{E1} &= \frac{19}{1000} \text{ mA} \\
 I_{E2} &= 3,2 \text{ mA} \\
 I_{E3} &= 6,4 \text{ mA} \\
 I_{E4} &= 3,2 \text{ mA} \\
 I_{E5} &= 3,2 \text{ mA} \\
 I_{E6} &= \cancel{3,2 \text{ mA}} 3,2 \text{ mA} \\
 I_{E8} &= 1,1 \text{ mA} \\
 V_{CE1} &= 22 \text{ V} \\
 V_{CE2} &= 29,1 \text{ V} \\
 V_{CE3} &= 9,9 \text{ V} \\
 V_{CE4} &= 8,6 \text{ V} \\
 V_{CE5} &= 21,1 \text{ V} \\
 V_{CE6} &= 0,5 \text{ V} \\
 V_{CE8} &= 29,9 \text{ V}
 \end{aligned}$$

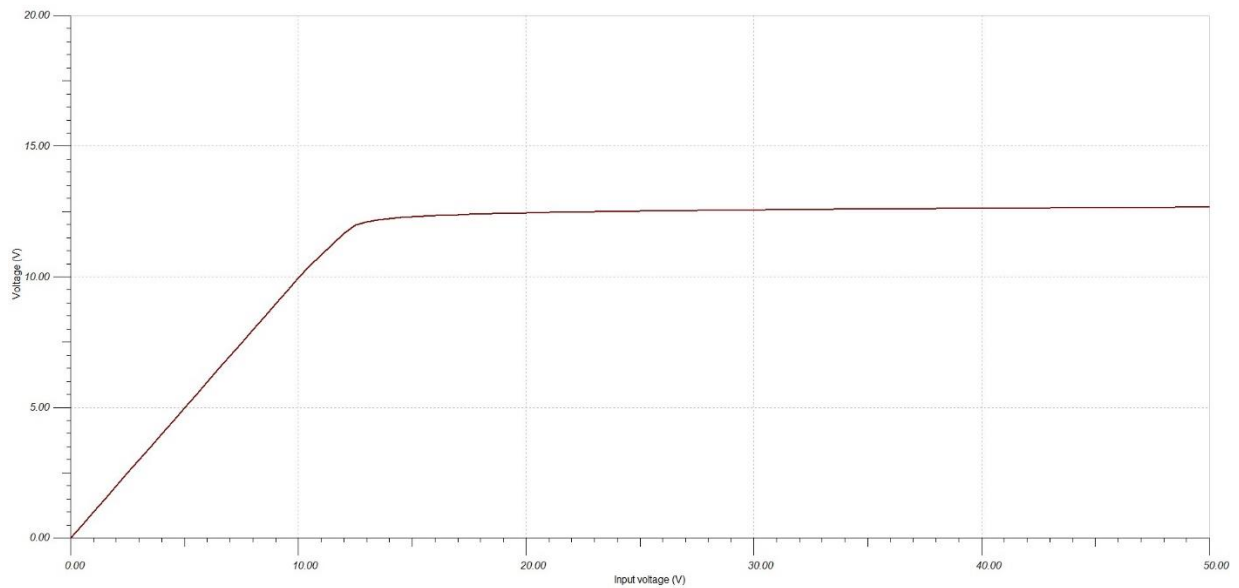


Componente

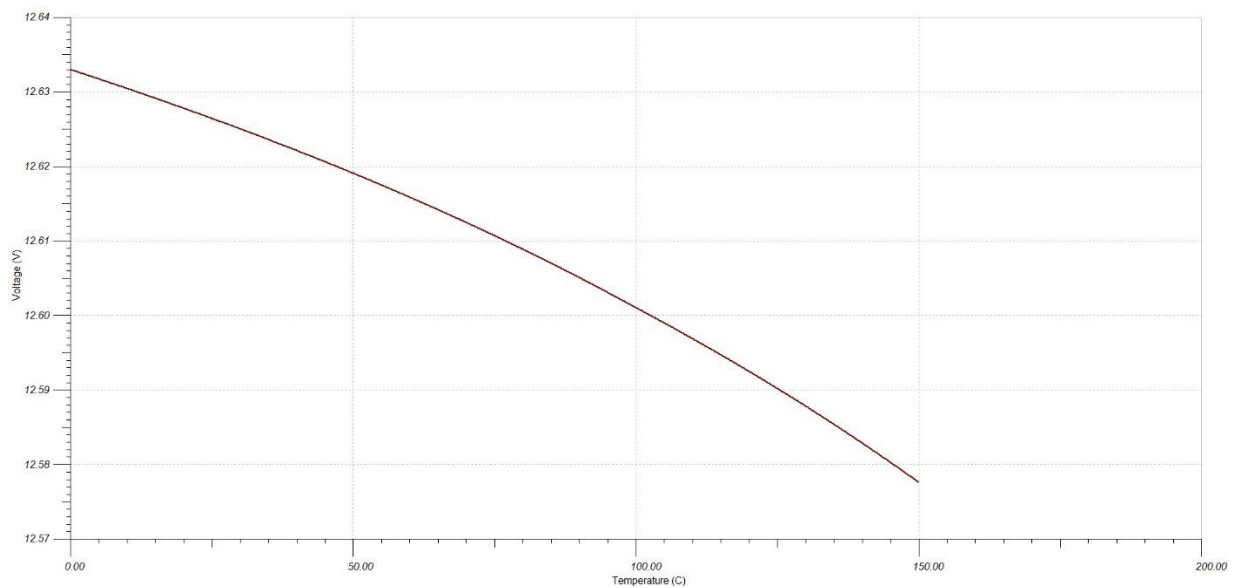
Item	Quantity	Reference	Part	Valori standard	Tip constructiv
1	1	Dz1	BZX84-C10		
2	1	Dz2	BZX84-C2V7		
3	1	D1	OF-SMD2012B		
4	1	Q1	QMJD31C		
5	6	Q2, Q3, Q4, Q7, Q8, Q9	BC846BL		
6	2	Q5, Q6	BC856BL		
7	9	Rled1, Rled2, Rled3, Rled4, R4, Rled5, Rled6, Rled7, Rled8	0805S8J0331T5E	330 [Ohm]	Thick Film
8	4	Rload1, Rload2, Rload3, Rload4	0805S8J0221T5E	220 [Ohm]	Thick Film
9	1	Rload5	0805S8F1500T5E	150 [Ohm]	Thick Film
10	2	Rload6, R6	0805S8F220JT5E	22 [Ohm]	Thick Film
11	2	R1, R2	0805S8J0101T5E	100 [Ohm]	Thick Film
12	2	R3, R8	0805S8J0103T5E	10 [kOhm]	Thick Film
13	1	R5	0805S8J0104T5E	100 [kOhm]	Thick Film
14	1	R7	0805S8J0511T5E	510 [Ohm]	Thick Film
15	1	R9	0805S8J010JT5E	1 [Ohm]	Thick Film
16	2	R10, R11	0805S8J047KT5E	0.47 [Ohm]	Thick Film
17	1	R12	TS53YL104MR10	100 [kOhm]	Single Turn Cermet Sealed
18	5	masa, Vref, Vout, Vin, V0	CON1		

Simulări

$V_{ref}(V_{in})$



$V_{ref}(t)$

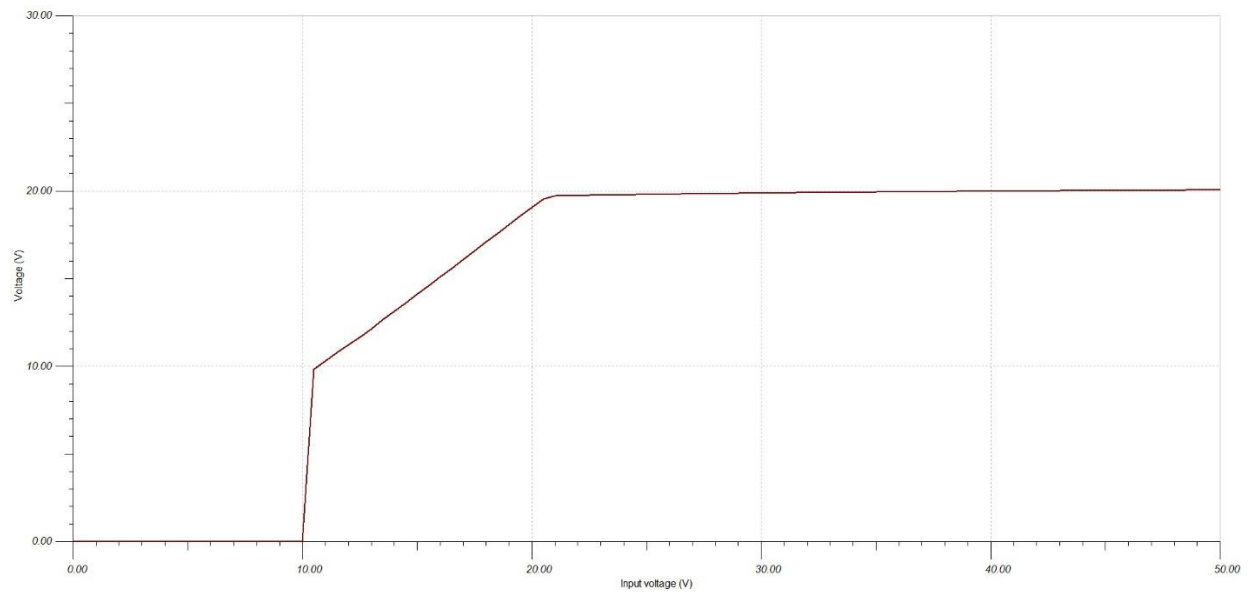


$$V_{ref}(0^{\circ}) = 12.63 \text{ V}$$

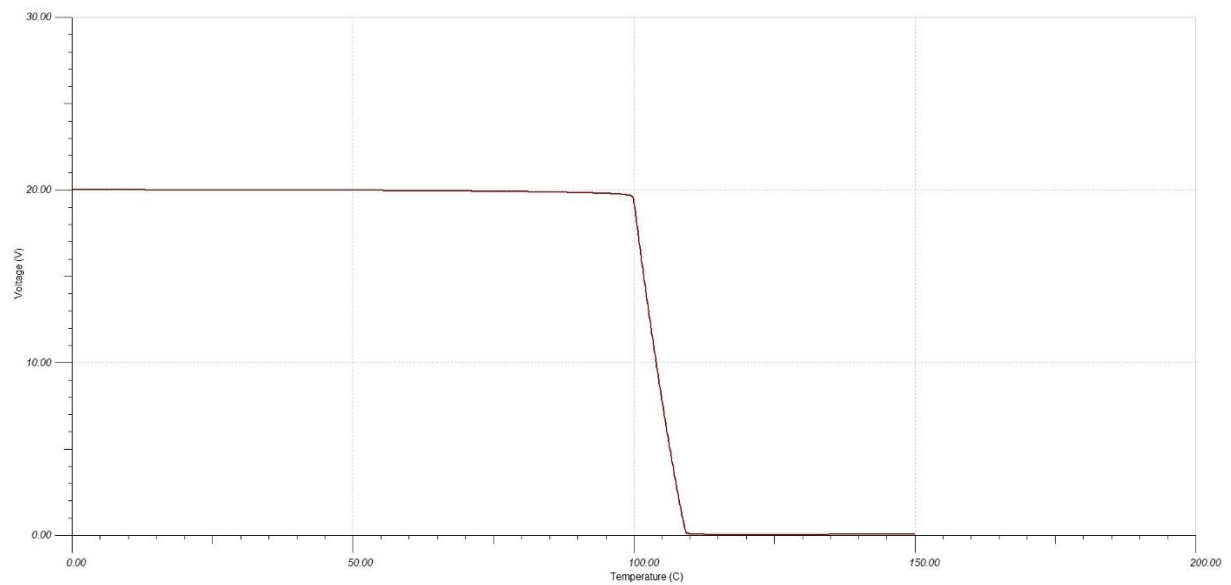
$$V_{ref}(70^{\circ}) = 12.61 \text{ V}$$

Deriva termica: 0.29 mV/°C

V_{out}(V_{in})



V_{out}(t)

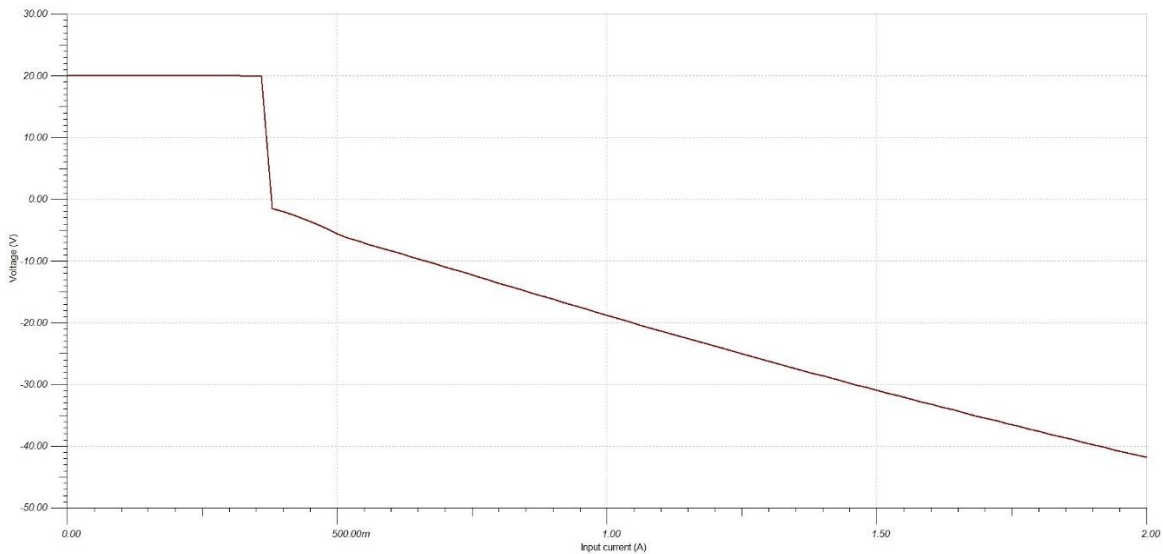


$V_{out}(0^\circ) = 20.01 \text{ V}$

$V_{out}(70^\circ) = 19.94 \text{ V}$

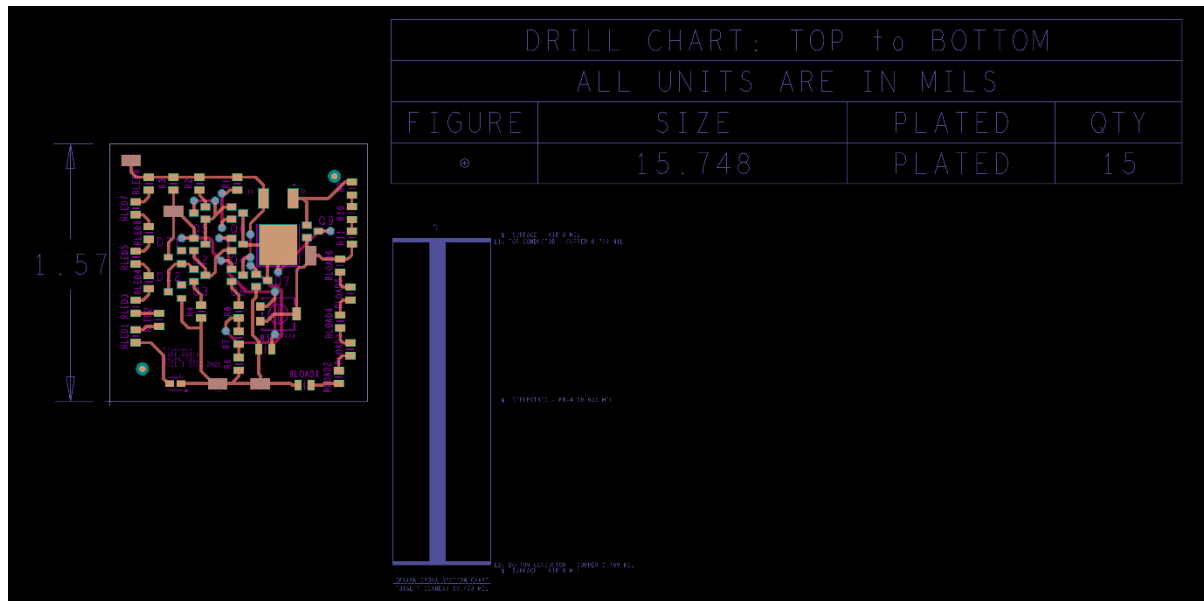
Deriva termica: 1.06 mV/°C

Vout(Iout)

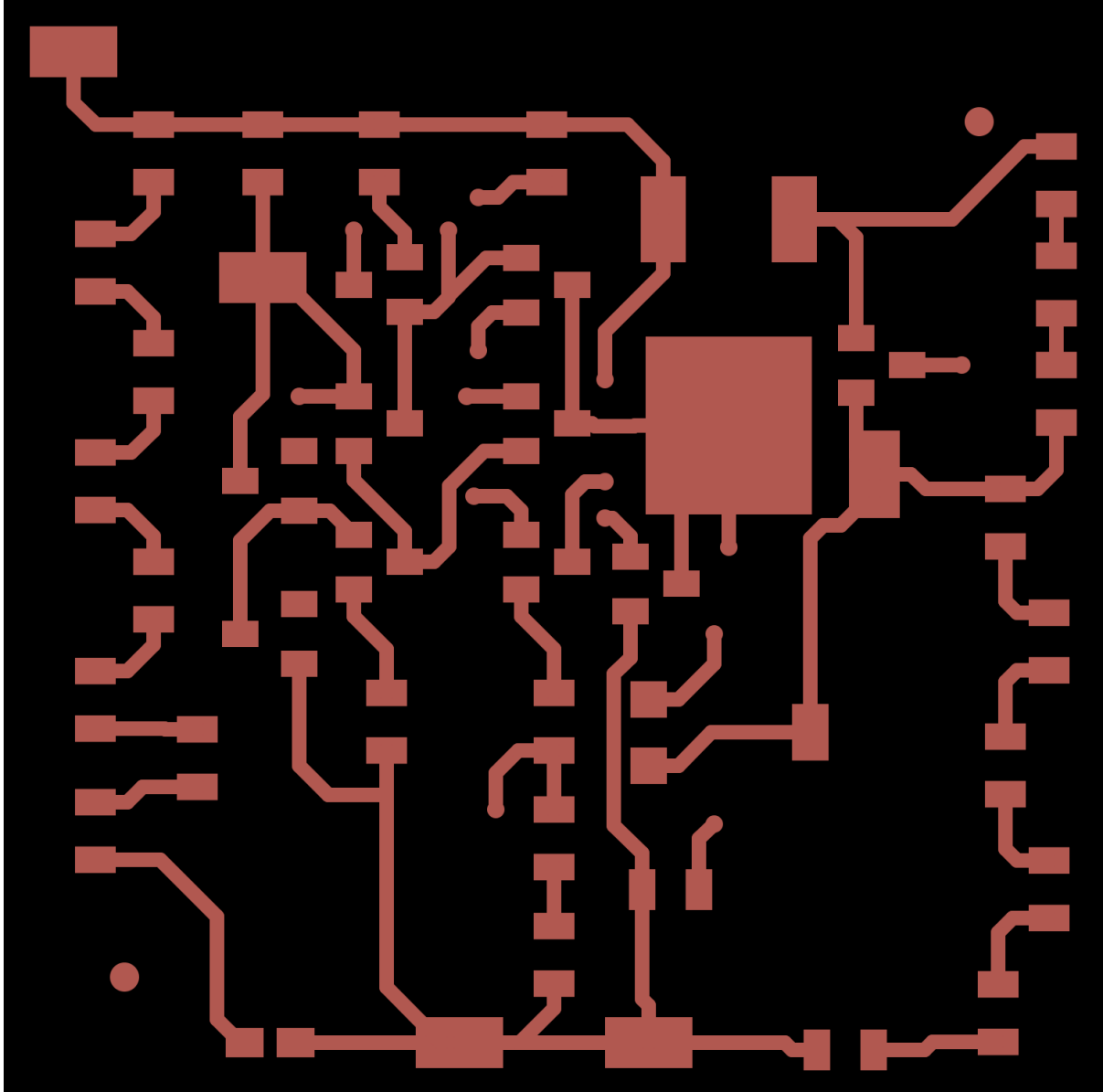


Punctul static de funcționare:

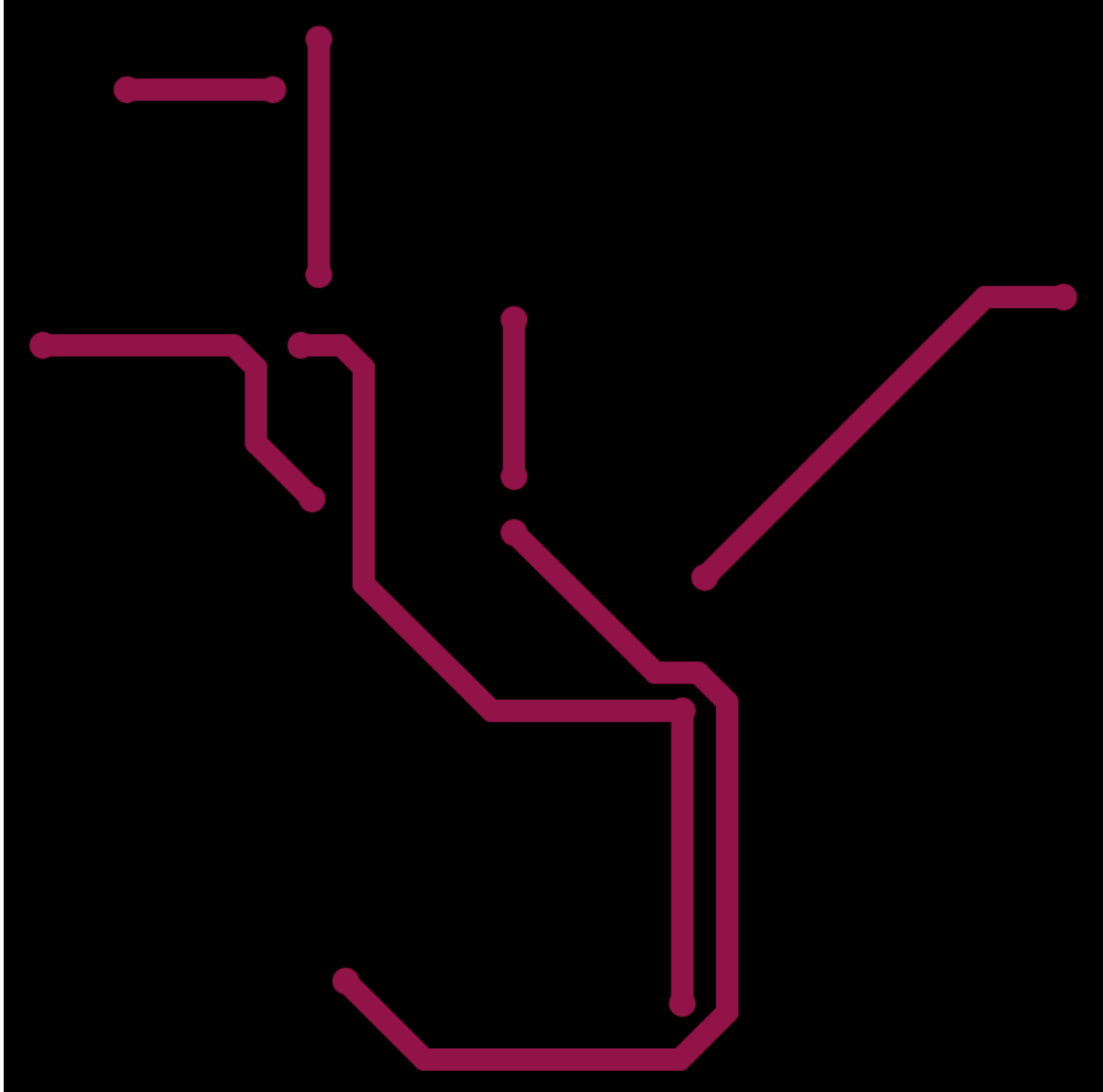
I_R1[9,2]	-3.08mA	Vout	20.55V
I_R10[24,26]	-19.67mA	VP_1	1.92V
I_R11[Vout,24]	-19.67mA	VP_10	12.63V
I_R2[11,2]	-3mA	VP_11	41.7V
I_R3[10,2]	-2.94mA	VP_12	21.17V
I_R4[0,1]	-5.83mA	VP_13	37.14V
I_R5[0,4]	-126.3uA	VP_14	8.6V
I_R6[0,7]	-1.14mA	VP_15	11.94V
I_R7[7,5]	-1.14mA	VP_17	11.97V
I_R8[5,17]	-1.14mA	VP_18	7.98V
I_R9[26,20]	-19.67mA	VP_19	41.02V
I_Rled1[8,18]	-14.73mA	VP_2	42V
I_Rled2[18,25]	-14.73mA	VP_20	20.59V
I_Rled3[25,29]	-14.73mA	VP_21	32.28V
I_Rled4[29,30]	-14.73mA	VP_22	12.89V
I_Rled5[30,27]	-14.73mA	VP_23	20.12V
I_Rled6[27,21]	-14.73mA	VP_24	20.56V
I_Rled7[21,13]	-14.73mA	VP_25	12.84V
I_Rled8[13,2]	-14.73mA	VP_26	20.57V
I_Rload1[0,3]	-19.54mA	VP_27	27.42V
I_Rload2[3,14]	-19.54mA	VP_28	17.19V
I_Rload3[14,22]	-19.54mA	VP_29	17.7V
I_Rload4[22,28]	-19.54mA	VP_3	4.3V
I_Rload5[28,23]	-19.54mA	VP_30	22.56V
I_Rload6[23,Vout]	-19.54mA	VP_4	12.63V
I_Vin[2,0]	-44.4mA	VP_5	604.07mV
V_R1[9,2]	-307.74mV	VP_6	2.65V
V_R10[24,26]	-9.25mV	VP_7	24.98mV
V_R11[Vout,24]	-9.25mV	VP_8	3.12V
V_R2[11,2]	-300.32mV	VP_9	41.69V
V_R3[10,2]	-29.37V	VP_Vout	20.55V
V_R4[0,1]	-1.92V		
V_R5[0,4]	-12.63V		
V_R6[0,7]	-24.98mV		
V_R7[7,5]	-579.09mV		
V_R8[5,17]	-11.36V		
V_R9[26,20]	-19.67mV		
V_Rled1[8,18]	-4.86V		
V_Rled2[18,25]	-4.86V		
V_Rled3[25,29]	-4.86V		
V_Rled4[29,30]	-4.86V		
V_Rled5[30,27]	-4.86V		
V_Rled6[27,21]	-4.86V		
V_Rled7[21,13]	-4.86V		
V_Rled8[13,2]	-4.86V		
V_Rload1[0,3]	-4.3V		
V_Rload2[3,14]	-4.3V		
V_Rload3[14,22]	-4.3V		
V_Rload4[22,28]	-4.3V		
V_Rload5[28,23]	-2.93V		
V_Rload6[23,Vout]	-429.77mV		
V_Vin[2,0]	42V		
V_Z1[6,10]	-9.98V		
V_Z2[0,6]	-2.65V		
V_Z3[0,8]	-3.12V		
Vout	20.55V		



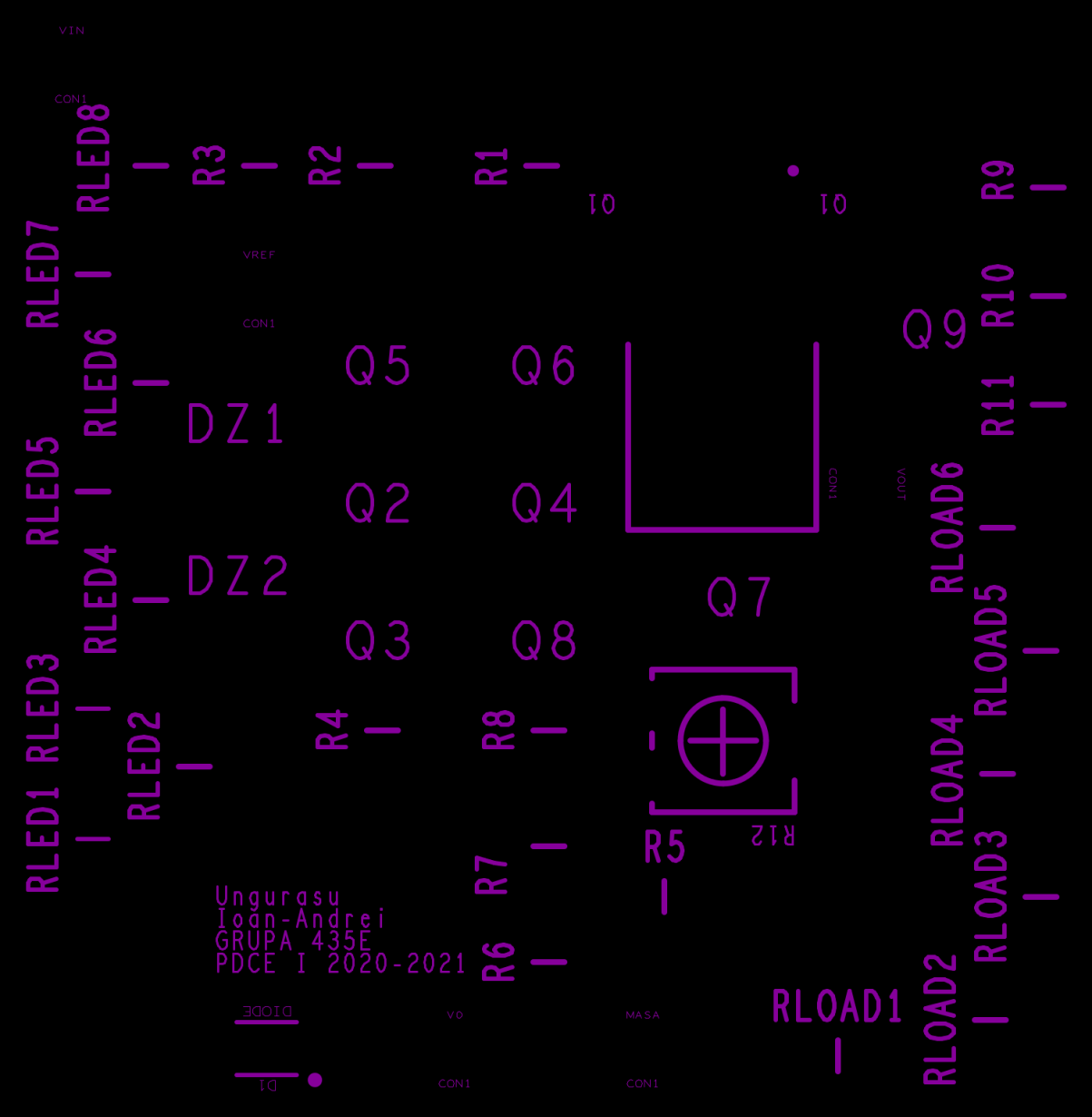
TOP



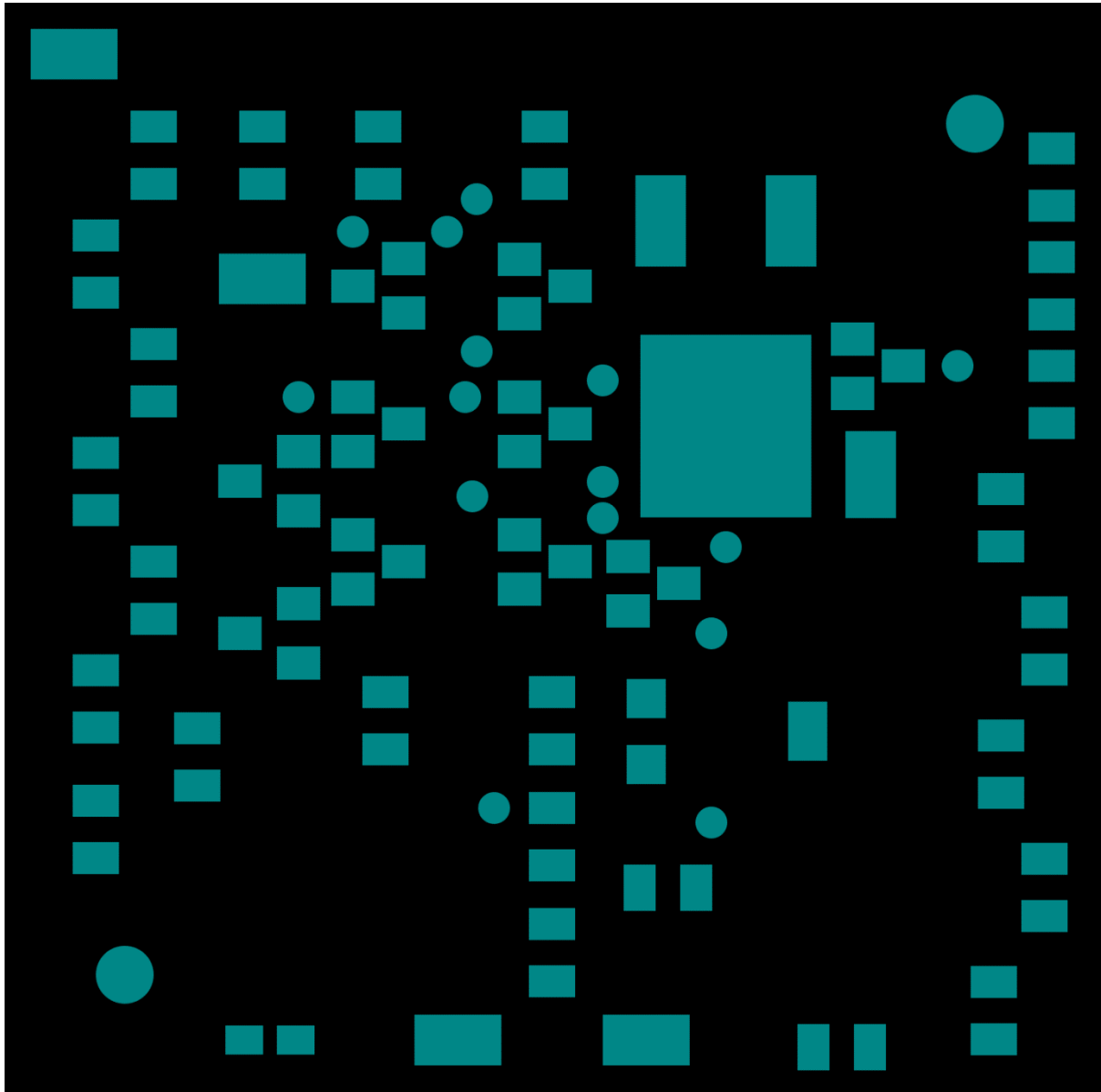
BOT



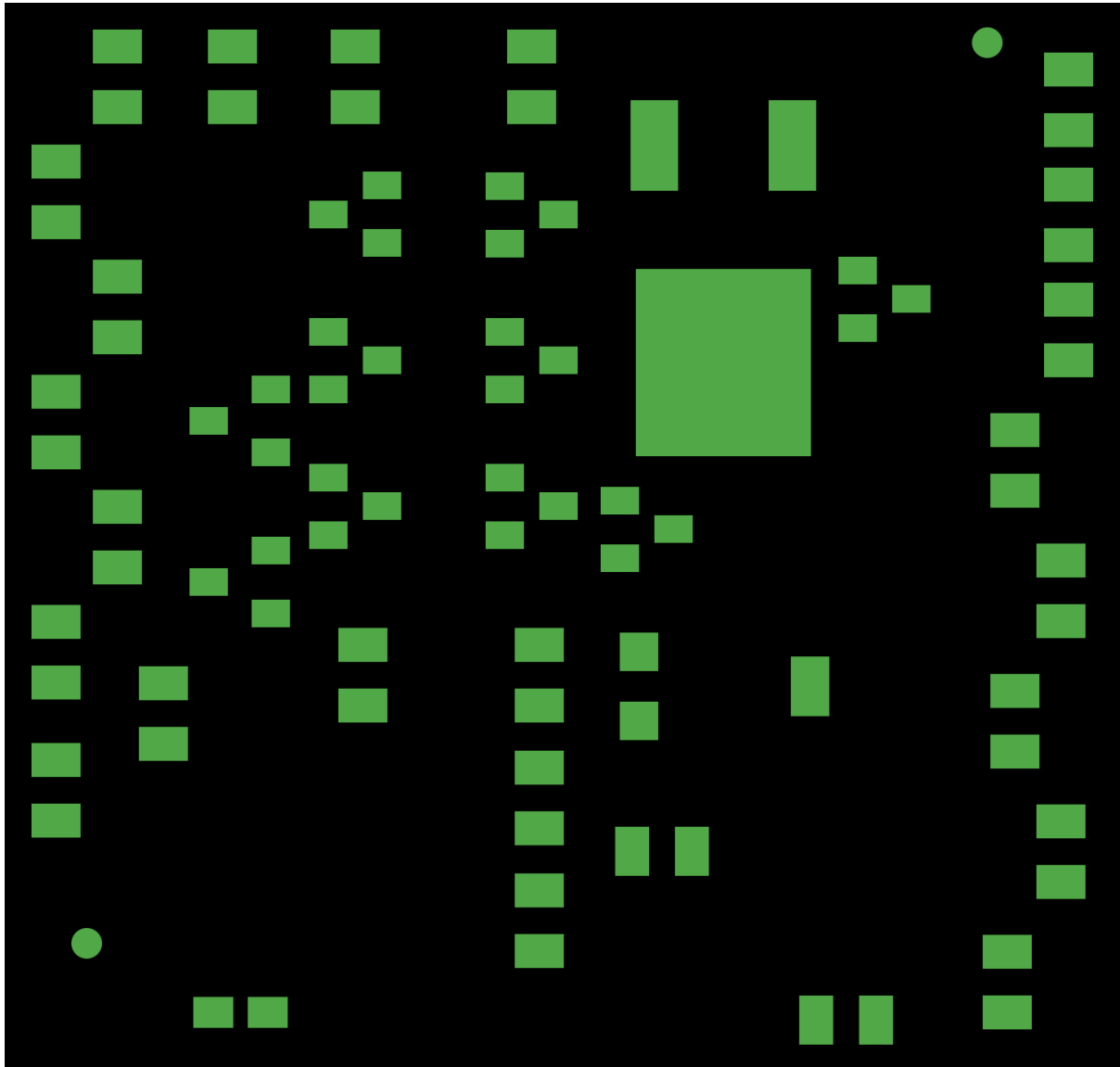
Silk Screen Top



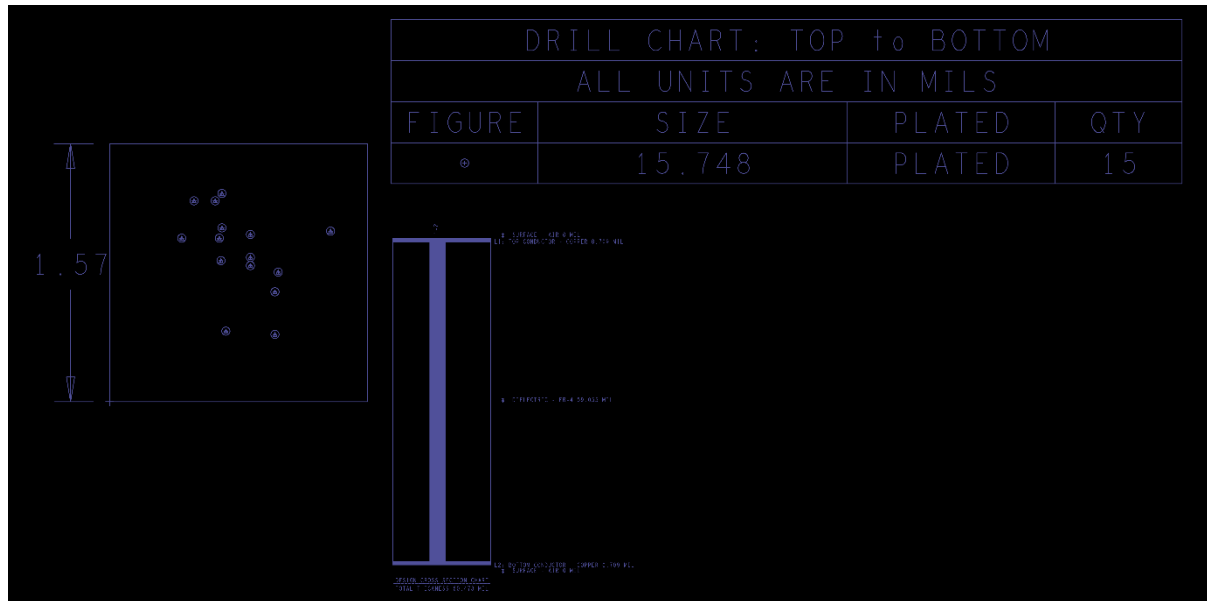
Solder Mask Top



Solder Paste Top



Fab



Foaie de catalog

Caracteristici:

Tensiunea de ieșire reglabilă în intervalul 10.5 – 21 V.

Sarcina la ieșire de 1.05 kOhm.

Deriva termică 1.06 mV/°C.

Protecție la suprasarcină la 100 °C și la curent maxim 0.4 A.

Tensiunea de intrare în intervalul 37.8 – 42 V.

Domeniul temperaturilor 0° – 70°C.

Amplificarea în tensiune minimă (în buclă deschisă) a amplificatorului de eroare 4500.

Dimensiunile PCB: 40mm x 40mm.

Material PCB: FR4, dublu strat/grosimea foliei de cupru 18 μm, grosimea plăcii 1,5 mm.

Conectori: masa, Vref, Vout, Vin, V0.

Mod de utilizare:

Bornele +/- ale sursei de curent continuu se vor regla la conectorii Vin/masa.

Tensiunea de ieșire se va regla din potențiometrul P1.

Tensiunea de ieșire se va măsura cu ajutorul conectorilor Vout și masa/V0.

Tensiunea de referință se va măsura cu ajutorul Vref și masa/V0.