

## CONVERTOR TENSIUNE - FRECVENTA CU ASTABIL SIMETRIC CU REACTIE CAPACITIVA INTRE EMITORE

### 1. NOTIUNI TEORETICE

#### 1.1 Principiul de functionare.

Circuitul astabil simetric cu reactie capacitiva intre emitoare este reprezentat in figura 1. Acest circuit simetric este de fapt un amplificator diferential cu tranzistoarele  $Q_1, Q_2$  si circuitele de decalare a nivelului  $Q_3, R_5, R_6$  si  $Q_4, R_{10}, R_{11}$ . Asupra acestui circuit se inchide o bucla de reactie pozitiva prin conexiunile incrucisate colector-baza de la  $C_1$  la  $B_2$  si respectiv  $C_2$  la  $B_1$  si prin condensatorul  $C$  conectat intre  $E_1$  si  $E_2$ . Ultima conexiune este efectiva doar pentru variatii rapide ale tensiunii pe condensator si inexistentia pentru variatii lente [ $i_C = C(dV_{cond})/dt$ ].

Pe durata regimului tranzitoriu rapid reactia este pozitiva dupa cum se poate verifica urmarind transmiterea unei perturbatii negative aplicate la emitorul lui  $Q_1$ . Prin deschiderea acestui tranzistor se produce o variatie spre (-) in colectorul  $C_1$  si simultan o variatie spre (+) in colectorul  $C_2$ . Aceste variatii se transmit cu semnul (-) prin  $Q_4, R_{10}, R_{11}, Q_2$  la emitorul lui  $Q_1$  intarind perturbatia initiala, si cu semnul (+) prin  $Q_3, R_5, R_6$  la baza lui  $Q_1$  determinind deschiderea mai rapida a lui  $Q_1$  (a se urmari variatiile potentialelor reprezentate cu sageti rosi in fig.1).

Ca la orice sistem cu reactie pozitiva pot exista doua stari stabile corespunzatoare intrarii in limitari (de tensiune, de curent, saturare sau blocare a dispozitivelor active).

In acest circuit tensiunile minime la cele doua colectoare  $C_1, C_2$  sint fixate la  $V^+ - V_{Z4} - V_D$  prin  $D_4, D_3, D_5$ , iar curentii de emitor prin generatoarele comandate de curent  $I$ , astfel incit tranzistoarele  $Q_1, Q_2$  (ca si  $Q_3, Q_4$ ) nu se satureaza.

Datorita cuplajului capacitiv intre  $E_1$  si  $E_2$  cele doua stari extreme nu sint stabile ci metastabile circuitul avind proprietatea de a bascula intre cele doua stari prin deschiderea alternativa a celor doua tranzistoare  $Q_1, Q_2$  datorita variatiilor tensiunii pe condensatorul de cuplaj ca urmare a curentilor  $I$ .

In figura 1 se considera momentul imediat consecutiv unei perturbatii de tensiune negativa (sagetele negre) la baza lui  $Q_2$ . Circuitul evolueaza pina la taierea lui  $Q_1$  si deschiderea la curentul maxim posibil a lui  $Q_2$  care care va sustine la emitor un curent de marime  $2I$  (momentul  $t_0$  in figura 1)

În acest moment tensiunea la emitorul lui  $Q_1$  este:

$$V_{E1} = V_{EL} = (V^+ - V_Z - V_D - V_{BE3}) k - V_{BE1} \quad (1)$$

iar la emitorul lui  $Q_2$ :

$$V_{E2} = V_{EH} = (V^+ - R_7 I_{B4} - V_{BE4}) k - I_{B2} k R_{10} - V_{BE2} \quad (2)$$

Tensiunea la emitorul tranzistorului  $Q_1$  in momentul initial este mai mare decit in baza deoarece acesta tocmai a efectuat un salt de la valoarea metastabila anterioara ( $V_{EH}$ ) la  $V_{EH} + (V_{EH} - V_{EL})$  adica un salt pozitiv de tensiune  $V_{EH} - V_{EL}$  si ca urmare tranzistorul  $Q_1$  se mentine blocat cita vreme tensiunea la emitorul lui  $Q_1$  nu coboara la  $V_{EL}$  cind  $Q_1$  se deschide sub actiunea buclei de reactie pozitiva si simetric determina blocarea lui  $Q_2$ . Deoarece armatura din dreapta a lui  $C$  este la tensiunea  $V_{EH}$  armatura din stinga evolueaza liniar spre (-) cu o rata :

$$\frac{dV_E}{dt} = - \frac{I}{C} \quad (3)$$

pina cind  $V_{E1}$  ajunge la  $V_{EL}$  si se declanseaza bucla de reactie mentionata anterior (sageti rosii avind ca finalitate deschiderea lui  $Q_1$  si blocarea lui  $Q_2$  .

Daca pentru simplitate , avind in vedere si cuasiidentitatea temperaturilor pentru tranzistoarele Q1-Q4 care se gasesc pe acelasi chip se considera  $V_{BE1}=V_{BE2}=V_{BE3}=V_{BE4}=V_D$  relatiile (1) si (2) se scriu sub forma :

$$V_{EL} = (V^+ - V_Z - V_D - V_D) k - V_D \quad (4)$$

$$V_{EH} = (V^+ - R_7 I_{B4} - V_{BE4}) k - k I_{B2} R_{10} - V_D \quad (5)$$

In figura 2. sint reprezentate in stnga originii timpului  $t_0$  tensiunile  $V_{EH}$ ,  $V_{EL}$  si termenii acestora conform relatiilor (4) si (5).

In dreapta sint reprezentate cronogramele tensiunilor la cele doua emitoare  $V_{E1}(t)$  cu linie neagra si  $V_{E2}(t)$  cu linie rosie ca si (reprezentate la alta scara) ale tensiunilor la cele doua colectoare  $V_{C1}(t)$  si respectiv  $V_{C2}(t)$ .

Deoarece asa cum se observa pe figura 2. pentru prima semipe-rioadă ( $T/2$ ) variatia de tensiune la emitorul lui  $Q_1$   $V_{E1}$  trebuie sa aiba o variatie de marime  $2(V_{EH}-V_{EL})$  de la  $t_0$  la  $t_0+T/2$  se poate scrie:

$$\frac{T}{2} \frac{dV_{E1}}{dt} = \frac{T}{2} \left( -\frac{I}{C} \right) = -2(V_{EH} - V_{EL}) \quad (6)$$

si de aici:

$$T = \frac{2C \times 2(V_{EH} - V_{EL})}{I} \quad (7)$$

respectiv:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{I}{4C(V_{EH} - V_{EL})} \quad (8)$$

adica o frecventa direct proportionala cu marimea curentului  $I$  daca numitorul este o constanta.

Intrucit  $C$  este o marime constanta cu foarte buna aproximatie ramine de evaluat constanta parantezei.

Conform relatiilor (4) si (5):

$$\begin{aligned} V_{EH} - V_{EL} &= V^+ k - R_7 I_{B4} k - I_{B2} R_{10} k - V_D - \\ &- V^+ k + V_Z k + V_D k + V_D = \\ &= (V_Z + V_D - R_7 I_{B4} + R_{10} I_{B2}) k \end{aligned} \quad (9)$$

Daca prin proiectarea circuitului se asigura inegalitatile  $R_7 I_{B4} \ll V_Z + V_D$  si  $R_{10} I_{B2} \ll V_Z + V_D$  sau cel putin  $(R_{10} I_{B2} - R_7 I_{B4}) \ll V_Z + V_D$  se poate scrie:

$$f \approx \frac{I}{4C(V_Z + V_D)} \quad (10)$$

Dupa cum rezulta din (10)  $f$  este independenta de  $V^+$  si invers proportionala dependenta de  $C$  (element pasiv cu buna stabilitate si de suma tensiunilor  $(V_Z + V_D)$  care poate avea variatii in functie de temperatura dispozitivelor conform relatiilor:

$$V_D = V_{D0} (1 + k_{\theta D} \Delta\theta) \quad (11)$$

$$V_Z = V_{Z0} (1 + k_{\theta Z} \Delta\theta) \quad (12)$$

unde  $V_{D0}$ ,  $V_{Z0}$  sint tensiunile la o temperatura de referinta (de obicei  $25^\circ\text{C}$ ) si  $dt=(t-t_0)$  este variatia temperaturii fata de temperatura de referinta iar  $k_{tD}$  si  $k_{tZ}$  sint coeficientii de variatie cu temperatura a tensiunilor  $V_D$  respectiv  $V_Z$ .

Coeficientul  $k_{tD}$  este negativ si tipic are valori intre  $-(2...2,2)$  mV/ $^\circ\text{C}$  iar  $k_{tZ}$  are valori pozitive pentru diode cu  $V_{Z0}>5.6\text{V}$ .

Exprimind suma  $V_Z+V_D$  conform (11), (12) rezulta:

$$V_Z + V_D = V_{Z0} + V_{D0} + \Delta\theta (k_{\theta Z} + k_{\theta D}) \quad (13)$$

de unde se vede ca suma  $V_Z+V_D$  este independenta de variatiile temperaturii dt daca  $k_{tZ}+k_{tD}=0$  ceea ce presupune gasirea unei diode Zener avind  $k_{tZ}=+2...2,2$  mV/ $^\circ\text{C}$ .

O solutie acceptabila este BZX79-C6V2 din productia PHILIPS avind  $k_{tZ}=2.3$  mV/ $^\circ\text{C}$  valoare tipica.

Admitind compensarea variatiilor datorate temperaturii (10) devine:

$$f \approx \frac{I}{4C(V_{Z0} + V_{D0})} = \frac{1}{4} \frac{I}{C} \frac{1}{6,8} \quad (14)$$

## 1.2 Explicarea schemei convertorului.

In figura 3 este reprezentata schema completa a convertorului .Suplimentar fata de schema din figura 1 apar simetric circuitele de iesire pentru tensiuncompatibile TTL sau CMOS (+5 V) cu scadere activa a tensiunii prin  $Q_{11}$  (sau  $Q_{12}$ ) si ridicare pasiva prin  $R_7$  ( $R_{12}$ ). Aceste invertoare logice sint comandate de translatoarele de nivel  $Q_9$ ,  $D_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  sau ( $Q_{10}$ ,  $D_6$ ,  $R_{13}$ ,  $R_{14}$ ).

Intre emitoare (bornele 5 si respectiv 7) se pot conecta condensatoare C de valori diferite : $C_1 = 1\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 10\text{nF}$ ,  $C_3 = 100\text{pF}$  facind conexiunile intre borna 9 si respectiv 6, 8, 13.

Sursele comandate de curent I din figura 1 sint constituite din convertorul de transconductanta cu AO1 (conectat ca inversor) si  $Q_9$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_7$ ,  $Q_8$ ,  $Q_5$ ,  $Q_6$ . Conexiunea cascod a perechilor de tranzistoare  $Q_7$ ,  $Q_5$  respectiv  $Q_8$ ,  $Q_6$  are menirea de a asigura o impedanta de iesire mare a generatoarelor de curent I vazuta dinspre emitoarele tranzistoarelor  $Q_1$ ,  $Q_2$ .

AO1 are prevazut circuitul de ajustare a tensiunii de ofset care cuprinde  $R_{13}$ ,  $R_{17}$ ,  $R_{19}$ ,  $R_{20}$ ,  $R_{21}$  si condensatorul de filtrare  $C_5$ .

Comanda surselor se poate face din exterior prin tensiunea aplicata la borna 19 prin  $R_{14}$  sau de la sursa reglabila de tensiune cu potentiometru elicoidal realizata pe o placuta fixata pe placa de baza de marime  $V_R$  si disponibila la borna 16.

Daca se admite ca tranzistoarele  $Q_9$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_7$ ,  $Q_8$  sint identice si la aceeasi temperatura (rezonabil observind ca acestea sint pe acelasi chip) iar amplificarea de curent  $\beta_f$  a acestor tranzistoare este foarte mare se poate arata ca  $I_{C9} = I_{C10} = I_{C7} = I_{C8}$ . Reactia asupra lui AO1 fiind efectuata prin curentul  $I_C$  (iar intrarea inversoare absorbind un curent practic nul si fiind la potentialul masei (dupa ajustarea decalajului AO1 exista relatia

$$\frac{V_R}{R_{22} + R_{23}} = I_{C9} = I_{C7} = I_{C8} \quad (15)$$

Daca se considera si amplificarea de curent a tranzistoarelor  $Q_5$ ,  $Q_6$  ca fiind foarte mare  $I_{C7} = I_{C8} = I_{C5} = I_{C6} = I$  si revenind la (14) rezulta:

$$f = \frac{1}{4} \frac{1}{C} \frac{1}{V_Z + V_D} \frac{V_R}{R_{22} + R_{23}} \quad (16)$$

adica o frecventa proportionala cu  $V_R$ , constanta depinzind numai de marimile caracteristice unor componente pasive  $C$  si  $(R_{22} + R_{23})$  si sumei  $(V_Z + V_D)$  care poate fi compensata fata de variatiile temperaturii.

## 2. DESFASURAREA LUCRARIII

### 2.1. Indicatii generale

Montajul lucrarii de laborator este realizat pe o placa alimentata prin conector cu tensiunile de alimentare necesare (+15 , -15 V). Totodata prin acelasi conector borna 25 de placa este conectata la cablul coaxial marcat IN1 pe panoul din spate al sasiului ,iar bornele de iesire 21 ,22 ,23 ,24 (cu iesiri coaxiale marcate pe panoul din spate O1 ,O2 ,O3 si cu opereche de borne banana pentru O4). Cablurile coaxiale care pleaca din panoul din spate al sasiului permit conectarea directa la conectoare BNC spre generatoare (IN1) sau spre aparate de masurare (osciloscop ,voltmetru ,ampermetru ,frecventmetru) de la bornele  $O_1, O_4$ .

Conexiunile de la conectorul placii se pot continua spre punctul dorit din montaj din bornele de pe placa 25 ,21 ,22 ,23 ,24 cu firele de legatura disponibile.

In general schimbarea configuratiei montajului - nu lipsita de riscuri - trebuie facuta cu alimetarea intrerupta (comutator si semnalizare cu LED pe panoul frontal al sasiului). Aceasta indicatie se ignora atunci cind o cere mersul lucrarii.

### 2.2. Reglajul decalajului la AO1.

Se conecteaza iesirea O4 de la panoul din spate prin cablu bifilar la intrarea multimetrului electronic (masa la negru ,borna calda la rosu). In acest fel la borna 24 de pe placa este borna calda a multimetrului.

Se fac conexiunile 24 cu 16 si 10 cu 18 . Se regleaza tensiunea masurata la 16 la valoarea minimum-minimorum actionind asupra potentiometrului elicoidal. Se muta conexiunea din borna 16 la borna 17 si se regleaza tensiunea la minimum-minimorum actionind asupra potentiometrului semireglabil  $R_{19}$ . Se scoate conexiunea 10 cu 18. Se intrerupe alimentarea.

### 2.3. Ridicarea caracteristicii de transfer a convertoarelor V-I.

Tensiunea de intrare este  $V_R$  masurabila cu multimetrul comutat pe V(mV) DC la borna 16 si reglabila in domeniul 0~10 V din potentiometrul elicoidal.

Curentul se masoara tot cu multimetrul (comutat pe mA DC) prin efectuarea conexiunilor spre colectoarele tranzistoarelor  $Q_5$  sau  $Q_6$  la bornele 19 sau 20 . Colectorul tranzistorului care nu se masoara se conecteaza prin legaturi 19-11 sau 20-11 la masa pentru a nu afecta functionarea generatoarelor de curent.

Se modifica  $V_R$  in domeniul 0...10 V si se masoara curentii celor doua tranzistoare la bornele 19, 20 avind in vedere cele de mai sus.

Se intocmeste tabelul T.1. si se calculeaza ultimele linii:

Se reprezinta grafic dependenta  $(i_{C5} + i_{C6}) = f(V_R)$  si se stabileste cea mai buna aproximare liniara precizind valorile rezultate pentru sensibilitatea convertorului V-I in [mA/V] si decalajul acestuia in mV. Se intrerupe alimentarea.

### 2.4. Ridicarea caracteristicii de transfer f-V

Se fac conexiunile 12-19 ; 20-14 ; si 9 cu 6 respectiv cu 8 sau 13.

Se vizualizeaza formele de unda la  $E_1, E_2, C_1, C_2$  si se deseneaza la scara in [V] si t [ms,ns].

$V_R(V)$	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
$i_{C5}(mA)$							
$i_{C6}(mA)$							
$i_{C5}+i_{C6}$							
$i_{C5}-i_{C6}$							
$i_{C5}-i_{C6}$							
$i_{C5}+i_{C6}$							

Se modifica tensiunea aplicata la intrarea convertorului VR masurata cu multimetrul la borna 16 si se masoara frecventa si semiperioda pe palierul pozitiv T/(+) sau negativ T/2(-) la una din bornele 1 sau 4 conectate la O1 si prin aceasta la frecvent-metru -periodmetru intocmindu-se tabelul T.2.

$V_R [V]$	0.03	0.09	0.3	0.9	3	9	Observatii
f[Hz]							Conexiune 6-9 C=1 uF
T/2(+)[ms]							
T/2(-)[ms]							
f[kHz]							Conexiune 6-9 C=10 nF
T/2(+)[ms]							
T/2(-)[ms]							
f[Mhz]							Conexiune 9-13 C=100 pF
T/2(+)[us]							
T/2(-)[us]							

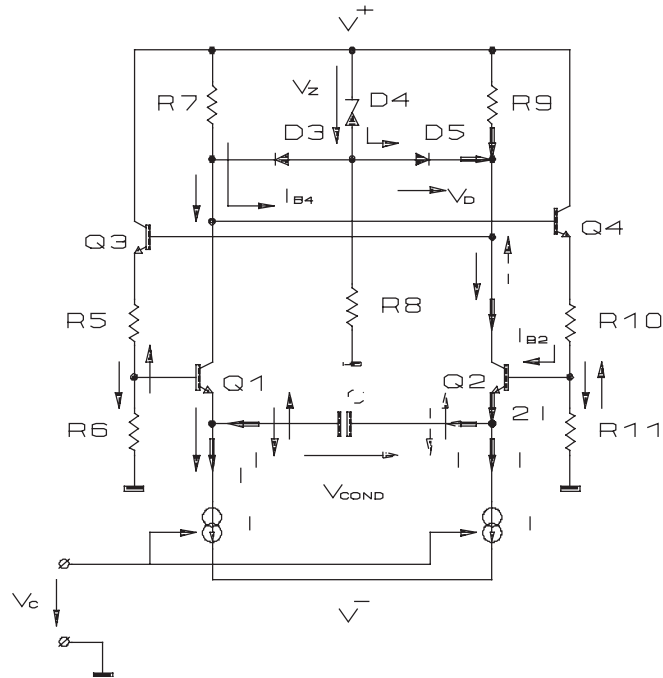
Se completeaza prin calcul tabelul T.3.

$V_R [V]$	0.03	0.09	0.3	0.9	3	9	Observatii
T/2(+)-T/2(-)							Conexiune 6-9 C=1 uF
T/2(+)+T/2(-)							
T/2(+)-T/2(-)							Conexiune 6-9 C=1 uF
T/2(+)+T/2(-)							
T/2(+)-T/2(-)							Conexiune 6-9 C=1 uF
T/2(+)+T/2(-)							

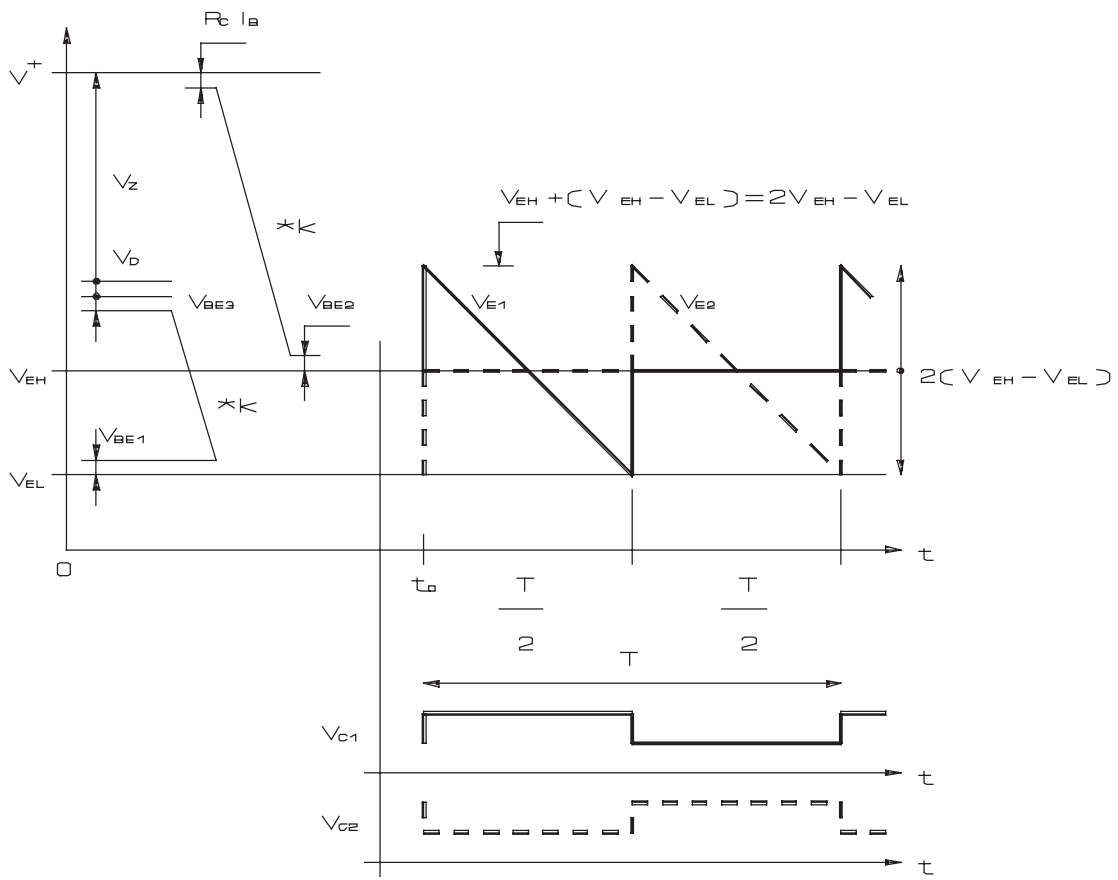
Se reprezinta grafic pe trei grafice diferite la scari convenabile functiile de transfer  $f=f(V_R)$  si se determina cea mai buna aproximare liniara precizind valorile rezultate pentru sensibilitatea convertorului [Hz/V] si decalajul in [mV].

### 3. INTREBARI

- 3.1. Ce rol au diodele  $D_1, D_7$  ?
- 3.2. Ce rol are dioda  $D_8$  ?
- 3.3. Ce rol are condensatorul trimmer  $C_4$ ; de ce a fost prevazut doar pe acest domeniu din cele trei ?
- 3.4. Tranzistoarele  $Q_5, Q_6$  nu sint in circuitul integrat in schimb  $Q_7, Q_8$  sint. Era mai bine invers ? De ce ?
- 3.5. Ce importanta are simetria in buna functionare a acestui circuit ? De ce ? Dati cit mai multe argumente !
- 3.6. Daca tranzistoarele  $Q_1 \sim Q_4$  comuta fara a intra in saturatie cine limiteaza frecventa maxima de oscilatie considerind si comutarea in timp finit a circuitelor de iesire  $Q_{13} \sim Q_{11}$  respectiv  $Q_{14} \sim Q_{12}$  avind in vedere iesirile O1, O4 ?
- 3.7. Ce rol are rezistorul  $R_8$  ?
- 3.8. Ce conditii se pot stabili intre rezultatele din ultima linie a tabelului T.1. si rezultatele di tabelul T.3.:
  - a). calitativ ?
  - b). cantitativ ?
- 3.9. exista o evidenta inegalitate intre cele doua semiperioade ale oscilatorului . Cum se poate proceda atunci cind factorul de umplere al semnalului trebuie sa fie exact 1/2 ?
- 3.10. Prin modificarea caror elemente din circuit se ajusteaza sensibilitatea convertorului /
- 3.11. Prin modificarea caror elemente din circuit se ajusteaza decalajul caracteristicii statice a convertorului?
- 3.12. Poate functiona convertorul la curenti  $I_{C5} = I_{C6} = I_C$  tinzand spre 0 ?  
Daca da de ce ?                      Daca nu de ce ?



**Figura 1** Schema de principiu simplificată



**Figura 2** Cronograme

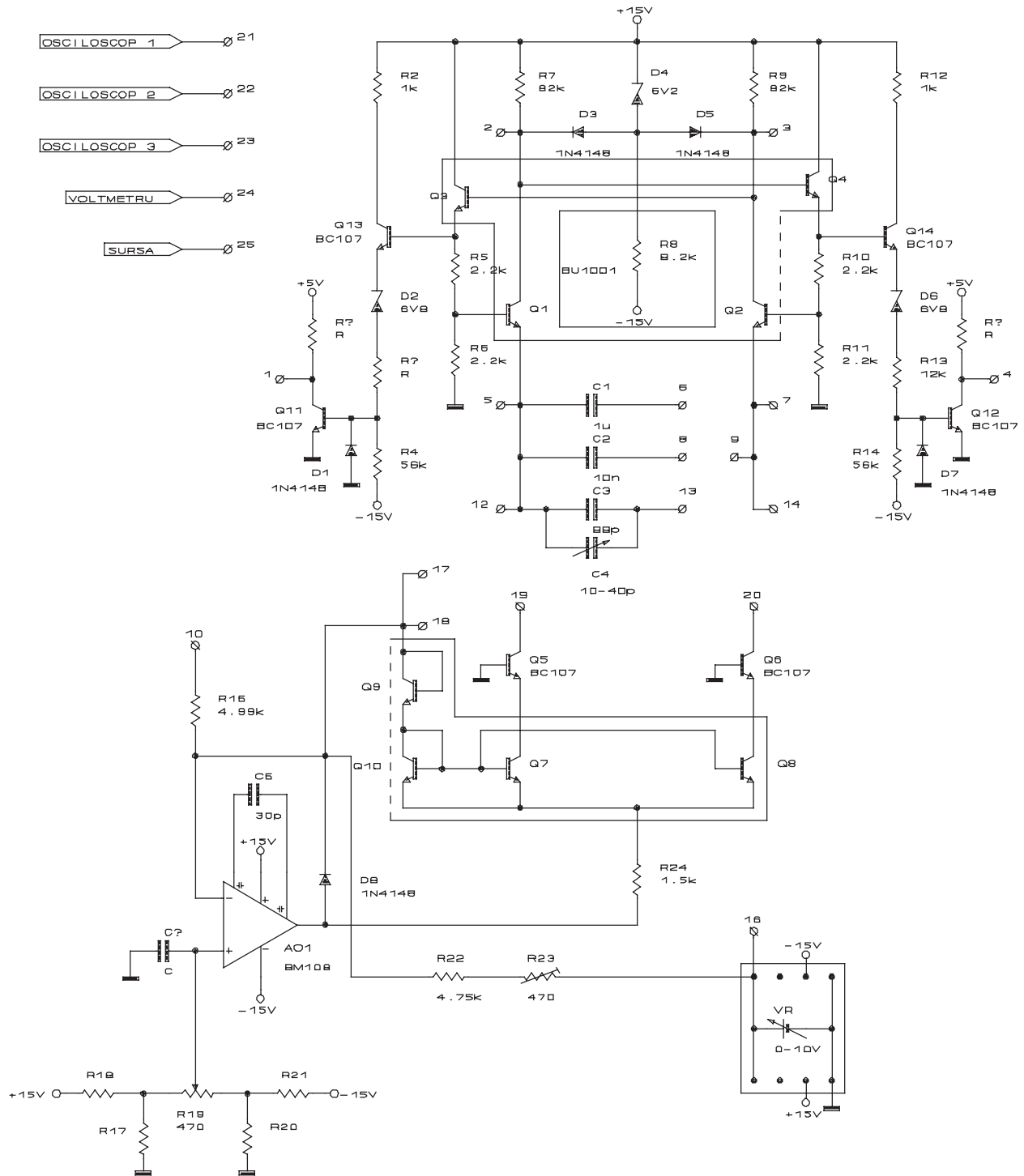


Figura 3 Schema platformei de laborator