

**Universitatea Națională de Știință și
Tehnologie Politehnica București**

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

Oscilator RC cu punte Wien

Circuite electronice fundamentale 2

Proiect

Student: Rotariu Marina-Bianca

Grupa: 433E

Anul: 2025-2026

Cuprins

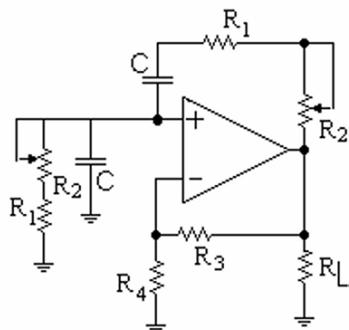
1. Date de proiectare	2
2. Schema bloc a circuitului	2
3. Schema electrica.....	4
4. Proiectarea circuitului și selectarea componentelor potrivite.....	4
4.1 Rețeaua Wien	4
4.2 Rețeaua de reacție negativă formată din R3 și R4	5
4.3 Control automat al amplitudinii de oscilație realizat cu TEC-J	6
4.4 Amplificatorul de baza	7
4.5 Etaje principale și funcții	8
5. Calculul analitic al circuitului	10

1. Date de proiectare

$N = 25$

- Frecvența de oscilație reglabilă în intervalul $\{0.5*25 ; 3*25\} [\text{KHz}] \rightarrow \{12.5;75\} [\text{KHz}]$
- Sarcina de la ieșire $25 [\text{K}\Omega]$;
- Control automat al amplitudinii de oscilație realizat cu TEC-J
- Amplitudinea oscilației la ieșire $20/1.5*25 = 0.53 [\text{V}]$
- Domeniul temperaturilor de funcționare: $0^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$ (verificabil prin testare în temperatură);
- Semnalizarea prezenței tensiunilor de alimentare cu diodă de tip LED

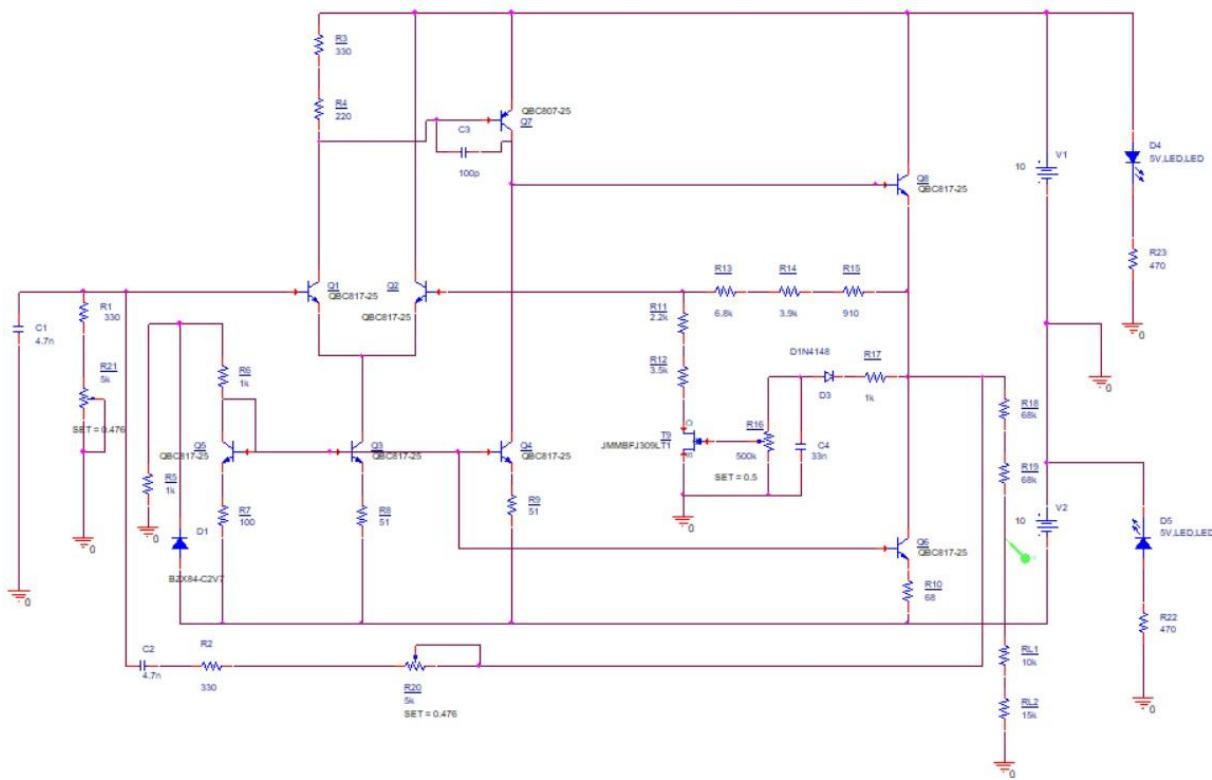
2. Schema bloc a circuitului



Putem identifica următoarele blocuri componente:

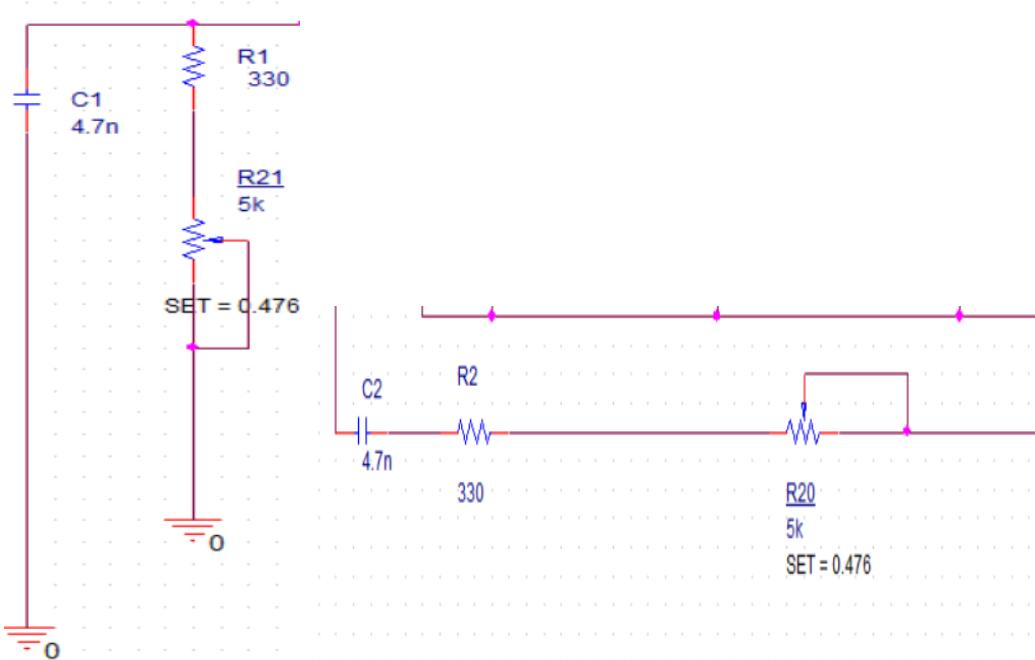
1. Amplificatorul de bază
2. Rețeaua de reacție pozitivă (rețeaua Wien) formată din R_1 , R_2 și C
3. Rețeaua de reacție negativă formată din R_3 și R_4
4. Rezistența de sarcină R_L

3. Schema electrică



4. Proiectarea circuitului și selectarea componentelor potrivite

4.1 Rețeaua Wien



Rețeaua Wien este alcătuită din două grupuri RC: unul serie și unul paralel, având o funcție de transfer de tip trece-bandă.

Când rețeaua este atacată pe grupul serie și răspunde pe grupul paralel aceasta este cu transfer de tensiune. Când intrarea este pe grupul paralel și răspunde pe grupul serie, rețeaua este cu transfer de curent.

Este folosita datorită simplității implementării și posibilității de reglare a frecvenței de oscilație prin utilizarea unui potențiometru dublu în locul celor două rezistoare separate.

Factorul de transfer al rețelei este $\beta = \frac{1}{3}$, iar conform condiției de amorsare a oscilațiilor $A\beta = 1 \Rightarrow$ amplificarea totală a circuitului trebuie să fie egală cu 3.

Frecvența de oscilație se determină cu formula:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

În general, în etapa de proiectare se fixează valoarea condensatoarelor, iar rezistența R se alege astfel încât să se obțină frecvența dorită.

Pentru acest scop, se utilizează un potențiometru standard de **5 kΩ**, iar condensatoarele se stabilesc la **$C_1 = C_2 = 4.7 \text{ nF}$** , pentru a acoperi o gamă convenabilă de reglaj a frecvenței.

Aplicând formula pentru limitele inferioară și superioară ale domeniului de frecvență (f_{min} și f_{max}):

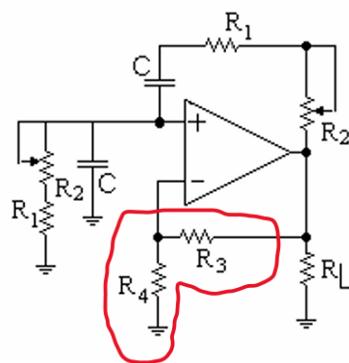
$$R = \frac{1}{2\pi Cf}$$

Rezultă:

- pentru $f_{min} = 12.5 \text{ kHz}$, $R_{max} = 2700 \Omega$ (SET = 0.476)
- pentru $f_{max} = 75 \text{ kHz}$, $R_{min} = 450 \Omega$ (SET = 0.024)

Datorită faptului că nu beneficiezi de o rezistență de valoarea $R_{min} = 450\Omega$, am ales să folosesc un rezistor de 330Ω și să reglez potențiometrul la valoarea de 0.024 astfel acumulând restul de 120Ω lipsa.

4.2 Rețeaua de reacție negativă formată din R3 și R4;



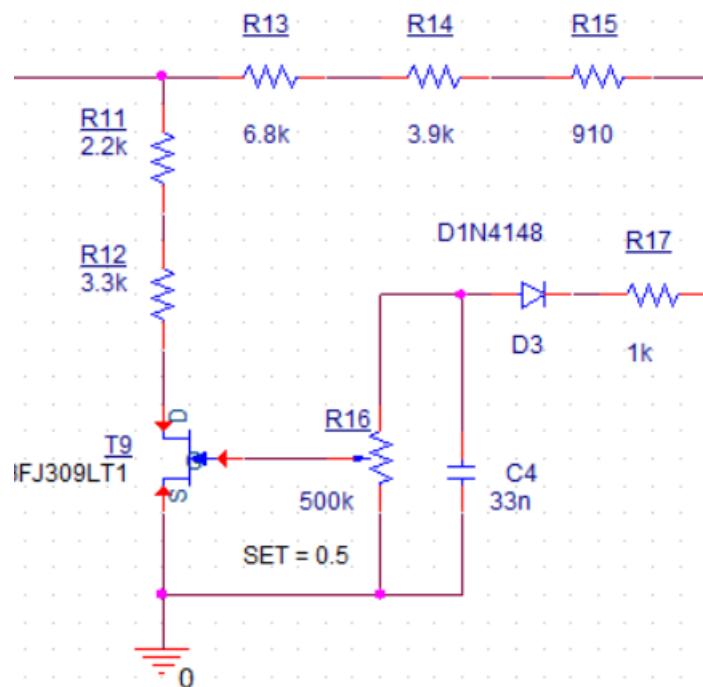
Bucla de reacție negativă are rolul de a stabiliza amplificarea în tensiune la o valoare constantă. Această amplificare este determinată exclusiv de valorile rezistențelor R_3 și R_4 , conform relației:

$$A = 1 + \frac{R_3}{R_4}$$

Pentru a îndeplini condiția lui Barkhausen, rezistența R_3 trebuie să fie aproximativ de două ori mai mare decât R_4 , astfel încât amplificarea totală să fie cel puțin egală cu 3.

Dacă se alege $R_4 = 5.5 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_3$ trebuie să aibă o valoare teoretică de aproximativ **11.61 k}\Omega**. În practică, această valoare se ajustează ușor peste cea teoretică pentru a garanta pornirea oscilațiilor și stabilizarea acestora.

4.3 Control automat al amplitudinii de oscilație realizat cu TEC-J



Detectia amplitudinii:

Dioda D3 împreună cu condensatorul C4 preiau semnalul de la ieșirea oscilatorului.

Dioda realizează redresarea semnalului, iar condensatorul îl filtrează, obținându-se astfel o tensiune continuă proporțională cu amplitudinea oscilațiilor.

Controlul rezistenței:

Tensiunea continuă obținută este aplicată pe poarta tranzistorului JFET, care acționează ca o rezistență variabilă între drenă și sursă. Valoarea acestei rezistențe se modifică în funcție de tensiunea de pe poartă.

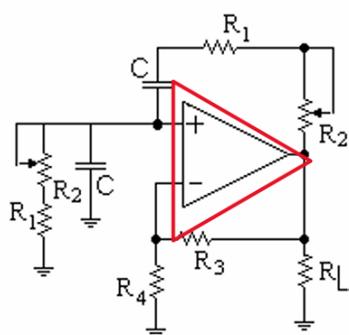
Reglarea câștigului:

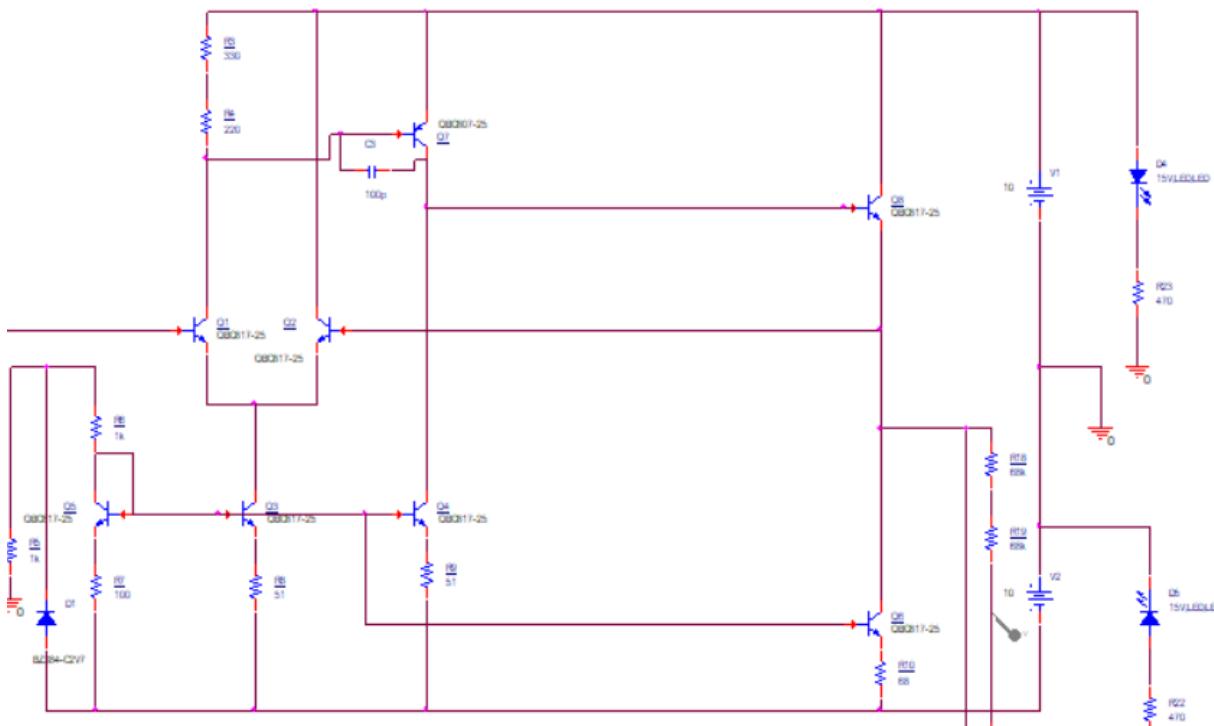
Rezistența variabilă a tranzistorului JFET este inclusă în rețea de stabilire a câștigului amplificatorului din oscilator.

Atunci când amplitudinea oscilațiilor crește, tensiunea de control devine mai mare, determinând creșterea rezistenței. În consecință, câștigul amplificatorului scade, readucând amplitudinea la valoarea dorită.

În situația opusă, când amplitudinea scade, rezistența se diminuează, ceea ce mărește câștigul amplificatorului și restabilește amplitudinea corectă a oscilațiilor.

4.4 Amplificatorul de baza





Acesta este un amplificator audio de putere în clasă AB, realizat într-o structură clasică pe trei etaje, optimizată pentru performanță ridicată.

1. Etajul de intrare

Tranzistoarele Q1 și Q2 alcătuiesc o pereche diferențială care primește semnalul de intrare. Împreună cu oglinda de curent formată din Q3 și Q5, acest etaj asigură un câștig inițial ridicat și o bună rejectare a zgomotului.

2. Etajul de amplificare în tensiune

Tranzistorul Q4, având ca sarcină activă pe Q7, realizează amplificarea principală în tensiune a semnalului, reprezentând secțiunea care furnizează cea mai mare parte a câștigului total.

3. Etajul de ieșire

Tranzistoarele Q7 și Q8 formează un etaj de tip „push-pull”, capabil să furnizeze curentul necesar sarcinii. Circuitul din jurul lui Q8 stabileste tensiunea de funcționare necesară celor două tranzistoare, astfel încât ele să preia semnalul în mod continuu, fără pauze între jumătățile de undă. În acest fel sunt eliminate distorsiunile de trecere prin zero caracteristice amplificatoarelor în clasă AB.

4.5 Etaje principale și funcții

Oglinda de curent și sursa de referință: Q3, Q5, D2

Dioda D2 creează tensiunea de referință necesară, iar tranzistoarele Q3 și Q5, configurate ca oglindă de curent, furnizează un curent constant care alimentează etajele sensibile. Astfel, circuitul este menținut stabil chiar dacă tensiunea de alimentare variază.

Sursă suplimentară de curent: Q4, Q6

ACESTE TRANZISTOARE EXTIND REȚEUA DE ALIMENTARE CU CURENT CONSTANT ȘI ASIGURĂ POLARIZAREA INDEPENDENTĂ A ALTOR SECTIUNI, ÎMBUNĂTĂȚIND SEPARAREA FUNCȚIONALĂ ȘI STABILITATEA ANSAMBLULUI.

ETAJ DIFERENȚIAL: Q1, Q2

TRANZISTOARELE Q1 ȘI Q2 FORMEAZĂ ETAJUL DIFERENȚIAL CARE PRIMEȘTE SEMNALUL DE INTRARE. ACESTA OFERĂ UN BUN RAPORT DE RESPINGERE A MODULUI COMUN ȘI STABILEȘTE BAZA PENTRU OSCILAȚII. CURENTUL STABIL FURNIZAT DE OGLINDA DE CURENT MENȚINE FUNCȚIONAREA CORECTĂ A ETAJULUI.

ETAJUL DE AMPLIFICARE ÎN EMITOR COMUN: Q7

TRANZISTORUL Q7 AMPLIFICĂ SEMNALUL PROVENIT DIN ETAJUL DIFERENȚIAL. ÎMPREUNĂ CU REZistențele asociate, influențează factorul de calitate și lățimea de bandă a oscilatorului, contribuind la forma finală a semnalului generat.

ETAJUL DE IEȘIRE: Q8

ACEST ETAJ ASIGURĂ LIVRAREA SEMNALULUI către sarcină, oferind curentul și tensiunea necesare pentru o ieșire stabilă și neafectată de variațiile în rețelele interne.

REȚEUA WIE: R1, R2, C1, C2, R20, R21

REȚEUA RC VARIABILĂ FORMATĂ DIN ACESTE COMPONENTE STABILEȘTE FRECVENȚA DE OSCILAȚIE. REGLAJUL POTENȚIOMETRELOR PERMITE ACOPERIREA INTERVALULUI 12.5–75 kHz, ADAPTÂND OSCILATORUL LA CERINȚELE UTILIZATORULUI.

REȚEUA DE REACȚIE NEGATIVĂ: R11, R12, R13, R14, R15

ACESTE REZistențe FIXEAZĂ NIVELUL DE FEEDBACK NEGATIV, MENȚINÂND CÂȘTIGUL APROAPE DE VALOAREA CRITICĂ NECESSARĂ REȚELEI WIE (~2), ASTFEL ÎNCÂT OSCILAȚIILE SĂ FIE SUSȚINUTE FĂRĂ SĂ CREASCĂ SAU SĂ SCADĂ NECONTROLAT.

JFET-UL T9, DIODA D3, REZistența R17 ȘI CONDENSATORUL C4

- JFET-UL T9 ACȚIONEAZĂ CA O REZistență VARIABILĂ ÎN BUCLA DE REACȚIE, CONTROLÂND AUTOMAT CÂȘTIGUL.
- D3 REDRESEAZĂ SEMNALUL, PERMIȚÂND DOAR COMPONENTA POZITIVĂ SĂ ÎNCARCE C4.

- C4 stochează tensiunea de vârf, creând o componentă DC lent variabilă, care reglează poarta JFET-ului.
- R17 limitează curentul și stabilește viteza de încărcare/descărcare a lui C4, reglând pragul la care amplitudinea este redusă.

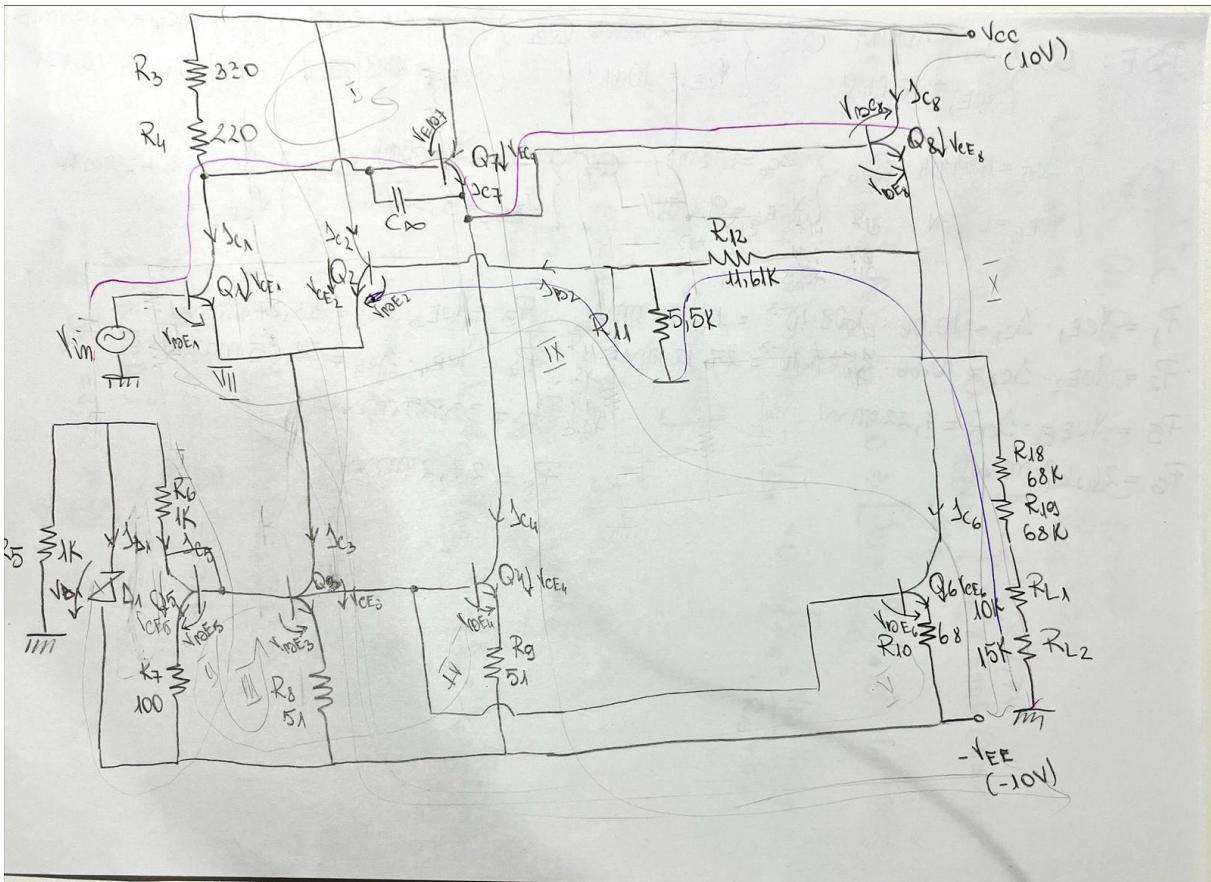
Când amplitudinea crește, tensiunea rectificată devine mai mare → poarta JFET este polarizată invers → rezistența JFET crește → câstigul scade.

Când amplitudinea scade, procesul se inversează, păstrând semnalul stabil și nedistorsionat.

Capacitatea Miller: C3

Condensatorul C3 introduce feedback capacativ, reducând banda de frecvențe și eliminând oscilațiile parazite. Ajută astfel la obținerea unei oscilații curate în intervalul dorit de 12.5 – 75 kHz.

6. Calculul analitic al circuitului



$$\text{PSF: } Q_1: \begin{cases} \Delta c_1 = 1,09 \text{ mA} \\ V_{CE_1} = 10,06 \text{ V} \end{cases} \quad Q_2: \begin{cases} \Delta c_2 = 2,545 \text{ mA} \\ V_{CE_2} = 10,66 \text{ V} \end{cases} \quad Q_3: \begin{cases} \Delta c_3 = 3,635 \text{ mA} \\ V_{CE_3} = 10,915 \text{ V} \end{cases} \quad Q_4: \begin{cases} \Delta c_4 = 3,635 \text{ mA} \\ V_{CE_4} = 10,47 \text{ V} \end{cases}$$

$$Q_5: \begin{cases} \Delta c_5 = 1,854 \text{ mA} \\ V_{CE_5} = 0,66 \text{ V} \end{cases} \quad Q_6: \begin{cases} \Delta c_6 = 2,72 \text{ mA} \\ V_{CE_6} = 9,815 \text{ V} \end{cases} \quad Q_7: \begin{cases} \Delta c_7 = 3,635 \text{ mA} \\ V_{EE_7} = 9,34 \text{ V} \end{cases} \quad Q_8: \begin{cases} \Delta c_8 = 2,72 \text{ mA} \\ V_{CE_8} = 10 \text{ V} \end{cases}$$

$$P_1 = V_{CE_1} \cdot \Delta c_1 = 10,06 \cdot 1,09 \cdot 10^{-3} = 10,96 \text{ mW}$$

$$P_2 = V_{CE_2} \cdot \Delta c_2 = 10,66 \cdot 2,545 \cdot 10^{-3} = 27,12 \text{ mW}$$

$$P_5 = V_{CE_5} \cdot \Delta c_5 = 1,22 \text{ mW}$$

$$P_6 = 26,69 \text{ mW}$$

$$P_3 = V_{CE_3} \cdot \Delta c_3 = 33,274 \text{ mW}$$

$$P_4 = V_{CE_4} \cdot \Delta c_4 = 38,05 \text{ mW}$$

$$P_7 = 33,95 \text{ mW}$$

$$P_8 = 27,2 \text{ mW}$$

Calcul analitic

$$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, Q_8: \left\{ \begin{array}{l} \beta = 290 \\ V_{BE} = 0,66 \end{array} \right.$$

~~Q_{13C8187-25}~~

$$Q_7: \left\{ \begin{array}{l} \beta = 290 \\ V_{EB} = 0,6 \end{array} \right. \quad D_1: \left\{ \begin{array}{l} V_{D1} = 2,7V \\ I_{D1} \approx 5mA (\max) \end{array} \right.$$

~~BZX84-C 2N7~~

$$T_{K\bar{I} b\bar{I}}: I_{C1}(R_3 + R_4) - V_{EB7} = 0 \Rightarrow \left[I_{C1} = \frac{0,6}{550} \cdot 10^3 = 1,09mA \right]$$

$$T_{K\bar{I} b\bar{I}}: I_{C5}(R_6 + R_7) + V_{BE5} - V_{D1} = 0 \Rightarrow \left[I_{C5} = \frac{V_{D1} - V_{BE5}}{R_6 + R_7} = \right.$$

$$= \frac{2,7 - 0,66}{1100} \cdot 10^3 = 1,854mA$$

$$T_{K\bar{I} b\bar{II}}: I_{C5}R_7 + V_{BE5} - V_{BE3} \cdot I_{C3} \cdot R_8 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left[I_{C3} = I_{C5} \cdot \frac{R_7}{R_8} = 1,854 \cdot \frac{100}{51} = 3,635mA \right]$$

$$T_{K\bar{I} b\bar{IV}}: I_{C5} \cdot R_7 + V_{BE5} - I_{C4} \cdot Rg - V_{BE4} = 0 \Rightarrow \left[I_{C4} = I_{C5} \cdot \frac{R_7}{Rg} = \right.$$

$$= 1,854 \cdot \frac{100}{51} = 3,635mA$$

$$\left[I_{C2} = I_{C3} - I_{C1} = 3,635 - 1,09 = 2,545mA \right]$$

$$T_{K\bar{I} b\bar{V}}: I_{C4} \cdot Rg + V_{BE4} - I_{C6} \cdot R_{10} - V_{BE6} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left[I_{C6} = I_{C4} \cdot \frac{Rg}{R_{10}} = 3,635 \cdot \frac{51}{68} = 2,72mA \right]$$

$$\left[I_{C7} = I_{C4} = 3,635mA \right]$$

$$I_{D2} \ll \Rightarrow \left[I_{C8} \approx I_{C6} = 2,72mA \right]$$

$$V_{CE_5} = V_{BE_5} = 0,66 \text{ V}, V_{CB_5} = 0 \text{ V}$$

$$T_{K\bar{I}} b\bar{VI}: -V_{CC} + V_{CE_1} + I_{C_1}(R_3 + R_4) + V_{CE_3} + I_{C_3} \cdot R_8 + V_{EE} = 0$$

$$T_{K\bar{I}} b\bar{VI}: V_{BE_1} + V_{CE_3} + I_{C_3} \cdot R_8 + V_{EE} = 0$$

$$\begin{aligned} V_{CE_3} &= -V_{EE} - V_{BE_1} - I_{C_3} R_8 \Rightarrow V_{CE_3} = 10 - 0,66 - \\ &- 3,635 \cdot 51 \cdot 10^{-3} = 9,154 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{CE_1} &= V_{CC} - V_{EE} - I_{C_1}(R_3 + R_4) + V_{CE_3} - I_{C_3} R_8 \\ &= 10 + 10 - 1,09 \cdot 10^3 \cdot 50 - 9,154 - 3,635 \cdot 51 \cdot 10^{-3} \\ &= 10,06 \text{ V} \end{aligned}$$

$$T_{K\bar{I}} b\bar{VII}: -V_{CC} + V_{CE_2} + V_{CE_3} + I_{C_3} R_8 + V_{EE} = 0$$

$$\begin{aligned} V_{CE_2} &= V_{CC} - V_{EE} - V_{CE_3} - I_{C_3} R_8 \\ &= 10 + 10 - 9,154 - 3,635 \cdot 10^{-3} \cdot 51 = 10,66 \text{ V} \end{aligned}$$

$$T_{K\bar{I}} b\bar{IX}: V_{BE_1} - V_{BE_2} - \underbrace{I_{B_2} \cdot (R_{11} || R_{12})}_{\approx 0} + V_{CE_6} + I_{C_6} \cdot R_{10} + V_{EE} =$$

$$V_{CE_6} = -V_{EE} - I_{C_6} R_{10} = 10 - 2,72 \cdot 10^{-3} \cdot 68 = 9,815 \text{ V}$$

$$I_{B_2} = \frac{I_{C_2}}{\beta_0} = \frac{2,545 \cdot 10^{-3}}{290} = 8,77 \mu\text{A} \rightarrow \text{megfigyebil}$$

$$T_{K\bar{I}} b\bar{X}: V_{CC} - V_{EE} = V_{CE_8} + V_{CE_6} + I_{C_6} \cdot R_{10}$$

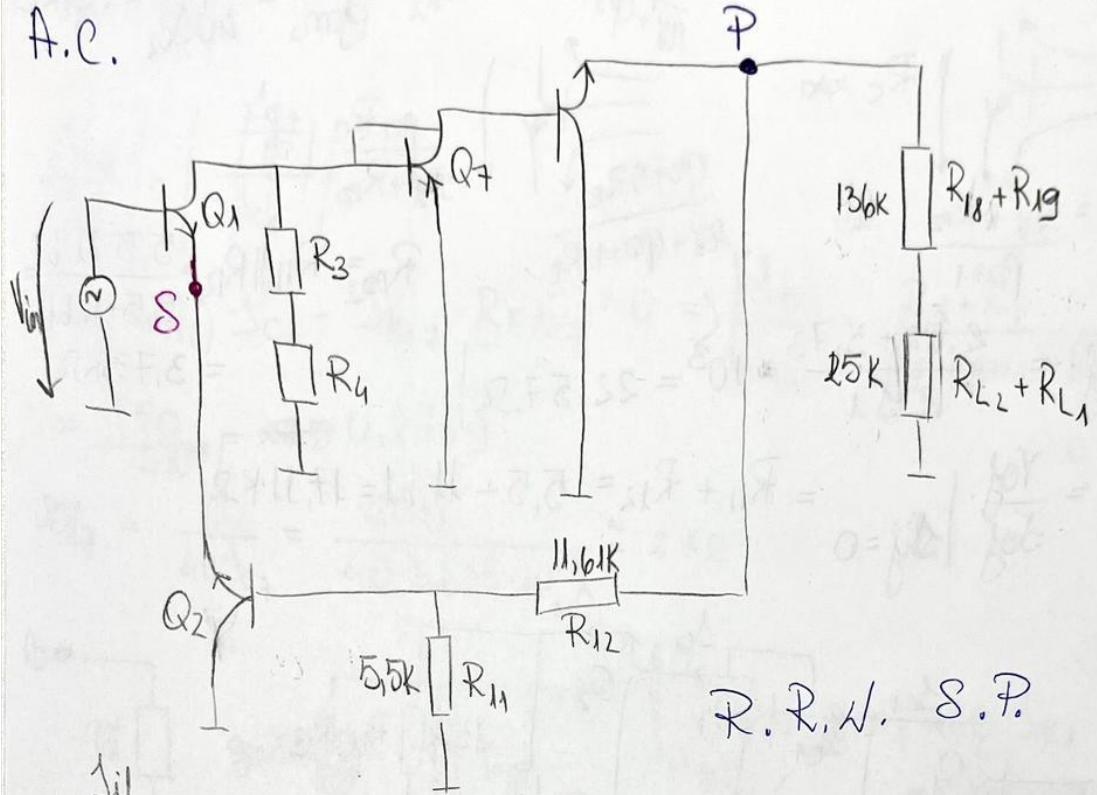
$$V_{CE_8} = 10 + 10 - 9,815 - 2,72 \cdot 10^{-3} \cdot 68 \approx 10 \text{ V}$$

$$V_{EC_8} = V_{BC_8} = V_{CE_8} - V_{BE_8} = 10 - 0,66 = 9,34 \text{ V}$$

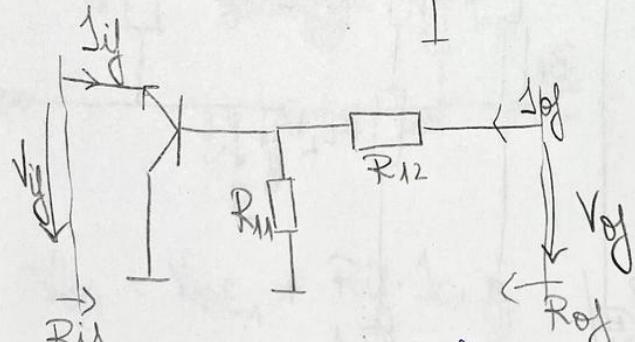
$$T_{K\bar{I}I} \text{ b } \bar{x}_1 : V_{CC} - V_{EE} = V_{EC_7} + V_{CE_4} + I_{C_4} \cdot R_g$$

$$\left[V_{CE_4} = 10 + 10 - 9,34 - 3,635 \cdot 10^{-3} \cdot 51 = 10,47 \text{ V} \right]$$

A.C.



R.R.W. S.P.



$$g = \frac{\text{mär. mecom. im}}{\text{mär. com. jexse}} \quad \text{mär. com. jexse} = 0$$

$$\left[g = \frac{V_{if}}{V_{oq}} \mid V_{iy} = 0 \right] = \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{12}} = 0,32$$

$$R_{ij} = \frac{V_{ij}}{I_{ij}} \Big|_{V_{of}=0} = R_{E_2} = \frac{R_{II} + R_{IB_2}}{\beta_0 + 1} = \frac{2,84 + R_{II} || R_{I2}}{291} =$$

$$R_{IB} = \frac{R_{II} + (\beta_0 + 1)R_E}{\beta_0 + 1}$$



$$R_E = \frac{R_{II} + R_{IB}}{\beta_0 + 1}$$

$$\frac{-\beta_0 R_C}{R_{II} + (\beta_0 + 1)R_E}$$

$$\frac{(\beta_0 + 1)R_E}{R_{II} + (\beta_0 + 1)R_E}$$

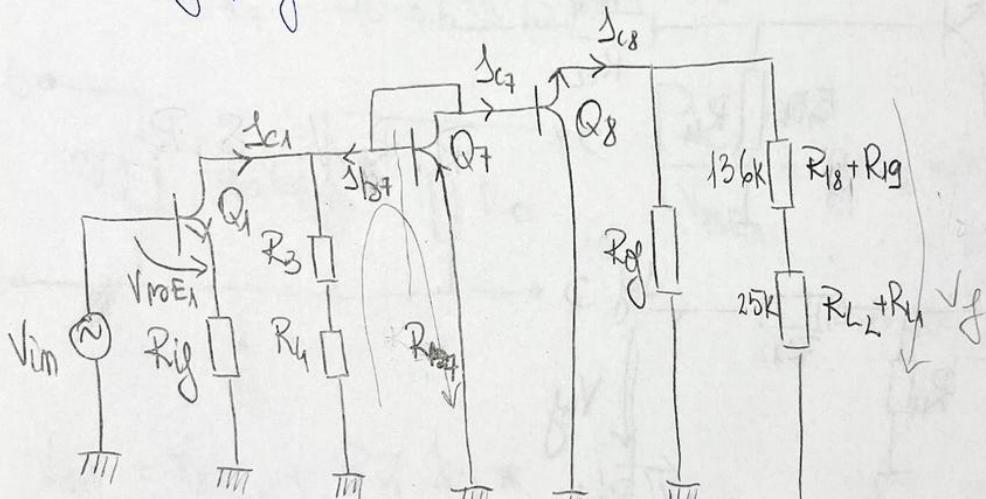
$$R_{II} = \frac{\beta_0}{g_m^2} = \frac{\beta_0}{40 \cdot \lambda_{C_2}} = 2,84 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{\beta_0 R_C}{R_{II} + R_{IB}}$$

$$R_{IB_2} = R_{II} || R_{I2} = \frac{5,5 \cdot 11,61}{5,5 + 11,61} = 3,73 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ij} = \frac{2,84 + 3,73}{291} \cdot 10^3 = 22,57 \text{ }\Omega$$

$$R_{of} = \frac{V_{of}}{I_{of}} \Big|_{I_{of}=0} = R_{II} + R_{I2} = 5,5 + 11,61 = 17,11 \text{ k}\Omega$$



$$A_V = \frac{V_{of}}{V_{in}} = \frac{V_{of}}{V_{C8}} \cdot \frac{V_{C8}}{V_{C7}} \cdot \frac{V_{C7}}{V_{B7}} \cdot \frac{V_{B7}}{V_{C1}} \cdot \frac{V_{C1}}{V_{BE1}} \cdot \frac{V_{BE1}}{V_{in}}$$

$$V_{of} = I_{C8} (R_{of} \parallel (R_{18} + R_{19} + R_{L2} + R_{ij}))$$

$$= 2,72 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{17,11 \cdot 161}{17,11 + 161} \cdot 10^3 = 62$$

$$\left[\frac{V_{of}}{I_{C8}} = \frac{R_{of} \cdot R_S}{R_{of} + R_S} = 15,46 \text{ k}\Omega \right]$$

$$\left[\frac{I_{C_8}}{I_{C_7}} = \frac{I_{C_8}}{\beta I_{C_8}} = \beta = 290 \right] ; \left[\frac{I_{C_7}}{I_{B_7}} = \frac{I_{C_7}}{\beta I_{B_7}} = \beta = 290 \right]$$

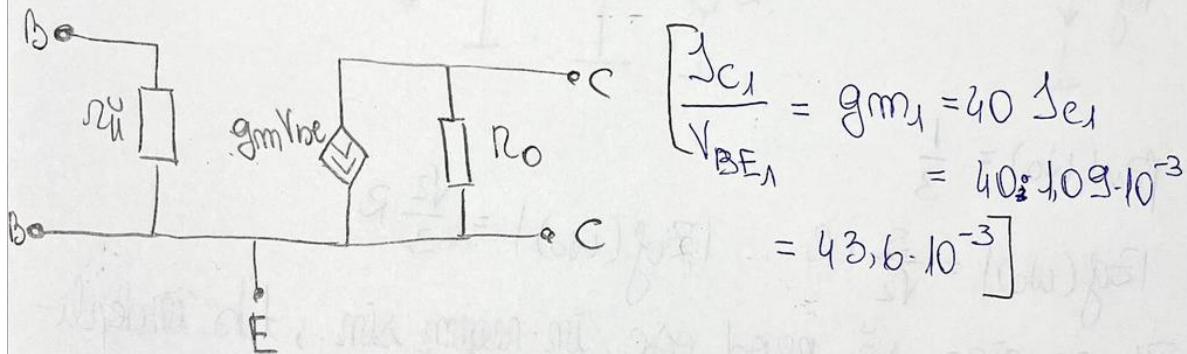
$$\frac{I_{C_8}}{\beta} = I_{B_8}$$

$$\left| \begin{array}{c} I_{B_7} \\ I_{C_1} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} I_{C_7} \\ I_{C_1} \end{array} \right|$$

$$(R_3 + R_4) I_{C_1} - I_{B_7} \cdot R_E \beta \omega_7 = 0 \Rightarrow \left[\frac{I_{B_7}}{I_{C_1}} = \frac{R_3 + R_4}{R_E (\beta + 1) \cdot R_E} \right]$$

$$= \frac{550}{2 \cdot 10^3} = 275 \text{ mA}$$

$$R_{u7} = \frac{\beta}{40 I_{C_7}} = \frac{290}{40 \cdot 3,635 \cdot 10^{-3}} \approx 2 \text{ k}\Omega$$



$$V_{in} = V_{BCE_1} + R_{if} \cdot I_{C_1}$$

$$I_{C_1} = g_m V_{BCE_1}$$

$$\left| \begin{array}{l} \Rightarrow \frac{V_{BCE_1}}{\sqrt{V_m}} = \frac{1}{1 + R_{if} \cdot g_m} \\ = \frac{1}{1 + 22,57 \cdot 43,6 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \end{array} \right.$$

$$\underline{V_m} = V_{BCE_1} (1 + R_{if} \cdot g_m)$$

$$\left[Q_V = 15,46 \cdot 10^3 \cdot 290 \cdot 290 \cdot 0,275 \cdot 43,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 7,79 \cdot 10^6 \right]$$

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{0V}{1+Q_V \cdot f} \Rightarrow A_V = \frac{1}{f} = 1 + \frac{R_{12}}{R_{11}} = 1 + \frac{11,61}{5,5} = 3,11$$

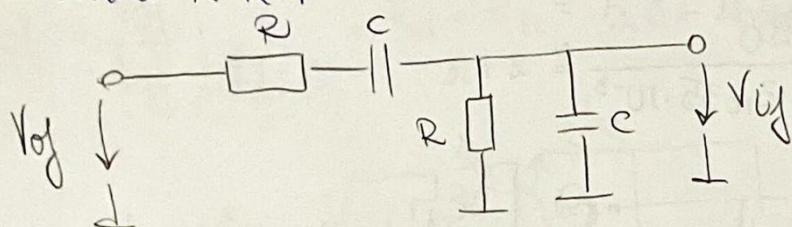
$$R_{\text{lin}} = \frac{V_m}{I_m} = R_{B_1} (1 + \alpha_V \cdot f) = 13,219 \cdot 10^3 \underbrace{(1 + 7,79 \cdot 10^6 \cdot 0,32)}_{2,49 \cdot 10^6}$$

$$R_{B_1} = R_{\text{lin}} + (\beta_0 + 1) R_{E_1} = \frac{f_0}{g_{m_1}} + (\beta_0 + 1) \cdot R_{\text{if}} = \\ = \frac{290}{40 \cdot 1,09 \cdot 10^{-3}} + 291 \cdot 22,57 = 13,219 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{lin}} = 32 \text{ M}\Omega$$

$$R_{\text{out}} = \frac{R_{\text{of}}}{1 + \alpha_V f} = \frac{17,11 \cdot 10^3}{2,49 \cdot 10^6} = 0,0068 \cdot 10^3 \text{ }\Omega$$

Analisis R.R.P



$$\beta_{\text{v}}(\omega_0) = \frac{1}{3}$$

$$|Z_{\text{if}}(\omega_0)| = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot R \quad |Z_{\text{of}}(\omega_0)| = \frac{\sqrt{2}}{3} R$$

Pt. ce circ. so prod. osc. im regime sin., t.b. independente cond. Barkhausen

$$\alpha_V \cdot \beta_{\text{v}}(\omega_0) = 1$$

$$\phi_A + \phi_B = 0^\circ / 2^\circ (360^\circ)$$

$$R_0 \ll |Z_{\text{if}}(\omega_0)|$$

$$R_i \gg |Z_{\text{of}}(\omega_0)|$$