

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București
Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației
Specializarea RST

Circuite Electronice Fundamentale 2 – Proiect
Generator de semnal dreptunghiular

Profesor Coordonator: Drăghici Florin

Student: Condrea Cosmin

Grupa: 432D-RST

Anul: 2024-2025

Cuprins

1. Tema Proiectului.....	pg. 3
2. Schema Bloc.....	pg. 4
3. Schema Electrică.....	pg. 5
4. Componenta Circuitului și Calcule de Dimensionare.....	pg. 6
5. Simulări în OrCAD.....	pg. 9
6. Componente.....	pg. 12
7. Bibliografie.....	pg. 13

Tema proiectului

Se proiectează un GENERATOR DE SEMNAL DREPTUNGHIULAR cu următoarele caracteristici: **N=9**

- Frecvența de oscilație, f_o , reglabilă în intervalul: $18 \div 36$ [KHz]
- Factor de umplere: 0.5
- Valoarea (vârf la vârf) a oscilației la ieșire, V_o , reglabilă în intervalul: $0-2.25$ [V]
- Sarcina la ieșire R_L : 9 [k Ω]
- Semnalul la ieșire nu are componentă continuă
- Domeniul temperaturilor de funcționare: $0-70$ grade C (verificabil prin testare în temperatură)
- Semnalizarea prezenței tensiunilor de intrare cu diodă de tip LED.

Schema Bloc

Se folosește o schemă de generator de semnal dreptunghiular care este controlat în frecvență și amplitudine cu ajutorul a două potențiometre. Cu ajutorul alimentării (pozitive și negative) se generează semnal dreptunghiular prin intermediul circuitului basculant astabil. Acest semnal trece printr-un etaj de ajustare a semnalului, iar ulterior printr-un divizor de tensiune pentru a putea da tensiunea dorită la ieșire.

Astfel, acest generator de semnal dreptunghiular este capabil să regleze amplitudinea și frecvența oscilațiilor.

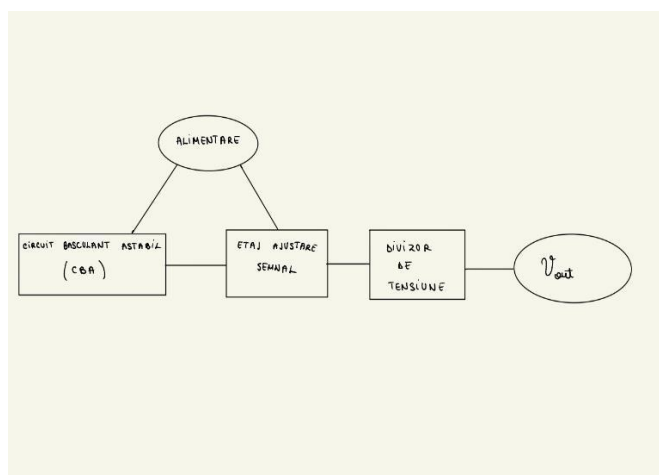


Fig. 1 Schema Bloc

În schema dată, la intrarea în circuitul basculant astabil este folosit un potențiomtru pentru reglarea precisă a frecvenței. Semnalul generat urmează să intre în etajul de prelucrare a semnalului, iar cu ajutorul unui divizor de tensiune format din rezistențe și un potențiomtru putem regla tensiunea ce cade pe rezistența de sarcină în intervalul de tensiuni dorit.

Toți rezistorii sunt de tip SMD chip 0805 și potențiometrele liniare simplă tură de tip SMD. Condensatoarele sunt de tip ceramic SMD.

Schema Electrică

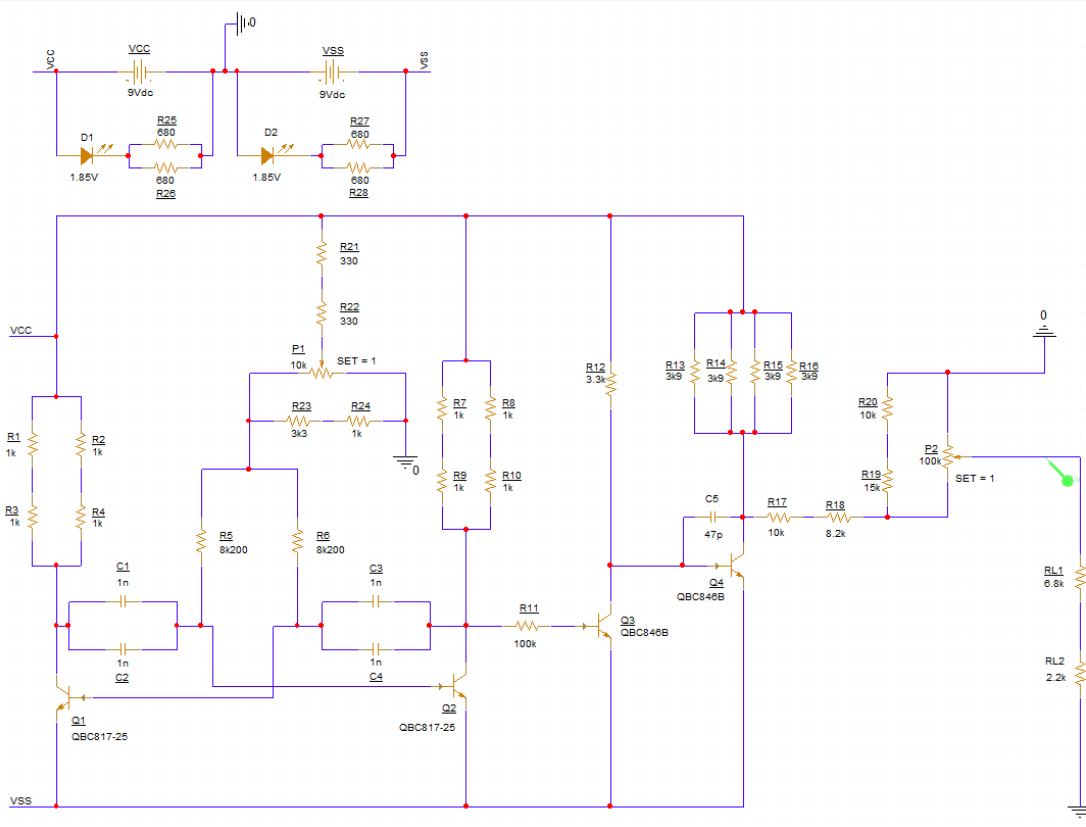


Fig. 2 Schema Electrică

1. Circuit basculant astabil : R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆, R₇, R₈, R₉, R₁₀, R₂₁, R₂₂, P₁, R₂₃, R₂₄, C₁, C₂, C₃, C₄, Q₁, Q₂;
2. Etaj de ajustare semnal: Q₃, Q₄, C₅, R₁₂, R₁₃, R₁₄, R₁₅, R₁₆;
3. Divizor de tensiune: R₁₇, R₁₈, R₁₉, R₂₀, P₂;
4. Circuit pentru semnalizarea tensiunii de la intrare: led D₁, D₂, R₂₅, R₂₆, R₂₇, R₂₈
5. Rezistor de sarcină: R_{L1}, R_{L2}

Componența Circuitului și Calcule de Dimensionare

1. Circuitul basculant astabil

Circuitul produce un semnal oscilant periodic, de formă dreptunghiulară, prin alternarea între două stări stabile. Aceste stări se schimbă continuu datorită încărcării și descărcării condensatorilor din circuit.

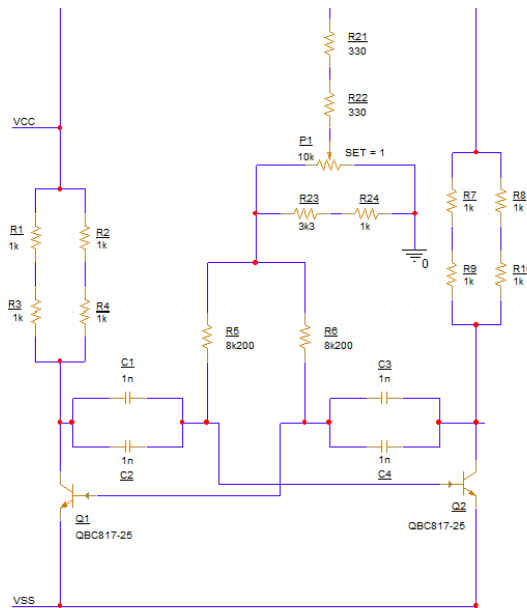


Fig. 3

La momentul conectării circuitului la sursa de tensiune, unul dintre tranzistori (Q_1) va conduce, iar celălalt (Q_2) va fi blocat. Stările tranzistorilor sunt în comutare alternativă între regimul de saturație și cel de blocare. Când Q_1 este în saturație, curentul de bază al acestuia este dictat de valoarea lui R_6 , ceea ce duce la încărcarea condensatoarelor C_3 și C_4 . În același timp, Q_2 intră în regimul de blocare, astfel, C_1 și C_2 descărcându-se.

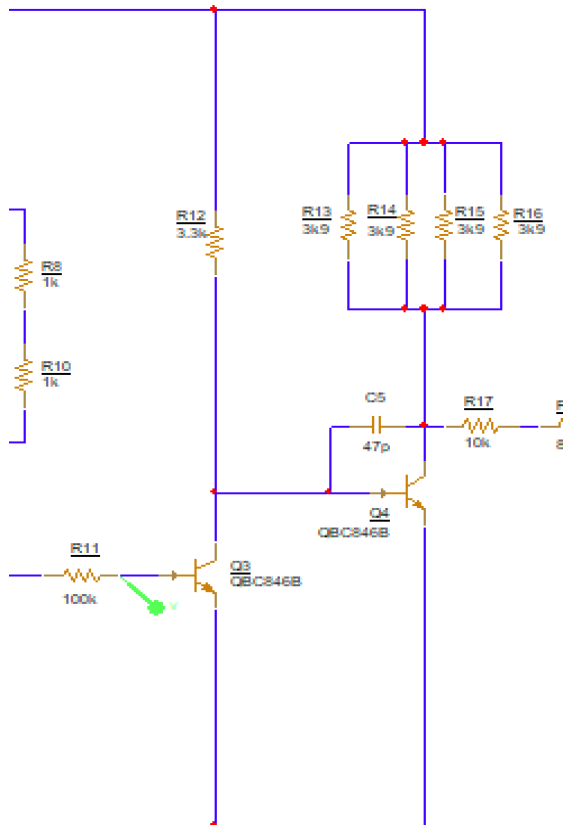
Pentru a menține tranzistorii în aceste stări alternative, se folosesc rezistoarele R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_7 , R_8 , R_9 și R_{10} pentru a regla curentii de colector și pentru a asigura saturația corespunzătoare a tranzistorilor.

Cu ajutorul potențiometrului P_1 (cu valoarea efectivă de $3k\Omega$ obținută prin conectarea în paralel a două rezistențe care formează un echivalent de $4.3k\Omega$), se poate regla variația frecvenței oscilatorului între $17,7kHz$ (când set-ul este 1) și $36,5kHz$ (când set-ul este 0).

Frecvența oscilatorului este calculată folosind formula: $f=1/(2*LN(2)*R_{echivalent}*C)$.

În cazul nostru pentru valoarea de $36.5kHz$, am nevoie de un $R_{echivalent}$ de $10k\Omega$, unde $R_5 = 8.2k\Omega$, mai trebuie să adaug un rezistor de valoare $1.8k\Omega$ care să și varieze cu ajutorul lui P_1 pentru a modifica frecvența. Tensiunea de alimentare este de $9V$, V_{EBQ2} a folosit $0.7V$, iar $V_{CE2sat} = 0.02V$ (saturație), peste tot $R_{echivalent}$ cad $17.3V$. Prin R_5 trece un curent de $1.7mA$. Îl înlăturăm pe R_5 și observăm că pe restul $R_{echivalent} - R_5$ ($1.8k\Omega$) cad $9 - 5.553 \approx 3.5V$ și implicit curentul de $3.5V : 1.8k\Omega = 1.9mA$. Pentru a putea păstra $3.5V$, am înlocuit rezistorul de $1.8k\Omega$ cu $0.66k\Omega$, iar astfel curentul a crescut la $5.2mA$.

2. Etaj de ajustare semnal



Prin rezistorul R_{11} trece semnalul generat de Circuitul Basculant Astabil. Am ales valoarea de $100k\Omega$ pentru a reduce curentul ce trece prin baza tranzistorului Q_3 . Datorită acestei limitări, semnalul după ce trece prin rezistor va prezenta o variație a V_{be} -ului lui Q_3 . Variația are ca limită inferioară -8.975 V (de la tensiunea sursei negative) și limită superioară este la deschiderea jonctiunii pn ce permite conducția semnalului. Jonctiunea pn s-ar polariza mai puternic și ar permite mai mult să treacă, dar R_{11} limitează curentul de bază.

Când Q_3 este în conducție curentul va circula pe traseul de jos, scurtcircuitând sursele de tensiune de intrare (într-o anumită măsură, limitat de R_{11} și alte rezistoare din circuit).

În această situație, Q_4 va fi blocat, deoarece tensiunea sa de polarizare (V_{BE}) nu este suficientă pentru a îl aduce în conducție.

Fig. 4

Când Q_3 este blocat, Q_4 va intra în conducție deoarece tensiunea de polarizare de pe baza sa va fi suficientă pentru a îl activa.

Curentul prin Q_4 va fi influențat de V_{ce3} (atunci când acesta e blocat), iar dacă Q_3 iese din saturație, tensiunea V_{ce3} va scădea sub pragul necesar, ceea ce va duce la reducerea curentului prin Q_4 .

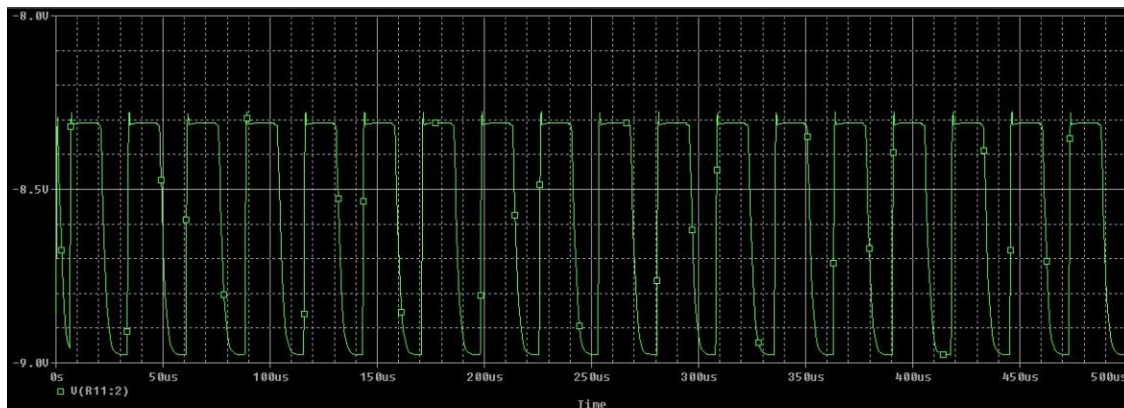
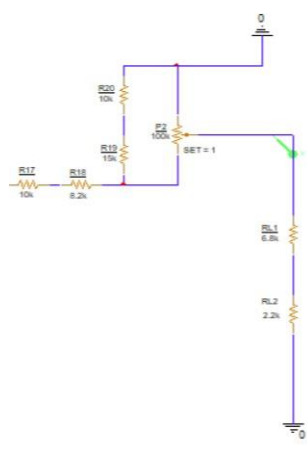


Fig. 5

Am folosit mai multe rezistoare in paralel si serie pentru a putea disipa puterea ce cade pe ele fără a se arde (acestea suportând doar 125mW) și pentru a ajunge la valori standardizate.

Condensatorul C_5 este folosit pentru a contracara efectul Miller. Acesta apare din cauza capacității de feedback (C_μ) (între baza și colectorul tranzistorului). Din cauza frecvențelor mari această capacitate afecțează ieșirea semnalului intrucât semnalul ce trece prin tranzistor devine bidirecțional. Cu ajutorul condensatorului C_5 (condensator de compensare) acest fenomen este contracarat, iar semnalul devine unidirecțional.

3. Divizor de tensiune



Divizorul de tensiune este utilizat pentru a controla tensiunea de ieșire aplicată sarcinilor R_{L1} și R_{L2} . Acesta permite ajustarea tensiunii prin utilizarea unui potențiometru P_2 (ce are valoarea efectivă de $20k\Omega$, în urma conectării cu 2 rezistoare în paralel de valori $15k\Omega$, $10k\Omega$), care este configurat împreună cu rezistențele (R_{17} , R_{18} , R_{19} , R_{20}). Acesta reglează în funcție de valoarea set-ului tensiunea de ieșire între valorile de $[-50 : 50]$ (nV) pentru set = 0 și $[-2.27 : 2.20]$ (V) pentru set = 1. Valoarea superioară de 2.20 V, nu atinge valoarea de 2.27 V intrucât este consumată de gruparea de rezistoare (R_{13} , R_{14} , R_{15} , R_{16}).

Fig. 6

4. Circuit pentru semnalizarea tensiunii de la intrare:

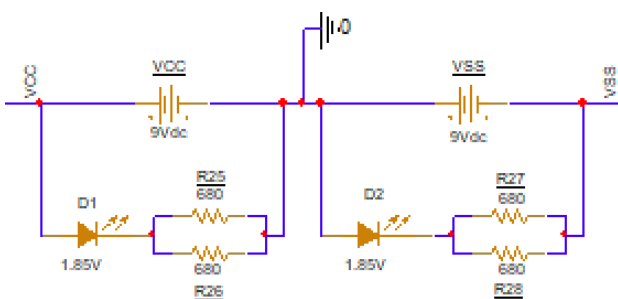


Fig. 7

Am ales diode led KP-2012SRC-PRV de culoare roșie, cu tensiunea de conducție 1.85V. Pentru a se aprinde led-ul trebuie să nu depășească curentul maxim (155mA), am ales două cu toleranța de $\pm 1\%$. Astfel, curentul prin led va fi de 20.93 mA.

Simulări în OrCAD

- a) Simulări pentru a prezenta valorile (vârf la vârf) ale oscilației la ieșire și setarea potențiometrului P_2 :

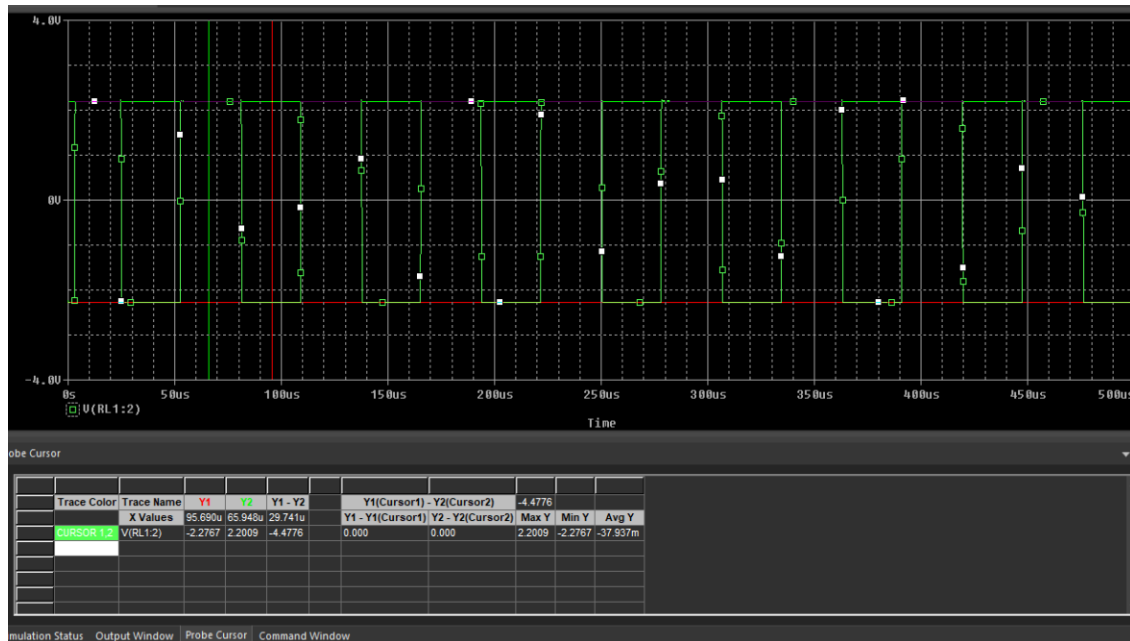


Fig. 8 $V_{out} = f(t_{imp})$ cu $SET_{P2} = 1$

Tensiunea inferioară măsurată de cursori este de -2.27V, iar cea superioară 2.20V.

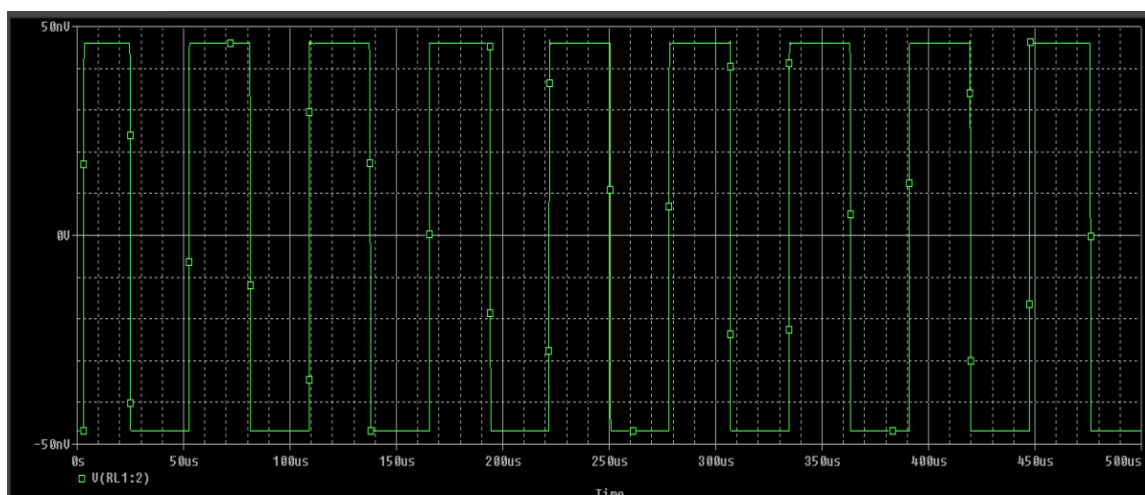


Fig. 9 $V_{out} = f(t_{imp})$ cu $SET_{P2} = 0$

Tensiunea la ieșire ajunge de ordinul nV (aproape 0, neglijabilă).

- b) Simulări pentru a prezenta frecvența de oscilație, f_o , reglabilă în intervalul [17.58 – 36.49] (kHz)

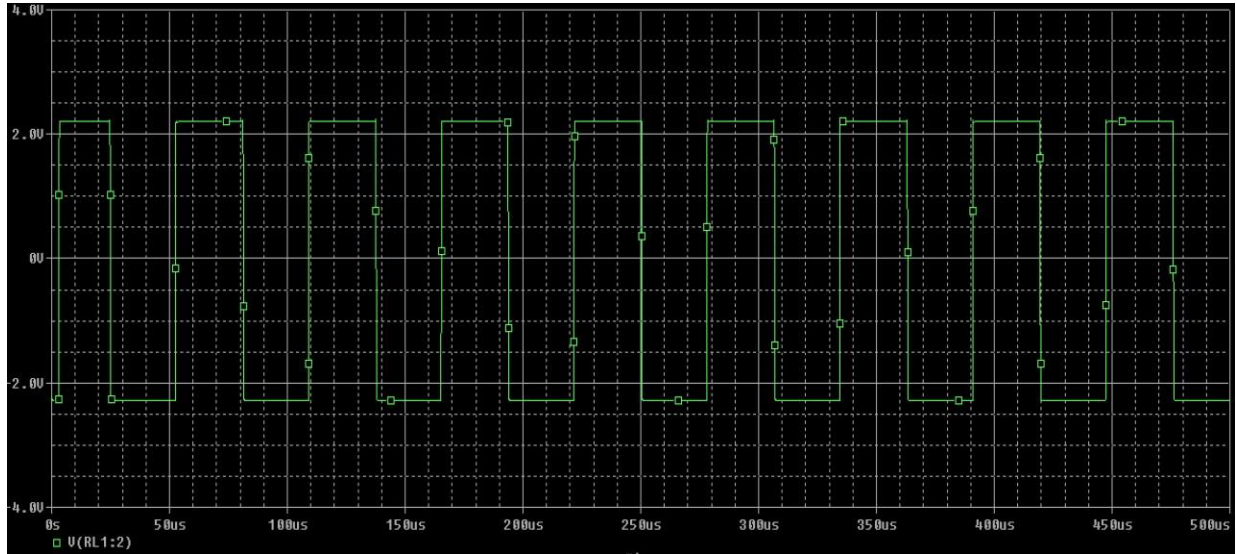


Fig. 10 $V_{out} = f(t)$ cu $SET_{P1} = 1$

Frecvența se calculează cu ajutorul cursorilor cu formula $f_{oscilatie} = 1/T_{oscilatie}$, unde $T_{oscilatie}$ este egal cu $56.5\mu s \Rightarrow f_{oscilatie} = 17.7kHz$.

Duty cycle-ul se calculează cu formula $D = T_{poz}/T$ și se obține 50% cu o eroare de $\pm 0.1\%$.

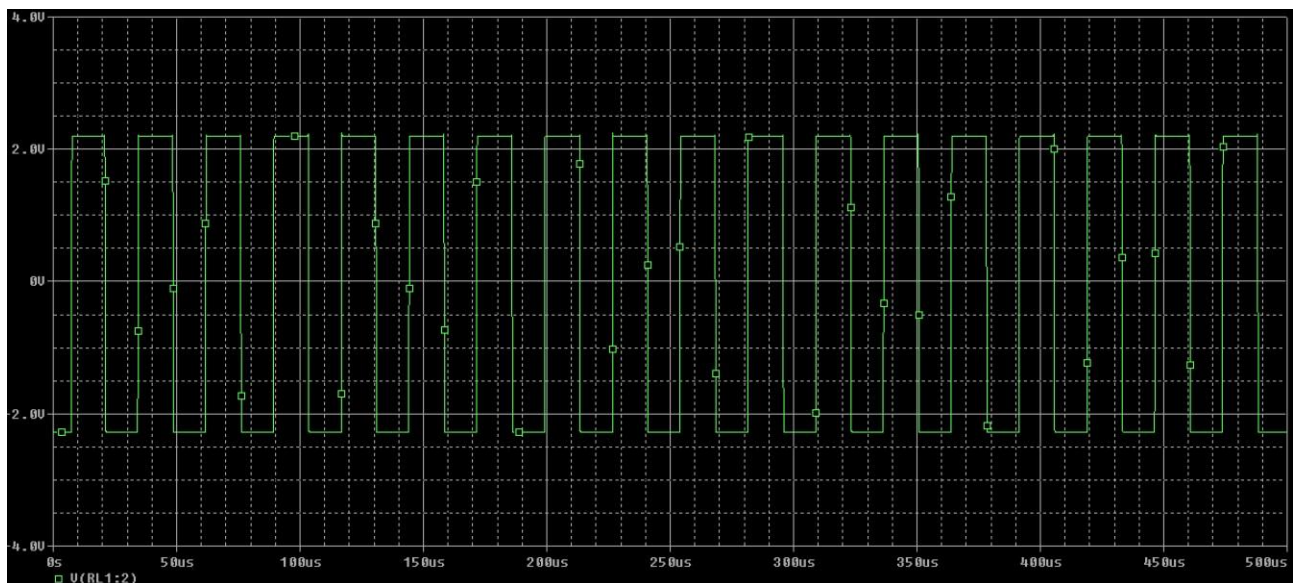


Fig. 11 $V_{out} = f(t)$ cu $SET_{P1} = 0$

La fel și în cazul acesta, frecvența o calculez cu ajutorul cursorilor și al formulei $f_{\text{oscilație}} = 1/T_{\text{oscilație}}$, unde $T_{\text{oscilație}}$ este egal cu $27.4\mu\text{s} \Rightarrow f_{\text{oscilație}} = 36.5\text{kHz}$.

- c) Simulări pentru a arăta funcționarea circuitului, la valori diferite de temperatură [-20; 25; 100] (°C)

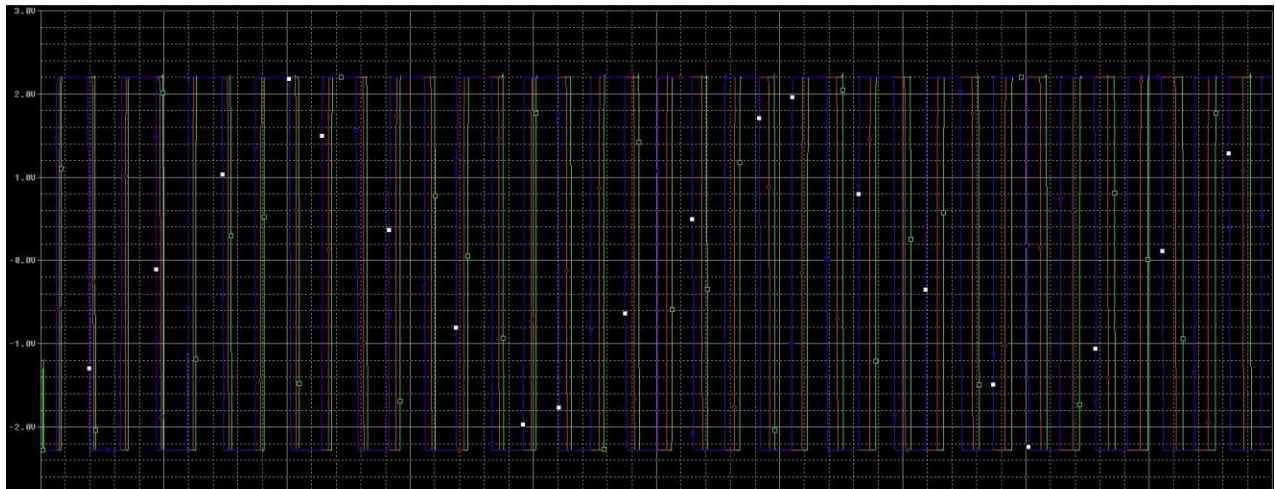


Fig. 12

La temperaturi mai mici, precum $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, componentele semiconductoare (tranzistoarele) au viteze de comutare mai mici, iar rezistențele și condensatoarele își pot modifica valorile (ușor mai mari).

La temperaturi mai mari, efectele termice determină scăderea rezistenței statice a tranzistoarelor, ceea ce duce la viteze de comutare mai rapide, iar capacitățile parazite și componentele pasive (cum ar fi rezistențele) pot avea valori diferite față de cele nominale, modificând frecvența semnalului.

Circuitul este însă relativ stabil, iar frecvența semnalului este doar ușor afectată.

Calcul de dimensionare

Se consideră C_1, C_2, C_3 goluri:

Q_1 și Q_2 comutative: $Q_1 = \text{saturate} \Rightarrow Q_2 = \text{blocaș și invers}$

nu putem vorbi de un β la micșor transistor

de pe schemă întrucât micșorul nu funcționează în regim activ normal.

Q_3 și Q_4 se comportă asemănător în comutație

P_1 este limitat de agerul rezistențelor puse în paralel

$$P_{1\text{echiv}} = \frac{P_1 \parallel (R_{23} + R_{24})}{P_1 + R_{23} + R_{24}} \approx 3,001 \text{ k}\Omega$$

$$P_{2\text{echiv}} = \frac{P_2 \parallel (R_{19} + R_{20})}{P_1 + R_{23} + R_{24}} \approx 20 \text{ k}\Omega$$

$$\text{SET } P_1 = 0 \Rightarrow f_{\max}$$

$$f_{\max} = \frac{1}{2 \ln(2) \cdot R_{\text{echiv}} \cdot (C_1 + C_2)} = \frac{1}{1,38 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-9}} =$$

$$f_{\max} = \frac{1}{13,8 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{27,6} \approx 36,5 \text{ kHz}$$

$$\text{SET } P_2 = 0 \Rightarrow f_{\min}$$

$$f_{\min} = \frac{1}{2 \ln(2) \cdot R_{\text{echiv}} \cdot (C_3 + C_4)} = \frac{1}{1,38 \cdot 20,5 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-9}}$$

$$f_{\min} = \frac{10^6}{56,58} = 17,7 \text{ kHz}$$

Cazul 1. Q_1, Q_3 - saturate,

Q_2, Q_4 - blocare

$$i_{c1} = \frac{2V_{cc} - V_{CE\text{sat}}}{R_{e1,2,3,4}} = \frac{18 - 0,03}{1 \cdot 10^3} = 17,97 \text{ mA}$$

$$i_{c2} = 0 \text{ mA} \Rightarrow V_{CE2} = 2V_{cc} = 17,97 \text{ V}$$

$$i_{B2} = 0 \Rightarrow Q_2 \text{ (pt blocare)} \Rightarrow i_{B1} = \frac{2V_{cc} - V_{BE1}}{R_e}$$

$$i_{B1} = 0,58 \text{ mA}$$

$$i_{c3} = \frac{2U_{cc} - V_{CE_{sat3}}}{R_6} = 17,97 \text{ mA}$$

$$\left. \begin{array}{l} i_{B4} = 0 \Rightarrow \text{blocaire} \\ i_{c4} = 0 \Rightarrow \text{blocaire} \end{array} \right\} = 1 \quad V_{CE4} = 2U_{cc} = 17,97 \text{ V}$$

$$Q_1: \begin{cases} i_c = 17,97 \text{ mA} \\ i_B = 0,59 \text{ mA} \end{cases}$$

$$Q_3: \begin{cases} i_c = 17,97 \text{ mA} \\ i_B = 0 \end{cases}$$

$$Q_2: \begin{cases} V_{CE} = 17,97 \text{ V} \\ i_B = 0,59 \text{ mA} \end{cases}$$

$$Q_4: \begin{cases} V_{CE} = 17,97 \text{ V} \\ i_B = 0 \text{ mA} \end{cases}$$

odată cu schimbarea SET la p_1 crește sau scade valoarea curenților de bază ce încarcă condensatoarele și astfel se schimbă frecvența de oscilație.

Cazul 2 Q_1, Q_3 - blocaire,

Q_2, Q_4 - saturație

Componente

Nr. Crt.	Total	Denumire	Valoare
1	4	C1,C2,C3,C4	1n
2	1	C5	47p
3	2	D1,D2	1.85V
4	3	P1,R17,R20	10k
5	2	P2,R11	100k
6	2	Q1,Q2	QBC817-25
7	2	Q3,Q4	QBC846B
8	1	RL1	6.8k
9	1	RL2	2.2k
10	9	R1,R2,R3,R4,R7,R8,R9,R10,R24	1k
11	2	R5,R6	8k200
12	1	R12	3.3k
13	4	R13,R14,R15,R16	3k9
14	1	R18	8.2k
15	1	R19	15k
16	2	R21,R22	330
17	1	R23	3k3
18	4	R25,R26,R27,R28	680

Bibliografie

1. G. Brezeanu, F. Drăghici, *Circuite electronice fundamentale*, Ed. Niculescu, București, 2013;
2. G. Brezeanu, F. Draghici, F. Mitu, G. Dilimot, *Circuite electronice fundamentale - probleme*, Editura Rosetti Educational, Bucuresti, editia II–2008;
3. G. Brezeanu, F. Draghici, F. Mitu, G. Dilimot, *Dispozitive electronice - probleme*, Editura Rosetti Educational, Bucuresti, 2009;
4. Sedra Smith, *Microelectronic Circuits – seventh edition*, Editura Oxford University Press