

Emilia ȘIPOȘ

Laura IVANCIU

DISPOZITIVE ELECTRONICE

Probleme rezolvate



U.T.PRESS
Cluj-Napoca, 2016
ISBN 978-606-737-191-8

Emilia ȘIPOȘ

Laura IVANCIU

**DISPOZITIVE
ELECTRONICE
Probleme rezolvate**



U.T. PRESS

Cluj-Napoca, 2016

ISBN 978-606-737-191-8



Editura U.T.PRESS
Str. Observatorului nr. 34
C.P. 42, O.P. 2, 400775 Cluj-Napoca
Tel.: 0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
biblioteca.utcluj.ro/editura

Director: Ing. Călin D. Câmpean

Recenzia: Prof.dr.ing. Gabriel Oltean
 Prof.dr.ing. Ovidiu Pop

Copyright © 2016 Editura U.T.PRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii U.T.PRESS.

ISBN 978-606-737-191-8

Cuprins

	Pag.
Prefață	2
1. Diporti DR în comutare	3
2. Multiporti DR în comutare	24
3. Diporti DC; Aplicații. Circuite DRC	35
4. Comparatoare de tensiune cu AO fără reacție. Circuite logice cu AO	54
5. Comparatoare de tensiune cu AO și reacție pozitivă	72
6. Amplificatoare cu AO	88
7. Circuite logice cu tranzistoare	105
8. Regiuni de funcționare ale tranzistoarelor. Polarizare în curent continuu	111

Prefață

Această colecție de probleme rezolvate se adresează studenților de anul I ai Facultăților de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației, respectiv Automatică și Calculatoare, dar poate fi un instrument util și altor categorii de studenți, care urmează cursuri de Dispozitive și Circuite Electronice.

Lucrarea are ca scop susținerea procesului de învățare activă, prin studierea și rezolvarea individuală de probleme.

Materialul este structurat în 8 capitole, acoperind prin probleme rezolvate principalele tematici din domeniul Dispozitivelor Electronice. Prin calcule și comentarii suplimentare, se demonstrează funcționarea, performanțele și limitările unor circuite de bază cu dispozitive electronice (diode, amplificatoare operaționale, tranzistoare).

Primele trei capitole sunt dedicate circuitelor cu diode: dipoziți DR, multipoziți DR, dipoziți DC și dipoziți DRC.

Capitolele 4-6 tratează circuitele cu AO: comparatoare simple, comparatoare cu histerezis și amplificatoare. Pentru fiecare dintre aplicații, sunt prezentate atât circuitele de bază, cât și diverse variante orientate spre aplicații practice.

Utilizarea tranzistoarelor în circuite logice este subiectul Capitolului 7. În final, Capitolul 8 cuprinde exemple de probleme rezolvate pentru ilustrarea regiunilor de funcționare ale tranzistoarelor, respectiv polarizarea în curent continuu.

Autorii sunt convinși că materialul realizat va fi intens folosit în pregătirea studenților pentru examen, dar și că le va deschide apetitul pentru a investiga mai în detaliu universul extraordinar al circuitelor electronice.

Cluj-Napoca
noiembrie 2016

1. Diporturi DR în comutare

P.1.

Pentru circuitul din Fig. 1.1. se consideră D -ideală.

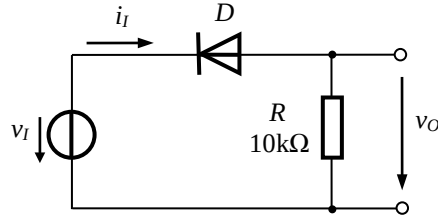


Fig. 1.1.

- Care este domeniul de valori al v_I pentru care D este blocată? Cum arată schema echivalentă a diportului în acest caz? Care sunt expresiile pentru i_I și v_O în acest caz?
- Care este domeniul de valori al v_I pentru care D conduce? Cum arată schema echivalentă a diportului în acest caz? Care sunt expresiile pentru i_I și v_O în acest caz?
- Deduceți și reprezentați grafic caracteristica statică de transfer în tensiune, CSTV $v_O(v_I)$ a circuitului pentru $v_I \in [-10V; 10V]$.
- Dacă $v_I(t) = 5 \sin \omega t$ [V], cum arată cronogramele $v_O(t)$ și $i_I(t)$? Ce aplicație realizează circuitul? Care este valoarea componentei continue a tensiunii $v_O(t)$?

R.1.

- Schema echivalentă pentru $D-(b)$ este:

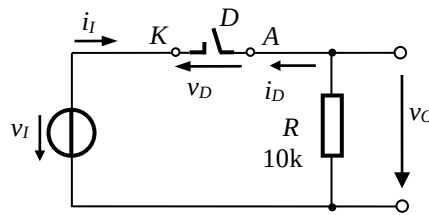


Fig. 1.2.

Pentru $D-(b)$:

$$i_D = 0; \quad v_D < 0$$

Conform TKV, se poate scrie:

$$v_I + v_D - v_O = 0; \quad v_O = v_I + v_D \quad (1)$$

Conform Legii lui Ohm:

$$v_O = i_I \cdot R$$

Dar

$$i_I = -i_D = 0 \Rightarrow v_O = 0 \quad (2)$$

Din (1) și (2) rezultă:

$$v_I = -v_D \Rightarrow v_I > 0$$

În concluzie, pentru $v_I > 0$ dioda este în blocare și avem $i_I = 0$ și $v_O = 0V$.

b) Schema echivalentă pentru $D-(c)$ este:

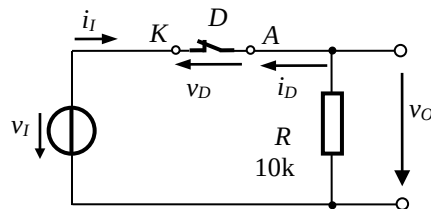


Fig. 1.3.

Pentru $D-(b)$:

$$i_D > 0; v_D = 0$$

Conform TKV, se poate scrie:

$$v_O = v_I \quad (3)$$

Conform Legii lui Ohm:

$$v_O = -i_D \cdot R \Rightarrow v_O < 0 \quad (4)$$

Din (3) și (4) rezultă:

$$v_I < 0$$

În concluzie, pentru $v_I < 0$ dioda este în conducție și avem

$$i_I = \frac{v_I}{R} \text{ și } v_O = v_I$$

c) Pentru CSTV reprezentăm grafic relația:

$$v_O = \begin{cases} v_I; & v_I < 0 \\ 0; & v_I > 0 \end{cases}$$

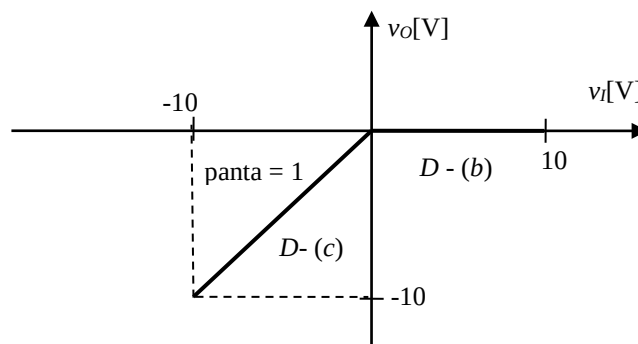


Fig. 1.4.

d) Curentul are aceeași formă de variație în timp ca și tensiunea de ieșire.

$$i_I = \begin{cases} 0; & v_I > 0 \\ \frac{v_I}{R}; & v_I < 0 \end{cases}$$

Valoarea minimă pentru $i_I(t)$ este

$$i_{I\min} = \frac{-5V}{10k\Omega} = -0.5mA$$

Circuitul realizează aplicația de redresor monoalternanță pentru alternanța negativă.

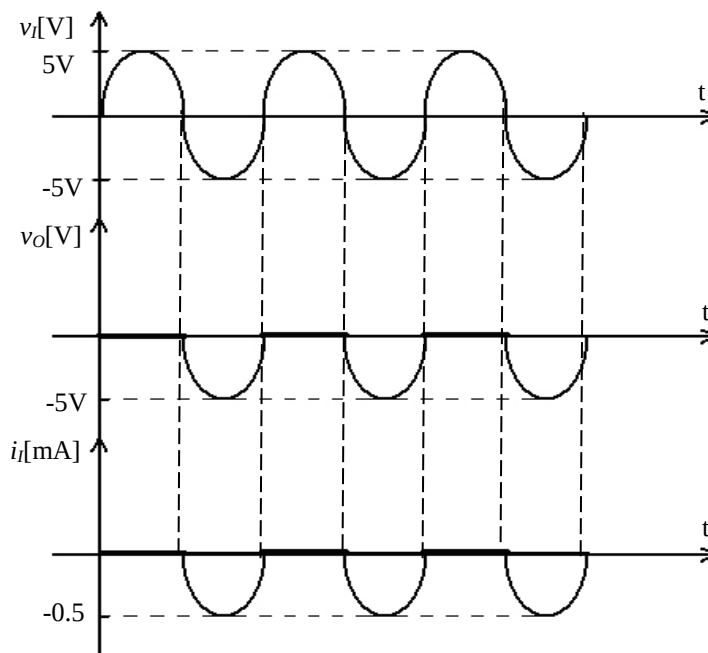


Fig. 1.5.

Componenta continuă a tensiunii de ieșire se determină cu relația:

$$V_O = \frac{1}{T} \int_0^T v_O(t) dt = \frac{1}{T} \int_{T/2}^T 5 \sin \frac{2\pi}{T} t dt = -\frac{5}{T} \frac{T}{2\pi} \cos \frac{2\pi}{T} t \Big|_{T/2}^T = -\frac{5}{2\pi} (\cos 2\pi - \cos \pi) = -\frac{5}{\pi} = -1.6V$$

P.2.

Se dă circuitul din Fig. 1.6, unde pentru D se utilizează modelul cu cădere de tensiune constantă de 0.7V în conducție.

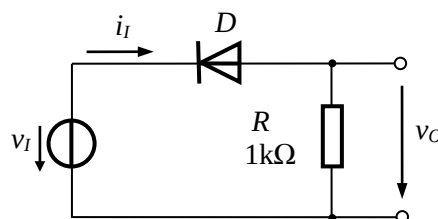


Fig. 1.6.

- a) Care este domeniul de valori al v_I pentru care D este blocată? Cum arată schema echivalentă a diportului în acest caz? Care sunt expresiile pentru i_I și v_O în acest caz?
- b) Care este domeniul de valori al v_I pentru care D conduce? Cum arată schema echivalentă a diportului în acest caz? Care sunt expresiile pentru i_I și v_O în acest caz?
- c) Deduceți și reprezentați grafic caracteristica statică de transfer în tensiune, CSTV $v_O(v_I)$ a circuitului pentru $v_I \in [-10V; 10V]$.
- d) Care este domeniul maxim de variație al v_I dacă curentul direct maxim prin D este $I_F = 200mA$, iar căderea de tensiune inversă maximă pe D este $V_{Dinv\max} = 30V$?

R.2.

a) Schema echivalentă pentru $D-(b)$ este:

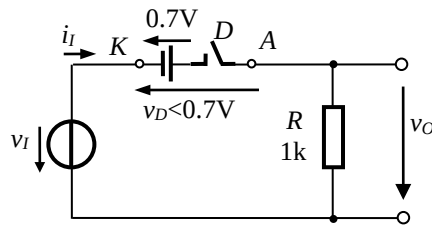


Fig. 1.7.

Pentru $D-(b)$ prin circuit nu circulează curent.

$$\begin{aligned} v_D < 0,7V; \quad i_I &= 0A; \quad v_O = i_I \cdot R = 0V \\ v_I + v_D &= v_O; \quad v_I = -v_D; \quad v_I > -0,7V \end{aligned}$$

Pentru $v_I > -0,7V$ dioda este blocată și avem $i_I = 0$ și $v_O = 0V$.

b) Schema echivalentă pentru $D-(c)$ este:

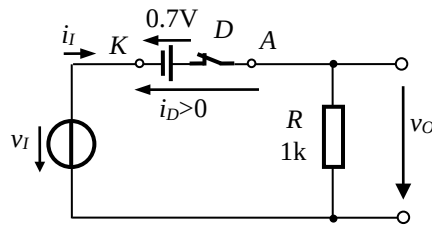


Fig. 1.8.

$$\begin{aligned} i_D &> 0; \quad v_O = v_I + 0,7V \\ i_D &= -\frac{v_O}{R} = \frac{-v_I - 0,7V}{R} \\ -v_I - 0,7V &> 0 \Rightarrow v_I < -0,7V \end{aligned}$$

Pentru $v_I < -0,7V$ dioda este în conducție și avem $i_I = -i_D = \frac{v_I + 0,7V}{R}$ și $v_O = v_I + 0,7V$

c) Pentru CSTV reprezentăm grafic relația:

$$v_o = \begin{cases} 0; & v_I > -0.7V \\ v_I + 0.7V; & v_I < -0.7V \end{cases}$$

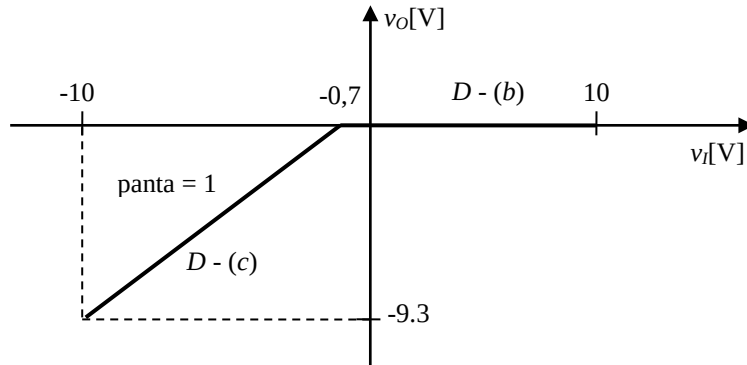


Fig. 1.9.

O altă modalitate de deducere a CSTV este utilizarea CSTV obținute la problema P.1. Circuitul din problema P.2. este similar cu cel din problema P.1., doar că în ochiul de intrare apare în plus sursa de 0.7V. CSTV căutată rezultă din cea cunoscută la problema P.1., trasată pe axa v_I la stânga cu 0.7V (sursa echivalentă din modelul diodei).

d) I_F apare dacă $D-(c)$ și trebuie să avem tot timpul $i_D < I_F$.

$$i_D = \frac{-v_I - 0.7V}{R} < I_F \Rightarrow v_I > -0.7V - RI_F$$

$$v_I > -0.7 - 1 \cdot 200 \Leftrightarrow v_I > -200.7V$$

Căderea inversă de tensiune pe diodă apare când $D-(b)$, $v_D = -V_{Dinv}$

$$v_I + v_D = v_o \Rightarrow v_D = -v_I$$

Pentru a evita străpungerea diodei, trebuie ca tot timpul căderea de tensiune pe diodă să fie mai mare decât tensiunea inversă maximă:

$$v_D > -V_{Dinv \max}; -v_I > -V_{Dinv \max}; \quad v_I < V_{Dinv \max}; \quad v_I < 30V$$

Rezultă astfel intervalul:

$$v_I \in (-200.7; 30)V$$

Dacă tensiunea de intrare este alternativ simetrică, amplitudinea ei trebuie să fie mai mică de 30V.

P.3.

Fie diportii DR din Fig.1.10.

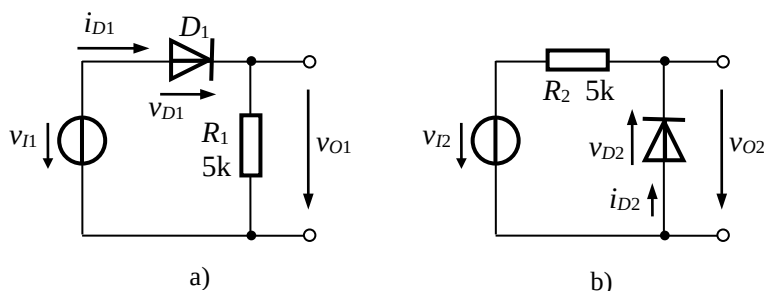


Fig. 1.10.

- a) Arătați că pentru D_1, D_2 ideale și $v_{I1} = v_{I2} \in [-20; 20]$ [V], cele două circuite au aceleași CSTV $v_O(v_I)$.
b) Mai este adevărată afirmația de la punctul anterior dacă utilizăm pentru diode modelul cu cădere de tensiune constantă de 0.7V în conducție? Justificați răspunsul.

R.3.

a) Pentru primul circuit:

Dacă $v_{I1} < 0$; $D_1 - (b)$; $v_{O1} = 0$

Dacă $v_{I1} > 0$; $D_1 - (c)$; $v_{O1} = v_{I1}$

Pentru al doilea circuit:

Dacă $v_{I2} < 0$; $D_2 - (c)$; $v_{O2} = 0$

Dacă $v_{I2} > 0$; $D_2 - (b)$; $v_{O2} = v_{I2}$

În cazul ambelor circuite, pentru același domeniu al v_I rezultă aceleași expresii pentru tensiunile de ieșire. De remarcat faptul că stările în care se află diodele sunt însă diferite pentru același domeniu al v_I . Pentru ambele circuite rezultă aceeași CSTV:

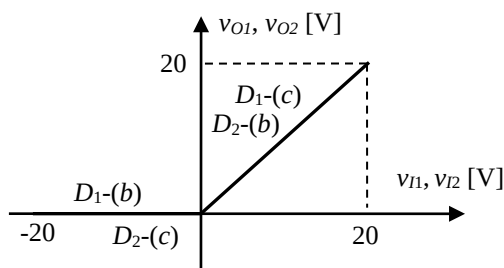


Fig. 1.11.

- b) Utilizând pentru diode modelul cu cădere de tensiune constantă, circuitele echivalente devin :

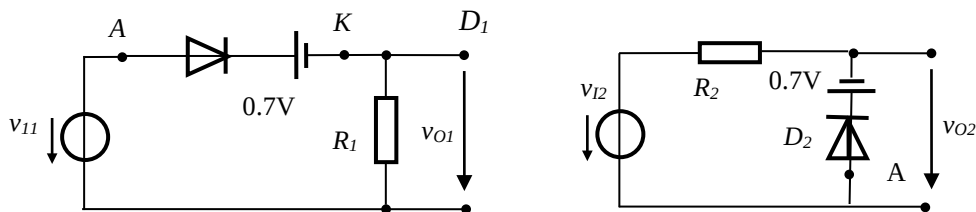


Fig. 1.12 a)

Fig. 1.12 b)

Față de CSTV din Fig.1.11, primul diport va avea CSTV traslatată pe axa v_I la dreapta cu 0.7V, iar cel de-al doilea diport va avea CSTV traslatată la stânga cu 0.7V pe axa v_I și în jos cu 0.7V pe axa v_O datorită prezenței sursei de 0.7V atât în ochiul de intrare cât și în cel de ieșire. Dacă pentru diode se utilizează modelul cu cădere de tensiune constantă, cele două circuite nu mai au aceeași CSTV.

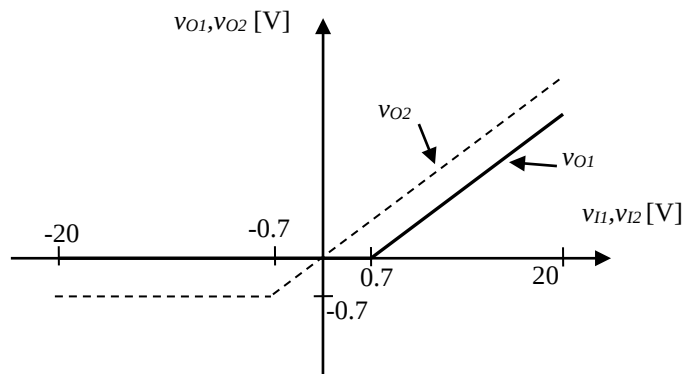


Fig. 1.13.

P.4.

Fie diportii DR din Fig. 1.10.

- La ieșirea fiecărui circuit se conectează o rezistență de sarcină $R_L = 10k\Omega$. Cum se modifică CSTV $v_O(v_I)$ pentru fiecare circuit, pentru $v_{I1} = v_{I2} \in [-20; 20][V]$ în ipoteza diodelor ideale?
- Comparați cele două circuite din puncte de vedere al : (1) dependenței v_O de R_L ; (2) puterii consumate de la sursa v_I . Care din cele două circuite este mai avantajos în utilizare? De ce?

R.4.

- Cei doi diporti devin cei din Fig. 1.14. Pentru D_1 și D_2 considerăm modelul diodă ideală.

Pentru primul diport, R_L apare în paralel cu R_1 rezultând o rezistență $R_1^1 = R_1 \parallel R_L$.

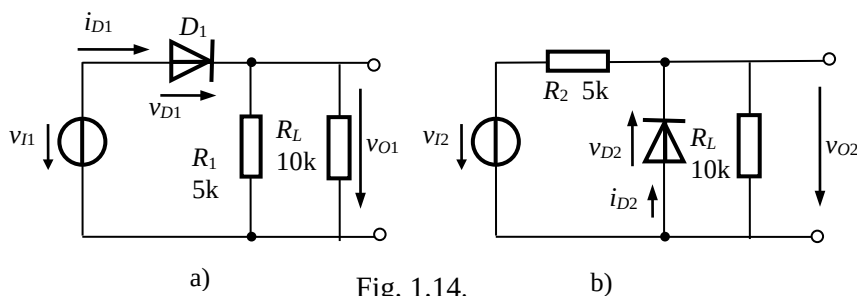


Fig. 1.14.

$$R_1^1 = \frac{5 \cdot 10}{5 + 10} \approx 3.3k\Omega$$

CSTV rămâne aceeași.

Pentru al doilea diport, când $D_2 - (c)$, $v_{O2} = 0$. Când $D_2 - (b)$, pentru $v_{I2} > 0V$ avem:

$$v_{O2} = \frac{R_L}{R_L + R_2} v_{I2}$$

$$v_{O2} = \frac{10}{10+5} v_{I2} = 0.67 \cdot v_{I2}$$

Cele două CSTV devin cele din figură:

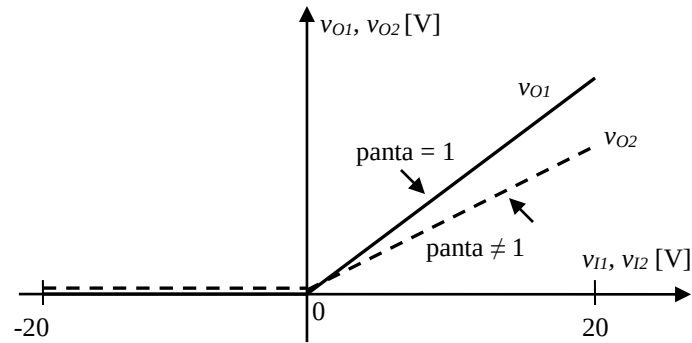


Fig. 1.15.

b)

(1) Dependența v_O de R_L :

Pentru primul diport, v_O nu depinde de R_L .

Pentru al doilea diport, v_O depinde de R_L pentru al doilea diport; când $D_2 - (b)$, $v_{O2} \neq v_{I2}$, pe sarcină nu se transmite întreaga v_{I2} , o parte “se pierde” pe R_L .

(2) Puterea consumată

Pentru primul diport se consumă putere când $D_1 - (c)$, adică are loc transfer de tensiune la ieșire, puterea

instantanee fiind $p = \frac{v_{I1}^2}{R_1}$. Când $D_1 - (b)$ puterea consumată este zero.

Pentru al doilea diport se consumă putere în ambele stări ale diodei. Când $D_2 - (b)$, puterea instantanee este

$p = \frac{v_{I2}^2}{R_1 + R_2}$, iar pentru $D_2 - (c)$, $p = \frac{v_{I2}^2}{R_2}$ (toată puterea se pierde pe R_2).

În concluzie, atât din punct de vedere al tensiunii de ieșire cât și din punct de vedere al puterii consumate, primul diport este mai avantajos (întreaga tensiune de intrare se transmite la ieșire, iar puterea consumată este mai mică).

Observații: Pentru al doilea diport, dacă pentru D_2 se consideră modelul cu cădere de tensiune constantă, valoarea tensiunii de intrare pentru care D_2 intră în conducție nu mai este $v_{I2} = -0.7V$, ci devine :

$$\frac{R_L}{R_2 + R_L} v_{I2} = -0.7V$$

$$v_{I2} = -0.7V \frac{R_2 + R_L}{R_L}$$

$$v_{I2} = -0.7 \frac{5+10}{10} \approx -1V$$

P.5.

Se dă circuitul din Fig. 1.16.

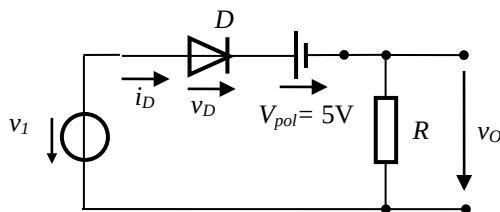


Fig. 1.16.

a) Deduceți CSTV $v_O(v_I)$ a circuitului pentru $v_I \in [-20V; 20V]$ folosind pentru diodă:

- (1) modelul diodă ideală;
- (2) modelul cădere de tensiune constantă, 0.7V;

b) Pentru $v_I(t) = 10 \sin \omega t$ [V], cum arată $v_O(t)$ și $v_D(t)$ considerând dioda ideală?

c) Pentru $v_I(t)$ de la punctul b) care este valoarea tensiunii inverse maxime pe diodă? Știind că valoarea maximă admisibilă a curentului direct prin D este $I_F = 100$ mA, alegeți o valoare pentru R pentru a evita distrugerea diodei.

R.5.

a) (1) D – ideală

$$D - (b); v_D < 0; i_D = 0; v_O = 0$$

$$v_I = v_D + V_{pol}; v_I - V_{pol} = v_D < 0; v_I - 5V < 0; v_I < 5V$$

$$D - (c); v_D = 0; i_D > 0$$

$$v_I = v_O + V_{pol}; v_O = v_I - V_{pol}$$

$$i_D > 0; \frac{v_I - V_{pol}}{R} > 0; v_I > V_{pol}; v_I > 5V$$

$$v_O = \begin{cases} 0V, & \text{pentru } v_I < 5V \\ v_I - 5V, & \text{pentru } v_I > 5V \end{cases}$$

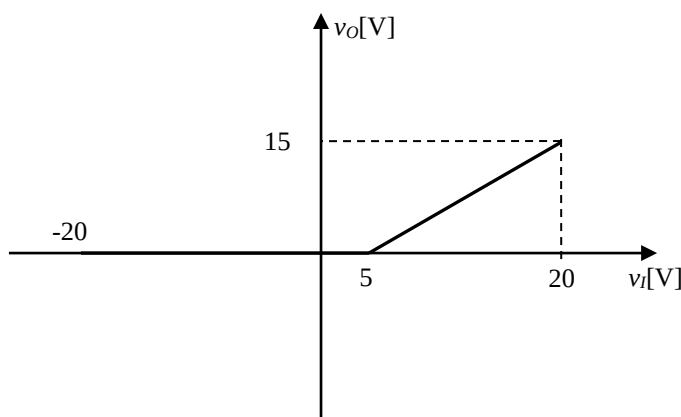


Fig. 1.17.

(2) $V_{D,on} = 0.7V$

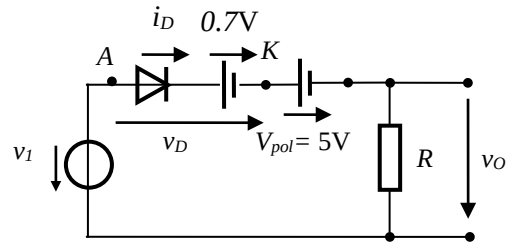


Fig. 1.18.

CSTV se translatează pe axa v_I la dreapta cu $0.7V$.

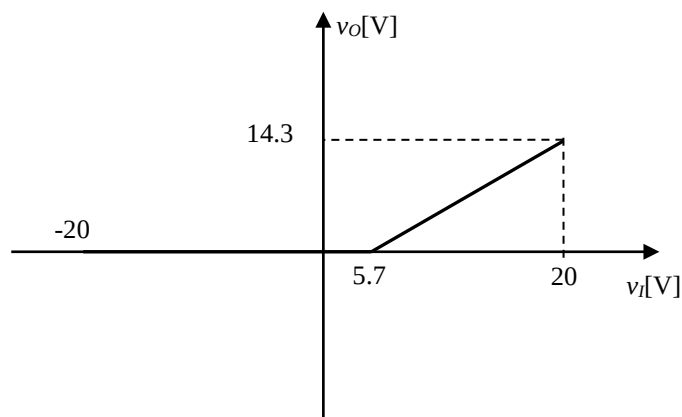


Fig. 1.19.

$$v_O = \begin{cases} 0V, & \text{pentru } v_I < 5.7V \\ v_I - 5.7V, & \text{pentru } v_I > 5.7V \end{cases}$$

b)

$$D - (c) \Rightarrow v_D = 0$$

$$D - (b) \Rightarrow v_D = v_I - V_{pol} = v_I - 5V$$

3

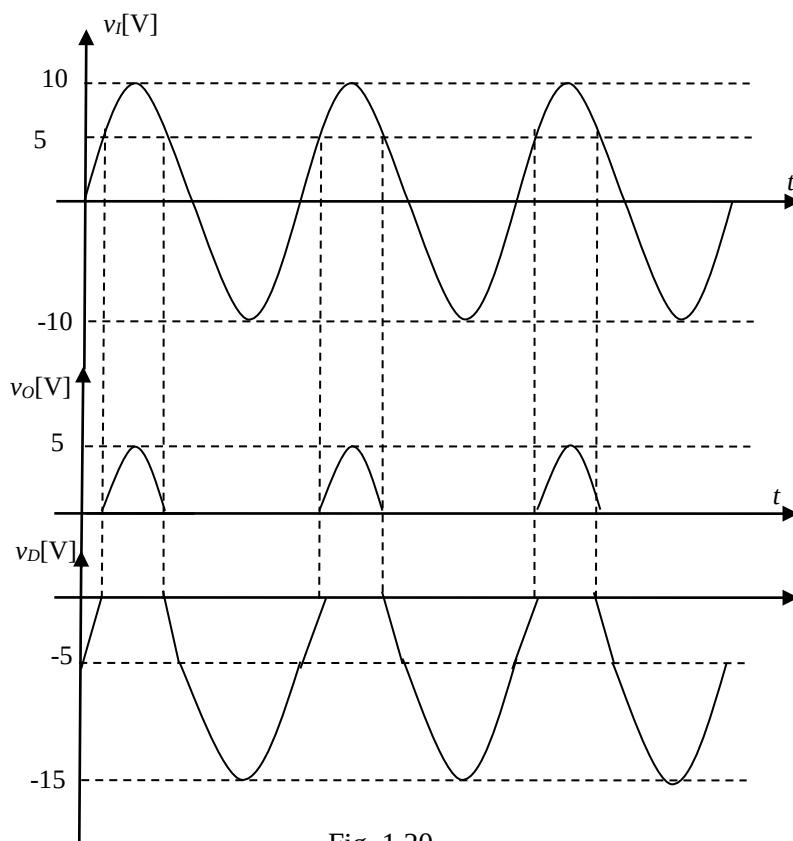


Fig. 1.20.

Din graficul anterior $v_D(t)$ rezultă:

$$v_{Dinv,max} = 15V$$

$$D - (c) \Rightarrow i_D > 0, i_{Dmax} = \frac{v_I - V_{pol}}{R}$$

$$i_{Dmax} = \frac{v_{Imax} - V_{pol}}{R} < I_F$$

$$R > \frac{v_{Imax} - V_{pol}}{I_F}$$

$$R > \frac{10 - 5}{100m}, R > 50\Omega$$

P.6.

Se dă circuitul din Fig. 1.21, cu D – ideală.

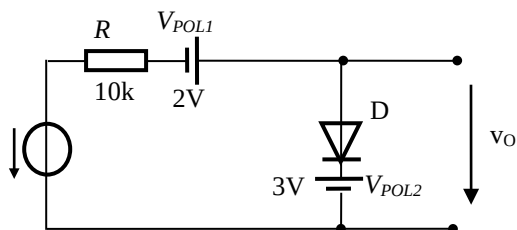


Fig. 1.21.

- a) Deduceți și reprezentați grafic CSTV $v_o(v_I)$ pentru $v_I \in [-15V; 15V]$. Care sunt rolurile V_{POL1} , V_{POL2} ?
b) Cum arată cronograma $v_o(t)$ pentru $v_I(t) = 10 \sin \omega t [V]$?

R.6.

- a) Dacă nu ar fi existat V_{POL1} și V_{POL2} , expresia $v_o(v_I)$ ar fi

$$v_o = \begin{cases} 0V, & \text{pentru } v_I > 0, D - (c) \\ v_I, & \text{pentru } v_I < 0, D - (b) \end{cases}$$

CSTV ar fi arătat astfel:

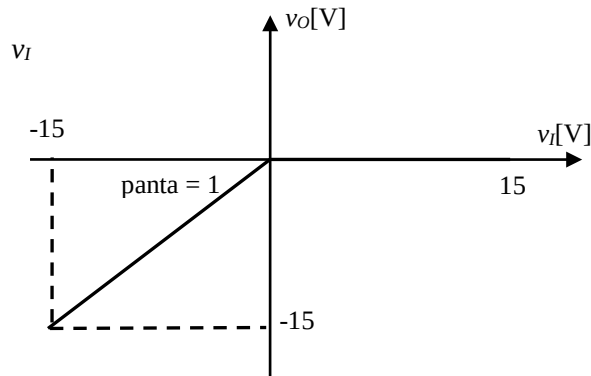


Fig. 1.22.

Dacă ar fi existat doar V_{POL2} CSTV ar fi arătat ca în Fig. 1.23. V_{POL2} fiind comună atât ochiului de intrare, cât și celui de ieșire, noua CSTV este ar fi traslatată atât pe axa v_I (la dreapta), cât și pe axa v_o (în sus), cu $V_{POL2} = 3V$.

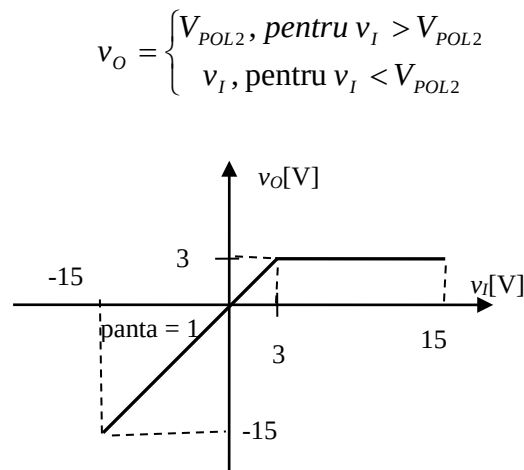


Fig. 1.23.

V_{POL1} introduce încă o translație pe axa v_I la stânga cu $V_{POL1} = 2V$ și rezultă CSTV finală din Fig. 1.24.:

$$v_o = \begin{cases} V_{POL2}, & \text{pentru } v_I > V_{POL2} - V_{POL1} \\ v_I + V_{POL1}, & \text{pentru } v_I < V_{POL2} - V_{POL1} \end{cases}$$

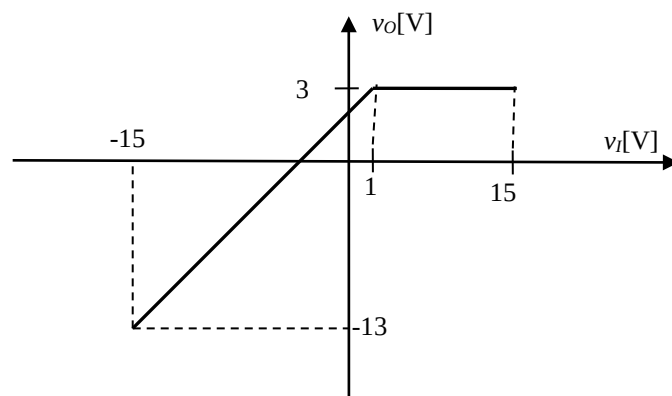


Fig. 1.24.

Rolurile V_{POL1} și V_{POL2} sunt de a translața CSTV pe axele v_I și v_O .

b) cronograma $v_O(t)$ pentru tensiunea de intrare dată este prezentată în Fig. 1.25.

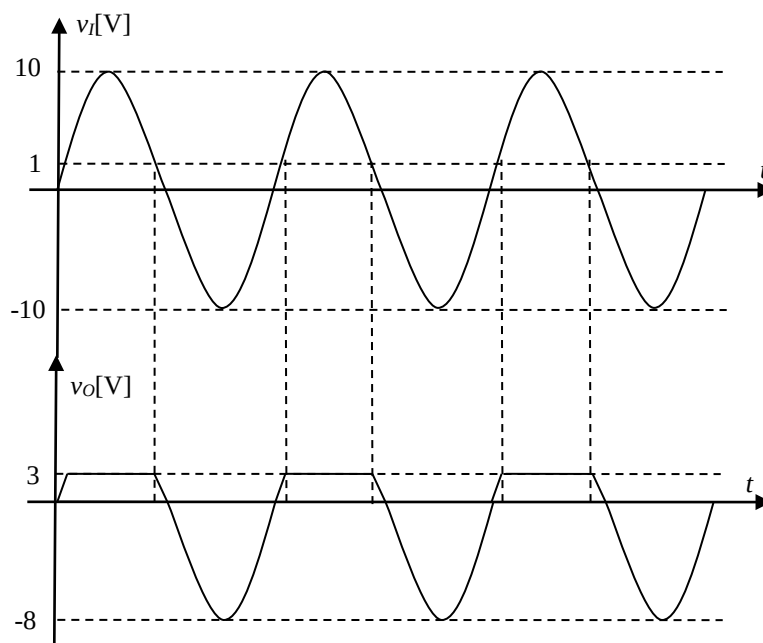


Fig. 1.25.

P.7.

Pentru circuitul din Fig. 1.21., cum se modifică CSTV $v_O(v_I)$ și cronograma $v_O(t)$ pentru $v_I(t) = 10 \sin \omega t [V]$ dacă folosim pentru diodă modelul cădere de tensiune constantă, cu $V_{D,on} = 0.7V$?

R.7.

D - modelul cădere de tensiune constantă $0.7V$.

CSTV din Fig. 1.24. se translatează după prima bisectoare cu $0.7V$ spre valori pozitive.

$$v_o = \begin{cases} 3.7V, & \text{pentru } v_I > 1.7V \\ v_I - 2V, & \text{pentru } v_I < 1.7V \end{cases}$$

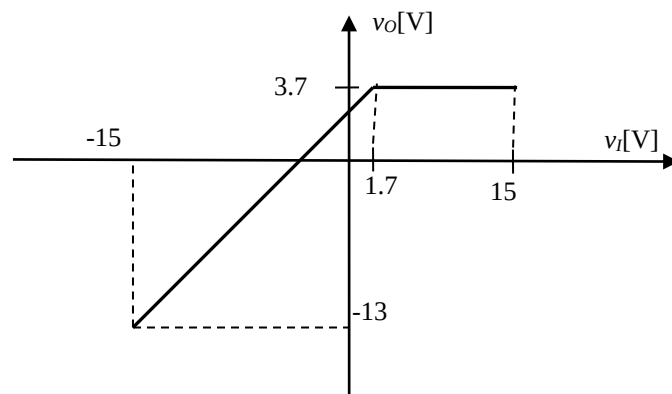


Fig. 1.26.

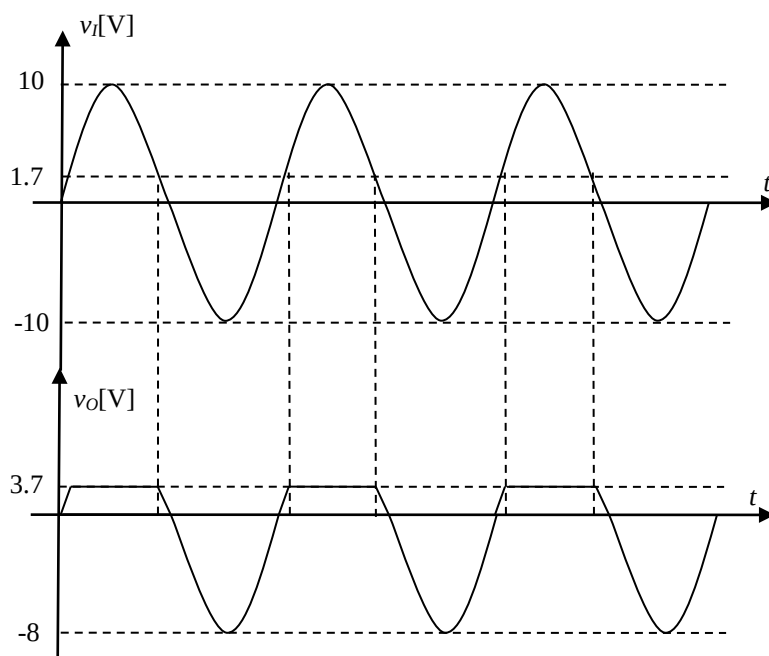


Fig. 1.27.

P.8.

Se dă circuitul din Fig. 1.28.

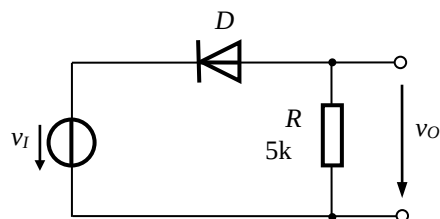


Fig. 1.28.

- a) Care este expresia $v_o(v_I)$ în ipotezele: (1) D - ideală; (2) D - modelul cădere de tensiune constantă 0.7V?
- b) Cum arată $v_o(t)$ pentru $v_I(t)$ din figură în fiecare din cele 2 ipoteze de la punctul a)? Ce aplicație realizează circuitul?
- c) Cum trebuie să arate circuitul care selectează impulsurile de polaritate opusă față de circuitul din Fig.1.28?

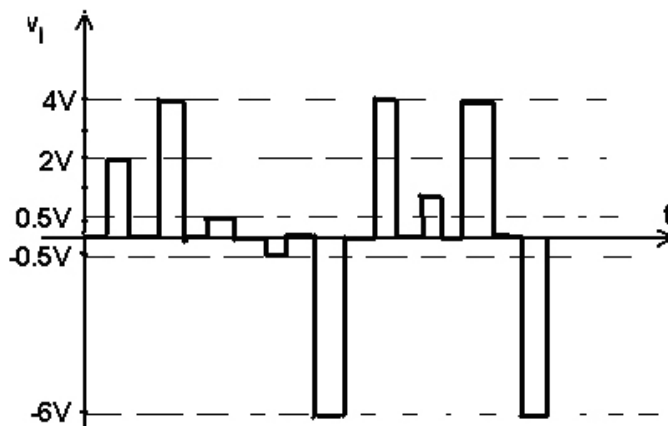


Fig. 1.29.

R.8.

a) (vezi problema 1)

(1) D -ideală

$$v_o = \begin{cases} 0, & \text{pentru } v_I > 0V, D - (b) \\ v_I, & \text{pentru } v_I < 0V, D - (c) \end{cases}$$

(2) D -modelul cădere de tensiune constantă 0,7V

$$v_o = \begin{cases} 0, & \text{pentru } v_I > -0.7V, D - (b) \\ v_I + 0.7V, & \text{pentru } v_I < -0.7V, D - (c) \end{cases}$$

b)

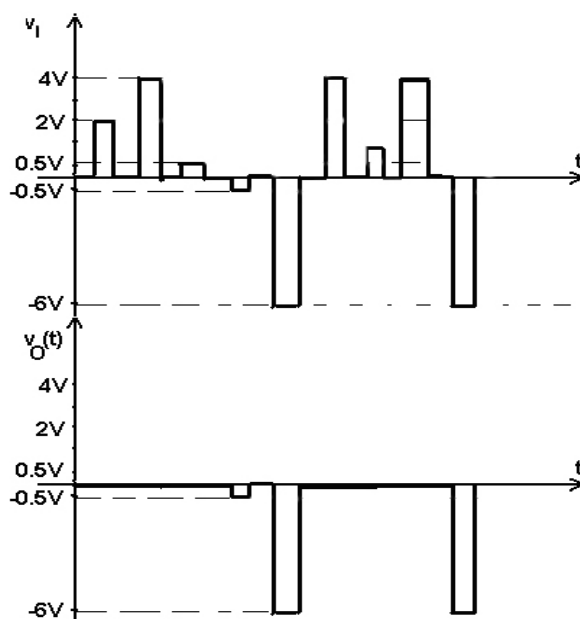


Fig. 1.30.

Aplicația circuitului este de selector de impulsuri negative.

(2) D-modelul cădere de tensiune constantă 0.7V

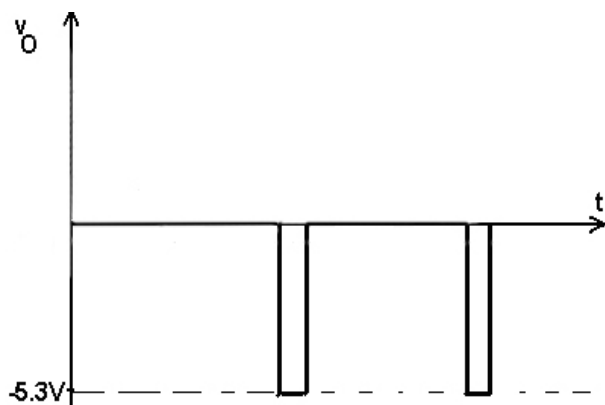


Fig. 1.31.

c) Circuitul care selectează impulsurile de polaritate opusă față de circuitul din Fig.1.28 este prezentat în Fig.1.32.

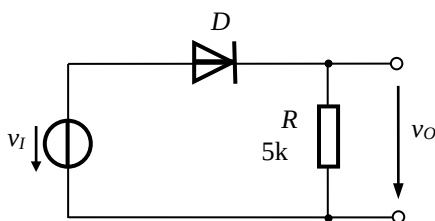


Fig. 1.32.

P.9.

Se dă circuitul din Fig. 1.33 considerând pentru diode modelul cădere de tensiune constantă 0.7V.

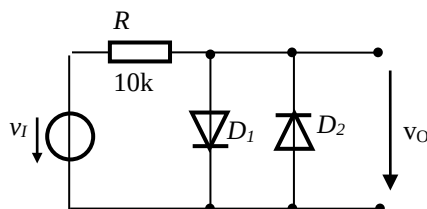


Fig. 1.33.

- Deduceți CSTV $v_o(v_i)$ a circuitului pentru $v_i \in [-20V; 20V]$
- Cum arată cronograma $v_o(t)$ pentru $v_i(t) = 10 \sin \omega t [V]$? Dar pentru $v_i(t) = 0.5 \sin \omega t [V]$?
- Calculați tensiunea inversă maximă pentru fiecare diodă și curentul direct maxim prin fiecare diodă pentru $v_i(t) = 10 \sin \omega t [V]$.

R.9.

a)

$D_1 - (c)$, pentru $v_I > 0.7V$

$D_1 - (b)$, pentru $v_I < 0.7V$

$D_2 - (c)$, pentru $v_I < -0.7V$

$D_2 - (b)$, pentru $v_I > -0.7V$

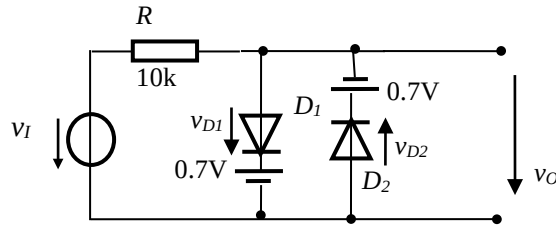


Fig. 1.34.

Există astfel trei situații posibile (cazul cu ambele diode în conducție nu este posibil):

(1) $v_I < -0.7V \Rightarrow D_1 - (b), D_2 - (c), i_{D2} > 0, v_O = -v_{D2} = -0.7V$

(2) $-0.7V < v_I < 0.7V \Rightarrow D_1 - (b), D_2 - (b), v_O = v_I$

(3) $v_I > 0.7V \Rightarrow D_1 - (c), D_2 - (b), i_{D1} > 0, v_O = 0.7V$

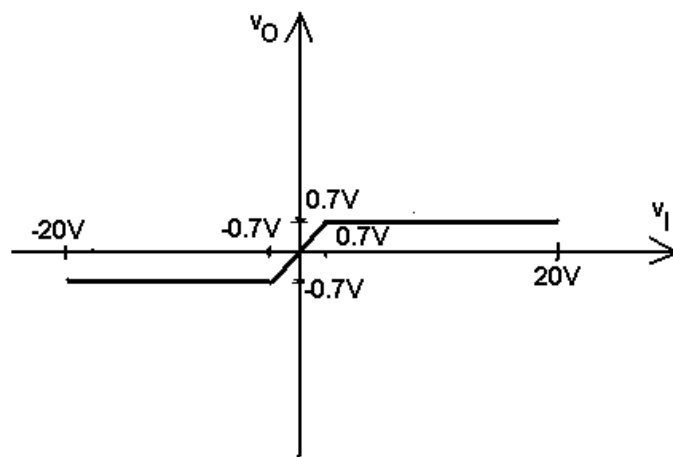


Fig. 1.35.

b) Cronogramele $v_O(t)$ pentru $v_I(t) = 10 \sin \omega t [V]$ și pentru $v_I(t) = 0.5 \sin \omega t [V]$ sunt prezentate în Fig. 1.36, respectiv 1.37.

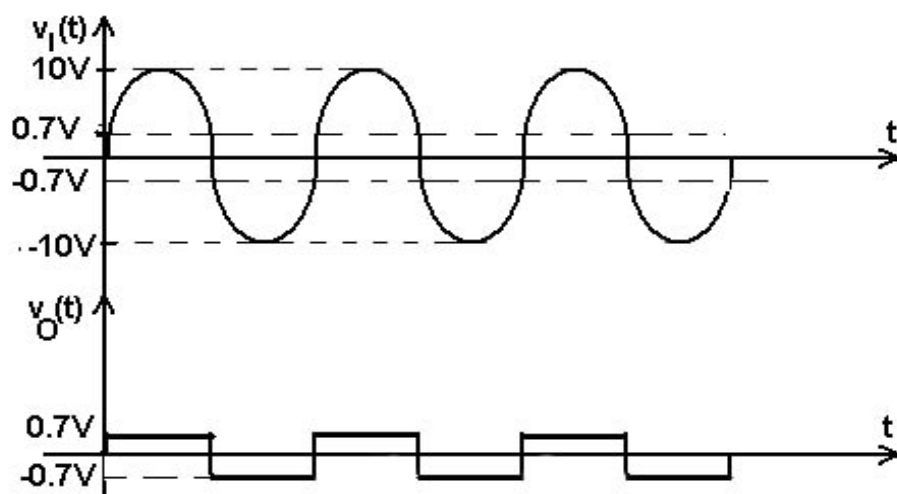


Fig. 1.36.

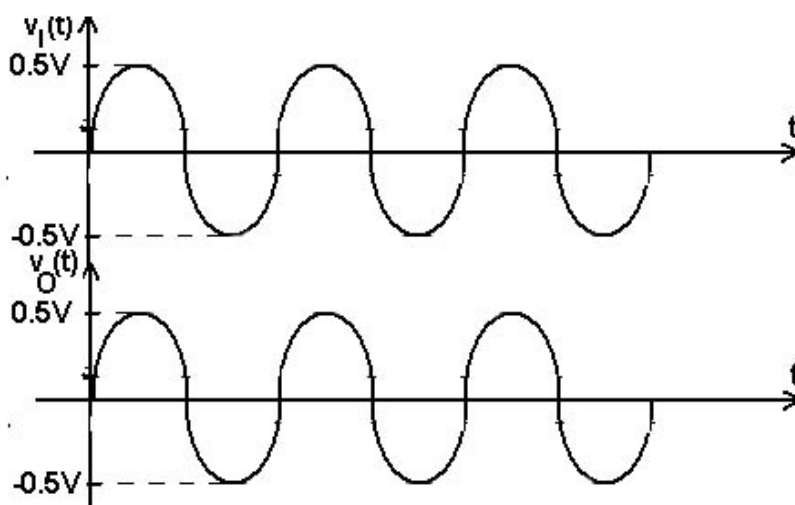


Fig. 1.37.

c) Tensiunea inversă maximă se obține când diodele sunt în blocare:

$$D_1 - (b), \begin{cases} D_2 - (c) \Rightarrow v_O = -0.7V \\ D_2 - (b) \Rightarrow v_O = v_I \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Dar } v_{D1} + 0.7V = v_O \Rightarrow v_{D1} = v_O - 0.7V$$

Înlocuind în (1) se obține:

$$D_1 - (b), \begin{cases} D_2 - (c) \Rightarrow v_{D1} = -1.4V \\ D_2 - (b) \Rightarrow v_{D1} = v_I - 0.7V \end{cases}$$

Tensiunea inversă maximă pe D_1 se obține pentru $V_{I,\min} = -10V \Rightarrow v_{D1,inv\max} = 10.7V$

$$D_2 - (b), \begin{cases} D_1 - (c) \Rightarrow v_O = 0.7V \\ D_1 - (b) \Rightarrow v_O = v_I \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{Dar } v_O = -v_{D2} - 0.7V \Rightarrow v_{D2} = -v_O - 0.7V$$

Înlocuind în (2) se obține:

$$D_2 - (b), \begin{cases} D_1 - (c) \Rightarrow v_{D2} = -1.4V \\ D_1 - (b) \Rightarrow v_{D2} = -v_I - 0.7V \end{cases}$$

Tensiunea inversă maximă pe D_2 se obține pentru $V_{I,\max} = 10V \Rightarrow v_{D2,inv,\max} = 10.7V$

Curentul direct maxim se obține când diodele sunt alternativ în conducție:

$$D_1 - (c), D_2 - (b), i_{D1} = \frac{v_I - 0.7V}{R} \Rightarrow i_{D1\max} = \frac{v_{I\max} - 0.7V}{R} = \frac{10 - 0.7}{10k} = 0.93mA$$

$$D_2 - (c), D_1 - (b), i_{D2} = \frac{-0.7 - v_I}{R} \Rightarrow i_{D2\max} = \frac{-0.7 - (-10)}{10k} = 0.93mA$$

P.10.

Se dă circuitul din Fig. 1.38, cu D -ideală.

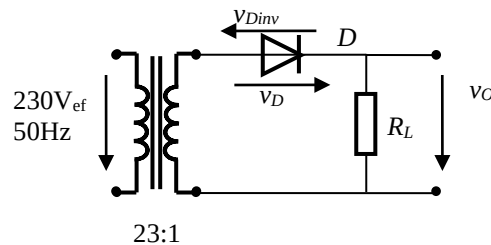


Fig. 1.38.

- Cum arată cronogramele $v_I(t)$ și $v_O(t)$? Ce aplicație realizează circuitul?
- Calculați valoarea componentei continue (valoarea medie) a lui $v_O(t)$.
- Cum arată $i_O(t)$ pentru $R_L = 1k\Omega$; $R_L = 10k\Omega$?

R.10.

a)

$$v_I(t) = \frac{230\sqrt{2}}{23} \sin(2\pi 50t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t)$$

Cronogramele $v_I(t)$ și $v_O(t)$ sunt prezentate în Fig.1.39.

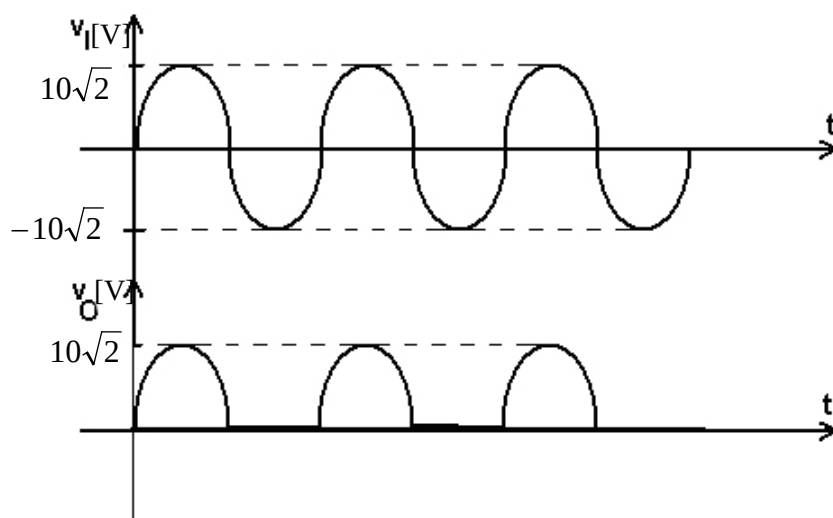


Fig. 1.39.

Aplicația circuitului: redresor monoalternanță pentru tensiuni pozitive (pentru alternanța pozitivă).

b)

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T 10\sqrt{2} \sin 100\pi t dt = \frac{1}{T} \int_0^T 10\sqrt{2} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) dt = -\frac{1}{T} \cdot \frac{T}{2\pi} \cdot 10\sqrt{2} \cos \frac{2\pi t}{T} \Big|_0^T =$$

$$-\frac{5\sqrt{2}}{\pi} (\cos \pi - \cos 0) = \frac{10\sqrt{2}}{\pi}$$

c)

$$i_o = \frac{v_o}{R_L}$$

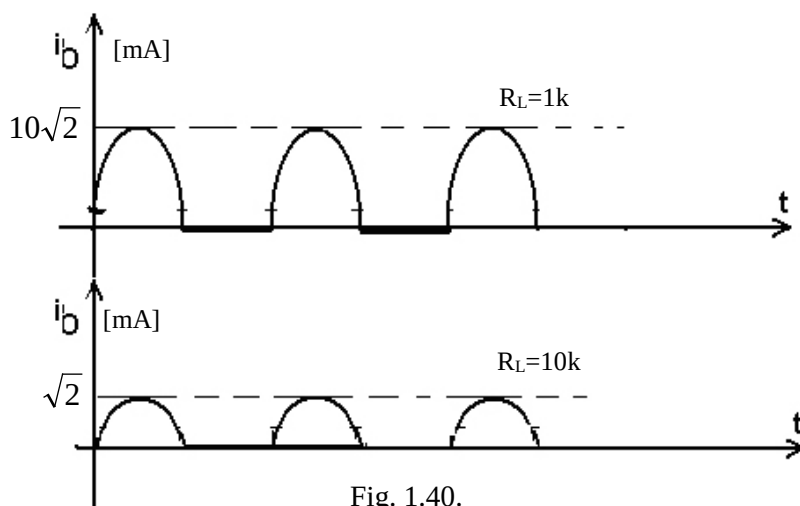


Fig. 1.40.

P.11.

Fie circuitul din Fig. 1. 38.

a) Calculați puterea medie disipată pe R_L , pentru $R_L = 1k\Omega$; $R_L = 10k\Omega$.

b) Calculați puterea medie disipată pe D , pentru $R_L = 1k\Omega$; $R_L = 10k\Omega$.

c) Ce tensiune inversă maximă și ce curent direct maxim trebuie să suporte D dacă $R_L > 100\Omega$?

R.11.

a) Puterea medie disipată pe R_L :

$$\begin{aligned}
 P_R &= \frac{1}{T} \int_0^T p_R(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{v_O^2(t)}{R_L} dt = \frac{1}{TR_L} \int_0^T v_O^2(t) dt = \\
 &= \frac{1}{TR_L} \int_0^{T/2} 100 \cdot 2 \sin^2 \frac{2\pi}{T} t dt = \frac{200}{TR_L} \int_0^{T/2} \frac{1 - \cos \frac{4\pi}{T} t}{2} dt = \\
 &= \frac{100}{TR_L} \left(\int_0^{T/2} dt - \int_0^{T/2} \cos \frac{4\pi}{T} t dt \right) = \frac{100}{TR_L} \left(\frac{T}{2} - \frac{T}{4\pi} \sin \frac{4\pi}{T} t \Big|_0^{T/2} \right) = \\
 &= \frac{50}{R_L} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2\pi} \left(\sin \frac{4\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} - \sin 0 \right) \right] = \frac{25}{R_L}
 \end{aligned}$$

Pentru $R_L = 1k\Omega \Rightarrow P_R = 25mW$;

Pentru $R_L = 10k\Omega \Rightarrow P_R = 2.5mW$;

b) Puterea medie disipată pe diodă este:

$$\begin{aligned}
 P_D &= \frac{1}{T} \int_0^T p_D(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v_D(t) \cdot i_D(t) dt \\
 i_D(t) &= \begin{cases} 0, & \text{pt. } v_D < 0 \\ > 0, & \text{pt. } v_D = 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$\Rightarrow \hat{\text{ÎNTOTDEAUNA}} \quad P_D = 0$

c) Curentul maxim se obține când $D-(c)$

$$D-(c); v_I > 0; i_D = \frac{v_I}{R_L}; I_{D\max} = \frac{v_{I,\max}}{R_{L\min}} = \frac{10\sqrt{2}}{100} \Rightarrow I_{D\max} = 0.14A$$

Tensiunea inversă maximă se obține când $D-(b)$

$$\begin{aligned}
 D-(b); v_I < 0; v_O = 0; v_D = v_I; v_{Dinv} = -v_I \\
 V_{Dinv\max} = -V_{I\min} \Rightarrow V_{Dinv\max} = 10\sqrt{2}V
 \end{aligned}$$

2. Multiporturi DR în comutare

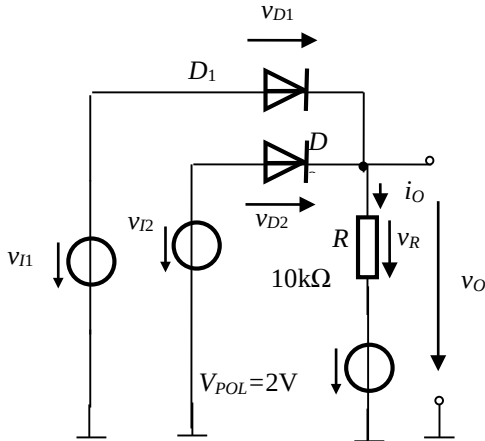


Fig. 2.1.

P.1.

Se consideră diodele D_1, D_2 ideale.

- Care este expresia $v_O(v_{I1}, v_{I2}, V_{POL})$? Ce aplicație realizează circuitul?
- În ce stare sunt D_1 și D_2 și ce valoare are tensiunea v_O dacă: $v_{I1} = -2V$ și $v_{I2} = 5V$? Cum arată modelul circuitului în acest caz și ce valori au: $i_{D1}, i_{D2}, v_{D1}, v_{D2}, i_O, v_R$?
- Cum arată $v_O(t)$ pentru $v_{I1}(t) = 7 \sin \omega t [V]$; $v_{I2}(t) = -5 \sin \omega t [V]$? Ce valori au tensiunile inverse maxime pe D_1 și D_2 ?

R.1.

$$a) v_O(v_{I1}, v_{I2}, V_{pol}) = \max(v_{I1}, v_{I2}, V_{pol})$$

Aplicația circuitului: circuit de maxim spațial.

$$b) v_{I1} = -2V, v_{I2} = 5V, V_{pol} = 2V \Rightarrow v_O(v_{I1}, v_{I2}, V_{pol}) = \max(v_{I1}, v_{I2}, V_{pol}) \Rightarrow$$

$$v_O = \max(-2V, 5V, 2V) = 5V \Rightarrow v_O = 5V$$

Pentru determinarea modelului circuitului trebuie aflate stările diodelor, prin calcularea valorilor v_D , respectiv i_D pentru fiecare din cele două diode.

$$v_{D1} = v_{I1} - v_O = -2V - 5V = -7V \Rightarrow v_{D1} < 0 \Rightarrow D_1(b) \Rightarrow i_{D1} = 0$$

$$v_{D2} = v_{I2} - v_O = 5V - 5V = 0V \Rightarrow i_{D2} = i_O$$

$$i_O * R + V_{pol} = v_O \Rightarrow i_O = \frac{v_O - V_{pol}}{R} = \frac{5V - 2V}{10^4} > 0 \Rightarrow i_{D2} = i_O > 0 \Rightarrow D_2(c)$$

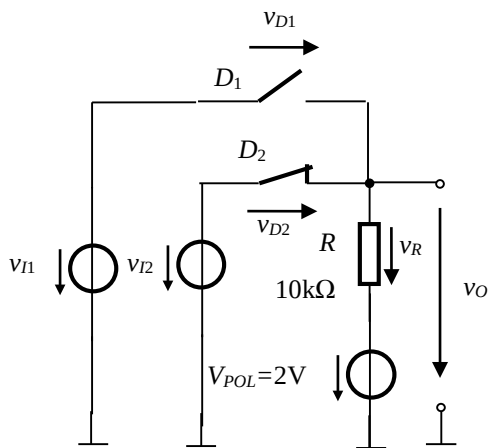


Fig. 2.2.

$$i_{D1} = 0$$

$$i_{D2} = i_O = \frac{v_O - V_{pol}}{R} = \frac{5V - 2V}{10^4} = 0.3mA$$

$$v_{D1} = -7V$$

$$v_{D2} = 0V$$

$$V_R = i_O \cdot R = 0.3 \cdot 10^{-3} \cdot 10^4 = 3V \Rightarrow V_R = 3V$$

c)

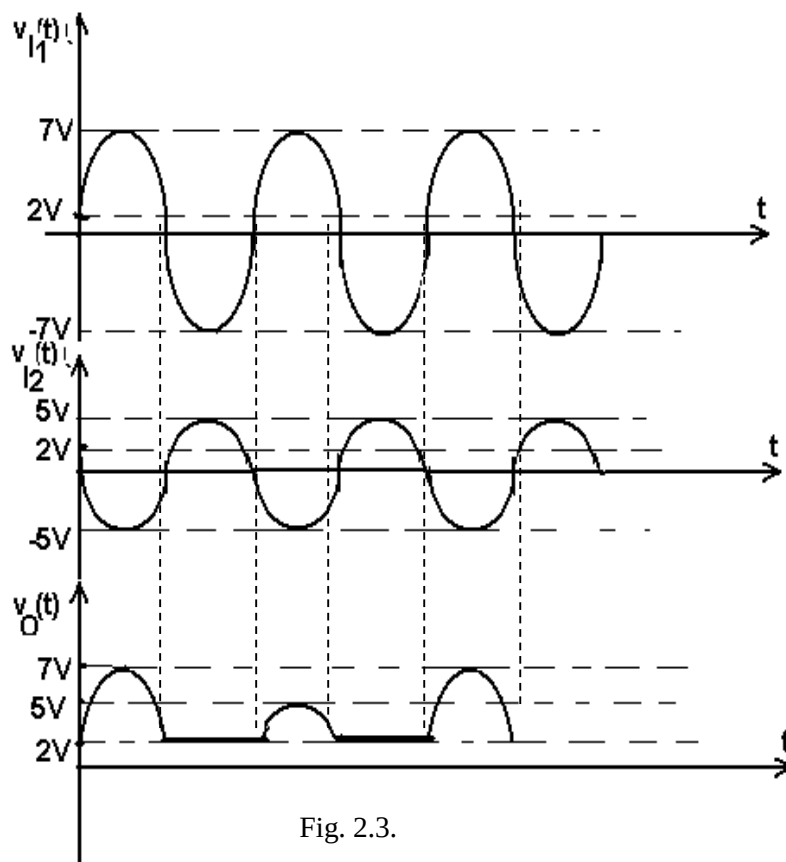


Fig. 2.3.

O metodă de determinare a tensiunilor inverse maxime pentru cele două diode este folosirea TKV, iar valorile tensiunilor v_{I1} , v_{I2} respectiv v_O se citesc din cronograme.

Astfel , tensiunea inversă pe D_1 este:

$$v_{inv} = -v_D$$

$$\text{Pentru } D_1 - (b) \Rightarrow v_{D1} = v_{I1} - v_O$$

Valorile tensiunilor v_{I1} și v_O se citesc de pe cronogramele din Fig. 2.3, pentru a doua semiperioadă a semnalului (pe acest interval de timp D_1 este blocată).

$$v_{D1\min} = v_{I1\min} - v_{O\max} = -7V - 5V = -12V, v_{inv1} = -v_{D1\min} = 12V$$

Tensiunea inversă pe D_2 este:

$$D_2 - (b) \Rightarrow v_{D2} = v_{I2} - v_O \Rightarrow v_{D2\min} = v_{I2\min} - v_{O\max} = -7V - 7V = -14V, v_{inv2} = 14V$$

P.2.

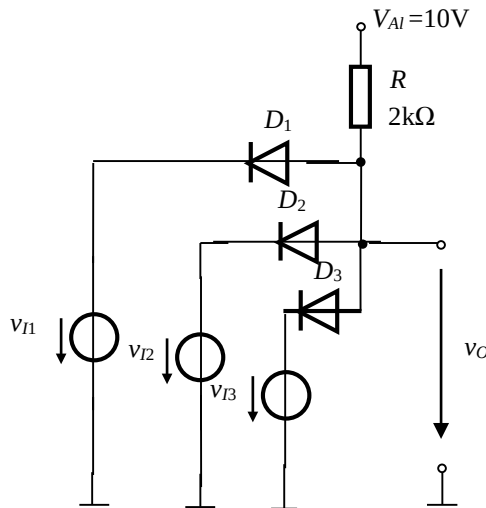


Fig. 2.4.

D_1, D_2, D_3 -ideale

Se consideră convenția logică
 $0V \rightarrow "0"$
 $10V \rightarrow "1"$

- Care este expresia $v_O(v_{I1}, v_{I2}, v_{I3}, V_{A1})$? Ce funcție realizează circuitul?
- Dacă $v_{I1}, v_{I2}, v_{I3} \in \{0V, 10V\}$, cum arată tabelul de funcționare electrică al circuitului și în ce stare (blocare (b) sau conducție (c)) este fiecare diodă pentru toate combinațiile posibile de valori ale v_{I1}, v_{I2}, v_{I3} ?
- Completați tabelul de adevăr al circuitului. Ce funcție logică realizează circuitul? Ce valoare are curentul direct maxim prin oricare din cele trei diode, și pentru ce combinație de valori ale v_{I1}, v_{I2}, v_{I3} se obține curent maxim prin fiecare diodă?
- În ipoteza modelului cădere de tensiune constantă pentru diodă, ce valoare a tensiunii de ieșire va corespunde nivelului "0", și ce valoare nivelului "1"? Dar dacă la ieșirea circuitului se conectează $R_L = 48k\Omega$?

R.2.

$$a) v_O(v_{I1}, v_{I2}, v_{I3}, V_{A1}) = \min(v_{I1}, v_{I2}, v_{I3}, V_{A1})$$

Acest circuit este un circuit de minim.

b) Tabelul de funcționare electrică al circuitului pentru $v_{I1}, v_{I2}, v_{I3} \in \{0V, 10V\}$ este prezentat în Tabelul 2.1.

Tabel 2.1

v_{I1}	v_{I2}	v_{I3}	v_O	D_1	D_2	D_3
0V	0V	0V	0V	(c)	(c)	(c)
10V	0V	0V	0V	(b)	(c)	(c)
10V	10V	0V	0V	(b)	(b)	(c)
0V	10V	10V	0V	(c)	(b)	(c)
0V	10V	10V	0V	(c)	(b)	(b)
0V	0V	10V	0V	(c)	(c)	(b)
10V	0V	10V	0V	(b)	(c)	(b)
10V	10V	10V	10V	(b)	(b)	(b)

c) Pentru convenția logică considerate tabelul de adevăr al circuitului este:

Tabel 2.2

A	B	C	Y
0	0	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0
0	1	0	0
0	1	1	0
0	0	1	0
1	0	1	0
1	1	1	1

Funcția logică realizată de circuit este “ȘI logic” iar curentul maxim este:

$$i_{D_{\max}} = \frac{V_{Al}}{R} = \frac{10V}{2k\Omega} = 5mA$$

Curentul maxim prin D_1 se obține pentru:

$$v_{I1}=0V; v_{I2}=10V; v_{I3}=10V$$

Curentul maxim prin D_2 se obține pentru:

$$v_{I1}=10V; v_{I2}=0V; v_{I3}=10V$$

Curentul maxim prin D_3 se obține pentru: $D_2(b)$

$$v_{I1}=10V; v_{I2}=10V; v_{I3}=0V$$

d) În ipoteza modelului cădere de tensiune constantă pentru diodă, valoarea tensiunii de ieșire ce corespunde nivelului “0” este 0.7V (dioda corespunzătoare va fi în conducție și $v_O = v_D = 0.7V$), iar cea care corespunde nivelului “1” rămâne 10V ($v_O = V_{Al} = 10V$).

Pentru $R_L = 48k\Omega$ valoarea tensiunii de ieșire ce corespunde nivelului “0” este tot de 0,7V iar cea care corespunde nivelului “1” este:

$$\text{dacă } D_1 - (b), D_2(b), D_3 - (b) \Rightarrow v_O = \frac{R_L}{R_L + R} \cdot V_{Al} = \frac{48}{50} \cdot 10 = 9.6V$$

P.3.

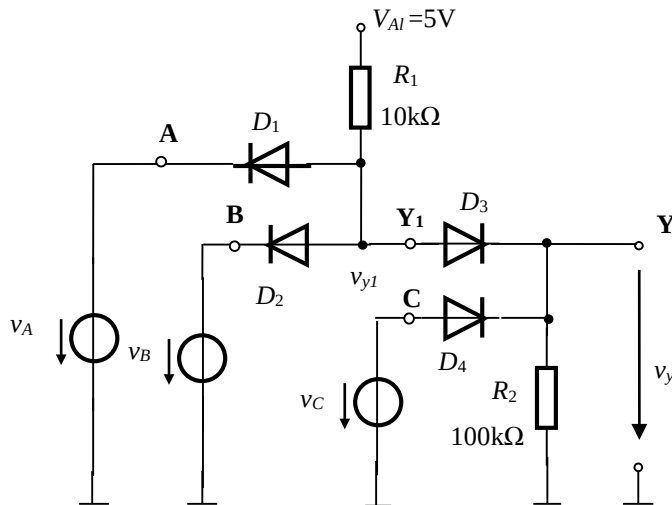


Fig. 2.5.

Pentru D_1, D_2, D_3, D_4 -ideale

Se consideră convenția logică :

-orice tensiune mai mică decât 1,5V $\rightarrow$ "0"

-orice tensiune mai mare decât 3,5V $\rightarrow$ "1"

$v_A, v_C, v_B \in \{0V; 5V\}$

- Ce funcție logică $Y_1(A, B)$ realizează triportul DR format din D_1, D_2, R_1 ?
- Cum arată tabelele de funcționare electrică și de adevăr ale subcircuitului format din D_1, D_2, R_1 ?
- Ce funcție logică $Y(Y_1, C)$ realizează triportul DR format din D_3, D_4, R_2 ?
- Cum arată tabelele de funcționare electrică și de adevăr ale subcircuitului format din D_3, D_4, R_2 ?

R.3.

a) Funcția logică realizată de subcircuitul format din D_1, D_2 și R_1 este "ȘI logic" (vezi P.2 și R.2).

b) Tabelul de funcționare electrică pentru subcircuitul format din D_1, D_2, R_1 este:

Tabel 2.3

v_A	v_B	v_{y1}	D_1	D_2
0V	0V	0V	(c)	(c)
5V	0V	0V	(b)	(c)
0V	5V	0V	(c)	(b)
5V	5V	5V	(b)	(b)

Tabelul de adevăr este:

Tabel 2.4

A	B	Y_1
0	0	0
1	0	0

0	1	0
1	1	1

c) Funcția logică realizată de subcircuitul format din D_3, D_4, R_2 este “SAU logic” (vezi **P.1** și **R.1**).

d) Tabelul de funcționare electrică pentru subcircuitului format din D_3, D_4, R_2 este Tabelul 2.5 iar tabelul de adevăr este Tabelul 2.6:

Tabel 2.5

v_{y1}	v_C	v_y	D_3	D_4
0V	0V	0V	(b)	(b)
0V	5V	5V	(b)	(c)
5V	0V	5V	(c)	(b)
5V	5V	5V	(c)	(c)

Tabel 2.6

Y_1	C	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

P.4.

Fie circuitul din Fig.2.5, cu D_1, D_2, D_3, D_4 -ideale și $v_A, v_C, v_B \in \{0V; 5V\}$

- Cum arată tabelul de funcționare electrică și ce stări au cele 4 diode ((b)sau(c)) în fiecare caz?
- Cum arată tabelul de adevăr al circuitului și ce funcție logică realizează circuitul $Y(A, B, C)$?

R.4.

- Tabelul de funcționare electrică al circuitului complet este Tabelul 2.7.

Tabel 2.7

v_A	v_B	v_C	v_y	D_1	D_2	D_3	D_4
0V	0V	0V	0V	(c)	(c)	(b)	(b)
0V	5V	0V	0V	(c)	(b)	(b)	(b)
5V	0V	0V	0V	(b)	(c)	(b)	(b)
5V	5V	0V	5V	(b)	(b)	(c)	(b)
0V	0V	5V	5V	(c)	(c)	(b)	(c)
0V	5V	5V	5V	(c)	(b)	(b)	(c)
5V	0V	5V	5V	(b)	(c)	(b)	(c)
5V	5V	5V	5V	(b)	(b)	(c)	(c)

- Tabelul de adevăr realizat cu ajutorul tabelului de funcționare electrică și respectând convenția logică este Tabelul 2.8:

Tabel 2.8

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	0	1
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	1	1

Din tabelul de adevăr se observă că:

$$Y(A, B, C) = (B \cdot A) + C \text{ sau } Y(A, B, C) = \max((C, \min(A, B))).$$

P.5.

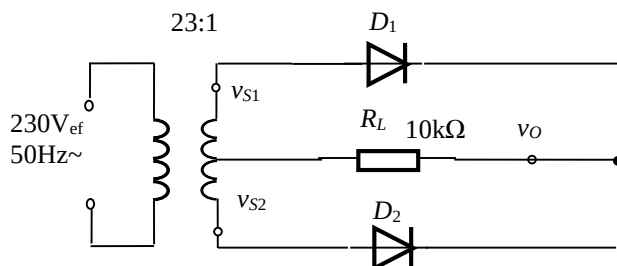


Fig. 2.6.

Se consideră diodele D_1, D_2 -ideale, $n=23$

- Redesenați circuitul sub forma unui triport de extrem spațial. Care este punctul de masă al circuitului?
- Care este expresia tensiunilor $v_{S1}(t), v_{S2}(t)$?
- Reprezentați grafic semnalele: $v_{S1}(t), v_{S2}(t), v_S(t), v_O(t)$. Care este expresia $v_O(v_S)$?
- Ce aplicație realizează circuitul?

R.5.

a)

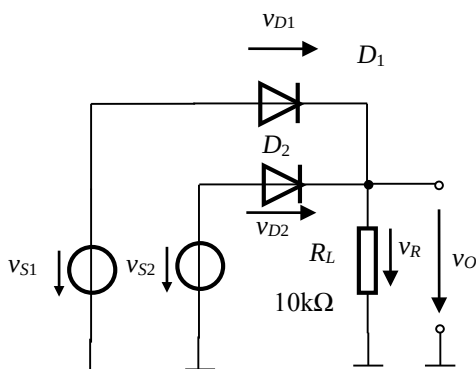


Fig. 2.7.

b) Tensiunea de la rețea fiind tensiune efectivă, tensiunea instantanee în secundarul transformatorului este:

$$v_S(t) = \frac{v_{retea}}{n} = \frac{230\sqrt{2}}{23} \sin(100\pi t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t)$$

$$v_{S1}(t) = \frac{v_S(t)}{2} = 5\sqrt{2} \sin(100\pi t)$$

$$v_{S2}(t) = -\frac{v_S(t)}{2} = -5\sqrt{2} \sin(100\pi t) = -v_{S1}(t)$$

$$c) v_O(v_S) = v_O(v_{S1}, v_{S2}, 0V) \Rightarrow v_O(v_S) = \max(v_{S1}, v_{S2}, 0V) = \max\left(\frac{v_S(t)}{2}, -\frac{v_S(t)}{2}, 0V\right)$$

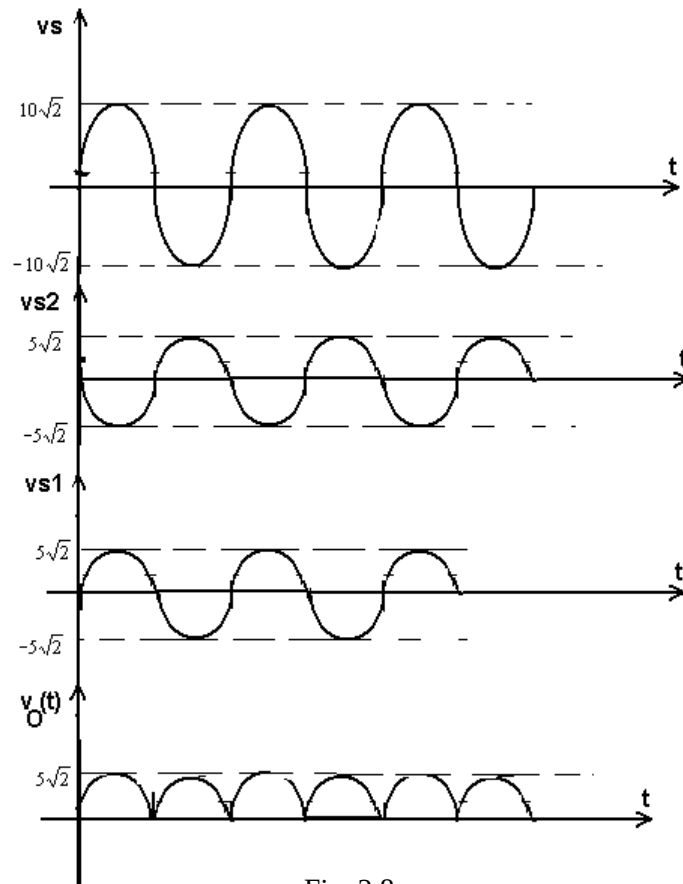


Fig. 2.8.

d) Aplicația circuitului este redresor bialternanță.

P.6.

Fie circuitul din Fig. 2.6. D_1, D_2 -ideale, $n=23$.

a) Calculați curentul direct maxim prin D_1 și D_2 .

b) Calculați tensiunile inverse maxime pe D_1 și D_2 .

c) Care este valoarea de curent continuu a lui $v_O(t)$?

d) Calculați puterea medie în sarcina R_L .

e) Cum se modifică $v_O(t)$ dacă se consideră pentru D_1 și D_2 modelul cădere de tensiune constantă, cu $V_{D1,on} = V_{D2,on} = 0,7V$?

R.6.

a) Pentru a avea curent maxim prin diodă, dioda trebuie să fie în conducție. Astfel:

$$i_{D1} \exists \Leftrightarrow D_1(c) \Rightarrow v_{D1} = 0 \Rightarrow D_2(b) \Rightarrow i_{D1} = i_O = \frac{v_o}{R_L} \Rightarrow I_{D1max} = \frac{v_{o,max}}{R_L} = \frac{5\sqrt{2}}{10^4} = 0.5\sqrt{2}mA$$

$$i_{D2} \exists \Leftrightarrow D_2(c) \Rightarrow v_{D2} = 0 \Rightarrow D_1(b) \Rightarrow i_{D2} = i_O = \frac{v_o}{R_L} \Rightarrow I_{D2max} = \frac{v_{o,max}}{R_L} = \frac{5\sqrt{2}}{10^4} = 0.5\sqrt{2}mA$$

b) Tensiunea inversă pe diodă este: $V_{inv} = -V_D$. Tensiunea inversă maximă pe diodă se obține, așadar, când dioda este în blocare. Astfel:

$$\begin{aligned} v_{D1} \exists \Leftrightarrow D_1(b) \Rightarrow D_2(c) \Rightarrow v_{D1} &= v_{S1} - v_o \Rightarrow v_{D1 \min} = v_{S1 \min} - v_{o \max} = -5\sqrt{2} - 5\sqrt{2} = -10\sqrt{2} \\ \Rightarrow v_{inv1 \max} &= -v_{D1 \min} = -(-10\sqrt{2}) = 10\sqrt{2} \\ v_{D2} \exists \Leftrightarrow D_2(b) \Rightarrow D_1(c) \Rightarrow v_{D2} &= v_{S2} - v_o \Rightarrow v_{D2 \min} = v_{S2 \min} - v_{o \max} = -5\sqrt{2} - 5\sqrt{2} = -10\sqrt{2} \\ \Rightarrow v_{inv2 \max} &= -v_{D2 \min} = -(-10\sqrt{2}) = 10\sqrt{2} \end{aligned}$$

c) Valoarea de curent continuu a lui $v_o(t)$ este:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T 5\sqrt{2} \sin(2\pi 50t) dt = -\frac{1}{T} * \frac{1}{100\pi} * 5\sqrt{2} * \cos(100\pi t) \Big|_0^T$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20\text{ms} \Rightarrow \frac{T}{2} = \frac{1}{100\text{Hz}} = 10\text{ms}$$

$$\Rightarrow V_o = -\frac{5\sqrt{2}}{100\pi * 10^{-2}} \cos(100\pi t) \Big|_0^{\frac{T}{2}} = -\frac{5\sqrt{2}}{\pi} (\cos \pi - \cos 0) = \frac{10\sqrt{2}}{\pi}$$

$$V_o = 4.45V$$

d) Puterea medie în sarcina R_L este:

$$\begin{aligned} P_{RL} &= \frac{1}{T} \int_0^T p_{RL}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{v_o^2}{R_L} dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{50 \sin^2(100\pi t)}{R_L} dt = \frac{100}{2 * 10^{-2} * 10^4} \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{1 - \cos 2(100\pi t)}{2} dt = \\ &= \frac{1}{4} \int_0^{\frac{T}{2}} 1 dt - \frac{1}{4} \int_0^{\frac{T}{2}} \cos(200\pi t) dt = \frac{1}{4} * 10^{-2} - \frac{1}{4} (\sin 2\pi - \sin 0) = 2.5\text{mW} \end{aligned}$$

e) Pentru $V_{D1on} = V_{D2on} = 0.7V \Rightarrow v_o = \max(v_{S1} - 0.7V; v_{S2} - 0.7V; 0)$

P.7.

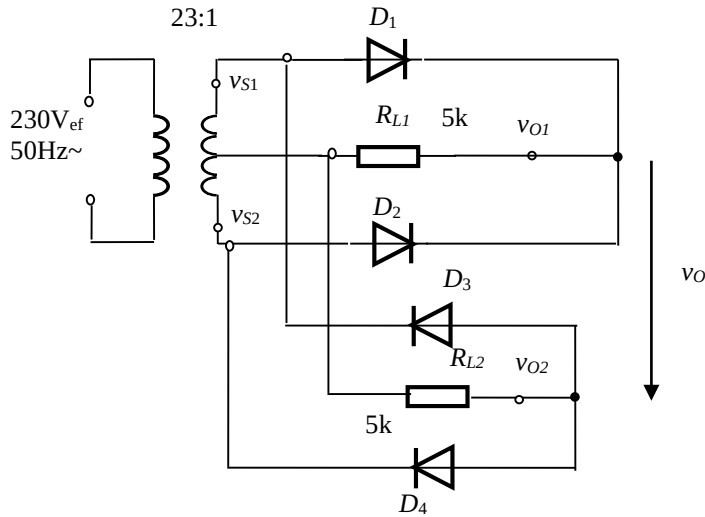


Fig. 2.9.

Se consideră diodele D_1, D_2, D_3, D_4 - ideale, $n = 23$.

- Care este expresia tensiunilor $v_{S1}(t), v_{S2}(t), v_{O1}(v_{S1}, v_{S2}), v_{O2}(v_{S1}, v_{S2}), v_O(t)$?
- Ce tip de triport este circuitul format din D_1, D_2 și R_{L1} ?
- Ce tip de triport este circuitul format din D_3, D_4 și R_{L2} ?
- Ce aplicație realizează circuitul?

R.7.

a)

$$v_s(t) = \frac{v_{retea}}{n} = \frac{230\sqrt{2}}{23} \sin(100\pi t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t)$$

$$v_{S1}(t) = \frac{v_s(t)}{2} = 5\sqrt{2} \sin(100\pi t)$$

$$v_{S2}(t) = -\frac{v_s(t)}{2} = -5\sqrt{2} \sin(100\pi t) = -v_{S1}(t)$$

$$v_{O1}(v_{S1}, v_{S2}) = \max(v_{S1}(t), v_{S2}(t), 0)$$

$$v_{O2}(v_{S1}, v_{S2}) = \min(v_{S1}(t), v_{S2}(t), 0)$$

$$v_O = v_{O1} - v_{O2} = \max(v_{S1}(t), v_{S2}(t), 0) - \min(v_{S1}(t), v_{S2}(t), 0)$$

b) (D_1, D_2, R_{L1}) - triport de maxim spațial.

c) (D_3, D_4, R_{L2}) - triport de minim spațial.

d) Aplicația circuitului este redresor bialternanță, cu amplitudinea tensiunii de ieșire $V_O = 10\sqrt{2} = 14.4V$.

P.8.

Fie circuitul din Fig. 2.9. Se consideră D_1, D_2, D_3, D_4 - ideale, $n = 23$.

a) Calculați componenta de curent continuu a tensiunii $v_O(t)$.

b) Ce valori are curentul direct maxim prin fiecare dintre diodele D_1, D_2, D_3, D_4 ?

c) Ce valori au tensiunile inverse maxime pe D_1, D_2, D_3, D_4 ?

R.8.

a) Valoarea de curent continuu a lui $v_o(t)$:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T 10\sqrt{2} \sin(2\pi 50t) dt = -\frac{1}{T} \cdot \frac{1}{100\pi} \cdot 10\sqrt{2} \cdot \cos(100\pi t) \Big|_0^T$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20\text{ms} \Rightarrow \frac{T}{2} = \frac{1}{100\text{Hz}} = 10\text{ms}$$

$$\Rightarrow V_o = -\frac{10\sqrt{2}}{100\pi \cdot 10^{-2}} \cos(100\pi t) \Big|_0^{\frac{T}{2}} = -\frac{10\sqrt{2}}{\pi} (\cos \pi - \cos 0) = -\frac{10\sqrt{2}}{\pi} (-1 - 1) = \frac{20\sqrt{2}}{\pi} = 8.9[\text{V}]$$

b) Curentul maxim prin diodă se obține când dioda este în conducție. Astfel:

$$i_{D1} \exists \Leftrightarrow D_1(c) \Rightarrow v_{D1} = 0 \Rightarrow D_2(b) \Rightarrow i_{D1} = i_{O1} = \frac{v_{o1}}{R_L} \Rightarrow I_{D1\max} = \frac{v_{o1\max}}{R_L} = \frac{5\sqrt{2}}{5 \cdot 10^3} = \sqrt{2}\text{mA}$$

$$i_{D2} \exists \Leftrightarrow D_2(c) \Rightarrow v_{D2} = 0 \Rightarrow D_1(b) \Rightarrow i_{D2} = i_{O1} = \frac{v_{o1}}{R_L} \Rightarrow I_{D2\max} = \frac{v_{o1\max}}{R_L} = \frac{5\sqrt{2}}{5 \cdot 10^3} = \sqrt{2}\text{mA}$$

$$i_{D3} \exists \Leftrightarrow D_3(c) \Rightarrow v_{D3} = 0 \Rightarrow D_4(b) \Rightarrow i_{D3} = i_{O2} = \frac{v_{o2}}{R_L} \Rightarrow I_{D3\max} = \frac{v_{o2\max}}{R_L} = \frac{5\sqrt{2}}{5 \cdot 10^3} = \sqrt{2}\text{mA}$$

$$i_{D4} \exists \Leftrightarrow D_4(c) \Rightarrow v_{D4} = 0 \Rightarrow D_3(b) \Rightarrow i_{D4} = i_{O2} = \frac{v_{o2}}{R_L} \Rightarrow I_{D4\max} = \frac{v_{o2\max}}{R_L} = \frac{5\sqrt{2}}{5 \cdot 10^3} = \sqrt{2}\text{mA}$$

c) Tensiunea inversă maximă pe diodă se obține când dioda este în blocare. Astfel:

$$v_{D1} \exists \Leftrightarrow D_1(b) \Rightarrow D_2(c) \Rightarrow v_{D1} = v_{S1} - v_{o1} \Rightarrow v_{D1\min} = v_{S1\min} - v_{o1\max} = -5\sqrt{2} - 5\sqrt{2} = -10\sqrt{2}$$

$$\Rightarrow v_{inv1\max} = -v_{D1\min} = -(-10\sqrt{2}) = 10\sqrt{2}$$

$$v_{D2} \exists \Leftrightarrow D_2(b) \Rightarrow D_1(c) \Rightarrow v_{D2} = v_{S2} - v_{o1} \Rightarrow v_{D2\min} = v_{S2\min} - v_{o1\max} = -5\sqrt{2} - 5\sqrt{2} = -10\sqrt{2}$$

$$\Rightarrow v_{inv2\max} = -v_{D2\min} = -(-10\sqrt{2}) = 10\sqrt{2}$$

$$v_{D3} \exists \Leftrightarrow D_3(b) \Rightarrow D_4(c) \Rightarrow v_{D3} = v_{S1} - v_{o2} \Rightarrow v_{D3\min} = v_{S1\min} - v_{o2\max} = -5\sqrt{2} - 5\sqrt{2} = -10\sqrt{2}$$

$$\Rightarrow v_{inv3\max} = -v_{D3\min} = -(-10\sqrt{2}) = 10\sqrt{2}$$

$$v_{D4} \exists \Leftrightarrow D_4(b) \Rightarrow D_3(c) \Rightarrow v_{D4} = v_{S2} - v_{o2} \Rightarrow v_{D4\min} = v_{S2\min} - v_{o2\max} = -5\sqrt{2} - 5\sqrt{2} = -10\sqrt{2}$$

$$\Rightarrow v_{inv4\max} = -v_{D4\min} = -(-10\sqrt{2}) = 10\sqrt{2}$$

3. Diport DC; Aplicații. Circuite DRC

P.1.

Pentru circuitul din Fig.3.1 se consideră D – ideală și $v_C(0) = 0$.

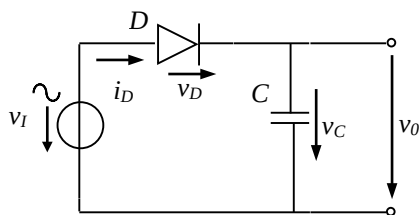


Fig. 3.1.

a) Ce valori au v_C și v_D în regim permanent dacă $V_1 = 10V$; $V_1 = -10V$? În ce stare este D pentru fiecare din cele 2 valori V_1 de mai sus în:

(1) regim tranzitoriu;

(2) regim permanent?

b) Dacă pentru D se utilizează modelul cădere de tensiune constantă iar $v_C(0) = 2V$, ce valori are v_C în regim permanent pentru: $V_1 = 1V$; $V_1 = 2V$; $V_1 = 5V$?

c) Cum arată cronogramele $v_C(t)$; $v_D(t)$, $v_I(t)$ pentru $v_C(0) = 0V$, D-ideală; $v_I(t) = 5\sin \omega t[V]$? Cum se modifică aceste cronograme considerând pentru D –modelul cădere de tensiune constantă? Pentru fiecare caz marcați pe graficul $v_C(t)$ intervalele corespunzătoare conducției și blocării lui D.

d) Fie $v_I(t)$ din figura de mai jos. Pentru D-ideală și $v_C(0) = 0V$ cum arată $v_C(t)$ și ce aplicație realizează circuitul? Repetați rezolvarea pentru $v_C(0) = 3V$. Marcați pe graficul $v_C(t)$ intervalele corespunzătoare conducției și blocării lui D.

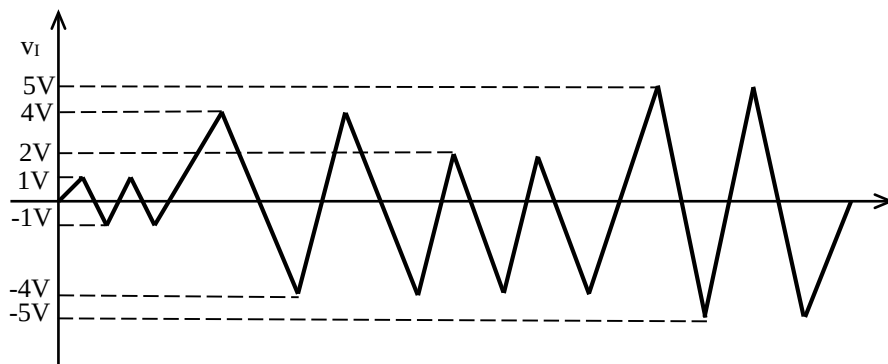


Fig. 3.2.

R.1.

a) În momentul aplicării $V_1 = 10V$, D intră în conducție și avem $v_D = 0V$. În caz ideal, C se încarcă instantaneu de la V_I la $10V$, cu un curent infinit rezultând $v_C = 10V$. În caz real, curentul este limitat atât de rezistența internă a sursei, cât și de rezistența echivalentă a D, astfel încât există un regim tranzitoriu necesar ajungerii la $v_O = 10V$ în regim permanent.

Așadar în regim tranzitoriu:

$$v_D = 0V, i_D > 0, D - (c)$$

în regim permanent:

$$v_D = 0V, i_D = 0, D - (b)$$

Pentru $V_1 = -10V$

$$v_D(0) = v_I - v_C(0) = -10V - 0V = -10V$$

$D - (b)$, nu se întâmplă nimic în circuit, rezultând

$$v_D = -10V, v_0 = 0V, D - (b) \text{ tot timpul}$$

b) Pentru cazul: $V_1 = 1V$:

$$v_I = v_D + v_C, v_D = v_I - v_C \Rightarrow v_D(0) = v_I(0) - v_C(0) \Rightarrow v_D = -1V \quad D - (b) \\ v_C = v_C(0) = 2V$$

Pentru cazul $V_1 = 2V$:

$$v_I = v_D + v_C, v_D = v_I - v_C, v_D(0) = v_I - v_C(0), v_D = 0V \Rightarrow D - (b) \\ v_C = v_C(0) = 2V$$

Pentru cazul $V_1 = 5V \Rightarrow D - (c)$ pentru că are tensiunea mai mare în anod decât în catod $\Rightarrow v_D = 0.7V$;

$$v_C = 5V - 0.7V = 4.3V$$

c) În cazul D ideală aceasta va conduce în situația în care $v_D = v_I - v_C$ tinde să fie mai mare decât 0. Atunci $i_D > 0$ și v_C va crește. Dacă $v_D < 0$, $D - (b)$, $i_D = 0$, v_C nu se poate modifica.

În orice moment de timp $v_C \geq v_I$, iar $v_D \leq 0$.

În cazul modelului cu cădere de tensiune constantă de 0.7V în conducție, $D - (c)$ dacă $v_D = v_I - v_C$ tinde să fie mai mare decât 0.7V și v_C crește. Dacă $v_D < 0.7V$, $D - (b)$, v_C - constant.

În orice moment de timp $v_C \geq v_I - 0.7V$ iar $v_D \leq 0.7V$.

Cronogramele $v_C(t)$; $v_D(t)$, $v_I(t)$ pentru $v_C(0) = 0V$, D -ideală și pentru modelul cădere de tensiune constantă pentru D considerând $v_I(t) = 5 \sin \omega t [V]$ sunt prezentate în Fig. 3.3.

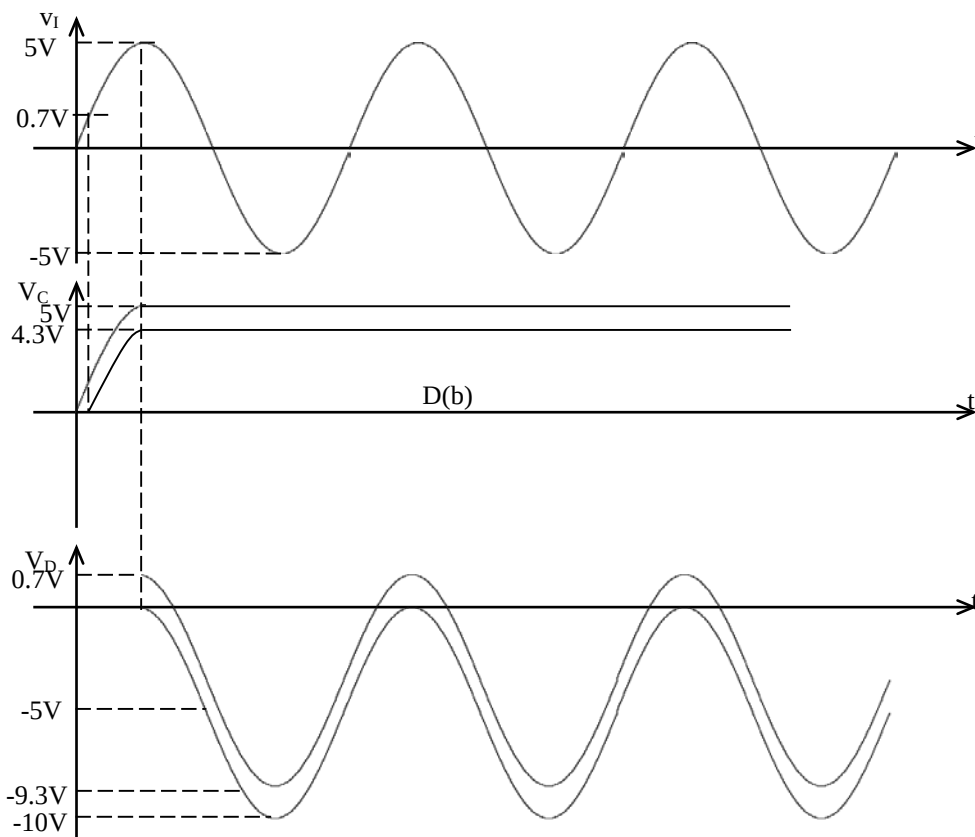


Fig. 3.3.

d) Cronograma $v_C(t)$ pentru D -ideală și $v_C(0) = 0V$ este reprezentată în Fig. 3.4. Circuitul realizează aplicația de detector de vârfuri sau circuit de maxim temporal.

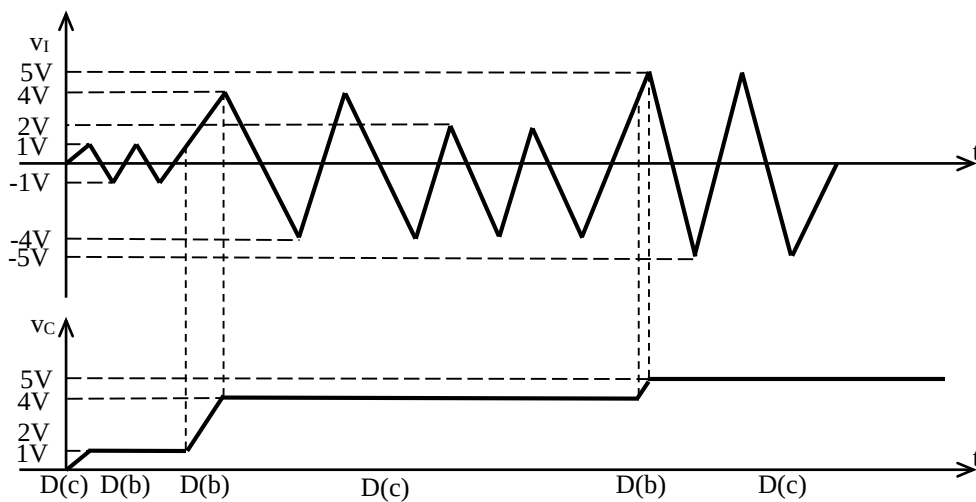


Fig. 3.4.

Cronograma $v_C(t)$ pentru D-ideală și $v_C(0) = 3V$ este reprezentată în Fig. 3.5.

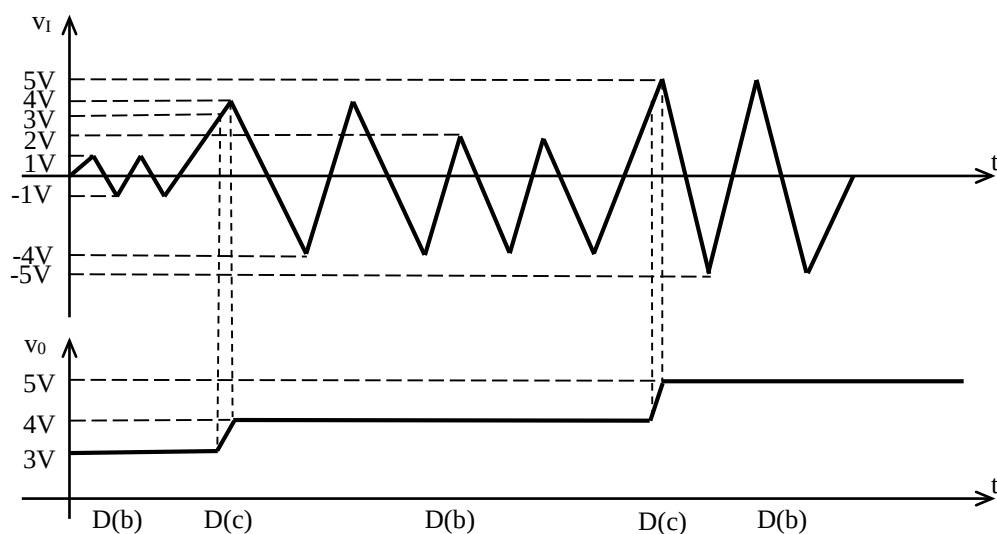


Fig. 3.5.

P.2.

Pentru circuitul din Fig.3.6 se consideră D – ideală și $v_C(0) = 0$.

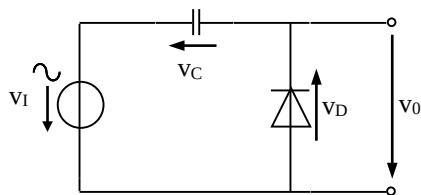


Fig. 3.6.

- Dacă $v_I(t) = 10 \sin \omega t [V]$, cum arată cronogramele $v_0(t)$, $v_D(t)$, $v_I(t)$? Marcați pe cronograma $v_0(t)$ intervalele corespunzătoare conducerii și blocării lui D.
- Ce aplicație realizează circuitul?
- Care este expresia $v_0(t)$ în regim permanent?
- Cum se modifică expresia lui $v_0(t)$ dacă $v_C(0) = 12V$? Considerați $v_I(t) = 10 \sin \omega t [V]$ ca la punctul a).

R.2.

a)

$$v_D(t) = -(v_I(t) + v_C(t))$$

Dacă $v_D(t)$ tinde să fie mai mare ca 0, D-(c), $i_D(t) > 0$, $v_C(t)$ crește.

Dacă $v_D(t) < 0$, $i_D(t) = 0$ iar $v_C(t)$ nu se modifică.

$$\begin{aligned} v_0(t) &= -v_D(t) \\ v_0(t) &= v_I(t) + v_C(t) \end{aligned}$$

În momentul inițial $v_D(0) = 0V$, $D(b)$. În continuare $v_I(t)$ crește, ceea ce conduce la scăderea $v_D(t)$, deci $D(b)$ până când $v_I(t)$ ajunge la alternanța negativă. În momentul în care $v_I(t)$ scade sub zero, $v_D(t)$ tinde să fie mai mare ca zero și D intră în conducție.

Cronogramele $v_0(t)$, $v_D(t)$, $v_I(t)$ pentru $v_I(t) = 10 \sin \omega t [V]$ sunt reprezentate în Fig. 3.7.

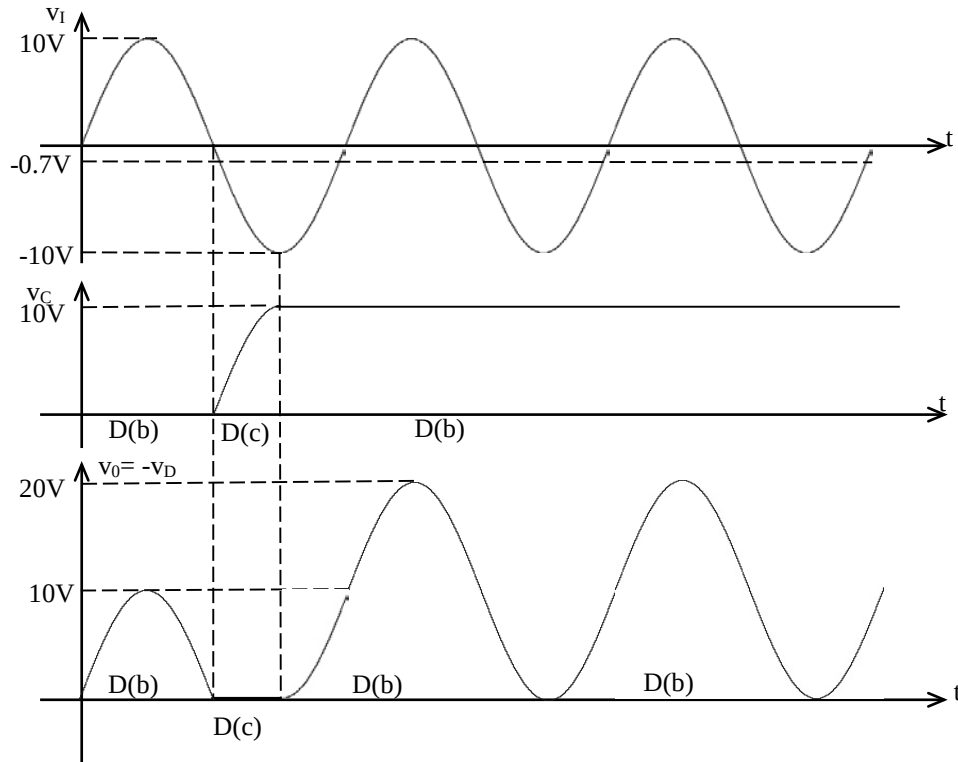


Fig. 3.7.

b) Aplicația circuitului: circuit de translație spre valori pozitive.

c) În regim permanent

$$\left. \begin{array}{l} v_0(t) = v_C(t) + v_I(t) \\ v_C(t) = \hat{V}_I \end{array} \right\} \Rightarrow v_0(t) = \hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t [V] \Rightarrow v_0(t) = 10 + 10 \sin \omega t [V]$$

d) Dacă $v_C(0) = 12V$:

$$v_D(t) = -(10 \sin \omega t + 12V)$$

Valoarea maximă a v_D este

$$v_{D\max} = -(-10V + 12V) = -2V < 0$$

$D(b)$, nu se întâmplă nimic în circuit.

$$\left\{ \begin{array}{l} v_0(t) = v_C(t) + v_I(t) \\ v_C(t) = 12V \end{array} \right., v_0(t) = 12V + \hat{V}_I \sin \omega t [V] \Rightarrow v_0(t) = 12V + 10 \sin \omega t [V]$$

P.3.

Fie circuitul din Fig. 3.6.

- a) Dacă $v_I(t) = 10 \sin \omega t [V]$, $v_C(0) = 0V$ iar D – modelul cădere de tensiune constantă, cum arată cronogramele $v_0(t)$ și $v_C(t)$?
- b) Care este expresia $v_0(t)$ în regim permanent?
- c) Fie $v_I(t)$ un semnal triunghiular ca în figura de mai jos. Cum arată $v_0(t)$ și $v_C(t)$ considerând $v_C(0) = 0V$ și D - ideală. Ce aplicație realizează circuitul?

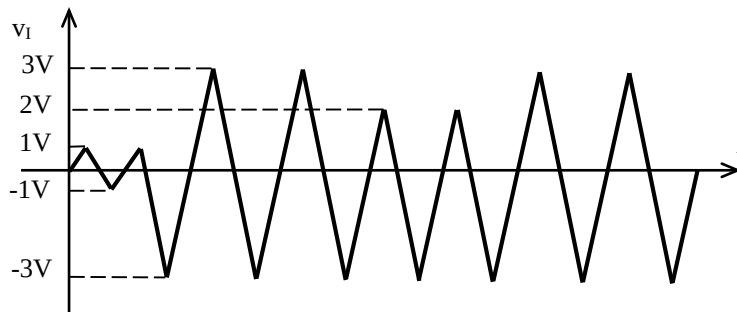


Fig. 3.8.

R.3.

- a) D-(c) când v_I este mai mic de $-0.7V$. Cronogramele $v_0(t)$ și $v_C(t)$ sunt prezentate în Fig. 3.9.

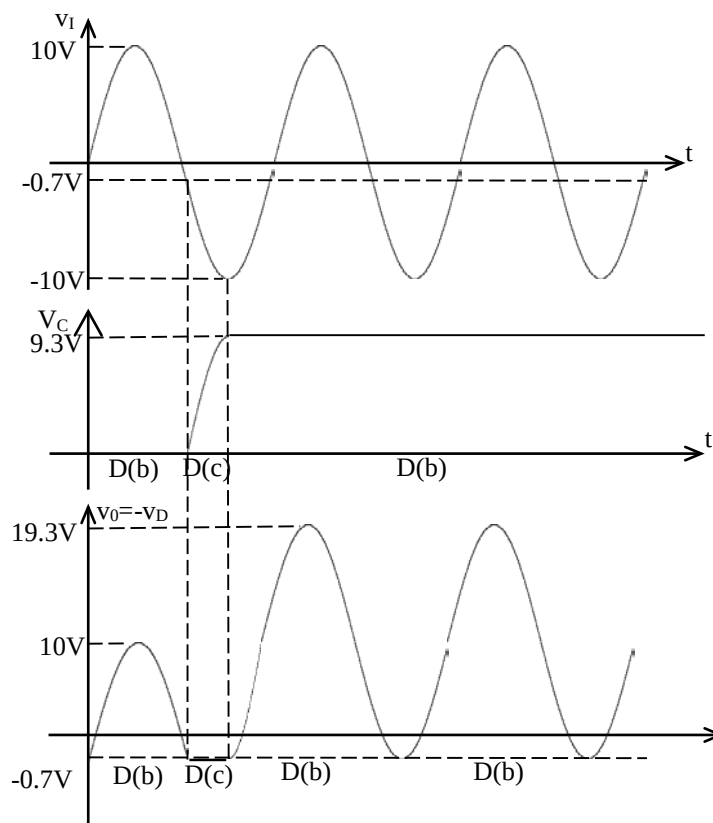


Fig. 3.9.

- b) În regim permanent $v_C(t) = 9.3V$ și D-(b). Așadar,
 $v_0 = v_C + v_I = 9.3 + 10 \sin \omega t [V]$

c) Cronogramele $v_0(t)$ și $v_C(t)$ considerând $v_C(0) = 0V$ și D - ideală sunt prezentate în Fig. 3.10.

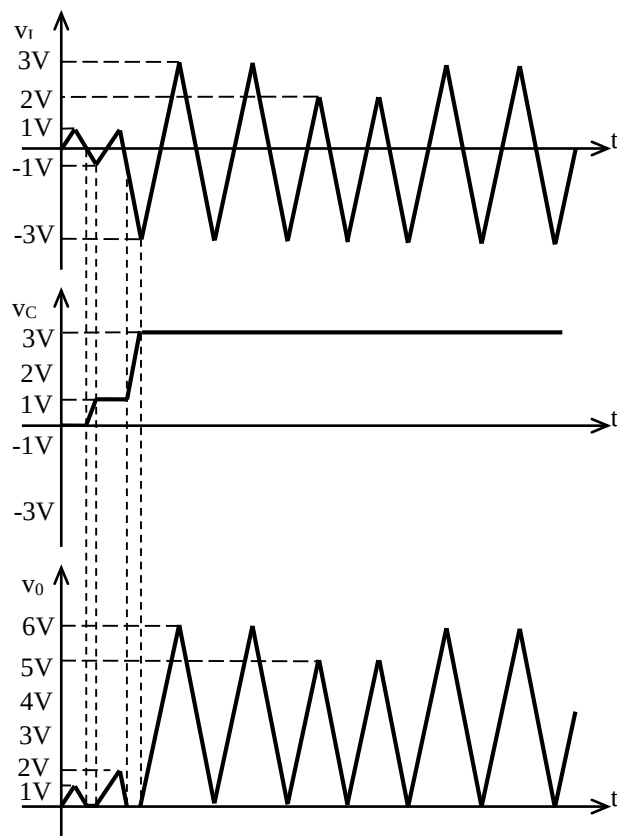


Fig. 3.10.

Aplicația realizează de circuit este circuit de translație spre valori pozitive.

P.4.

Pentru circuitul din Fig.3.11 se consideră D_1, D_2 - ideale și $v_{C1}(0) = v_{C2}(0) = 0$.

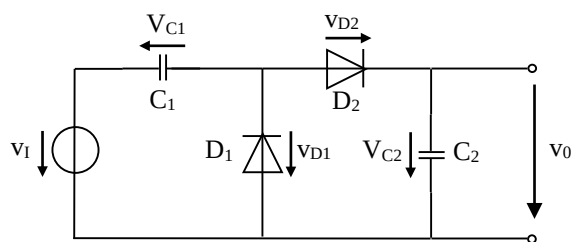


Fig.3.11

- Cum arată cronogramele $v_I(t)$, $v_{C1}(t)$ și $v_{01}(t)$? Care sunt expresiile $v_{C1}(t)$ și $v_{01}(t)$ în regim permanent? Ce funcție realizează diportul D_1C_1 ?
- Cum arată cronogramele $v_{I2}(t)$, $v_{D2}(t)$ și $v_0(t)$? Care sunt expresiile $v_0(t)$ și $v_{D2}(t)$ în regim permanent? Ce funcție realizează diportul D_2C_2 ?
- Ce aplicație realizează întreg circuitul? Cum se modifică expresiile $v_{C1}(t)$, $v_{01}(t)$, $v_{D2}(t)$, $v_0(t)$ în regim permanent dacă pentru D_1, D_2 se consideră modelul cădere de tensiune constantă?

R.4.

a) În ipoteza în care se consideră că grupul D_1C_1 nu încarcă ieșirea V_{D2} a grupului D_1C_1 avem circuitul:

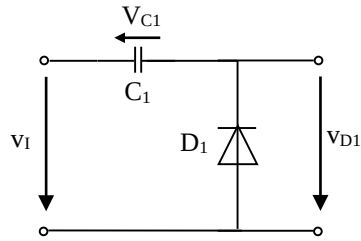


Fig. 3.12.

În regim permanent

$$v_{C1}(t) = V_I$$

$$v_{01}(t) = V_I + V_I \sin \omega t$$

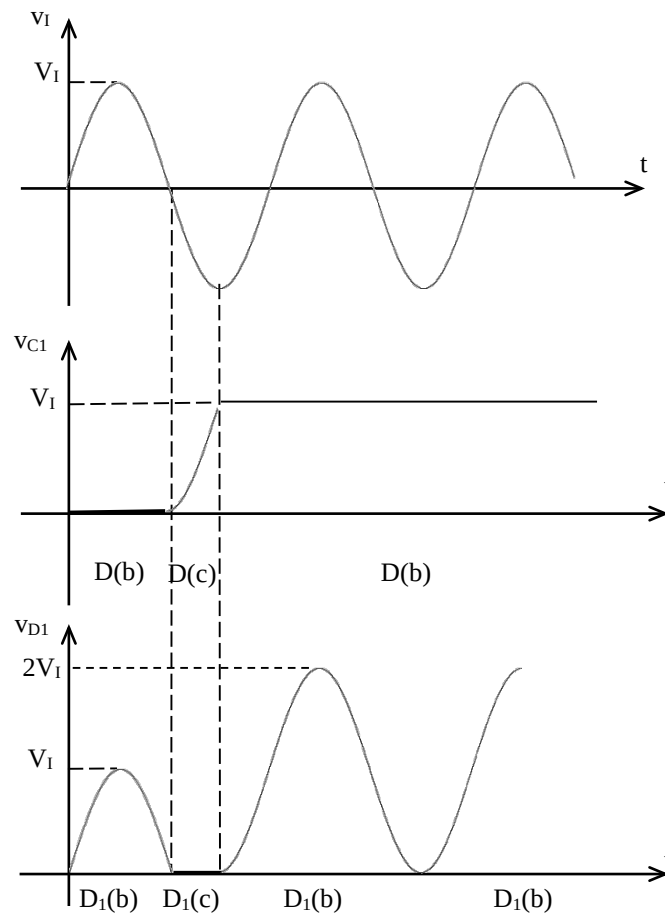


Fig. 3.13

D_1C_1 este diport de translație spre valori pozitive.

b) Cel de-al doilea diport D_2C_2 considerând că se aplică $v_{01}(t)$ în regim permanent este prezentat în Fig. 3.14.

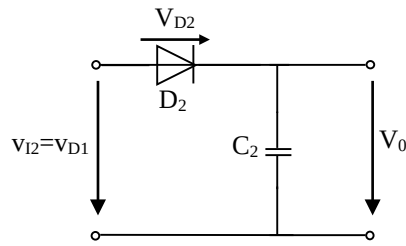


Fig. 3.14

În regim permanent:

$$v_0(t) = 2\hat{V}_I$$

$$v_{D2}(t) = -\hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t$$

D_2C_2 realizează aplicația de translație spre valori negative.

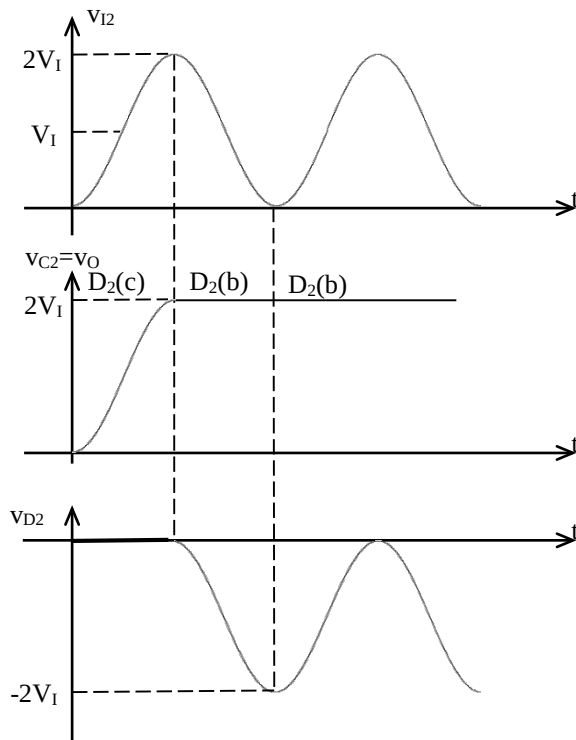


Fig. 3.15.

c) Aplicația circuitului: dublorul de tensiune, $v_o(t) = v_{C2}(t)$.

Pentru modelul cădere de tensiune constantă cronogramele sunt prezentate în Fig. 3.16:

$$v_{C1}(t) = \hat{V}_I - 0.7V$$

$$v_{01}(t) = \hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t - 0.7V$$

$$v_0(t) = 2\hat{V}_I - 1.4V$$

$$v_{D2}(t) = -\hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t + 0.7V$$

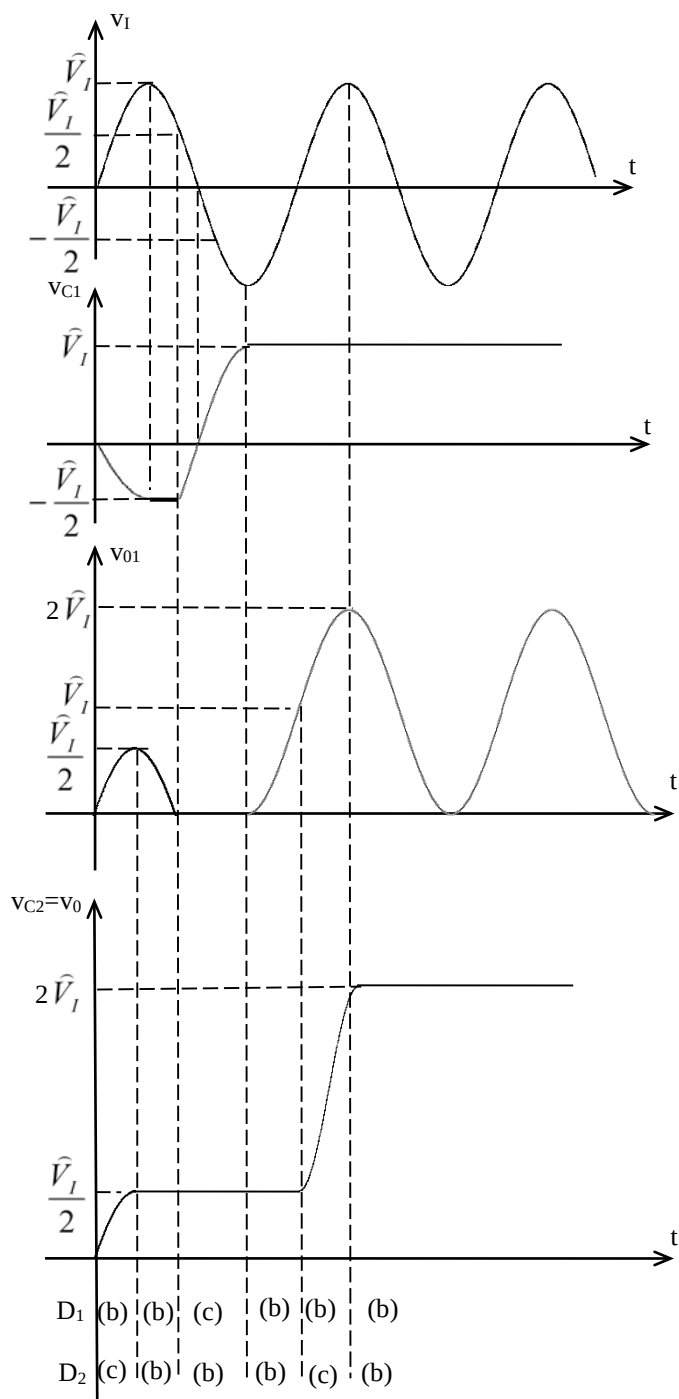


Fig. 3.16.

P.5.

Pentru circuitul din Fig.3.17 se consideră diodele ideale și $v_{C1}(0) = v_{C2}(0) = v_{C3}(0) = 0$.

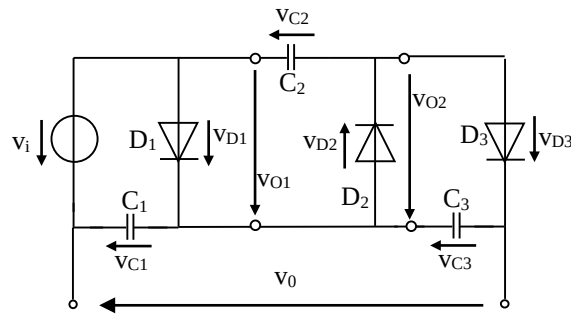


Fig. 3.17.

- Cum arată cronogramele și expresiile $v_I(t)$, $v_{C1}(t)$ și $v_{O1}(t)$ în regim permanent? Ce funcție realizează diportul D_1C_1 ?
- Cum arată cronogramele și care sunt expresiile $v_{C2}(t)$ și $v_{O2}(t)$ în regim permanent? Ce funcție realizează diportul D_2C_2 ?
- Cum arată cronogramele și care sunt expresiile $v_{C3}(t)$ și $v_{O3}(t)$ în regim permanent? Ce aplicație realizează diportul D_3C_3 ?
- Care este valoarea tensiunii $v_0(t)$ în regim permanent? Ce aplicație realizează întreg circuitul? Recalculați $v_0(t)$ în cazul în care pentru D_1, D_2, D_3 se folosește modelul cu cădere de tensiune constantă.

R.5.

- Pentru a determina tensiunile în regim permanent putem considera separat cele trei subcircuite:

$$v_I = v_{O1} + v_{C1}$$

$$v_{C1}(t) = \hat{V}_I$$

$$v_{O1}(t) = v_I(t) - v_{C1}(t) = -\hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t$$

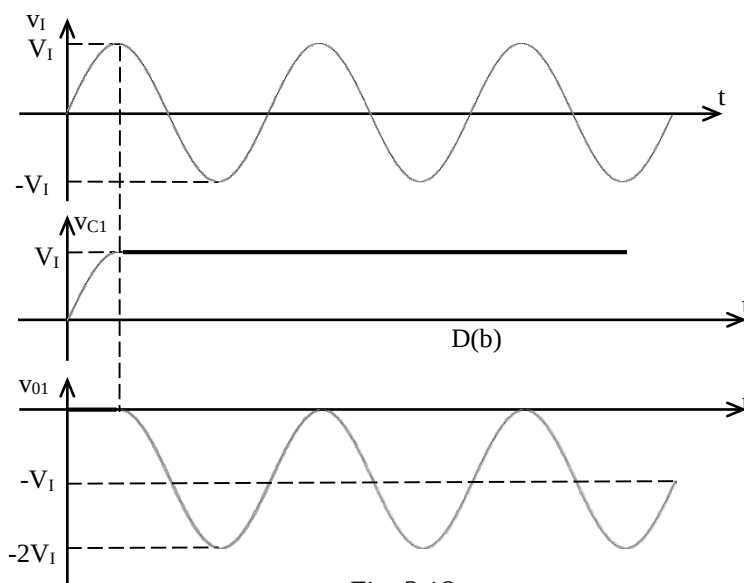


Fig. 3.18

Aplicația subcircuitului D_1C_1 : diport de maxim temporal.

b) Pentru diportul D_2C_2 expresiile $v_{C2}(t)$ și $v_{O2}(t)$ considerând $v_{O1}(t)$ ca intrare sunt:

$$\begin{aligned} v_{O2}(t) &= v_{C2}(t) - v_{D1}(t) \\ v_{C2}(t) &= 2\hat{V}_I \\ v_{D2}(t) &= -\hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t + 2\hat{V}_I = \hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t \end{aligned}$$

Cronogramele $v_{C2}(t)$ și $v_{O2}(t)$ în regim permanent sunt prezentate în Fig. 3.19

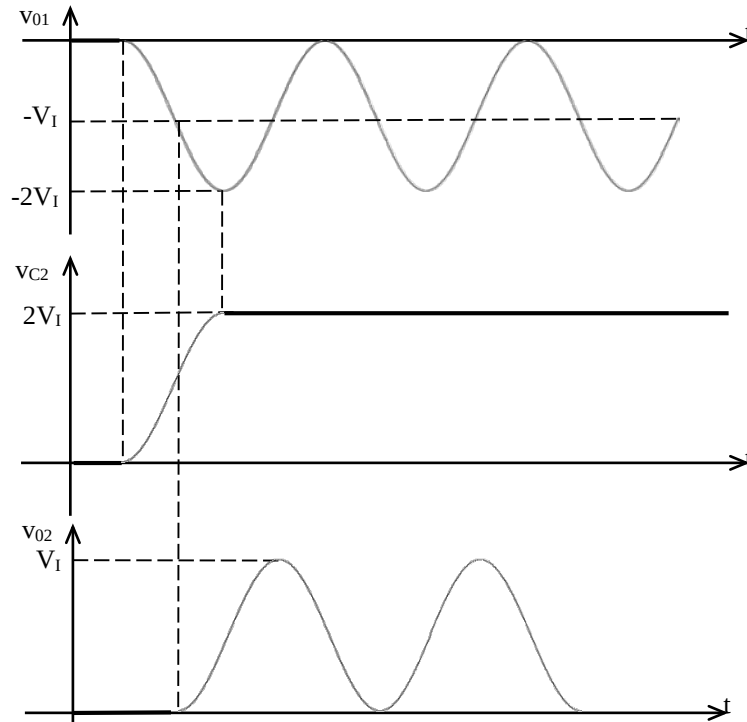


Fig. 3.19

Aplicația subcircuitului D_2C_2 : translația spre valori pozitive.

c) Expresiile $v_{C3}(t)$ și $v_{D3}(t)$ în regim permanent:

$$\begin{aligned} v_{O2}(t) &= v_{D3}(t) + v_{C3}(t) \\ v_{C3}(t) &= 2\hat{V}_I \\ v_{D3}(t) &= v_{D2}(t) - v_{C3}(t) = \hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t - 2\hat{V}_I = -\hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t \end{aligned}$$

Considerând ieșirea v_{D3} circuitul realizează aplicația de translație spre valori negative.
Considerând ieșirea pe C_3 , v_{C3} , aplicația subcircuitului este dublul de tensiune.

Cronogramele $v_{C3}(t)$ și $v_{D3}(t)$ în regim permanent sunt prezentate în Fig. 3.20.

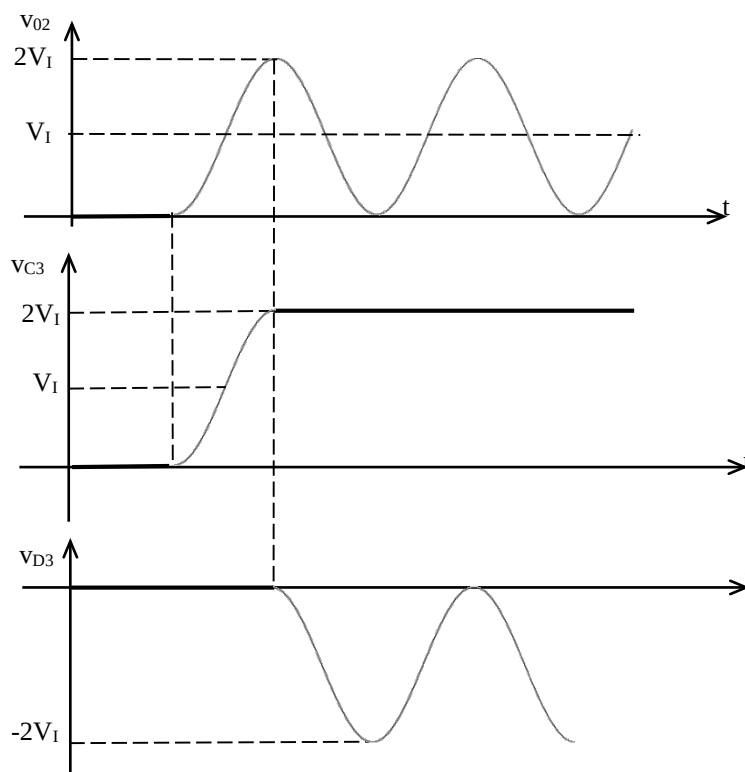


Fig. 3.20

d) Tensiunea de ieșire a întregului circuit este suma tensiunilor de pe condensatoarele C_1 și C_3 . Astfel,

$$v_0(t) = v_{C1}(t) + v_{C3}(t) = \hat{V}_I + 2\hat{V}_I = 3\hat{V}_I$$

Aplicația circuitului: triplor de tensiune (amplitudinea tensiunii de ieșire în regim permanent este de trei ori mai mare decât valoarea amplitudinii tensiunii de intrare).

Dacă pentru D_1, D_2, D_3 se folosește modelul cădere de tensiune constantă:

$$\begin{aligned} v_{C1}(t) &= \hat{V}_I - 0.7V \\ v_{D2}(t) &= v_I(t) + v_{C1}(t) = -\hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t + 0.7V \\ v_{C2}(t) &= -(-\hat{V}_I + (\hat{V}_I \sin \omega t)_{\min} + 0.7V) - 0.7V = -(-\hat{V}_I - \hat{V}_I + 0.7V) - 0.7V = 2\hat{V}_I - 1.4V \\ v_{D2}(t) &= v_{C2}(t) + v_{D1}(t) = \hat{V}_I + \hat{V}_I \sin \omega t - 0.7V \\ v_{C3}(t) &= (v_{D2}(t))_{\max} - 0.7V = 2\hat{V}_I - 0.7V - 0.7V = 2\hat{V}_I - 1.4V \\ v_0(t) &= v_{C1}(t) + v_{C3}(t) \\ v_0(t) &= 3\hat{V}_I - 2.1V \end{aligned}$$

P.6.

Propuneți o soluție pentru a obține un multiplicator de 5 ori al amplitudinii lui $v_I(t)$.

R.6.

O soluție posibilă pentru a obține un multiplicator de 5 ori al amplitudinii lui $v_I(t)$ este concatenarea unui triplor de tensiune (3 condensatoare și 3 diode) și a unui dublor de tensiune (două condensatoare și două diode). Circuitul final este cel din Fig. 3.21.

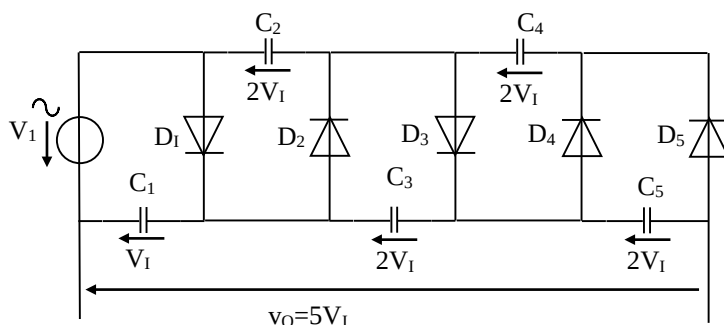


Fig. 3.21

P.7.

Pentru circuitul din Fig.3.22 se consideră D – ideală, raportul de transformare $n=23$ și $v_C(0) = 0$.

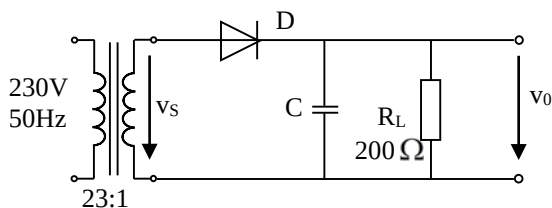


Fig. 3.22

a) Care este expresia $v_S(t)$?

b) Reprezentați grafic cronogramele $v_S(t)$ și $v_0(t)$ (calitativ), în absența C și în prezența C. Ce aplicație realizează circuitul în fiecare caz?

R.7.

a) $v_S(t) = \frac{230\sqrt{2}}{23} \sin(2\pi 50t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t)$

b) În absența condensatorului C circuitul este un redresor monoalternanță iar cronograma $v_0(t)$ (calitativ) este prezentată în Fig. 3.23.

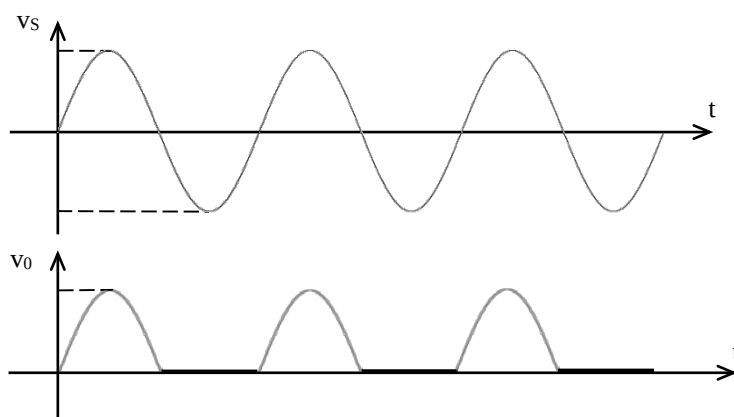


Fig. 3.23

În prezența condensatorului C circuitul este un redresor monoalternanță cu filtru capacitiv. Când dioda D este în conducție (T_i) C se încarcă, iar când D este în blocare (T_d) C se descarcă prin R_L cu constanta de timp $R_L C$. Cronograma $v_0(t)$ (calitativ) este prezentată în Fig. 3.24. Diferența dintre valoarea maximă și valoarea minimă a tensiunii de ieșire se numește ondulația (sau riplul) tensiunii de ieșire și este notată cu Δv_0 .

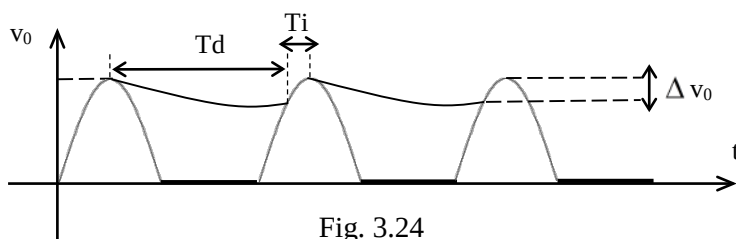


Fig. 3.24

P.7.

Fie circuitul din Fig. 3.22., cu D – ideală; $n=23$.

- Pentru $C = 1000 \mu F$ ce variație (ondulație) are tensiunea de ieșire Δv_0 ?
- Alegeți o valoare pentru C pentru a asigura un $\Delta v_0 < 0.5V$ pentru orice $R_L \geq 1K\Omega$.

R.7.

- Expresia onduției tensiunii de ieșire se determină din expresia:

$$C \Delta v_C = i_C \Delta t$$

unde:

$$C = 1000 \mu F$$

$$\Delta v_C = \Delta v_0$$

Considerând următoarele aproximări:

$$i_C = \frac{v_{0\max}}{R_L} = cst, \text{ deoarece } \Delta v_C \ll v_{0\max},$$

$$\Delta t = T_d \cong T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20ms, \text{ deoarece } T_d \gg T_i;$$

Se obține:

$$\Delta v_O = \frac{v_{O\max}}{R_L C} \cdot T$$

$$\Delta v_O = \frac{14.14 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{0.2 \cdot 10^3 \cdot 1000 \cdot 10^{-9}} = 1.41V$$

b) Avem $\Delta v_C = 0.5V$

$$C\Delta v_C = i_C \Delta t$$

Cu aproximările de la punctul b) se obține:

$$C\Delta v_C = \frac{v_{0\max}}{R_L} T$$

$$C = \frac{T}{R_L} \frac{v_{0\max}}{\Delta v_C}$$

În calcul considerăm situația cea mai defavorabilă, adică $R_{L\min}$:

$$C \geq \frac{T}{R_{L\min}} \cdot \frac{v_{0\max}}{\Delta v_C}$$

$$C \geq \frac{20}{1} \cdot \frac{14.14}{0.5} = 566\mu F$$

Alegem $C = 680\mu F / 16V$.

P.8.

Se dă schema redresorului bialternanță cu priză mediană din Fig.3.25, cu D_1, D_2 - ideale și $n=23$.

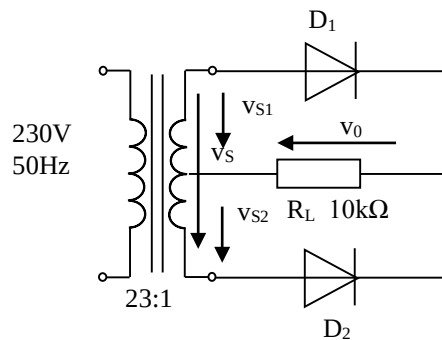


Fig. 3.25

- Care sunt expresiile $v_S(t)$; $v_{S1}(t)$; $v_{S2}(t)$?
- Care este expresia $v_0(v_{S1}, v_{S2})$? Folosiți teoria tripoților DR.
- Cum arată cronogramele $v_S(t)$; $v_{S1}(t)$; $v_{S2}(t)$; $v_0(t)$?
- Dacă în paralel cu R_L se conectează un condensator C , ce valoare trebuie să aibă C pentru a asigura o variație $\Delta v_0 < 0.1V$ pentru R_L din circuitul de mai sus?

R.8.

a)

$$v_s(t) = \frac{v_{retea}}{n} = \frac{230\sqrt{2}}{23} \sin(100\pi t) = 10\sqrt{2} \sin(100\pi t)$$

$$v_{s1}(t) = \frac{v_s(t)}{2} = 5\sqrt{2} \sin(100\pi t)$$

$$v_{s2}(t) = -\frac{v_s(t)}{2} = -5\sqrt{2} \sin(100\pi t)$$

b) Circuitul din Fig. 3.25 redesenat ca un triport DR este prezentat în Fig. 3.26.

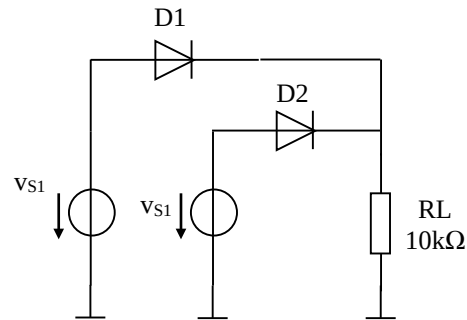


Fig. 3.26.

Expresia $v_0(v_{s1}, v_{s2})$ este:

$$v_0(t) = \max(v_{s1}(t), v_{s2}(t), 0).$$

c) Cronogramele $v_s(t)$; $v_{s1}(t)$; $v_{s2}(t)$; $v_0(t)$ sunt prezentate în Fig. 3.27.

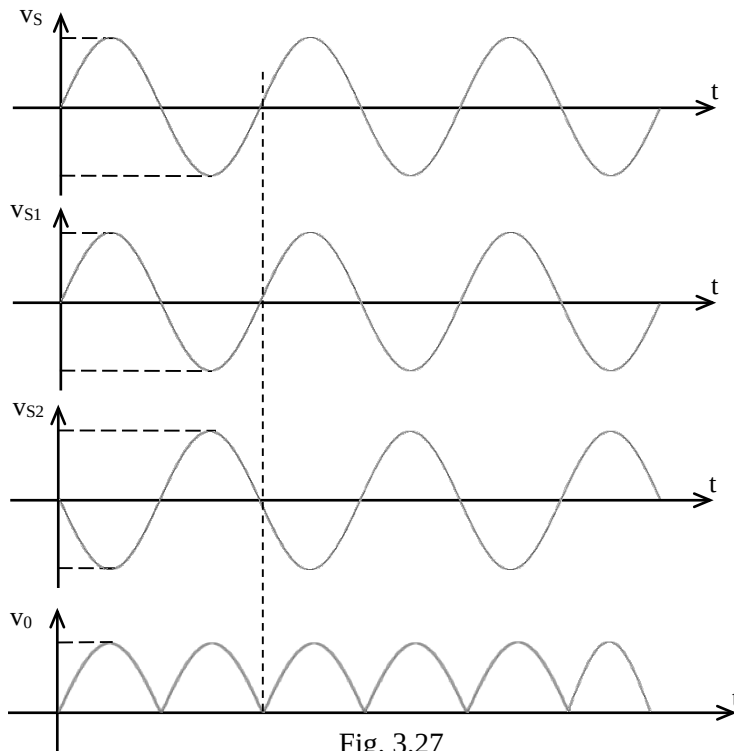


Fig. 3.27

d) Dacă în paralel cu R_L se conectează un condensator C , circuitul devine cel din Fig.3.28.

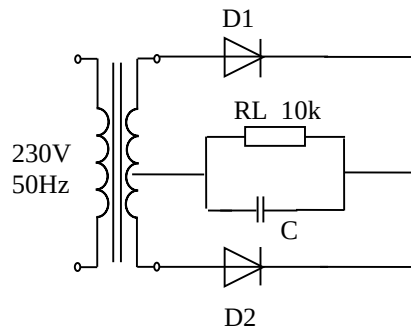


Fig. 3.28.

Rezolvarea este similară cu cea de la problema 7.c), cu observația că timpul de descărcare devine $T_d \cong \frac{T}{2}$ (datorită redresării bialternanță).

$$C > \frac{T/2}{R_L} \cdot \frac{v_{0\max}}{\Delta v_0}$$

$$C > \frac{10 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^3} \cdot \frac{5\sqrt{2}}{0.1} = 72 \mu F$$

Alegem $C = 100 \mu F / 10V$.

P.9.

Se dă redresorul în punte cu filtru capacitiv din Fig. 3.29, considerând că v_s este obținută din secundarul unui transformator de putere frecvența semnalului de intrare ($f=50Hz$).

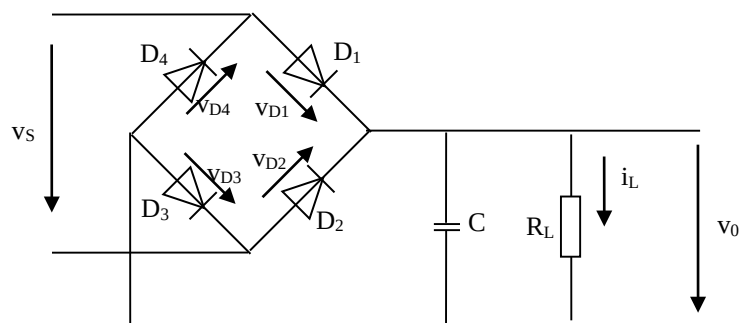


Fig. 3.29.

- Cum arată $v_s(t)$; $v_0(t)$ și $v_{D1}(t)$ în regim permanent?
- Ce valoare trebuie să aibă C dacă la ieșire se acceptă o variație maximă de $\Delta v_0 = 1.5V$, curentul maxim de sarcină este $I_{L\max} = 0.6A$?
- Ce valoare trebuie să aibă amplitudinea v_s pentru a obține $V_{0\min} = 12V$?

R.9.

a) Pe alternanța pozitivă a v_S conduc diodele D_1 și D_3 , iar pe alternanța negativă D_2 și D_4 .

Se remarcă absența unui punct comun pentru v_S și v_0 . Pe alternanța pozitivă, $v_{D1} = 0.7V$ și $v_{D3} = 0.7V$.

$$v_{0\max} = v_S - v_{D1} - v_{D3} = \hat{V}_S \sin \omega t - 1.4V$$

Pe alternanța negativă a v_S conduc D_2 și D_4 , sensul curentului prin R_L fiind identic cu cel din situația de mai sus (alternanța pozitivă a v_S):

$$v_{0\max} = -(v_S + v_{D2} + v_{D4}) = -(\hat{V}_S \sin \omega t + 1.4V)$$

Cronogramele $v_S(t)$, $v_0(t)$ și $v_{D1}(t)$ în regim permanent sunt prezentate în Fig.3.30. Tensiunea $v_{D1}(t)$ este $0.7V$ când D_1 este în conducție (alternanța pozitivă a v_S).

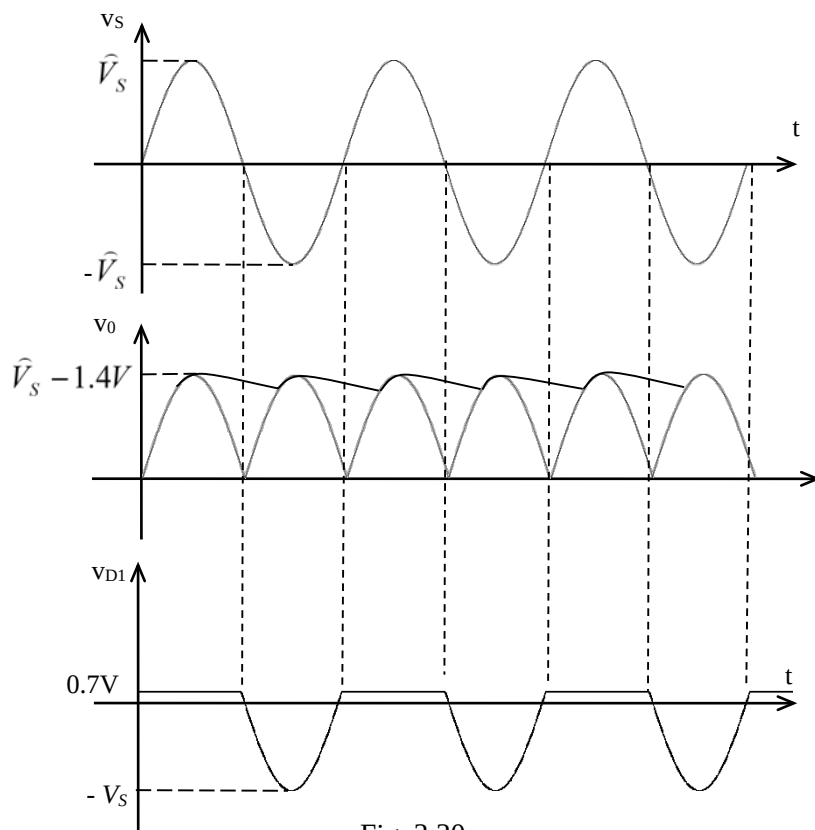


Fig. 3.30.

b)

$$C\Delta v_C = i_C \Delta t$$

$$i_C = I_{L\max}; \Delta t \cong \frac{T}{2} = 10ms$$

$$C \geq \frac{I_C \frac{T}{2}}{\Delta v_0} = \frac{0.6 \cdot 10}{1.5} = 4000 \mu F$$

Se poate alege $C = 4700 \mu F / 16$ sau două condensatoare în paralel, fiecare cu capacitatea $2200 \mu F$.

c)

$$\hat{V}_S = V_{0\min} + \Delta v_0 + 1.4V = 12 + 1.5 + 1.4 = 14.9V$$

4. Comparatoare de tensiune cu AO fără reacție. Circuite logice cu AO

P.1.

Se dă circuitul din Fig.4.1.

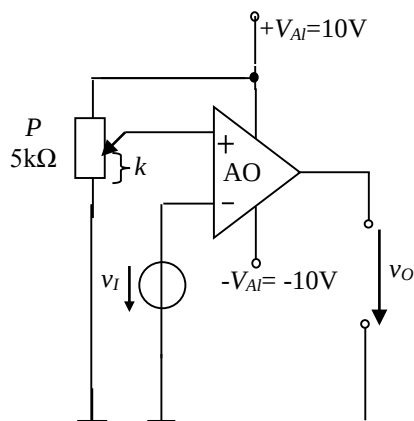


Fig. 4.1.

- Care este expresia $v_o(v_I, k)$? Cum arată CSTV $v_o(v_I)$ dacă $k = 0.5$? Cum se modifică CSTV în cazul în care $k \in [0;1]$?
- Cum arată $v_o(t)$ dacă $v_I(t) = 5\sin\omega t$, iar k este : (1) 0; (2) 0.5; (3) 1? Ce aplicație realizează circuitul în fiecare caz?
- Cum arată $v_o(t)$ dacă $v_I(t)$ are cronograma din figura de mai jos, iar $k = 0.2$?

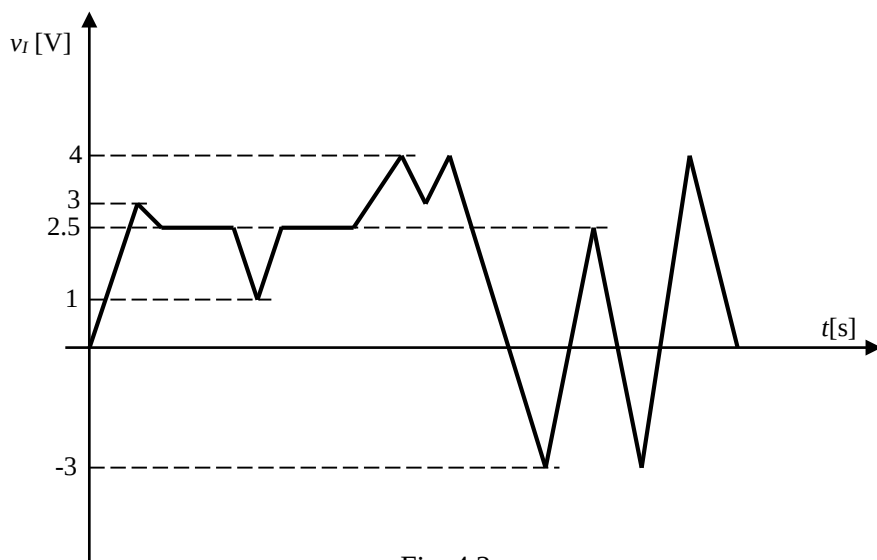


Fig. 4.2.

R.1.

a)

$$v^+ = \frac{kP}{kP + (1-k)P} (+V_{AI}) = \frac{kP}{P} V_{AI} = kV_{AI}$$

$$v^- = v_I$$

$$v_D = v^+ - v^- = kV_{AI} - v_I \quad (1)$$

$$v_O = \begin{cases} +V_{AI}, & \text{dacă } v_D > 0 \\ -V_{AI}, & \text{dacă } v_D < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Din (1) și (2) rezultă:

$$v_O = \begin{cases} +10V, & \text{dacă } v_I < kV_{AI} \\ -10V, & \text{dacă } v_I > kV_{AI} \end{cases} \quad (3)$$

$$k = 0.5 \text{ atunci } v_O = \begin{cases} +10V, & \text{dacă } v_I < 5V \\ -10V, & \text{dacă } v_I > 5V \end{cases} \quad \text{și } V_P = 5V \text{ (} V_P = v_I \text{ pentru } v_D = 0 \text{)}$$

CSTV $v_O(v_I)$ pentru $k = 0.5$ este prezentată în Fig. 4.3.

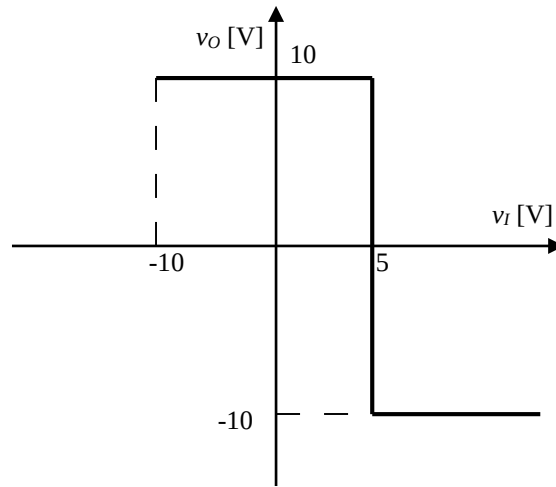


Fig. 4.3.

Când $k \in [0;1]$, tensiunea de prag $V_P \in [0V;10V]$ iar CSTV se va modifica în concordanță.

b)

$$k = 0 \text{ atunci } v_{O1} = \begin{cases} +10V, & \text{dacă } v_I < 0V \\ -10V, & \text{dacă } v_I > 0V \end{cases} \quad \text{și } V_P = 0 \quad (4)$$

$$k = 0.5 \text{ atunci } v_{O2} = \begin{cases} +10V, & \text{dacă } v_I < 5V \\ -10V, & \text{dacă } v_I > 5V \end{cases} \quad \text{și } V_P = 5V \quad (5)$$

$$k = 1 \text{ atunci } v_{O3} = \begin{cases} +10V, & \text{dacă } v_I < 10V \\ -10V, & \text{dacă } v_I > 10V \end{cases} \quad \text{și } V_P = 10V \quad (6)$$

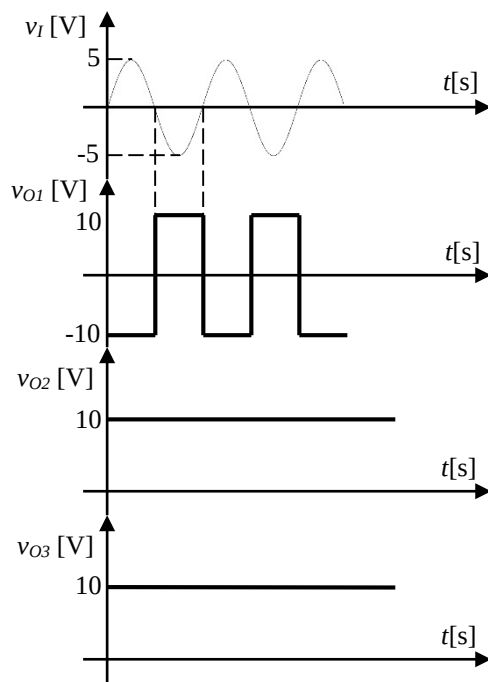


Fig. 4.4.

Aplicațiile realizate sunt comparatoare de tensiune inversoare cu tensiuni de prag diferite.

c)

$$k = 0.2 \text{ atunci} \quad v_O = \begin{cases} +10V, & \text{dacă } v_I < 2V \\ -10V, & \text{dacă } v_I > 2V \end{cases} \quad (7)$$

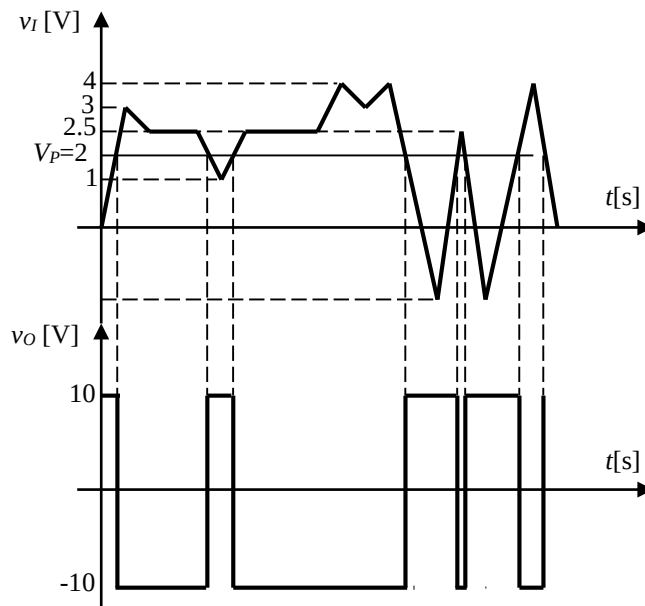


Fig. 4.5.

P.2.

Vrem să obținem folosind un AO un comparator de tensiune cu următoarea CSTV $v_O(v_I)$:

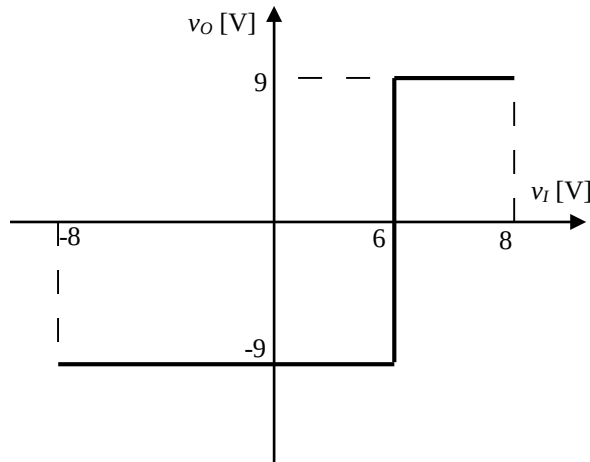


Fig. 4.6.

- Cum arată schema electrică a unui circuit care are această CSTV? Folosiți 2 surse de tensiune, una variabilă ($v_I(t)$) iar cealaltă constantă (V_{ref}), ca intrări ale AO. Ce valori trebuie să aibă V_{ref} , $+V_{Al}$ și $-V_{Al}$?
- Cum se poate obține V_{ref} de la tensiunile de alimentare ale AO?
- Cum va arăta $v_O(t)$ dacă $v_I(t)$ are cronograma din figura de mai jos?

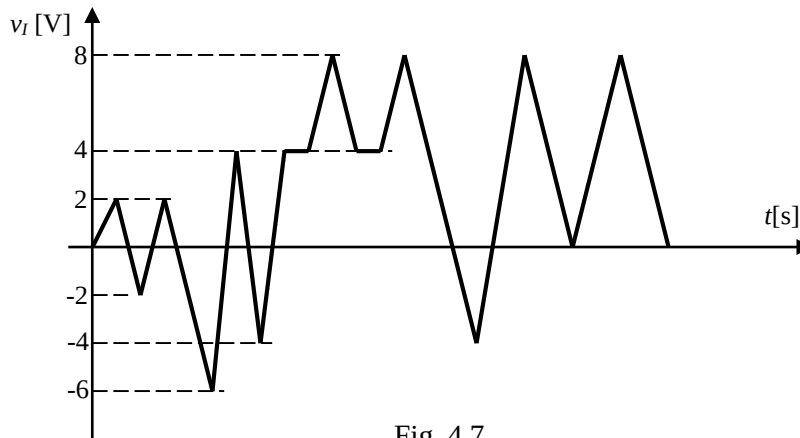


Fig. 4.7.

R.2.

- Din CSTV se scrie expresia v_O :

$$v_O = \begin{cases} +9V, & \text{dacă } v_I > 6V \\ -9V, & \text{dacă } v_I < 6V \end{cases}, \quad (4.8)$$

Rezultă din expresia v_O că: $+V_{Al} = 9V$; $-V_{Al} = -9V$; $V_{ref} = V_P = 6V$. Totodată se observă că circuitul care generează CSTV dată este un comparator de tensiune de tip neinvertor cu $v^+ = v_I$ și $v^- = V_{ref}$.

Schema circuitului este dată în Fig. 4.8.

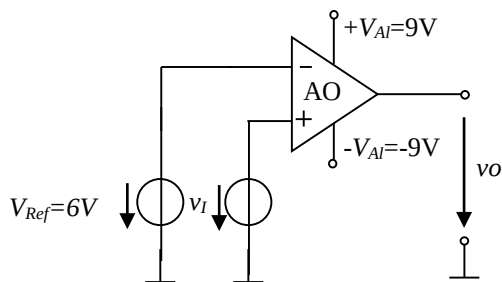


Fig. 4.8.

b) O variantă prin care se poate obține $V_p = 6V$ este prezentată în Fig. 4.9.

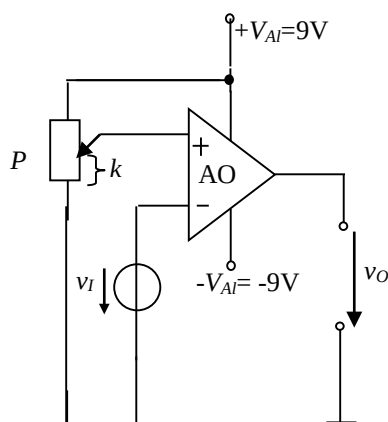


Fig. 4.9.

V_{ref} se obține cu ajutorul unui potențiometru conectat între $+V_{Al}$ și masă:

$$v^- = V_{ref} = \frac{kP}{kP + (1-k)P} V_{Al} = \frac{kP}{P} V_{Al} = kV_{Al}$$

$$v^- = 9k$$

$$V_{ref} = 6V \text{ atunci } 9k = 6 \text{ și } k = \frac{6}{9} = 0.66.$$

O altă variantă pentru circuitul final este dată în Fig. 4.10, unde V_{ref} se obține printr-un divizor de tensiune de la $+V_{Al}$ la masă.

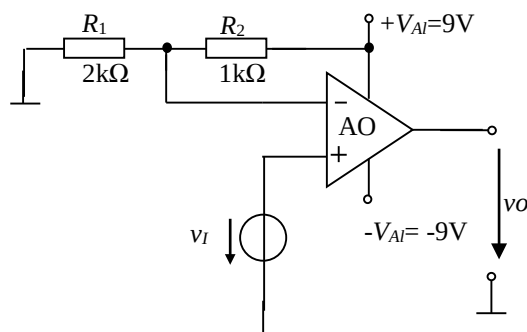


Fig. 4.10.

$$v^- = V_{ref} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Al}$$

$$V_{ref} = 6V \text{ atunci } \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Al} = 6V, \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{2}{3}$$

O soluție posibilă este : $R_1 = 2K\Omega$
 $R_2 = 1K\Omega$.

c) Cronogramele $v_o(t)$ și $v_I(t)$ sunt prezentate în Fig.4.11.

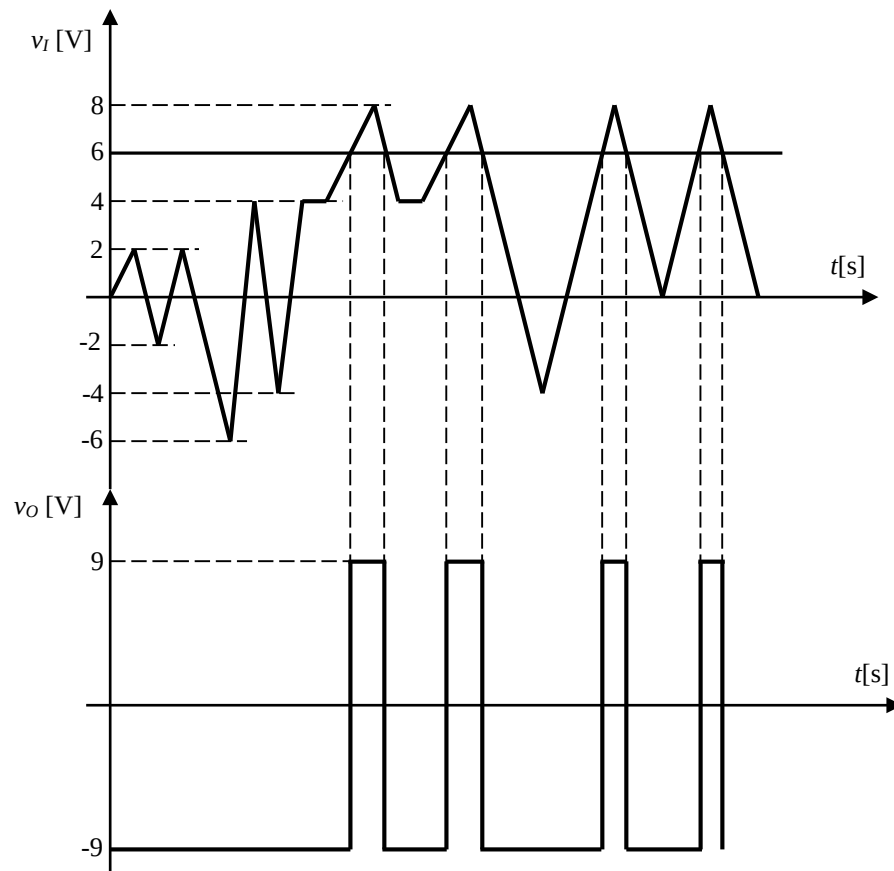


Fig. 4.11.

P.3.

Se dă circuitul din Fig.4.12.

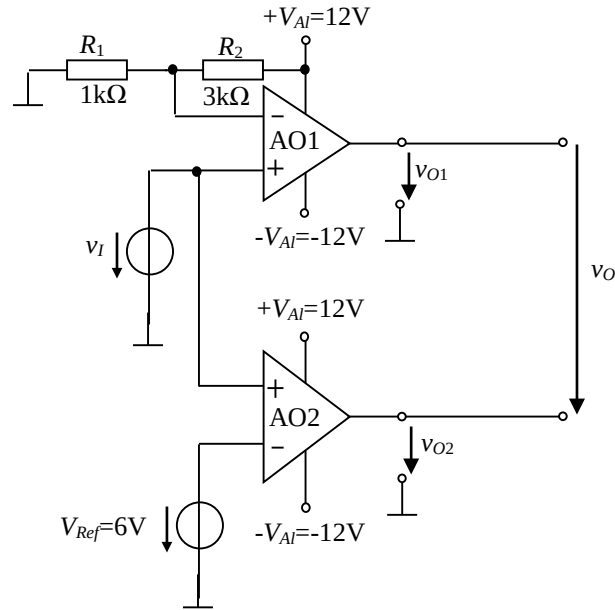


Fig. 4.12.

- Care este expresia $v_{O1}(v_I)$ și expresia $v_{O2}(v_I)$ dacă $v_I \in [-10V; +10V]$?
- Desenați CSTV-urile $v_{O1}(v_I)$ și $v_{O2}(v_I)$ dacă $v_I \in [-10V; +10V]$?
- Desenați CSTV $v_O(v_I)$ dacă $v_I \in [-10V; +10V]$? Ce aplicație realizează circuitul?
- Cum arată $v_O(t)$ dacă $v_I(t)$ este o tensiune triunghiulară simetrică cu amplitudinea de 9V? Dar dacă amplitudinea $v_I(t)$ este de 5V?

R.3.

- Expresia $v_{O1}(v_I)$ se deduce din ecuațiile scrise pentru AO1:

$$\begin{aligned} v_1^+ &= v_I \\ v_1^- &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Al} \\ v_1^- &= \frac{1}{4} 12 = 3V \\ v_{D1} &= v_1^+ - v_1^- = v_I - 3V \end{aligned} \quad (1)$$

$$v_{O1} = \begin{cases} +V_{Al}, & \text{dacă } v_{D1} > 0 \\ -V_{Al}, & \text{dacă } v_{D1} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Din (1) și (2) rezultă:

$$v_{O1} = \begin{cases} +12V, & \text{dacă } v_I > 3V \\ -12V, & \text{dacă } v_I < 3V \end{cases}$$

Pentru AO1 tensiunea de prag $V_{P1} = 3V$.

Expresia $v_{O2}(v_I)$ se deduce din ecuațiile scrise pentru AO2:

$$v_2^+ = v_I$$

$$v_2^- = V_{ref} = 6V$$

$$v_{D2} = v_2^+ - v_2^- = v_I - 6V \quad (3)$$

$$v_{O2} = \begin{cases} +V_{AI}, & \text{dacă } v_{D2} > 0 \\ -V_{AI}, & \text{dacă } v_{D2} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Din (3) și (4) rezultă:

$$v_{O2} = \begin{cases} +12V, & \text{dacă } v_I > 6V \\ -12V, & \text{dacă } v_I < 6V \end{cases}$$

Pentru AO2 tensiunea de prag $V_{P2}=6V$.

b) CSTV-urile $v_{O1}(v_I)$ și $v_{O2}(v_I)$ sunt prezentate în Fig. 4.13, respectiv Fig. 4.14.

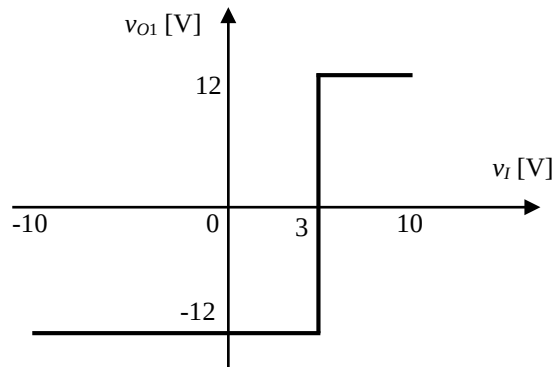


Fig. 4.13.

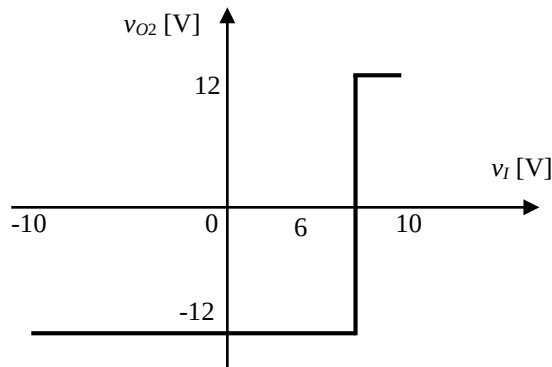


Fig. 4.14.

c) Aplicând TKV pe ochiul format din v_{O1} , v_{O2} și v_O se obține:

$$v_O = v_{O1} - v_{O2}$$

Expresia v_O este:

$$v_O = \begin{cases} 0V, & \text{dacă } v_I < 3V \\ 24V, & \text{dacă } v_I \in [3V; 6V] \\ 0V, & \text{dacă } v_I > 6V \end{cases}$$

CSTV $v_o(v_I)$ este prezentată în Fig. 4.15.

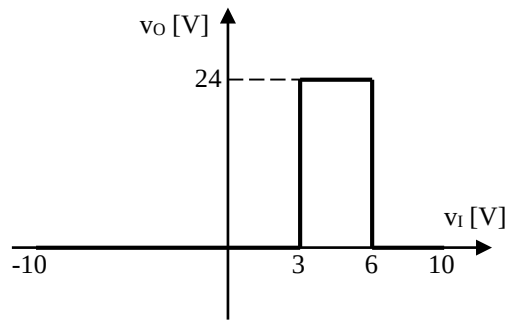


Fig. 4.15.

Aplicația realizată de circuit este comparator de tensiune fereastră (eng. *window comparator circuit*).

d) Dacă $v_I(t)$ este o tensiune triunghiulară cu amplitudinea de 9V, $v_o(t)$ va arăta:

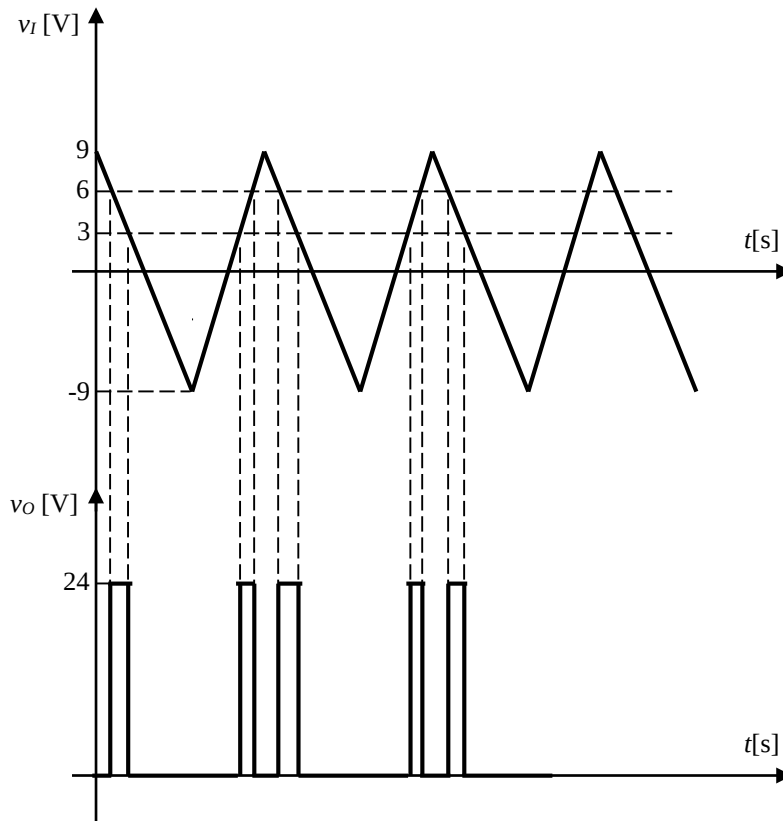


Fig. 4.16.

Pentru amplitudinea 5V a tensiunii v_I , $v_O(t)$ va arăta:

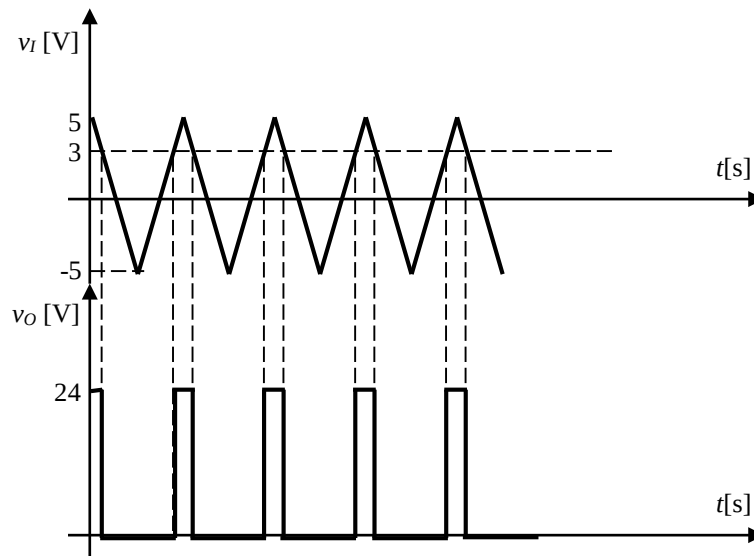


Fig. 4.17.

P.4.

Cum se modifică CSTV $v_O(v_I)$ a circuitului din problema anterioară dacă se inversează intrările ”+” și ”-” ale celor două AO (AO1 respectiv AO2)? Ce aplicație realizează noul circuit? Cum va arăta $v_O(t)$ pentru $v_I(t)$ tensiune triunghiulară simetrică cu amplitudinea de 9V?

R.4.

Inversarea intrărilor ”+” și ”-” ale celor două AO conduce la circuitul din Fig. 4.18.

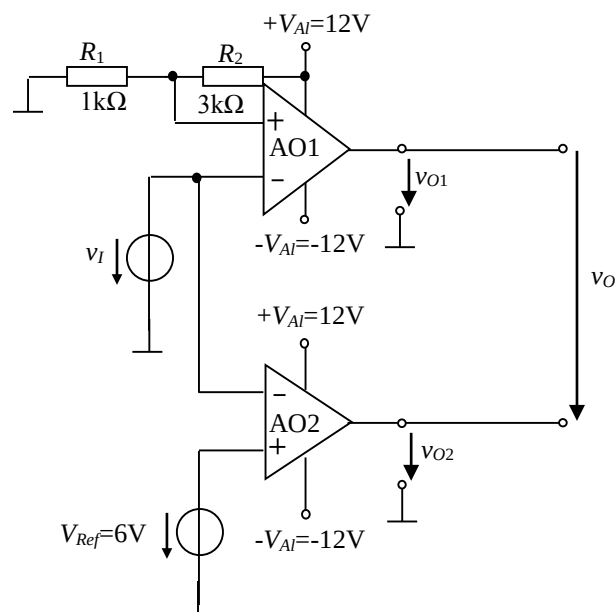


Fig. 4.18.

Expresia $v_{O1}(v_I)$ va fi:

$$v_1^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Al}$$

$$v_1^+ = \frac{1}{4} 12 = 3V$$

$$v_1^- = v_I$$

$$v_{D1} = v_1^+ - v_1^- = 3V - v_I \quad (1)$$

$$v_{O1} = \begin{cases} +V_{Al}, & \text{dacă } v_{D1} > 0 \\ -V_{Al}, & \text{dacă } v_{D1} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Din (1) și (2) rezultă:

$$v_{O1} = \begin{cases} +12V, & \text{dacă } v_I < 3V \\ -12V, & \text{dacă } v_I > 3V \end{cases}$$

Expresia $v_{O2}(v_I)$ va fi :

$$v_2^- = v_1$$

$$v_2^+ = V_{ref} = 6V$$

$$v_{D2} = v_2^+ - v_2^- = 6V - v_I \quad (3)$$

$$v_{O2} = \begin{cases} +V_{Al}, & \text{dacă } v_{D2} > 0 \\ -V_{Al}, & \text{dacă } v_{D2} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Din (3) și (4) rezultă:

$$v_{O2} = \begin{cases} +12V, & \text{dacă } v_I < 6V \\ -12V, & \text{dacă } v_I > 6V \end{cases}$$

Expresia $v_O(v_I)$ se va modifica astfel:

$$v_O = v_{O1} - v_{O2}$$

$$v_O = \begin{cases} 0V, & \text{dacă } v_I < 3V \\ -24V, & \text{dacă } v_I \in [3V; 6V] \\ 0V, & \text{dacă } v_I > 6V \end{cases}$$

CSTV $v_O(v_I)$ este cea din Fig. 4.19 iar aplicația realizată este comparator de tensiune fereastră.

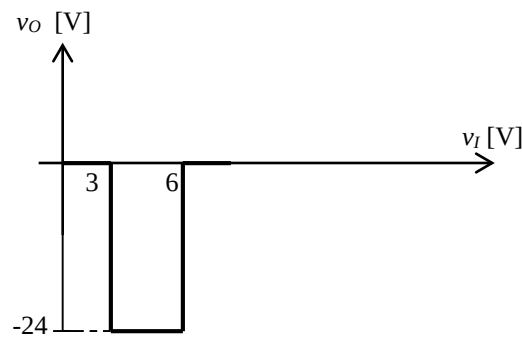


Fig. 4.19.

Cronograma $v_O(t)$ pentru $v_I(t)$ dată este prezentată în Fig. 4.20.

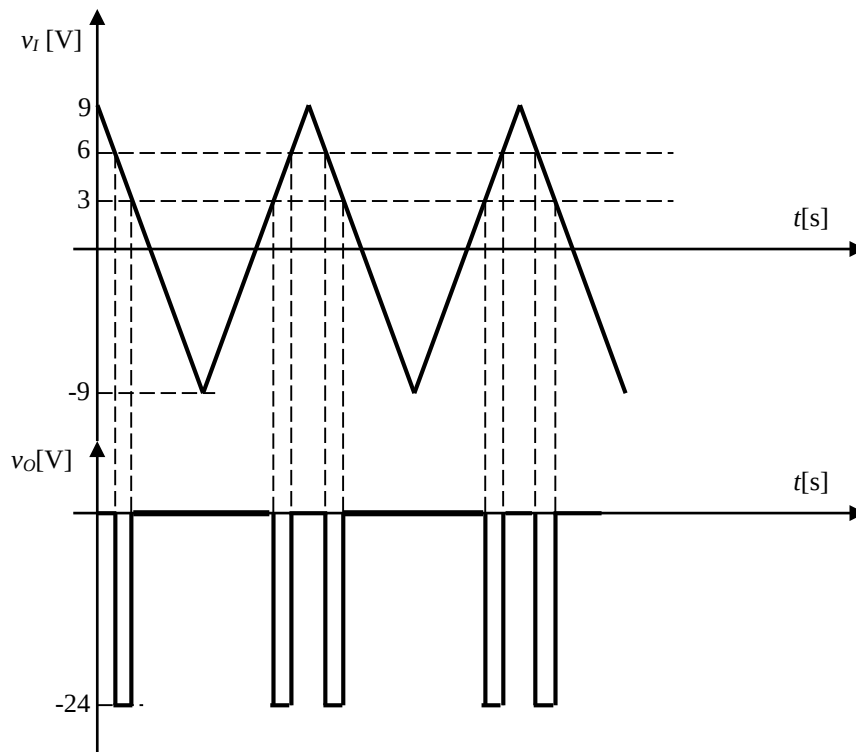


Fig. 4.20.

P.5.

Se dă circuitul din Fig.4.21.

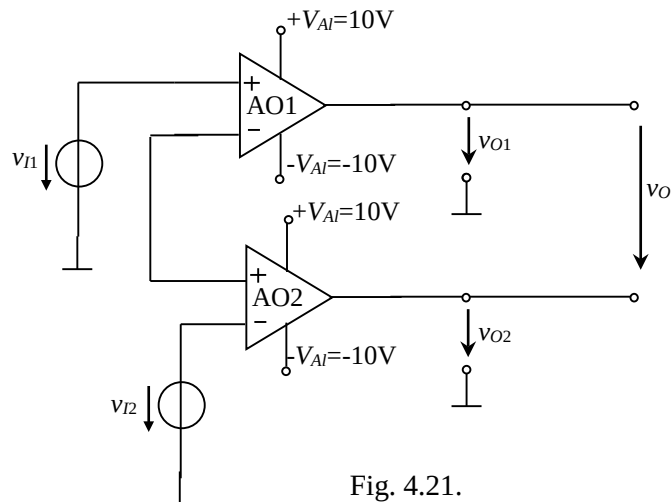


Fig. 4.21.

- Care este expresia $v_{O1}(v_{I1})$ pentru $v_{I1} \in [-10V; 10V]$? Dar expresia $v_{O2}(v_{I2})$ pentru $v_{I2} \in [-10V; 10V]$?
- Care este expresia $v_O(v_{I1}, v_{I2})$ pentru acest caz?
- Cum arată $v_O(t)$ dacă :
 - v_{I1} și v_{I2} sunt tensiuni sinusoidale cu amplitudinea de 10V dar defazate cu 180° ;
 - $v_{I1}(t) = v_{I2}(t) = 10 \sin \omega t [V]$?

R.5.

a) Expresia $v_{O1}(t)$ va fi :

$$\begin{aligned} v_1^+ &= v_{I1} \\ v_1^- &= 0V \\ v_{D1} &= v_1^+ - v_1^- = v_{I1} \\ v_{O1} &= \begin{cases} +10V, \text{dacă } v_{I1} > 0V \\ -10V, \text{dacă } v_{I1} < 0V \end{cases} \end{aligned}$$

Expresia $v_{O2}(t)$ va fi :

$$\begin{aligned} v_2^+ &= 0V \\ v_2^- &= v_{I2} \\ v_{D2} &= v_2^+ - v_2^- = -v_{I2} \\ v_{O2} &= \begin{cases} +10V, \text{dacă } v_{I2} < 0V \\ -10V, \text{dacă } v_{I2} > 0V \end{cases} \end{aligned}$$

b)

$$v_O = v_{O1} - v_{O2}$$

Există 4 cazuri : i) Dacă $v_{I1} < 0V$ și $v_{I2} < 0V$ obținem: $v_O = -10V - (+10V) = -20V$;

ii) Dacă $v_{I1} < 0V$ și $v_{I2} > 0V$ obținem: $v_O = -10V - (-10V) = 0V$;

iii) Dacă $v_{I1} > 0V$ și $v_{I2} < 0V$ obținem: $v_O = +10V - (+10V) = 0V$;

iv) Dacă $v_{I1} > 0V$ și $v_{I2} > 0V$ obținem: $v_O = +10V - (-10V) = 20V$.

Iar expresia $v_O(v_{I1}, v_{I2})$ va fi:

$$v_O = \begin{cases} -20V, \text{dacă } v_{I1} < 0V \text{ și } v_{I2} < 0V \\ 0V, \text{dacă } v_{I1} < 0V \text{ și } v_{I2} > 0V \\ 0V, \text{dacă } v_{I1} > 0V \text{ și } v_{I2} < 0V \\ -20V, \text{dacă } v_{I1} > 0V \text{ și } v_{I2} > 0V \end{cases}$$

c)

Cazul (1): v_{I1} și v_{I2} tensiuni sinusoidale cu amplitudinea de 10V dar defazate: având alternanțe diferite rezultă că ieșirea va fi tot timpul zero – Fig.4.22.

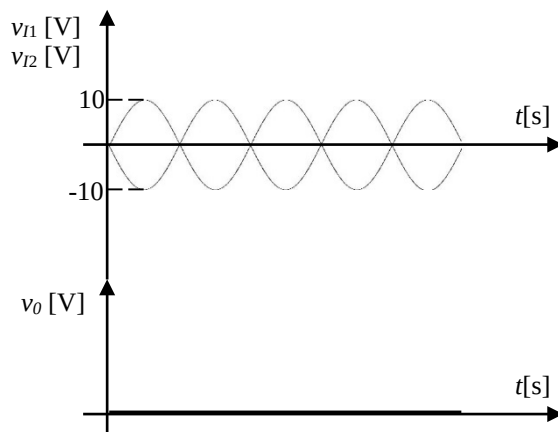


Fig. 4.22.

Cazul (2): $v_{I1}(t) = v_{I2}(t) = 10 \sin \omega t [V]$ - Fig. 4.23.

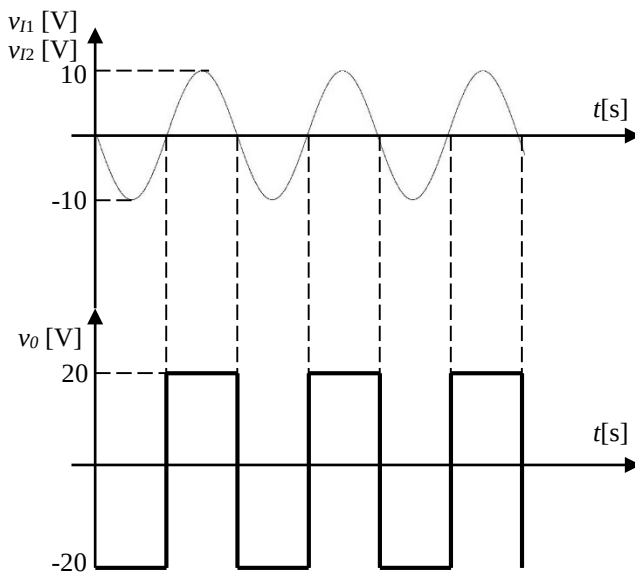


Fig. 4.23.

P.6.

Se dă circuitul din Fig.4.24.

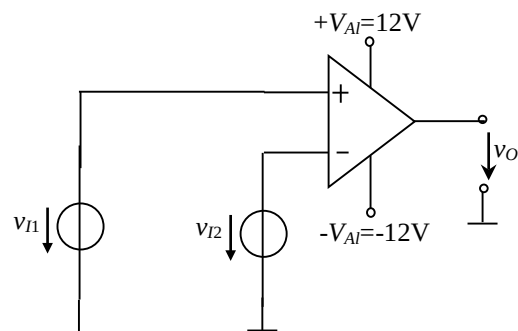


Fig. 4.24.

a) Cum arată $v_o(t)$ pentru $v_{I1}(t)$ și $v_{I2}(t)$ date în Fig. 4.25?

b) Comentați legătura dintre lățimea impulsurilor $v_o(t)$ și forma semnalului $v_{I1}(t)$. Ce aplicație realizează circuitul?

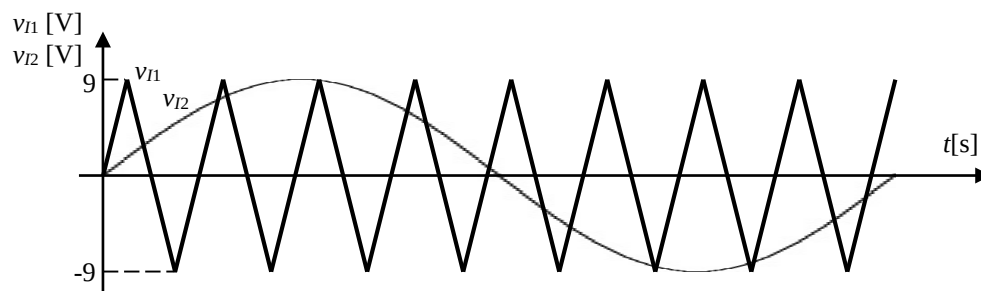


Fig. 4.25.

R.6.

a)

$$\begin{aligned}v^- &= v_{I2} \\ v^+ &= v_{I1} \\ v_D &= v^+ - v^- = v_{I1} - v_{I2}\end{aligned}$$

Rezultă:

$$v_O = \begin{cases} +12V, & \text{dacă } v_{I1} > v_{I2} \\ -12V, & \text{dacă } v_{I1} < v_{I2} \end{cases}$$

Cronograma $v_O(t)$ pentru $v_{I1}(t)$ și $v_{I2}(t)$ date este reprezentată în Fig. 4.26.

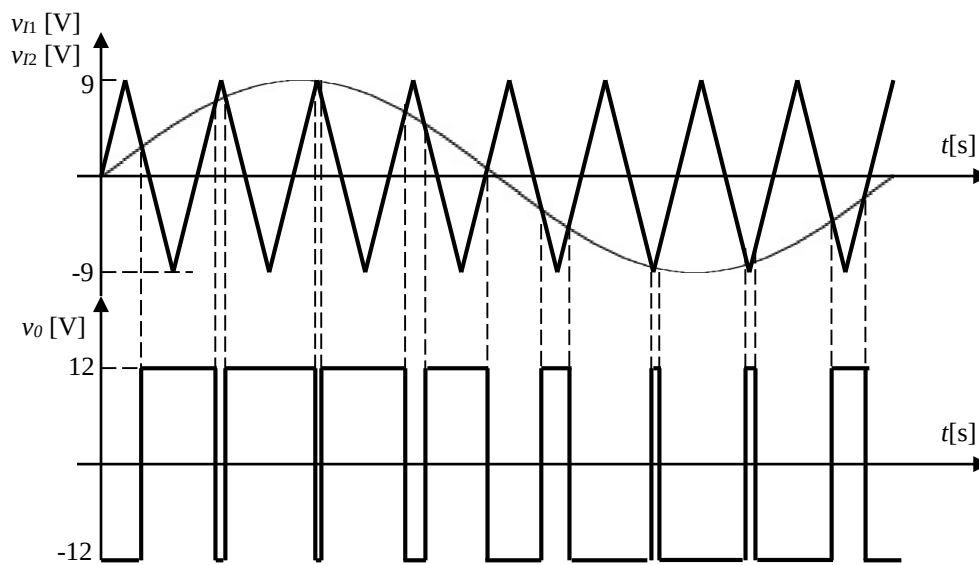


Fig. 4.26.

b) Lățimea impulsurilor $v_O(t)$ de nivel înalt (12V) crește odată cu creșterea semnalului $v_{I1}(t)$ și scade odată cu descreșterea semnalului $v_{I1}(t)$.

Aplicația circuitului : modularea în durată a impulsurilor.

P.7.

Se dă circuitul din Fig.4.27.

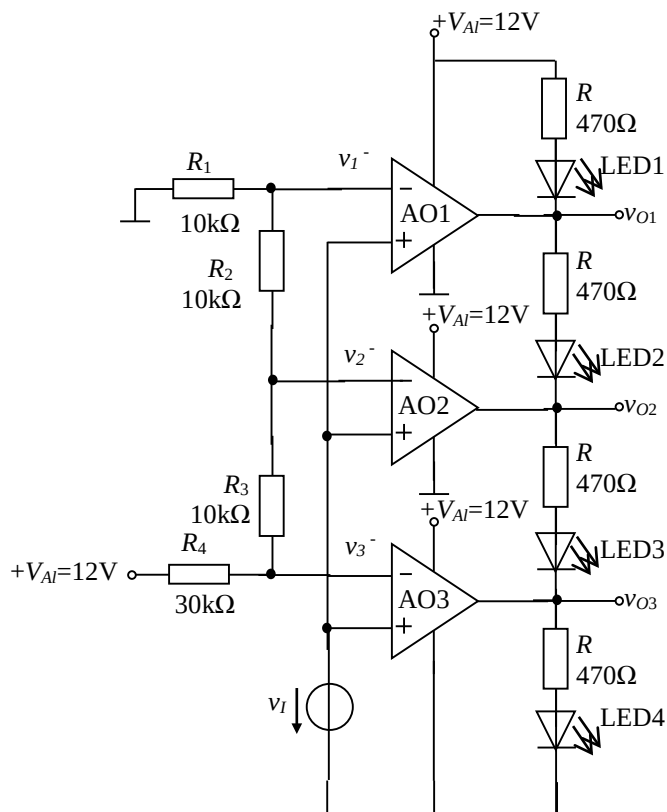


Fig. 4.27.

a) Găsiți expresiile $v_{O1}(v_I)$, $v_{O2}(v_I)$ și $v_{O3}(v_I)$ pentru $v_I \in [0V; +12V]$.

b) Pentru ce valori ale tensiunii v_I se modifică starea (conducție/blocare sau aprins/stins) fiecăruia din cele 4 LED-uri? Pentru ce aplicație putem folosi circuitul? Reprezentați, tabelar, combinațiile de stări conducție/blocare ale celor 4 LED-uri pentru $v_I \in [0V; 12V]$ menționând valorile v_I pentru care apare fiecare stare.

R.7.

a)

$$v_1^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} V_{Al}$$

$$v_1^- = \frac{10}{60} 12 = 2V$$

$$v_2^- = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} V_{Al}$$

$$v_2^- = \frac{20}{60} 12 = 4V$$

$$v_3^- = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} V_{Al}$$

$$v_3^- = \frac{30}{60} 12 = 6V$$

$$v_1^+ = v_2^+ = v_3^+ = v_I$$

$$v_{D1} = v_1^+ - v_1^- = v_I - 2V,$$

Rezultă:

$$v_{O1} = \begin{cases} +12V, & \text{dacă } v_I > 2V \\ 0V, & \text{dacă } v_I < 2V \end{cases}$$

$$v_{D2} = v_2^+ - v_2^- = v_I - 4V,$$

Rezultă:

$$v_{O2} = \begin{cases} +12V, & \text{dacă } v_I > 4V \\ 0V, & \text{dacă } v_I < 4V \end{cases}$$

$$v_{D3} = v_3^+ - v_3^- = v_I - 6V,$$

Rezultă:

$$v_{O3} = \begin{cases} +12V, & \text{dacă } v_I > 6V \\ 0V, & \text{dacă } v_I < 6V \end{cases}$$

b) Starea de conducție/blocare a fiecăruia din cele 4 LED-uri se modifică când tensiunea de intrare crește sau scade peste nivelurile de +2V (modificare stare LED1, LED2), +4V (modificare stare LED2, LED3), respectiv +6V (modificare stare LED3, LED4) – Tabel 4.1.

Tabel 4.1

v_I [V]	v_{O1} [V]	v_{O2} [V]	v_{O3} [V]	LED1	LED2	LED3	LED4
[0;2]	0	0	0	conducție	blocare	blocare	blocare
(2;4]	12	0	0	blocare	conducție	blocare	blocare
(4;6]	12	12	0	blocare	blocare	conducție	blocare
(6;12]	12	12	12	blocare	blocare	blocare	conducție

Aplicație: Indicator optic de nivel.

P.8.

Se dă circuitul din Fig.4.28.

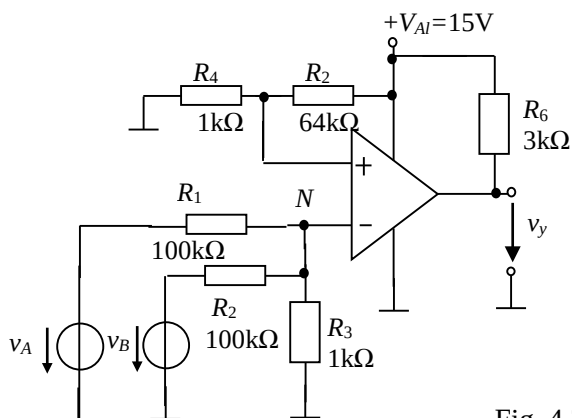


Fig. 4.28.

a) Care este expresia $v_y(v_A, v_B)$ a circuitului?

- b) Construiți tabelul de funcționare electrică al circuitului dacă $v_A, v_B \in \{0V; 15V\}$.
- c) Considerând convenția logică 0V- "0"; 15V- "1", cum arată tabelul de adevăr al circuitului și ce funcție logică realizează circuitul?
- d) Cum se poate modifica funcția logică a circuitului și ce altă funcție logică se poate obține modificând valoarea lui R_3 ?

R.8.

a)

$$v^+ = \frac{R_4}{R_5 + R_4} V_{Al}; \quad v^+ = \frac{1}{65} 15 = \frac{3}{13} V$$

Aplicând teorema lui Millman în punctul N se obține:

$$v^- = \frac{\frac{v_A}{R_1} + \frac{v_B}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}},$$

$$v^- = \frac{1}{102} v_A + \frac{1}{102} v_B = \frac{1}{102} (v_A + v_B),$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

Expresia lui v_y va fi:

$$v_y = \begin{cases} 15V, & \text{dacă } v_D > 0 \\ 0V, & \text{dacă } v_D < 0 \end{cases}$$

Înlocuind tensiunea v_D se obține:

$$v_y = \begin{cases} 15V, & \text{dacă } v_A + v_B < 23.5 \\ 0V, & \text{dacă } v_A + v_B > 23.5 \end{cases}$$

b) Tabelul de funcționare electrică este:

Tabel 4.2

$v_A [V]$	$v_B [V]$	$v_y [V]$
0	0	15
15	0	15
0	15	15
15	15	0

c) Tabelul de adevăr al circuitului este Tabelul 4.3. Circuitul realizează funcția logică "ȘI NU".

Tabel 4.3

A	B	Y
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

d) Prin modificarea lui R_3 se modifică v^- , modificându-se și valoarea tensiunii de prag și astfel se poate obține funcția logică "SAU NU", dacă noua valoare a tensiunii de prag va fi cuprinsă în intervalul (0V;15V).

5. Comparatoare de tensiune cu AO și reacție pozitivă

P.1.

Se dă circuitul din figura de mai jos, cu $R_1=2k\Omega$ și $R_2=4k\Omega$.

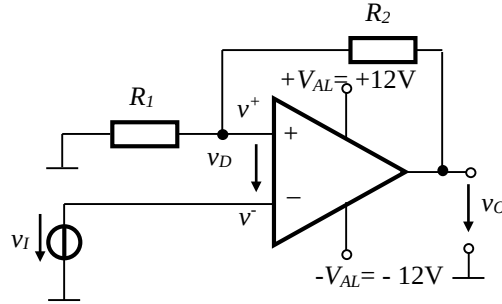


Fig. 5.1.

- Ce tip de reacție prezintă circuitul? Desenați calitativ CSTV $v_O(v_I)$ și specificați aplicația realizată de circuit.
- Care sunt expresiile și valorile parametrilor V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} . Redesenați CSTV $v_O(v_I)$ conform valorilor numerice obținute.
- Desenați cronogramele $v_I(t)$ și $v_O(t)$ pentru :
 - $v_I(t) = 3\sin \omega t$ [V],
 - $v_I(t) = 6\sin \omega t$ [V].

R.1.

- Deoarece tensiunea de ieșire influențează tensiunea de la intrarea neinversoare $v^+(t)$ a AO prin rezistența R_2 , circuitul prezintă reacție pozitivă (RP) și funcționează ca un comparator.
Datorită faptului că $v_I(t)$ se aplică la intrarea inversoare a AO, circuitul este unul inversor.
Așadar, aplicația realizată de circuit este comparator inversor cu RP (cu histerezis).
CSTV $v_O(v_I)$ calitativă este desenată în Fig. 5.2. Pentru un comparator inversor dacă $v_I(t) \rightarrow -\infty$ atunci $v_O(t) = V_{OH}$ iar dacă $v_I(t) \rightarrow +\infty$ atunci $v_O(t) = V_{OL}$.

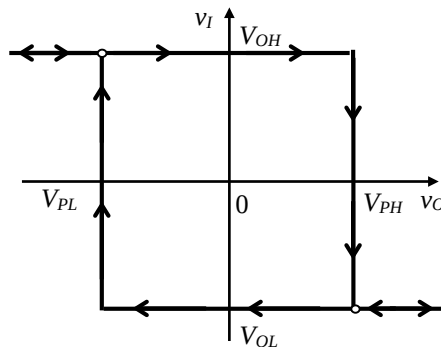


Fig. 5.2.

b) Tensiunile de ieșire sunt :

$$V_{OH} = +V_{AI} = +12V$$

$$V_{OL} = -V_{AI} = -12V$$

Datorită reacției pozitive, comparatorul are două tensiuni de prag, tensiuni ce se determină cu formula:

$$V_p = v_I \text{ pentru } v_D = 0 \quad (1)$$

$$v_D = v^+ - v^- \quad (2)$$

Pentru circuitul din Fig.5.1 :

$$v^- = v_I \quad (3)$$

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_o \quad (4)$$

Înlocuind valorile celor două rezistențe se obține :

$$v^+ = \frac{2}{6} \cdot v_o = \frac{v_o}{3} \quad (5)$$

Expresia tensiunii de prag se obține înlocuind expresiile (3) și (5) în (1). Astfel,

$$\frac{v_o}{3} - V_p = 0 \quad (6)$$

$$V_p = \frac{v_o}{3} \quad (7)$$

Deoarece tensiunea de ieșire poate lua două valori, și tensiunea de prag va avea două valori, V_{PH} , V_{PL} .

$$V_{PH} = \frac{V_{OH}}{3} = 4V \quad (8)$$

$$V_{PL} = \frac{V_{OL}}{3} = -4V$$

Valorile parametrilor V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} sunt: $V_{OH} = 12V$, $V_{OL} = -12V$, $V_{PH} = 4V$, $V_{PL} = -4V$.

Pentru comparator inversor:

$$v_I < V_{PL}, v_O = V_{OH}$$

$$v_I > V_{PH}, v_O = V_{OL}$$

CSTV $v_O(v_I)$ completată cu valorile obținute este prezentată în Fig. 5.3.

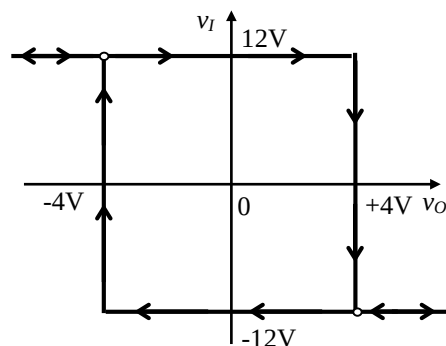


Fig. 5.3.

c)

i) Pentru $v_I(t) = 3\sin \omega t$ [V] tensiunea de ieșire nu va comuta niciodată, deoarece amplitudinea tensiunii v_I este mai mică decât V_{PH} și mai mare decât V_{PL} . Așadar, tensiunea de ieșire este ori V_{OH} , ori V_{OL} . În Fig. 5.4. este exemplificată situația $v_O(t) = V_{OH}$.

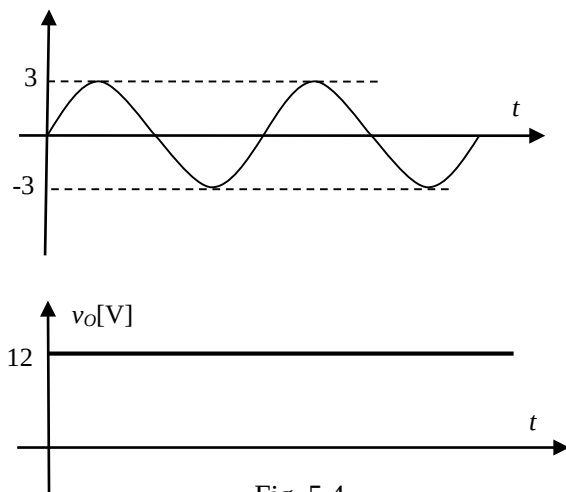


Fig. 5.4.

ii) Când amplitudinea tensiunii de intrare este mai mare decât V_{PH} și mai mica decât V_{PL} (depășește intervalul de valori $[V_{PH}, V_{PL}]$), tensiunea de ieșire va comuta între valorile V_{OH} și V_{OL} . Astfel, când $v_I(t)$ crește, pragul de comutare este V_{PH} (4V) iar când $v_I(t)$ scade, pragul de comutare este V_{PL} (-4V). Cronograma $v_O(t)$ este dată în Fig. 5.5.

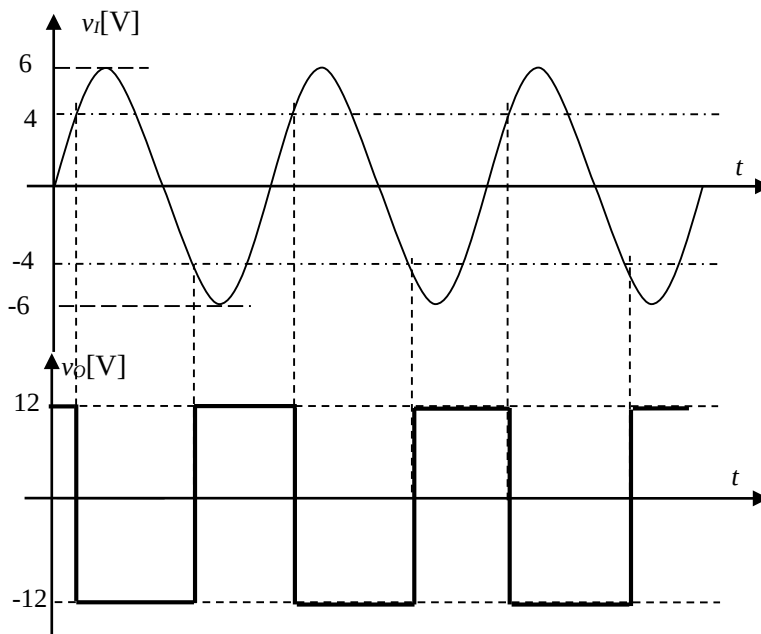


Fig. 5.5.

P.2.

Se consideră AO – ideal.

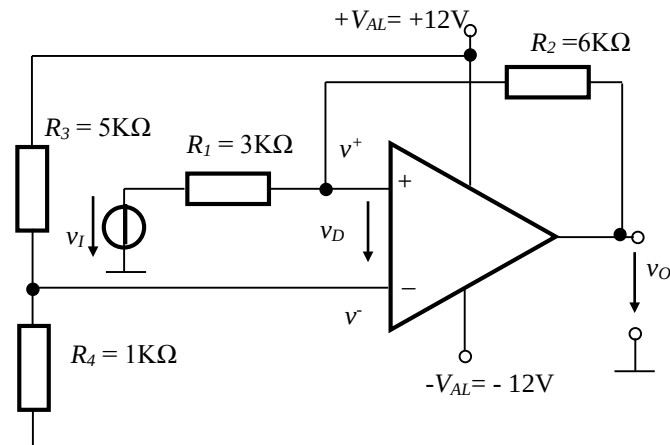


Fig.5.6.

- Desenați calitativ CSTV $v_O(v_I)$ și specificați aplicația realizată de circuit.
- Care sunt expresiile și valorile parametrilor V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} . Redesenați CSTV $v_O(v_I)$ conform valorilor numerice obținute.
- Desenați cronogramele $v_I(t)$ și $v_O(t)$ pentru $v_I(t) = 3 + 8\sin \omega t$ [V].
- Modificați circuitul a.î. pentru aceleași tensiuni de alimentare, CSTV $v_O(v_I)$ să fie centrată pe 0V. Ce valori au în acest caz V_{PH} , V_{PL} ?

R.2.

- Deoarece $v_I(t)$ se aplică la intrarea neinversoare a AO iar circuitul prezintă reacție pozitivă, aplicația circuitului este comparator neinversor cu RP (cu histerezis).

Pentru comparator neinversor cu RP :

$$v_I < V_{PL}, v_O = V_{OL}$$

$$v_I > V_{PH}, v_O = V_{OH}$$

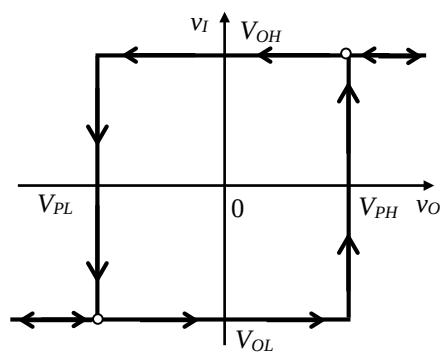


Fig. 5.7.

b)

$$V_{OH} = +V_{AI} = +12V$$

$$V_{OL} = -V_{AI} = -12V$$

Datorită reacției pozitive, comparatorul are două tensiuni de prag, tensiuni ce se determină cu formula:

$$V_P = v_I \text{ pentru } v_D = 0 \quad (1)$$

$$v_D = v^+ - v^- \quad (2)$$

Pentru circuitul dat :

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_I$$

$$v^+ = \frac{3}{9} v_O + \frac{6}{9} v_I = \frac{v_O + 2v_I}{3}$$

$$v^- = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot (+V_{AI})$$

$$v^- = \frac{1}{4} \cdot (+12) = 3[V]$$

Înlocuind în (1) se obține :

$$\frac{v_O + 2V_P}{3} = 3$$

$$V_P = \frac{9 - v_O}{2}$$

Deoarece tensiunea de ieșire poate lua două valori și tensiunea de prag va avea două valori, V_{PH} , V_{PL} .

$$V_{PH} = \frac{9 - V_{OL}}{2} = \frac{9 + 12}{2} = 10.5[V]$$

$$V_{PL} = \frac{9 - V_{OH}}{2} = \frac{9 - 12}{2} = -1[V]$$

Valorile parametrilor V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} sunt: $V_{OH} = 12V$, $V_{OL} = -12V$, $V_{PH} = 4V$, $V_{PL} = -4V$.

CSTV $v_O(v_I)$ completată cu valorile obținute este prezentată în Fig. 5.8.

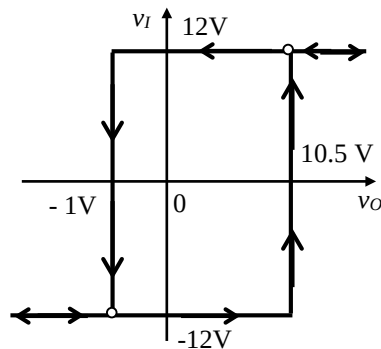


Fig. 5.8.

c) Când $v_I(t)$ crește, pragul de comutare este V_{PH} (10.5V) iar când $v_I(t)$ scade, pragul de comutare este V_{PL} (-1V). Cronograma $v_O(t)$ este dată în Fig. 5.9.

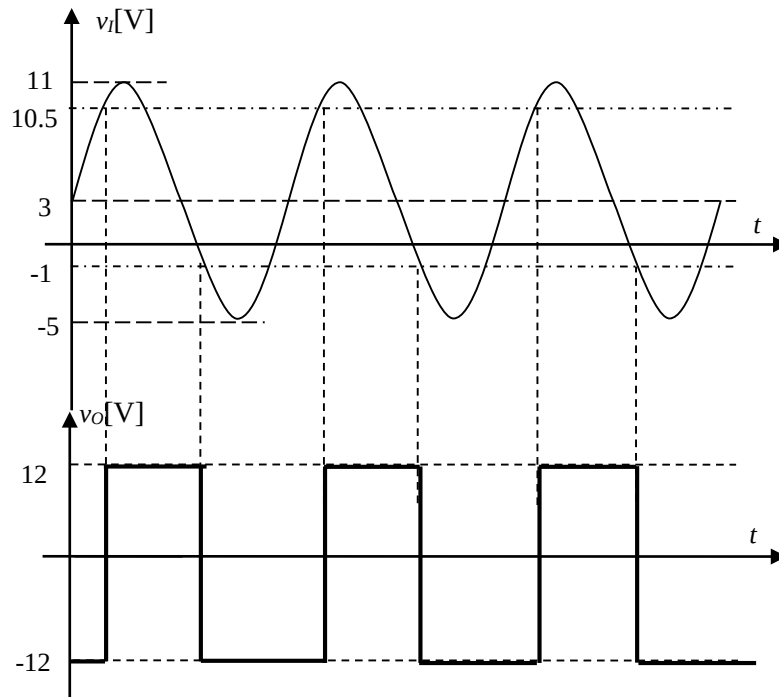


Fig. 5.9.

d) Pentru ca CSTV să fie centrată pe OV, $v^- = 0V$. Înlocuind în (1), noile tensiuni de prag vor fi :

$$\begin{aligned}\frac{v_O + 2V_P}{3} &= 0[V] \\ V_P &= \frac{-v_O}{2} \\ V_{PH} &= \frac{-V_{OL}}{2} = \frac{+12}{2} = 6[V] \\ V_{PL} &= \frac{-V_{OH}}{2} = \frac{-12}{2} = -6[V]\end{aligned}$$

Așadar, noile tensiuni de prag sunt $V_{PH} = 6V$, $V_{PL} = -6V$.

P.3.

Se consideră AO – ideal.

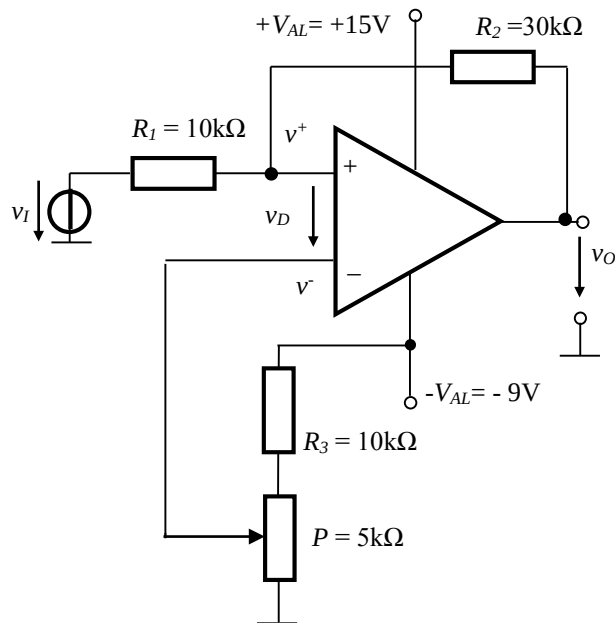


Fig. 5.10.

- Care este aplicația circuitului? Desenați calitativ CSTV $v_O(v_I)$.
- Care sunt expresiile și valorile parametrilor V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} pentru $k = 0.5$? Redesenați CSTV $v_O(v_I)$ conform valorilor numerice obținute.
- Pentru $k = 0.5$ și $v_I(t) = 10 \sin \omega t$ [V], desenați cronogramele $v_I(t)$ și $v_O(t)$.
- Redesenați CSTV $v_O(v_I)$ dacă R_2 se înlocuiește cu o întrerupere. Care este noua aplicație a circuitului?

R.3.

- AO are RP iar $v_I(t)$ se aplică la intrarea neinvertoare a AO. Aplicația circuitului este comparator neinvertor cu RP (cu histerezis).

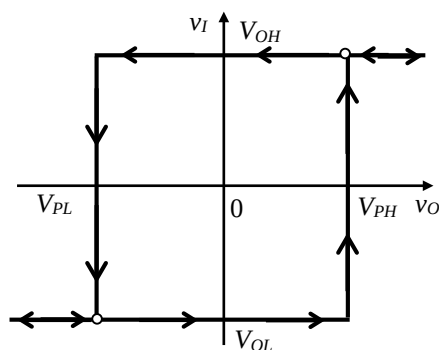


Fig. 5.11.

b)

$$V_{OH} = +V_{Al} = +15V$$

$$V_{OL} = -V_{Al} = -9V$$

Pentru determinarea tensiunilor de prag :

$$V_P = v_I \text{ pentru } v_D = 0 \quad (1)$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

Pentru circuitul dat :

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_I$$

$$v^+ = \frac{10}{40} v_O + \frac{30}{40} v_I = \frac{v_O + 3v_I}{4}$$

Datorită potențimetrului P, expresia generală a tensiunii de la intrarea inversoare a AO este:

$$v^- = \frac{kP}{P + R_3} \cdot (-V_{Al})$$

Pentru $k=0.5$, rezultă :

$$v^- = \frac{0.5 \cdot P}{P + R_3} \cdot (-9) = \frac{2.5}{15} \cdot (-9) = \frac{1}{6} \cdot (-9) = -1.5[V]$$

Înlocuind în (1) se obține :

$$\frac{v_O + 3V_P}{4} = -1.5[V]$$

$$V_P = -2 - \frac{v_O}{3}$$

Deoarece tensiunea de ieșire poate lua două valori și tensiunea de prag va avea două valori, V_{PH} , V_{PL} .

$$V_{PH} = -2 - \frac{V_{OL}}{3} = -2 + \frac{9}{3} = 1[V]$$

$$V_{PL} = -2 - \frac{V_{OH}}{3} = -2 - \frac{15}{3} = -7[V]$$

Valorile parametrilor V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} sunt: $V_{OH} = 15V$, $V_{OL} = -9V$, $V_{PH} = 1V$, $V_{PL} = -7V$.

CSTV $v_O(v_I)$ completată cu valorile obținute este prezentată în Fig. 5.12.

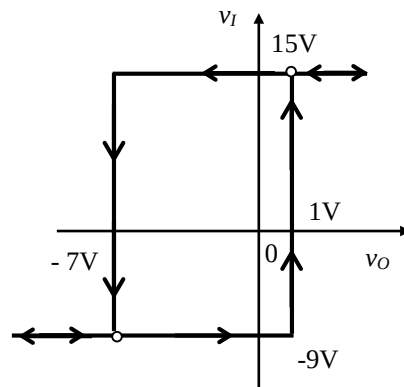


Fig. 5.12.

c) Când $v_I(t)$ crește, pragul de comutare este V_{PH} (1V) iar când $v_I(t)$ scade, pragul de comutare este V_{PL} (-7V). Cronograma $v_O(t)$ este dată în Fig. 5.13.

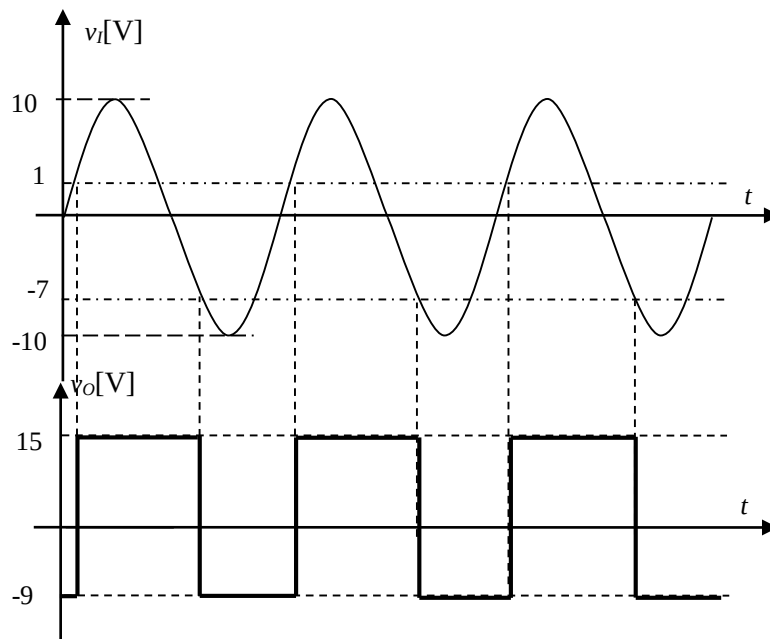


Fig. 5.13.

d) Dacă R_2 se înlocuiește cu o întrerupere ($R_2 \rightarrow \infty$), AO nu va mai prezenta reacție. Aplicația noului circuit (AO fără reacție iar $v_I(t)$ se aplică la intrarea neinversoare a AO) este comparator neinversor simplu, circuitul având astfel doar o singură tensiune de prag.

$$V_p = v_I \text{ pentru } v_D = 0 \quad (1)$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

$$v_D = 0; v^+ = v^-$$

$$v^+ = v_I; v^- = -1.5V$$

$$V_p = -1.5V$$

CSTV $v_O(v_I)$ pentru noul circuit este prezentată în Fig. 5.14.

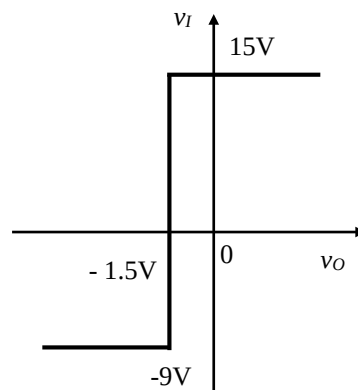


Fig. 5.14.

P.4. Se consideră AO – ideal iar pentru fiecare LED tensiunea de prag $v_{Don} = 3[V]$.

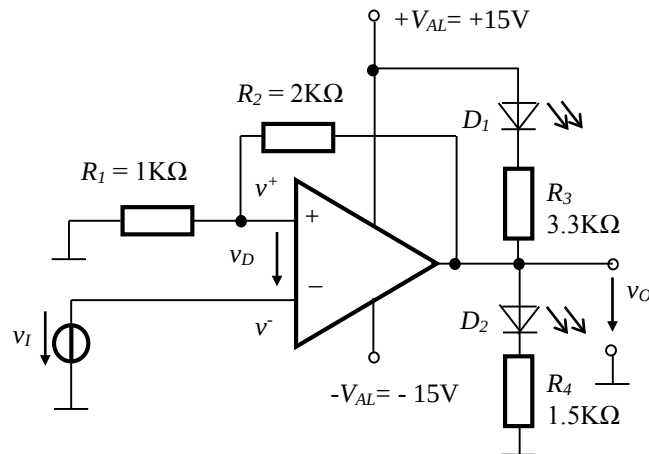


Fig. 5.15.

- Desenați calitativ CSTV $v_O(v_I)$. Care este aplicația realizată de circuit?
- Care sunt expresiile și valorile parametrilor V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} ? Redesenați CSTV $v_O(v_I)$ conform valorilor numerice obținute.
- Dacă $v_I(t) = -7 \sin \omega t$ [V], desenați cronogramele $v_I(t)$ și $v_O(t)$. Pe graficul $v_O(t)$ precizați stările celor două LED-uri - conducție (c) sau blocare (b).
- Modificați circuitul a.î. pentru aceleași tensiuni de alimentare să se obțină $V_{PH} = 7V$ și $V_{PL} = -3V$.

R.4.

- AO are RP iar $v_I(t)$ se aplică la intrarea inversoare a AO. Aplicația circuitului este comparator inversor cu RP (cu histerezis), cu CSTV reprezentată calitativ în Fig. 5.16.

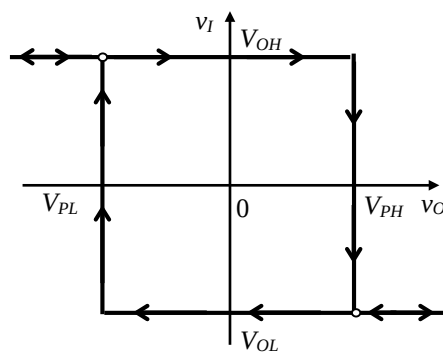


Fig. 5.16.

b)

$$V_{OH} = +V_{Al} = +15V$$

$$V_{OL} = -V_{Al} = -15V$$

Pentru determinarea tensiunilor de prag :

$$V_P = v_I \text{ pentru } v_D = 0 \quad (1)$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

Pentru circuitul dat :

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_O$$

$$v^+ = \frac{1}{3} v_O = \frac{v_O}{3}$$

$$v^- = v_I$$

Înlocuind în (1) se obține :

$$\frac{v_O}{3} = V_P$$

Deoarece tensiunea de ieșire poate lua două valori și tensiunea de prag va avea două valori, V_{PH} , V_{PL} .

$$V_{PH} = \frac{V_{OH}}{3} = 5[V]$$

$$V_{PL} = \frac{V_{OL}}{3} = -5[V]$$

Valorile parametrilor V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} sunt: $V_{OH} = 15V$, $V_{OL} = -15V$, $V_{PH} = 5V$, $V_{PL} = -5V$.

CSTV $v_O(v_I)$ completată cu valorile obținute este prezentată în Fig. 5.17.

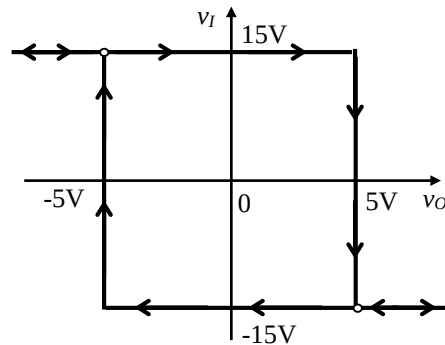


Fig. 5.17.

c) Când $v_I(t)$ crește, pragul de comutare este V_{PH} (5V) iar când $v_I(t)$ scade, pragul de comutare este V_{PL} (-5V). Cronograma $v_O(t)$ este dată în Fig. 5.18.

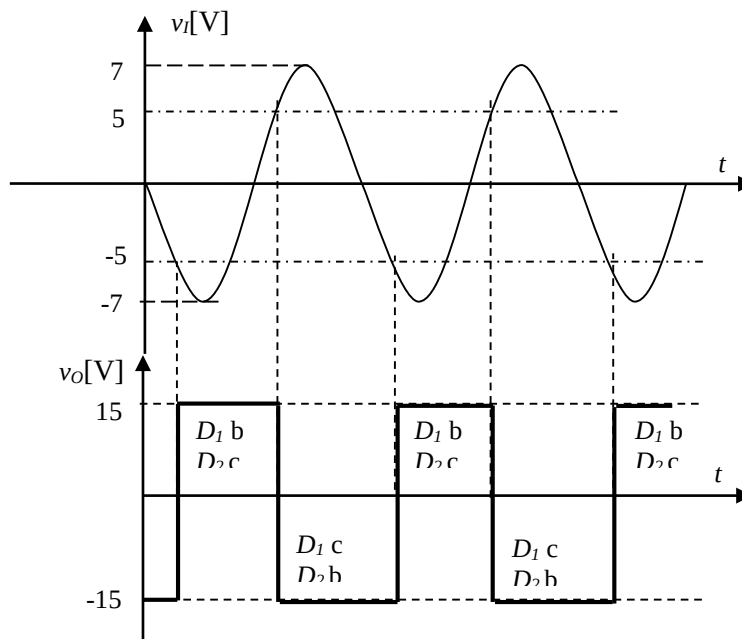


Fig. 5.18.

LED-urile D_1 și D_2 sunt în stare de conducție când diferența de tensiune dintre anodul și catodul LED-ului respectiv este mai mare decât tensiunea lui de prag ($v_{Don} = 3[V]$) și în blocare dacă diferența de tensiune dintre anodul și catodul LED-ului respectiv este mai mică decât tensiunea lui de prag. Stările de conducție/blocare pentru cele două LED-uri în funcție de valoarea tensiunii de ieșire sunt prezentate în Tabelul 5.1.

Tabel 5.1.

V_O	Stare D_1	Stare D_2
15V	blocare	conducție
-15V	conducție	blocare

d) Pentru a obține noile valori ale tensiunilor de prag $V_{PH} = 7V$, $V_{PL} = -3V$, CSTV trebuie translatată la dreapta pe axa OX cu $+2V$.

Astfel, noua expresie pentru tensiunea de prag în funcție de v_O este :

$$V_p = \frac{v_O}{3} + 2[V]$$

Pentru $v^- = v_i$ rezultă $v^+ = \frac{v_O}{3} + 2[V]$

Este necesară astfel introducerea unei surse de tensiune constraintă (notată V_{Ref}) conectată între R_1 și masă, pentru obținerea tensiunii suplimentare de $2V$.

Folosind teorema superpoziției, tensiunea de la intrarea neinversoare a AO este:

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{Ref}$$

Dar cum știm deja că:

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_O = \frac{v_O}{3}$$

rezultă :

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{Ref} = 2[V]$$

$$V_{Ref} = 2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 2 \cdot \frac{3}{2} = 3[V]$$

Circuitul modificat pentru obținerea noilor valori ale tensiunilor de prag este dat în Fig. 5.19.

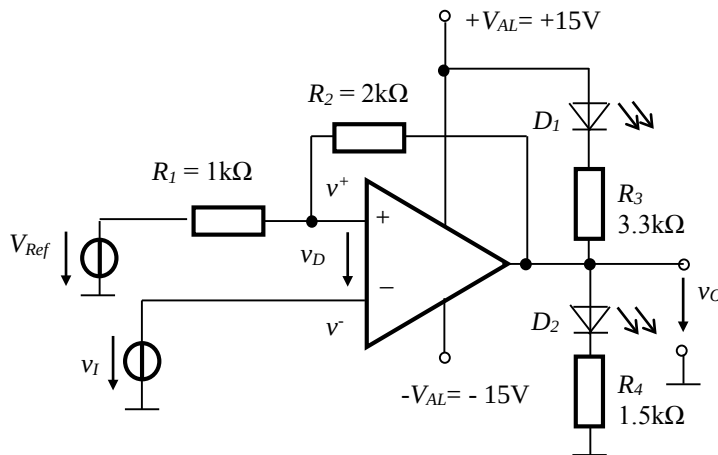


Fig. 5.19.

P.5. Pentru circuitul din Fig.5.20 se consideră AO ideal iar pentru dioda Zener (DZ) $V_Z = \text{const.} = 5.1V$.

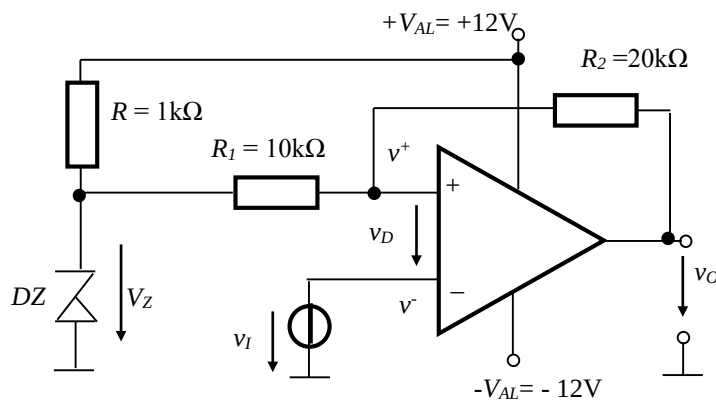


Fig. 5.20.

- Cum arată calitativ CSTV $v_O(v_I)$ a circuitului ? Care este aplicația realizată de circuit?
- Calculați următorii parametri ai CSTV: V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} ? Redesenați CSTV conform valorilor numerice obținute.
- Cum arată $v_O(t)$ pentru $v_I(t) = 8\sin \omega t$ [V]?
- Cum se modifică CSTV $v_O(v_I)$ dacă apare o întrerupere a traseului dintre intrarea neinversoare a AO și capătul din stânga al R_2 ? Justificați răspunsul.

R.5.

a) AO are RP iar $v_I(t)$ se aplică la intrarea inversoare a AO. Aplicația circuitului este comparator inversor cu RP (cu histerezis), cu CSTV reprezentată calitativ în Fig. 5.21.

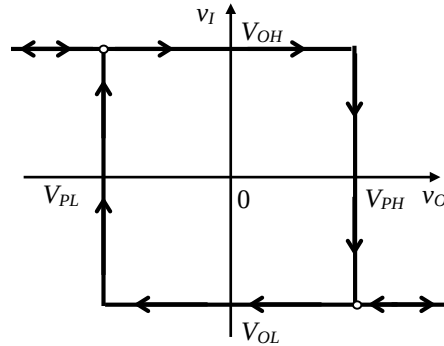


Fig. 5.21.

b)

$$V_{OH} = +V_{AI} = +12V$$

$$V_{OL} = -V_{AI} = -12V$$

Pentru determinarea tensiunilor de prag :

$$V_P = v_I \text{ pentru } v_D = 0 \quad (1)$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

Pentru circuitul dat :

$$v^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_Z$$

$$v^+ = \frac{1}{3} v_O + \frac{2}{3} \cdot 5.1 = \frac{v_O + 10.2}{3}$$

$$v^- = v_I$$

Înlocuind în (1) se obține :

$$\frac{v_O + 10.2}{3} = V_P$$

Deoarece tensiunea de ieșire poate lua două valori și tensiunea de prag va avea două valori, V_{PH} , V_{PL} .

$$V_{PH} = \frac{V_{OH} + 10.2}{3} = \frac{22}{3} = 7.4[V]$$

$$V_{PL} = \frac{V_{OL} + 10.2}{3} = \frac{-1.8}{3} = -0.6[V]$$

Valorile parametrilor V_{OH} , V_{OL} , V_{PH} , V_{PL} sunt: $V_{OH} = 12V$, $V_{OL} = -12V$, $V_{PH} = 7.4V$, $V_{PL} = -0.6V$.

CSTV $v_O(v_I)$ completată cu valorile obținute este prezentată în Fig. 5.22.

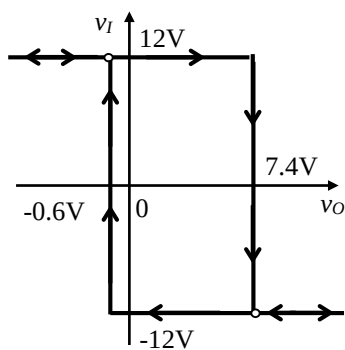


Fig. 5.22.

c) Când $v_I(t)$ crește, pragul de comutare este V_{PH} (7.4V) iar când $v_I(t)$ scade, pragul de comutare este V_{PL} (-0.6V). Cronograma $v_O(t)$ este dată în Fig. 5.23.

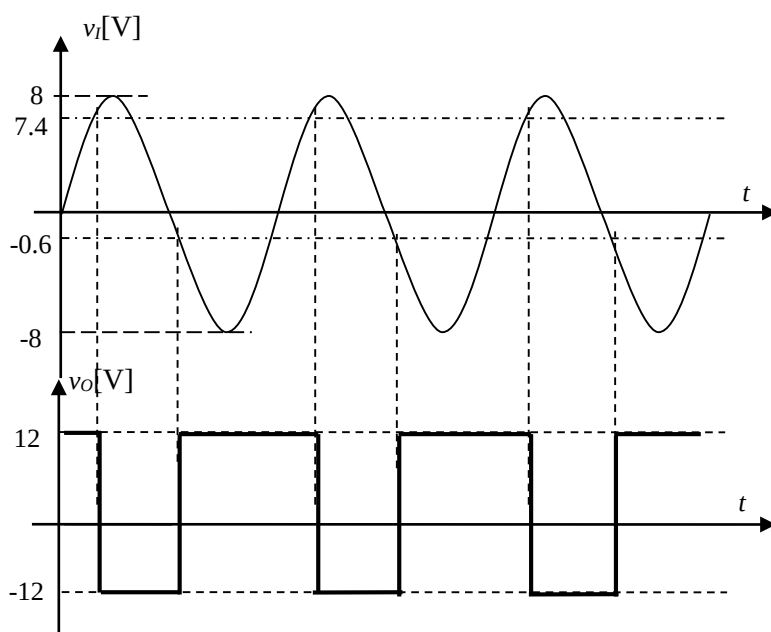


Fig. 5.23.

d) La o întrerupere a traseului dintre intrarea neinversoare a AO și capătul din stânga al R_2 , AO nu mai prezintă reacție pozitivă. În acest caz aplicația circuitului este comparator inversor simplu (având doar o singură tensiune de prag).

În noile condiții, $v^+ = V_Z$ iar tensiunea de prag este :

$$V_p = v_I \text{ pentru } v_D = 0$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

$$v^+ = V_Z$$

$$v^- = v_I$$

$$v_D = 0; V_Z = V_p; V_p = 5.1[V]$$

CSTV modificată este prezentată în Fig. 5.24.

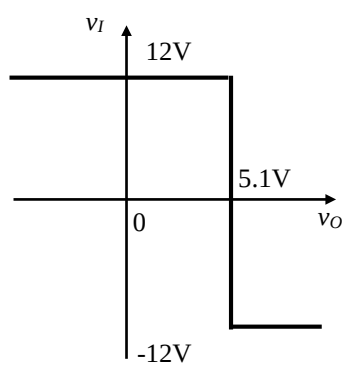


Fig. 5.24.

6. Amplificatoare cu AO

P.1.

Se dă circuitul din Fig. 6.1.

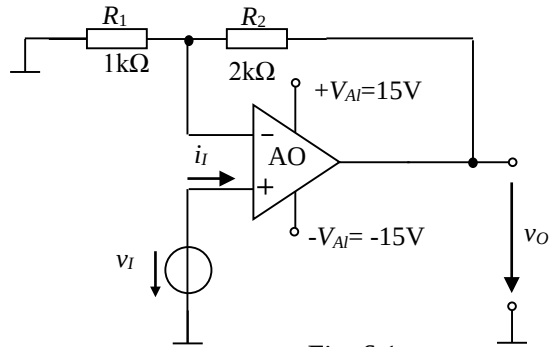


Fig. 6.1.

- Pentru $v_I \in [-15V; 15V]$ care este expresia $v_O(v_I)$? Reprezentați grafic CSTV $v_O(v_I)$. Pentru ce domeniu de valori al v_I avem funcționarea AO în regiunea activă? Pentru acest domeniu de valori al v_I determinați A_v , r_i , r_o ale amplificatorului de tensiune.
- Desenați modelul de amplificator de tensiune al circuitului.
- Cum arată cronograma $v_O(t)$ pentru $v_I(t) = 3 \sin \omega t$ [V]? Ce aplicație realizează circuitul? Redesenați $v_O(t)$ dacă $v_I(t)$ este semnal triunghiular simetric cu amplitudinea de 6V.

R.1.

a)

$$\begin{aligned} v^+ &= v_I \\ v^- &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_O = \frac{1}{3} v_O \\ v_D &= v^+ - v^- \end{aligned}$$

AO are RN rezultând $v_D = 0$, echivalent cu:

$$v^+ = v^-, v_I = \frac{1}{3} v_O, v_O = 3v_I$$

Dar $v_{O \max} = +V_{AI}$ obținându-se astfel $v_{I \max} = 5V$

$v_{O \min} = -V_{AI}$ obținându-se astfel $v_{I \min} = -5V$

Domeniul de valori al v_I pentru care AO funcționează în regiunea activă este: $v_I \in [-5V; +5V]$.

CSTV $v_O(v_I)$ este reprezentată în Fig. 6.2.

Pentru amplificatorul de tensiune:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_O}{v_I} \text{ rezultă } A_v = \frac{3v_I}{v_I} = 3 \\ r_i &= \frac{v_I}{i_I} \text{ rezultă } r_i = \frac{v_I}{i^+} = \frac{v_I}{0} = \infty \\ r_o &= 0 \end{aligned}$$

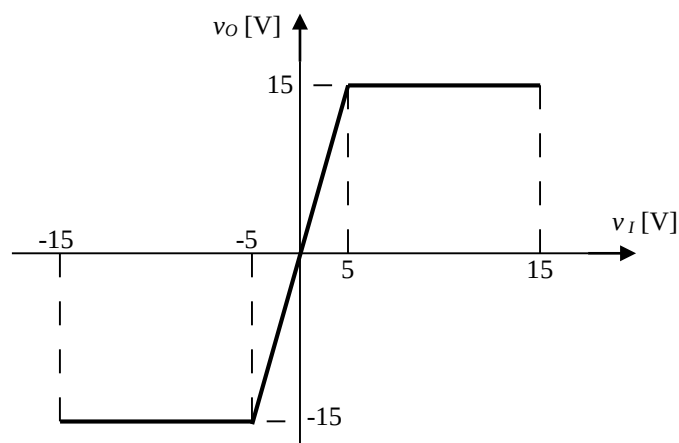


Fig. 6.2.

b) Modelul amplificatorului de tensiune este:

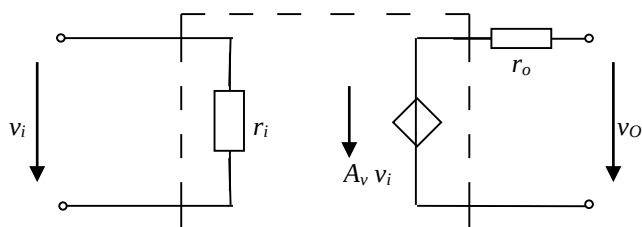


Fig. 6.3.

Înlocuind A_v , r_i și r_o cu valorile acestora obținute mai sus vom avea:

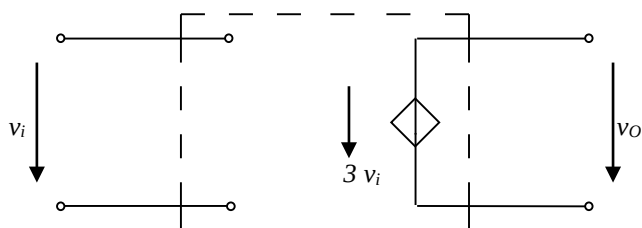


Fig. 6.4.

c) Cronograma $v_o(t)$ pentru $v_i(t) = 3\sin \omega t$ [V] este prezentată în Fig. 6.5. Aplicația realizată de circuit este amplificator neinvertor de tensiune.

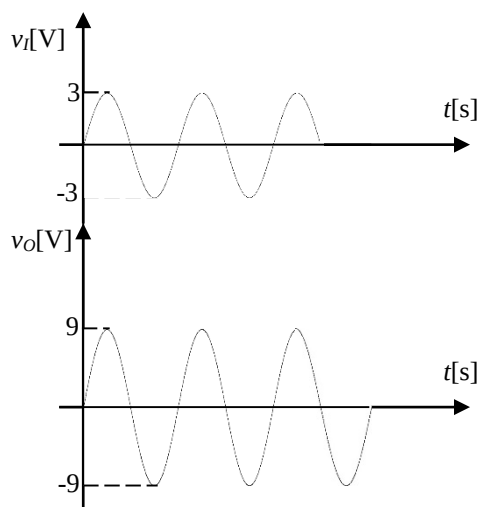


Fig. 6.5.

Pentru $v_I(t)$ semnal triunghiular simetric cu amplitudinea de 6V, tensiunea de ieșire este cea din Fig. 6.6.

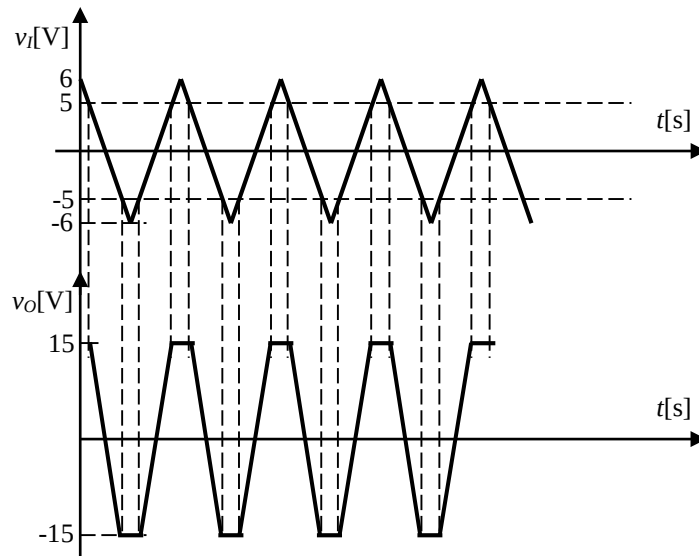


Fig. 6.6.

P.2.

Se dă circuitul din Fig.6.7.

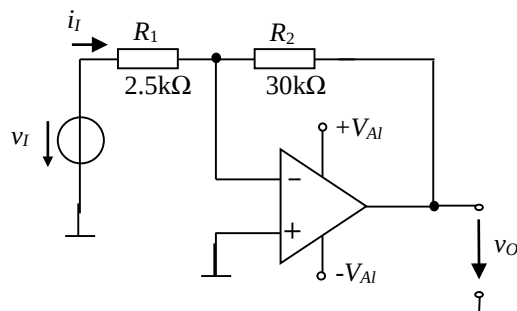


Fig. 6.7.

- Demonstrați că circuitul are RN.
- Găsiți expresiile și valorile : amplificării în tensiune A_v ; rezistenței de intrare r_i ; rezistenței de ieșire r_o .
- Cum arată modelul echivalent al circuitului ca amplificator de tensiune?
- Pentru $v_I(t)$ din figura de mai jos, desenați $v_O(t)$ considerând că $\pm V_{AI}$ sunt suficient de mari pentru a nu limita $v_O(t)$. Care este valoarea $|V_{AI\min}|$ care satisface această condiție?

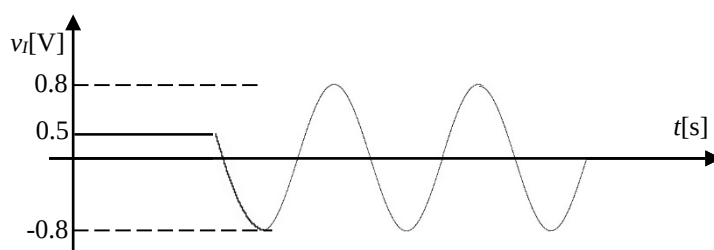


Fig. 6.8.

R.2.

a) Circuitul are RN dacă o parte din tensiunea de la ieșire apare (este adusă) la intrarea inversoare a circuitului (dacă v^- depinde de v_O), astfel încât coeficientul lui v_O (din expresia lui v_O) să fie mai mare ca 0.

$$v^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_I$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{2.5K\Omega}{32.5K\Omega} > 0 \text{ rezultă că circuitul are RN.}$$

O altă modalitate de demonstrare a existenței reacției și a tipului acesteia este analiza calitativă. Astfel circuitul are RN dacă se demonstrează că unei tendințe de variație a unui semnal, circuitul îi răspunde cu o variație de semn opus, pentru același semnal.

În cazul nostru considerând de exemplu o variație descrescătoare a tensiunii v_D , după trecerea semnalelor prin circuit (calea directă prin AO și calea de reacție prin divizorul rezistiv) rezultă o variație crescătoare a tensiunii v_D . Circuitul analizat are RN.

$$v_I \uparrow, v^- \uparrow, v_D \downarrow, v_O \downarrow, v^- \downarrow, v_D \uparrow$$

b)

$$A_v = \frac{v_O}{v_I}$$

$$v^+ = 0$$

$$v^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_I$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

Deoarece circuitul are RN tensiunea $v_D = 0$. Astfel,

$$v^+ = v^-$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} v_O + \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_I = 0$$

$$\frac{2.5}{32.5} v_O + \frac{30}{32.5} v_I = 0$$

$$\frac{v_O}{v_I} = \frac{30}{32.5} \frac{32.5}{2.5} = -12 \text{ rezultă } A_v = \frac{v_O}{v_I} = -12$$

$$r_i = \frac{v_I}{i_I}$$

Deoarece $v^+ = 0$ și $v^- = 0$ circuitul echivalent pentru determinarea lui r_i este:

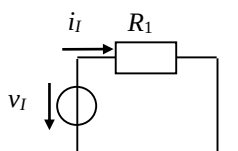


Fig. 6.9.

Aplicând TKV: $v_I = i_I r_i$, adică $\frac{v_I}{i_I} = R_1$, obținându-se astfel $r_i = R_1$.

$r_o = 0$ (nu există rezistență de ieșire).

c) modelul echivalent al circuitului ca amplificator de tensiune este prezentat în Fig. 6.10.

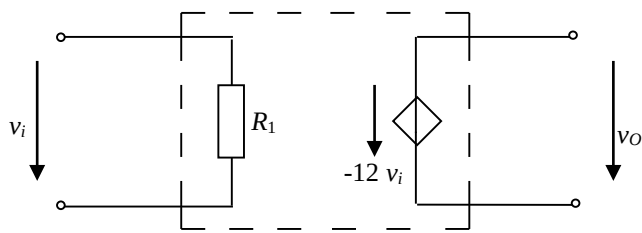


Fig. 6.10.

d) Cronogramele $v_i(t)$ și $v_o(t)$, considerând că $\pm V_{Al}$ sunt suficient de mari pentru a nu limita $v_o(t)$, sunt prezentate în Fig. 6.11.

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -12, \text{ rezultă că}$$

$$v_{o\max} = (-12)(-0.8) = 9.6$$

$$v_{o\min} = (-12)(0.8) = -9.6$$

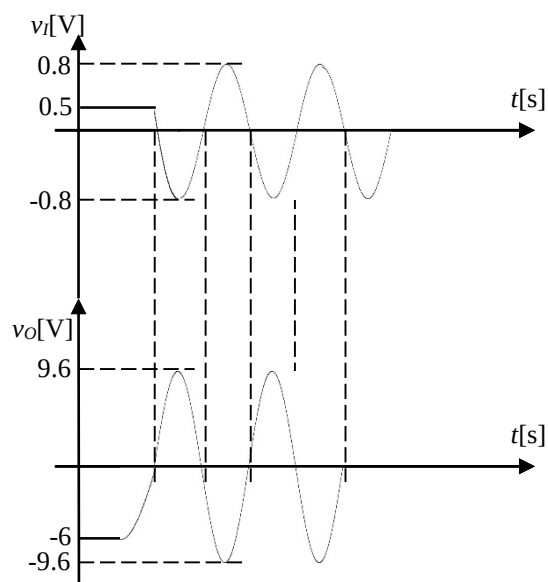


Fig. 6.11.

Valoarea $|V_{Al\min}|$ pentru care tensiunea de ieșire nu se limitează este chiar :

$$|V_{Al\min}| = |V_{O\min}| = 9.6V.$$

P.3.

Se dă circuitul din Fig.6.12 cu AO – ideal.

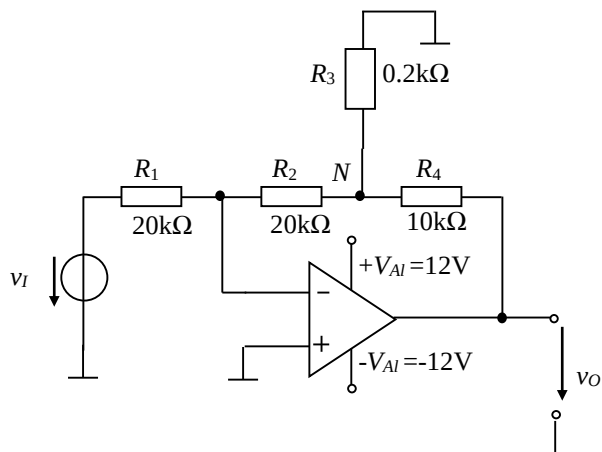


Fig. 6.12.

- Arătați că circuitul are RN.
- Calculați: amplificarea în tensiune A_v , rezistența de intrare r_i , rezistența de ieșire r_o .
- Pentru $v_I \in [-1V; 1V]$ cum arată CSTV $v_O(v_I)$? Care este domeniul $[v_{I\min}; v_{I\max}]$ pentru care circuitul lucrează ca amplificator de tensiune?
- Pentru $v_I(t)$ din figura de mai jos (Fig. 6.13), desenați $v_O(t)$.

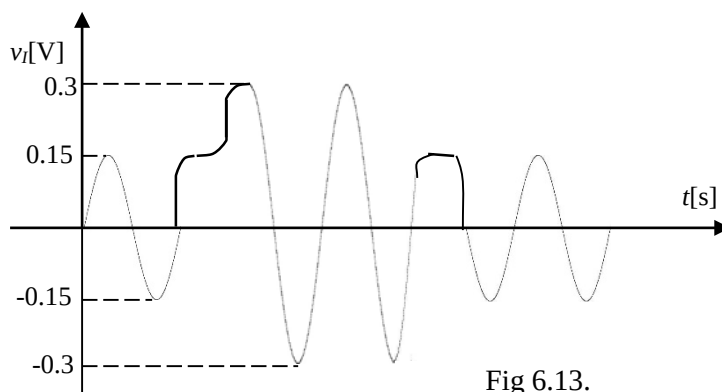


Fig 6.13.

R.3.

- Aplicând teorema lui Millman se obține pentru v_N :

$$v_N = \frac{\frac{v^-}{R_2} + \frac{v_O}{R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{\frac{v^-}{20 \cdot 10^3} + \frac{v_O}{10 \cdot 10^3}}{\frac{1}{20 \cdot 10^3} + \frac{1}{10 \cdot 10^3} + \frac{1}{0.2 \cdot 10^3}} = \frac{v^- + 2v_O}{103}$$

$$v^- = \frac{\frac{v_N}{R_2} + \frac{v_I}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{\frac{v_N}{20 \cdot 10^3} + \frac{v_I}{20 \cdot 10^3}}{\frac{1}{20 \cdot 10^3} + \frac{1}{20 \cdot 10^3}} = \frac{v_N + v_I}{2}$$

$$v^- = \frac{\frac{v^- + 2v_o}{103} + v_I}{2} = \frac{v^- + 2v_o + 103v_I}{206}$$

$$206v^- = v^- + 2v_o + 103v_I$$

$$205v^- = 2v_o + 103v_I$$

$$v^- = \frac{2v_o + 103v_I}{205} = \frac{2}{205}v_o + \frac{103}{205}v_I$$

Coeficientul lui v_o este egal cu $\frac{2}{205} > 0$. În concluzie circuitul are RN.

b)

$$A_v = \frac{v_o}{v_I}$$

$$v^- = \frac{2}{205}v_o + \frac{103}{205}v_I$$

$$v^+ = 0$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

Circuitul are RN astfel încât $v_D = 0$, $v^+ = v^-$, $\frac{2}{205}v_o + \frac{103}{205}v_I = 0$

$$A_v = \frac{v_o}{v_I} = -\frac{103}{2} = -51.5$$

$$r_i = \frac{v_I}{i_I} \text{ dar } \frac{v_I}{i_I} = R_1, \text{ astfel încât } r_i = R_1$$

$$r_o = 0$$

c) Valorile v_I pentru care circuitul lucrează ca amplificator de tensiune sunt : $v_I \in \left[\frac{V_{AI}}{A_v}; -\frac{V_{AI}}{A_v} \right]$ rezultă că

$$v_I \in [-0.23V; 0.23V]$$

CSTV este:

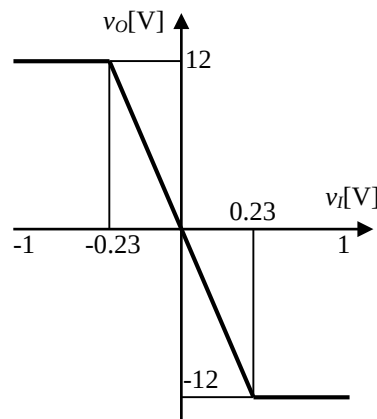


Fig. 6.14.

d) Pentru $v_I(t)$ dat, $v_O(t)$ este cel din Fig. 6.15.

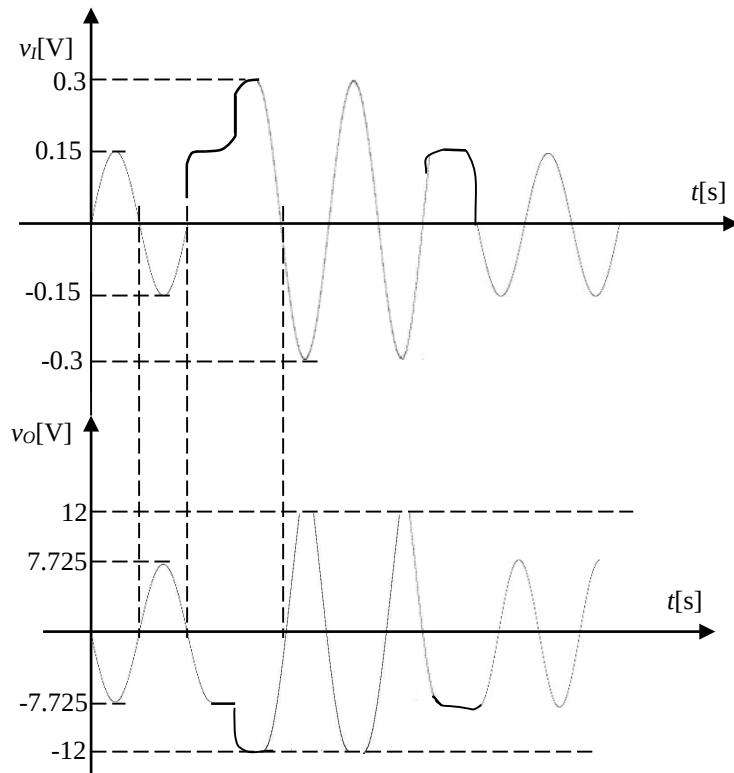


Fig. 6.15.

P.4.

Se dă circuitul din Fig.6.16, considerând AO ideal.

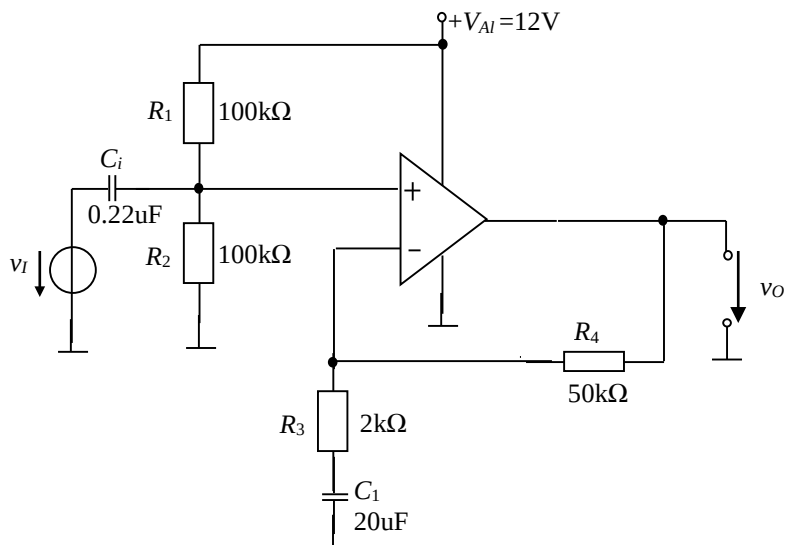


Fig. 6.16.

- a) Care este expresia tensiunii v^+ ? Examinați prezența RN în acest circuit în curent continuu; prezența RN în acest circuit în curent alternativ.
- b) Care este expresia și valoarea amplificării în tensiune a circuitului în curent alternativ? Dar în curent continuu?
- c) Care este expresia $v_o(t)$ pentru $v_i(t) = 0.2 \sin \omega t [V]$? Cum arată cronograma $v_o(t)$?
- d) Cum arată $v_o(t)$ pentru $v_i(t) = 0.5 \sin \omega t [V]$?

R.4.

- a) Expresia v^+ este:

$$v^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{Al} + v_i$$

În curent alternativ sursa de curent continuu $+V_{Al}$ se pasivizează, atunci v^+ devine $v^+ = v_i$.

În curent continuu condensatorul C_1 este întrerupere.

Rezultă că $v^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{Al}$, $v^+ = 6V$.

În curent continuu deoarece condensatorul C_1 este întrerupere, $v^- = v_o$, astfel că în c.c circuitul are R.N. totală.

În curent alternativ $v^- = \frac{R_3}{R_4 + R_3} v_o = \frac{2}{52} v_o = \frac{1}{26} v_o$, $\frac{1}{26} > 0$ astfel că în c.a circuitul are R.N.

- b)

În curent alternativ

$$\begin{aligned} v^+ &= v_i \\ v^- &= \frac{1}{26} v_o \\ v_D &= v^+ - v^- \end{aligned}$$

Circuitul are R.N astfel încât

$$\begin{aligned} v_D &= 0, \quad v^+ = v^- \\ \frac{1}{26} v_o &= v_i, \quad v_o = 26v_i \end{aligned}$$

rezultă

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = 26$$

În curent continuu circuitul are R.N. totală, astfel încât $A_{v.c.c.} = 1$

- c) $v_i(t) = 0.2 \sin \omega t [V]$

$$\begin{aligned} v^+(t) &= 6 + 0.2 \sin \omega t [V] \\ v_o &= 26v_i \end{aligned}$$

Rezultă:

$$v_o(t) = 6 + 5.2 \sin \omega t [V]$$

Astfel, $v_o(t)$ este:

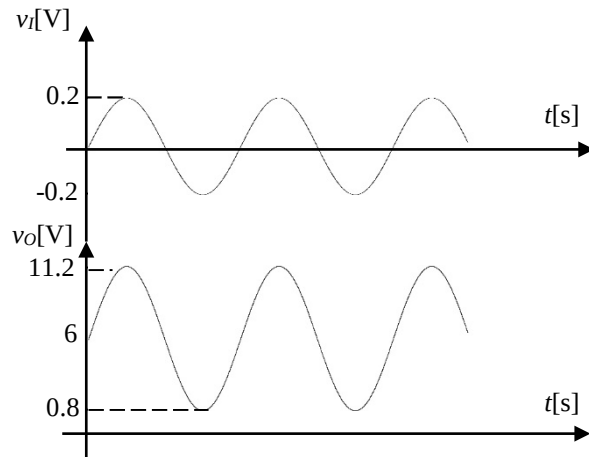


Fig. 6.17.

d) Limitarea tensiunii de ieșire apare pentru valorile $v_I > 0.23V$ și $v_I < -0.23V$.

$$\left(\begin{array}{c} V_{Al} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{Al} \\ 0.23 = \frac{A_v}{A_v} \end{array} \right)$$

Cronograma $v_o(t)$ pentru $v_I(t) = 0.5 \sin \omega t [V]$ este prezentată în Fig. 6.18.

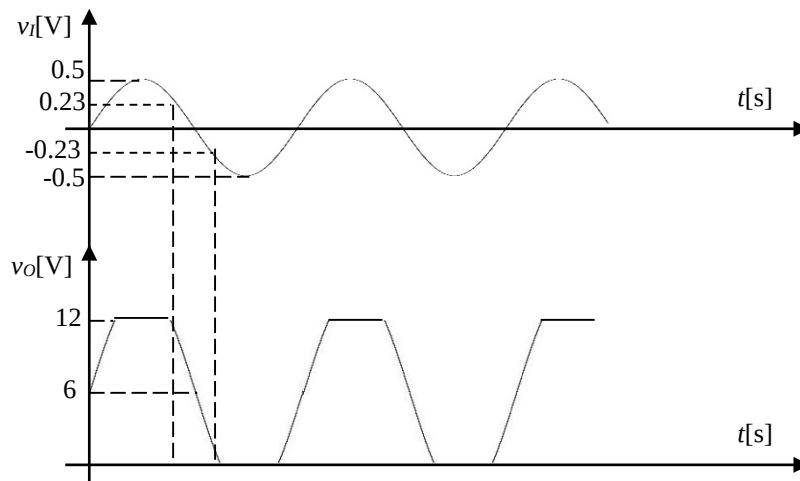


Fig. 6.18.

P.5.

Se dă circuitul din Fig. 6.19, cu AO ideal.

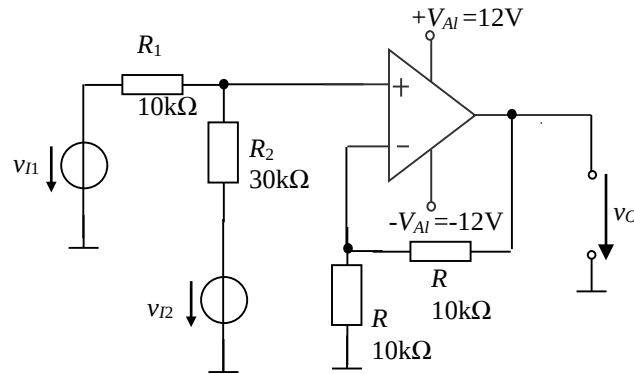


Fig. 6.19.

- Considerând că AO lucrează doar în regiunea activă care este expresia $v_O(v_{I1}, v_{I2})$? Care este aplicația circuitului?
- Ce relație trebuie să existe între R_1 și R_2 pentru ca $v_O = v_{I1} + v_{I2}$?
- Cum arată $v_O(t)$ pentru $v_{I1}(t) = 2\sin\omega t[V]$ și $v_{I2}(t) = 4\sin\omega t[V]$ pentru R_1 și R_2 din Fig. 6.19?

R.5.

a)

$$v^- = \frac{R}{2R} v_O = \frac{v_O}{2}$$

$$v^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{I1} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_{I2} = \frac{30}{40} v_{I1} + \frac{10}{40} v_{I2} = \frac{3}{4} v_{I1} + \frac{1}{4} v_{I2}$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

Circuitul are R.N. astfel încât $v_D = 0$, rezultă că $v^+ = v^-$, $v_O = \frac{3}{2} v_{I1} + \frac{1}{2} v_{I2}$.

Aplicația circuitului: sumator ponderat (a tensiunii de intrare v_{I1} și v_{I2}).

- Pentru determinarea noii relații dintre R_1 și R_2 se egalează coeficienții tensiunilor de intrare (v_{I1} , v_{I2}) cu 1.

$$\frac{v_O}{2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{I1} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_{I2}$$

$$v_O = \frac{2R_2}{R_1 + R_2} v_{I1} + \frac{2R_1}{R_1 + R_2} v_{I2}$$

Astfel avem următoarele 2 ecuații:

$$\begin{cases} \frac{2R_2}{R_1 + R_2} = 1 \\ \frac{2R_1}{R_1 + R_2} = 1 \end{cases}$$

Egalând cele 2 ecuații se obține:

$$\frac{2R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2R_1}{R_1 + R_2}$$

relația finală între R_1 și R_2 fiind $R_1 = R_2$.

c) $v_{I1}(t) = 2\sin \omega t [\text{V}]$

$v_{I2}(t) = 4\sin \omega t [\text{V}]$

$$v_o = \frac{3}{2}v_{I1} + \frac{1}{2}v_{I2} = 3\sin \omega t + 2\sin \omega t = 5\sin \omega t [\text{V}]$$

Cronogramele $v_{I1}(t)$, $v_{I2}(t)$ și $v_o(t)$ pentru R_1 și R_2 din Fig. 6.19 sunt prezentate în Fig. 6.20.

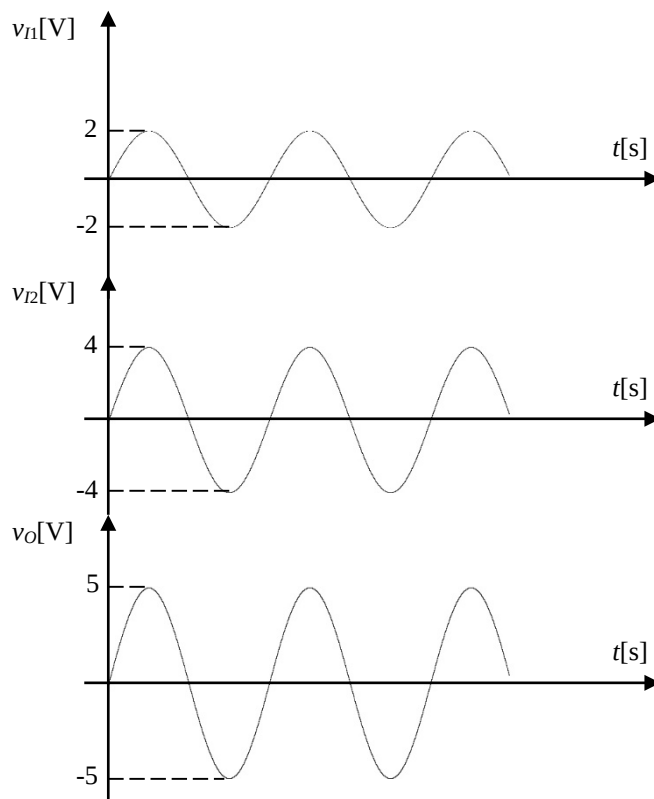


Fig. 6.20.

P.6.

Se dă circuitul din Fig. 6.21, cu AO ideal.

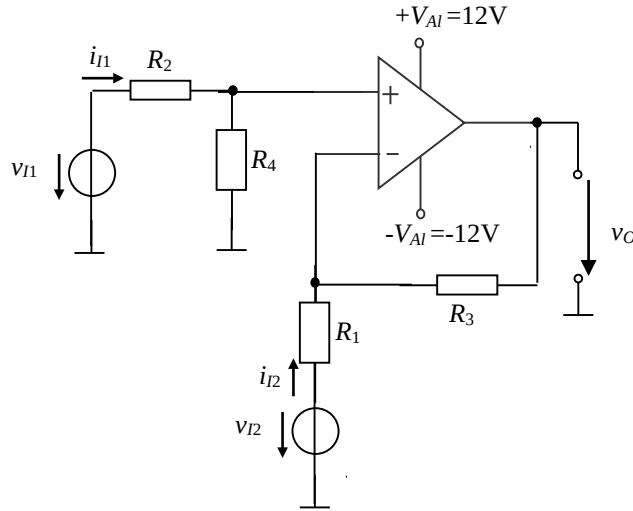


Fig. 6.21.

- Care este expresia $v_O(v_{I1}, v_{I2})$ pentru: $R_1 = R_2 = 5\text{k}\Omega$ și $R_3 = R_4 = 10\text{k}\Omega$?
- Dacă $v_{I2}(t) = 3\sin\omega t[\text{V}]$ și $v_{I1}(t) = V_{I1}$ este o tensiune continuă, care este domeniul maxim de valori V_{I1} pentru care v_O nu este limitat la $\pm V_{Al}$?
- Ce relație trebuie să existe între R_1, R_2, R_3, R_4 pentru a avea expresia $v_O(v_{I1}, v_{I2}) = v_{I1} - v_{I2}$?
- Ce valoare are r_{i1} văzută de v_{I1} cu $v_{I2} = 0\text{V}$? Dar r_{i2} văzută de v_{I2} cu $v_{I1} = 0\text{V}$? Ce valoare are r_o în condițiile de la punctul a)?

R.6.

a)

$$v^- = \frac{R_1}{R_1 + R_3} v_O + \frac{R_3}{R_1 + R_3} v_{I2}$$

$$v^- = \frac{5}{15} v_O + \frac{10}{15} v_{I2} = \frac{1}{3} v_O + \frac{2}{3} v_{I2}$$

$$v^+ = \frac{R_4}{R_2 + R_4} v_{I1}$$

$$v^+ = \frac{10}{15} v_{I1} = \frac{2}{3} v_{I1}$$

$$v_D = v^+ - v^-$$

Circuitul are R.N. astfel încât $v_D = 0$, $v^+ = v^-$.

Se obține:

$$\frac{2}{3} v_{I1} = \frac{1}{3} v_O + \frac{2}{3} v_{I2}$$

$$v_O = 2v_{I1} - 2v_{I2} = 2(v_{I1} - v_{I2})$$

b)

$$v_{I2}(t) = 3\sin \omega t [\text{V}] \text{ și } v_{I1}(t) = \text{tens. cont} = V_{I1}$$

$$v_O = 2v_{I1} - 2v_{I2} = 2(v_{I1} - v_{I2})$$

$$v_O \in [-12\text{V}; 12\text{V}]$$

$$-12 \leq 2V_{I1} - 6\sin \omega t \leq 12$$

$$-6 + 3\sin \omega t \leq V_{I1} \leq 6 + 3\sin \omega t$$

rezultă că $V_{I1} \in [-3\text{V}; 3\text{V}]$

c)

$$v_O(v_{I1}, v_{I2}) = v_{I1} - v_{I2}$$

$$v^+ = v^- \text{ rezultă că}$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_3} v_O + \frac{R_3}{R_1 + R_3} v_{I2} = \frac{R_4}{R_2 + R_4} v_{I1}$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_3} v_O = \frac{R_4}{R_2 + R_4} v_{I1} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} v_{I2}$$

$$v_O = \frac{R_4(R_1 + R_3)}{R_1(R_2 + R_4)} v_{I1} - \frac{R_3}{R_1} v_{I2}$$

Sistemul de ecuații va fi obținut prin egalarea coeficienților termenilor v_{I1} și v_{I2} :

$$\begin{cases} \frac{R_3}{R_1} = 1 \\ \frac{R_4(R_1 + R_3)}{R_1(R_2 + R_4)} = 1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_3 = R_1 \\ \frac{2R_4}{R_2 + R_4} = 1 \end{cases}$$

Rezultă:

$$\begin{cases} R_3 = R_1 \\ R_2 = R_4 \end{cases}$$

Relațiile care există între rezistențe pentru obținerea expresiei dorite a tensiunii de ieșire sunt:

$$R_1 = R_3 \text{ și } R_2 = R_4$$

d) Circuitul echivalent pentru determinarea r_{i1} este:

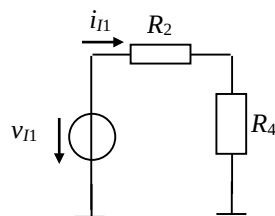


Fig.6.22.

$$r_{i1} = \frac{v_{I1}}{i_{I1}}, \text{ dar } i_{I1} = \frac{v_{I1}}{R_2 + R_4}$$

Înlocuind se obține:

$$r_{i1} = \frac{v_{I1}}{\frac{v_{I1}}{R_2 + R_4}} = \frac{v_{I1}(R_2 + R_4)}{v_{I1}}$$

adică $r_{i1} = R_2 + R_4$, $r_{i1} = 15\text{k}\Omega$.

$$r_{i2} = \frac{v_{I2}}{i_{I1}} = R_1$$

$$r_{i2} = 5\text{k}\Omega$$

$$r_o = 0$$

P.7.

Se dă circuitul din Fig. 6.23, cu AO ideal.

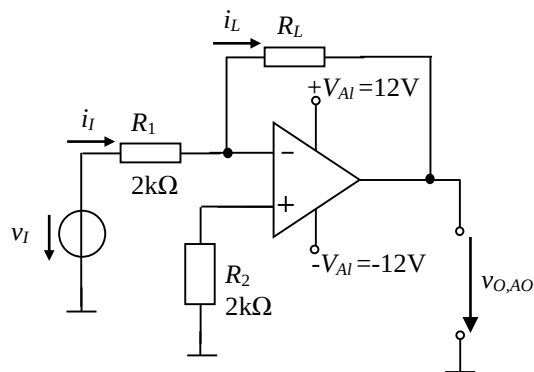


Fig. 6.23.

- Demonstrați că circuitul are R.N.
- Care este expresia $i_L(v_I)$? Ce aplicație realizează circuitul? Ce valoare are r_i a circuitului?
- Ce valoare trebuie să aibă v_I pentru a obține cu acest circuit o sursă de curent de valoarea 5mA?

R.7.

a)

$$v^- = \frac{R_1}{R_1 + R_L} v_{O,AO} + \frac{R_L}{R_1 + R_L} v_I$$

Deoarece $R_1 > 0$ și $R_L > 0$, coeficientul lui $v_{O,AO}$ este: $\frac{R_1}{R_1 + R_L} > 0$. Rezultă că circuitul are reacție negativă.

b) Curentul de intrare i_I este $i_I = \frac{v_I}{R_1}$; deoarece curentul absorbit de intrarea inversoare a AO este $i^- = 0$,

$$i_L = i_I = \frac{v_I}{R_1}.$$

Aplicația circuitului: sursă de curent cu sarcina flotantă.

$$r_i = R_1 = 2\text{k}\Omega$$

c)

$$i_L(v_I) = i_I = \frac{v_I}{R_1}, \quad v_I = R_1 i_L$$

Pentru a obține $i_L = 5\text{mA}$ $v_I = 2 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$, $v_I = 10\text{V}$.

P.8.

Se dă circuitul din Fig. 6.24, cu AO ideal.

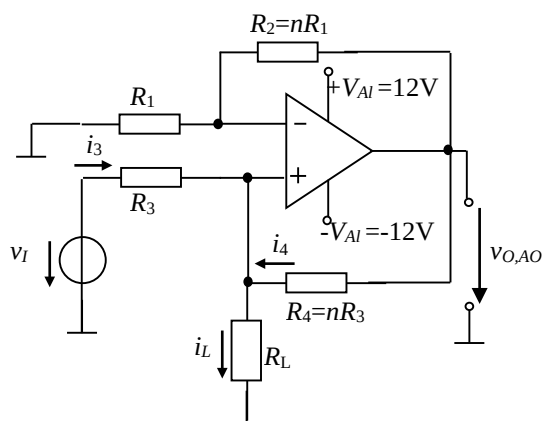


Fig. 6.24.

- Care este semnul reacției dominante a circuitului?
- Care este expresia $i_L(v_I)$? Ce aplicație realizează circuitul?
- Dimensionați circuitul pentru a obține $i_L = 10\text{mA}$.

R.8.

a)

$$v^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_{O,AO} = \frac{R_1}{(n+1)R_1} v_{O,AO} = \frac{1}{n+1} v_{O,AO}$$

Se notează $\frac{1}{n+1} = k^-$ astfel încât $v^- = k^- v_{O,AO}$

Pentru a determina influența $v_{O,AO}$ asupra intrărilor (inversoare și neinversoare a AO) se pasivizează v_I .

Pentru v_I pasivizată:

$$v^+ = \frac{R_3 \parallel R_L}{R_3 \parallel R_L + R_4} v_{O,AO} = \frac{R_3 \parallel R_L}{R_3 \parallel R_L + nR_3} v_{O,AO}$$

Se notează $\frac{R_3 \parallel R_L}{R_3 \parallel R_L + nR_3} = k^+$ astfel încât $v^+ = k^+ v_{O,AO}$

Pentru a determina reacția dominantă, trebuie determinat care din cei 2 coeficienți ai v_O (k^+ și k^-) are valoare mai mare.

$$k^- = \frac{1}{n+1}$$

$$k^+ = \frac{R_3 \parallel R_L}{R_3 \parallel R_L + nR_3}$$

dar $R_3 \parallel R_L < R_3$ astfel încât $k^+ < \frac{1}{1+n}$

Deoarece $k^- > k^+$ circuitul are R.N.

b) Deoarece circuitul are RN se va folosi ipoteza simplificatoare a RN, considerând în continuare că $v_D = 0$.

$$v^+ = v^- = \frac{1}{n+1} v_{O,AO}$$

$$i_L = i_3 + i_4 = \frac{v_I - v^+}{R_3} + \frac{v_{O,AO} - v^+}{nR_3}$$

$$i_L = \frac{v_I}{R_3} - \frac{v^+}{R_3} + \frac{v_{O,AO}}{nR_3} - \frac{v^+}{nR_3}$$

Înlocuind $v^+ = \frac{1}{n+1} v_{O,AO}$ se obține:

$$i_L = \frac{v_I}{R_3} - \frac{n \frac{1}{n+1} v_{O,AO} - v_{O,AO} + \frac{1}{n+1} v_{O,AO}}{nR_3}$$

$$i_L = \frac{v_I}{R_3} - \frac{v_{O,AO} \left(\frac{n}{n+1} - 1 + \frac{1}{n+1} \right)}{nR_3}$$

$$i_L = \frac{v_I}{R_3} - \frac{v_{O,AO} \cdot 0}{nR_3}$$

$$i_L = \frac{v_I}{R_3}.$$

c) $i_L = 10mA$

Dimensionarea circuitului se poate face prin mai multe căi. Se poate începe prin alegerea rezistenței R_3 , de exemplu $R_3 = 0.5k\Omega$.

Tensiunea de intrare v_I va fi: $v_I = i_L R_3$, adică $v_I = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0.5 \cdot 10^3$, $v_I = 5V$.

Pentru un n ales de voi, de exemplu $n = 4$, se obține $R_4 = nR_3$, $R_4 = 0.5k\Omega$, $R_4 = 2k\Omega$. Deoarece pentru celelalte rezistențe, și anume R_1, R_2, R_L nu avem alte relații de dimensionare, ele se pot alege arbitrar, dar cu respectarea condiției: $R_2 = nR_1$ (n fiind ales anterior).

Astfel circuitul poate avea: $R_1 = 1k\Omega$; $R_2 = 4k\Omega$ și $R_L = 5k\Omega$.

7. Circuite logice cu tranzistoare

P.1.

Se dă circuitul din Fig.7.1. cu $v_A, v_B \in \{0V; 10V\}$ și tensiunea de prag a tranzistoarelor $V_{Pn}=3V$. Se consideră convenția logică 0V - "0" logic; 10V- "1" logic.

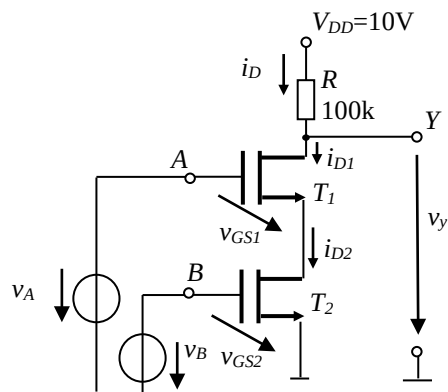


Fig. 7.1.

- Completați tabelul de funcționare electrică considerând toate combinațiile de valori pentru tensiunile v_A și v_B . Notați stările (*b*), (*cex*) ale tranzistoarelor.
- Completați tabelul de adevăr pentru circuitul din figură. Ce funcție logică realizează circuitul?
- Care este curentul maxim prin tranzistoare și pentru ce combinație a valorilor logice la intrare se obține?
- Cum arată schema inversorului logic în tehnologie CMOS? Verificați funcționarea acestuia.

R.1.

- Tranzistoarele CMOS cu canal n indus sunt în blocare pentru $v_{GS} < V_p$ și în conducție extremă pentru $v_{GS} > V_p$. Astfel, T_1 și T_2 vor fi în blocare pentru $v_A, v_B < 3V$ și în conducție extremă pentru $v_A, v_B > 3V$.

Tabelul de funcționare electrică este:

Tabel 7.1

Nr. crt.	v_A [V]	v_B [V]	T_1	T_2	v_Y [V]
1	0	0	b	b	10
2	0	10	b	cex	10
3	10	0	cex	b	10
4	10	10	cex	cex	0

Pentru prima linie din tabel, $v_A, v_B < 3V$, deci T_1 și T_2 sunt în blocare, iar curenții de drenă sunt:

$$i_{D1} = i_{D2} = i_D = 0.$$

Conform TKV:

$$v_Y = V_{DD} - i_D \cdot R \quad (1)$$

va rezulta $v_Y = V_{DD} = 10V$.

Și pentru pozițiile 2 și 3 din Tabelul 7.1 $i_D = 0$, deoarece $i_{D1} = 0$ sau $i_{D2} = 0$, v_Y fiind V_{DD} .

Pentru ultimul caz, $v_A, v_B > 3V$, deci ambele tranzistoare vor fi în conducție (se comportă ca și comutatoare închise între terminalele *Drenă* și *Sursă*, respectiv rezistența echivalentă drenă – sursă $r_{DS} = 0$), ceea ce face ca între punctul Y și masă să fie legătură directă (scurtcircuit). Astfel, $v_Y = 0V$.

b) Pentru completarea tabelului de adevăr, se consideră 0V - "0" logic; 10V - "1" logic. În tabelul de adevăr se vor regăsi doar variabile logice (și nu tensiuni!). Astfel:

Tabel 7.2

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Funcția logică realizată de circuit este $Y = \overline{A \cdot B}$ (ȘI - NU).

c) Curentul maxim prin tranzistoare se obține înlocuind $v_Y = 0V$ în ecuația (1). Se obține:

$$0 = V_{DD} - i_D \cdot R; \quad V_{DD} = i_D \cdot R; \quad i_D = \frac{V_{DD}}{R}$$

Înlocuind:

$$i_D = \frac{10V}{100K} = 0.1mA$$

d) Inversorul logic presupune existența unei singure intrări. Tabelul de adevăr pentru inversor este:

Tabel 7.3

A	Y
0	1
1	0

iar tabelul de funcționare electrică:

Tabel 7.4

$v_A [V]$	$v_Y [V]$
0	10
10	0

Din tabelele 7.3, respectiv 7.4 se observă că pentru $v_A < V_p$, $T_1 - (b)$, $v_Y = 10V$, iar pentru $v_A > V_p$, $T_1 - (c)$, $v_Y = 0V$. Acest lucru înseamnă că tranzistorul utilizat, T_1 , este un tranzistor cu canal n indus, circuitul fiind cel din Fig. 7.2.

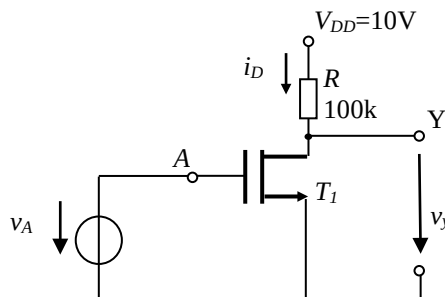


Fig. 7.2.

Pentru evitarea consumului de putere la ieșire când T_1 este blocat, rezistența R se înlocuiește cu un tranzistor MOS complementar T_p , care va fi în conducție când T_1 este blocat, și respectiv în blocare când T_1 este în conducție. Acest tranzistor va fi cu canal p indus și va fi comandat de aceeași tensiune de intrare v_A . Schema finală a inversorului logic în tehnologie CMOS este prezentată în Fig. 7.3.

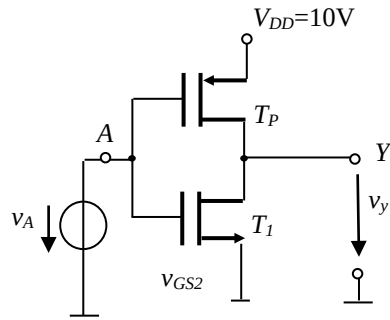


Fig. 7.3.

Verificarea funcționării inversorului se face cu ajutorul tabelelor electric – Tabelul 7.5 și a celui de adevăr – Tabelul 7.6.

Tabel 7.5

v_A [V]	T_1	T_p	v_Y [V]
0	b	c	V_{DD}
10	c	b	0

Tabel 7.6

A	Y
0	1
1	0

P.2.

Se dă circuitul din Fig.7.4, unde pentru tranzistoarele T_{ni} , $V_{Pn}=3V$ iar pentru tranzistoarele T_{pi} , $V_{Pp}= -3V$. Toate tranzistoarele lucrează ca întrerupătoare ideale, cu $v_A, v_B \in \{0V; 10V\}$. Se consideră convenția logică: 0V-“0”; 10V-“1”.

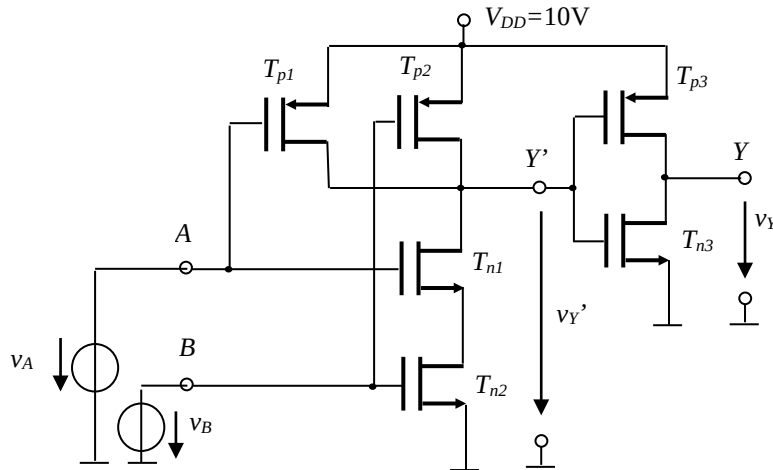


Fig. 7.4.

- Completați tabelul de funcționare electrică a circuitului, precizând atât valoarea tensiunii de ieșire $v_{Y'}$ cât și a tensiunii de ieșire v_Y . Pentru fiecare linie din tabel, precizați starea fiecărui tranzistor din schemă ((b) sau (cex)).
- Cum arată tabelul de adevăr al circuitului cu ieșirea Y' ? Ce funcție logică realizează circuitul cu ieșirea Y' ?
- Cum arată tabelul de adevăr al circuitului cu ieșirea Y ? Ce funcție logică realizează circuitul cu ieșirea Y ?

R.2.

Tranzistoarele T_{ni} sunt în conducție extremă pentru $v_{GSi} > V_{pn}$ și în blocare pentru $v_{GSi} < V_{pn}$ (deoarece sunt tranzistoare cu canal n indus). Tranzistoarele T_{pi} sunt în conducție extremă pentru $v_{GSi} < V_{pp}$ și în blocare pentru $v_{GSi} > V_{pp}$ (deoarece sunt tranzistoare cu canal p indus). Astfel, tabelul de funcționare electrică a circuitului este:

Tabel 7.7

v_A [V]	v_B [V]	T_{p1}	T_{p2}	T_{n1}	T_{n2}	v'_Y [V]	T_{p3}	T_{n3}	v_Y [V]
0	0	cex	cex	b	b	10	b	cex	0
0	10	cex	b	b	cex	10	b	cex	0
10	0	b	cex	cex	b	10	b	cex	0
10	10	b	b	cex	cex	0	cex	b	10

Pentru $v_A = 0V$, T_{p1} este în conducție extremă, deoarece $v_{GS, T_{p1}} = v_{G, T_{p1}} - v_{S, T_{p1}}$, adică $v_{GS, T_{p1}} = v_A - V_{DD} \Rightarrow v_{GS, T_{p1}} = -10V$. Astfel $v_{GS, T_{p1}} < V_{pp}$ ($-10V < -3V$).

De asemenea, pentru $v_A = 0V$, T_{n1} este în blocare, deoarece $v_{GS, T_{n1}} = v_{G, T_{n1}} - v_{S, T_{n1}}$, adică $v_{GS, T_{n1}} = v_A - 0V \Rightarrow v_{GS, T_{n1}} = 0V$. Astfel $v_{GS, T_{n1}} < V_{pn}$ ($0V < 3V$).

b) Tabelul de adevăr al circuitului cu ieșirea Y' se obține prin înlocuirea valorilor de tensiune din tabelul de funcționare electrică cu valorile de adevăr corespunzătoare - Tabel 7.8.

Tabel 7.8

A	B	Y'
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Funcția logică realizată de circuitul cu ieșirea Y' este $Y' = \overline{A \cdot B}$ (ȘI - NU).

c) Tabelul de adevăr pentru circuitul cu ieșirea Y este:

Tabel 7.9

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Funcția logică realizată este $Y = A \cdot B$.

P.3.

Se dă circuitul din Fig.7.5, unde pentru T_1, T_2, T_3, T_4 , $V_{Pn}=3V$, iar pentru T_5 , $V_{Pp}=-3V$. Tranzistoarele T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 lucrează ca întrerupătoare ideale iar $v_A, v_B, v_C \in \{0V; 10V\}$. Se consideră convenția logică: 0V-“0”; 10V-“1”.

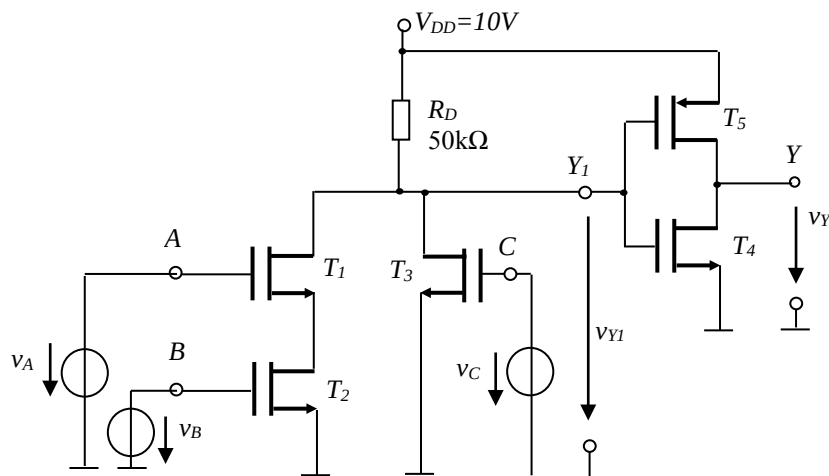


Fig. 7.5.

- Completați tabelul de funcționare electrică a circuitului, precizând atât valoarea tensiunii de ieșire v_{Y1} cât și a tensiunii de ieșire v_Y . Pentru fiecare linie din tabel, precizați starea fiecărui tranzistor din schemă ((b) sau (cex.)).
- Cum arată tabelul de adevăr al circuitului cu ieșirea Y_1 ? Ce funcție logică realizează circuitul cu ieșirea Y_1 ?
- Cum arată tabelul de adevăr al circuitului cu ieșirea Y ? Ce funcție logică realizează circuitul cu ieșirea Y ?

R.3.

- Tranzistoarele T_1, T_2, T_3, T_4 sunt tranzistoare cu canal n indus și vor fi în conducție extremă pentru $v_{GSi} > V_{Pn}$ și în blocare pentru $v_{GSi} < V_{Pn}$. Tranzistorul T_5 este tranzistor cu canal p indus și va fi în conducție extremă pentru $v_{GS} < V_{Pp}$ și în blocare pentru $v_{GS} > V_{Pp}$.

Tabelul de funcționare electrică a circuitului este:

Tabel 7.10

$v_A [V]$	$v_B [V]$	$v_C [V]$	T_1	T_2	T_3	$v_{Y1} [V]$	T_5	T_4	$v_Y [V]$
0	0	0	b	b	b	10	b	cex	0
0	0	10	b	b	cex	0	cex	b	10
0	10	0	b	cex	b	10	b	cex	0
0	10	10	b	cex	cex	0	cex	b	10
10	0	0	cex	b	b	10	b	cex	0
10	0	10	cex	b	cex	0	cex	b	10
10	10	0	cex	cex	b	0	cexb	b	10
10	10	10	cex	cex	cex	0	cex	b	10

b) Tabelul de adevăr pentru circuitul cu ieșirea Y_1 este:

Tabel 7.11

A	B	C	Y_1
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

Funcția logică este $Y_1 = \overline{A \cdot B + C}$.

c) Tabelul de adevăr pentru circuitul cu ieșirea Y este:

Tabel 7.12

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Funcția logică este $Y = A \cdot B + C$

Se observă că aceeași funcție logică se obține și dacă se analizează legătura dintre ieșirea circuitului v_{Y1} și ieșirea circuitului v_Y . Tranzistoarele T_5 și T_4 sunt conectate astfel încât funcția logică realizată de acestea este NU, ceea ce înseamnă că ieșirea Y va fi întotdeauna inversul funcției logice obținute la ieșirea Y_1 .

8. Regiuni de funcționare ale tranzistoarelor. Polarizare în curent continuu

P.1.

Se consideră circuitul din figură, pentru care $\beta = 100$ și $v_{BE,on} = 0.7V$:

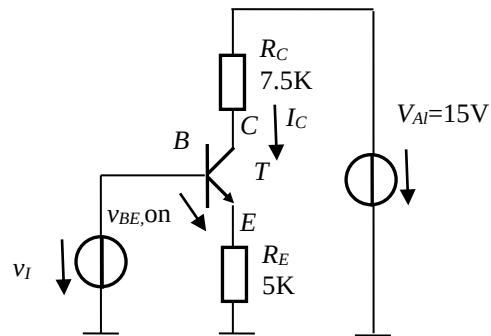


Fig. 8.1.

- În ce regiune de funcționare este tranzistorul pentru $V_I = 0.3V$? Explicați.
- În ce regiune de funcționare este tranzistorul pentru $V_I = 3.2V$? Explicați.
- În ce regiune de funcționare este tranzistorul pentru $V_I = 8.7V$? Explicați.
- Care este domeniul valorilor v_I pentru care tranzistorul funcționează în regiunea activă?

R.1.

- Pentru $V_I = 0.3V$ T se află în regiunea de blocare, deoarece fiind un tranzistor bipolar (TB) de tip npn, acesta este în blocare pentru $v_I < v_{BE,on}$ ($0.7V$).
- Deoarece $v_I > v_{BE,on}$, se verifică dacă T lucrează în regiunea activă (a_F) sau în regiunea de saturație (cex). Schema completă, cu reprezentarea tuturor curenților și tensiunilor ce apar în circuit, este:

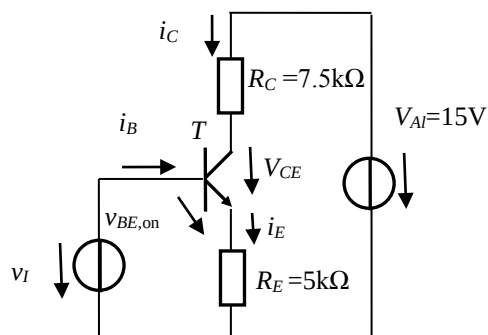


Fig. 8.2.

În regiunea activă, $i_C = \beta \cdot i_B$ sau $i_B < \frac{i_{Cex}}{\beta}$ sau $i_C < i_{Cex}$.

În regiunea de saturație, $i_C < \beta \cdot i_B$ sau $i_B > \frac{i_{Cex}}{\beta}$ sau $i_C > i_{Cex}$ și $V_{CE, sat} = 0.2V$. Deoarece I_B este foarte mic, se consideră $I_C \approx I_E$.

Curentul I_C se calculează folosind TKV pe ochiul de circuit format din v_I , joncțiunea BE a tranzistorului T și rezistența R_E (se alege un sens de parcurgere a ochiului și se scrie TKV):

$$-v_I + v_{BE, on} + I_C \cdot R_E = 0$$

$$I_C = \frac{v_I - v_{BE, on}}{R_E}$$

$$I_C = \frac{3.2 - 0.7}{5 \cdot 10^3} = 0.5mA$$

Curentul I_{Cex} se determină din ochiul de circuit format din V_{Al} , R_C , joncțiunea CE a tranzistorului T și considerând $V_{CE, ex} = 0.2V$:

$$-V_{Al} + I_{Cex} \cdot R_C + V_{CE, ex} + I_{Cex} \cdot R_E = 0$$

$$I_{Cex} = \frac{V_{Al} - V_{CE, ex}}{R_C + R_E}$$

$$I_{Cex} = \frac{15 - 0.2}{12.5 \cdot 10^3} = 1.184mA$$

Comparând I_C cu I_{Cex} se observă că $I_C < I_{Cex}$ ($0.5mA < 1.184mA$), ceea ce înseamnă că T funcționează în regiunea activă.

c) Recalculăm I_C pentru cazul în care $V_I = 8.7V$ și recomparam cu I_{Cex} :

$$I_C = \frac{8.7 - 0.7}{5 \cdot 10^3} = 1.6mA$$

Se observă că $I_C > I_{Cex}$ ($1.6mA > 1.184mA$), ceea ce înseamnă că T funcționează în regiunea de saturație.

d) Ecuația de la care se pornește pentru determinarea domeniului de valori v_I pentru care T funcționează în regiunea activă este:

$$I_C < I_{Cex}$$

Așadar:

$$\frac{v_I - v_{BE, on}}{R_E} < \frac{V_{Al} - V_{CE, ex}}{R_C + R_E}$$

$$V_I < I_{Cex} \cdot R_E + v_{BE, on}$$

$$V_I < 5 \cdot 10^3 \cdot 1.184 \cdot 10^{-3} + 0.7$$

$$V_I < 6.62V$$

Nu trebuie uitat faptul că v_I trebuie să fie $v_I > v_{BE, on}$ pentru ca T să nu fie în regiunea de blocare. Astfel, domeniul valorilor v_I pentru care T funcționează în regiunea activă este:

$$V_I \in [0.7V; 6.62V].$$

P.2.

Se consideră circuitul din Fig.8.3, pentru care $\beta = 100$ și $v_{EB,on} = 0.7V$

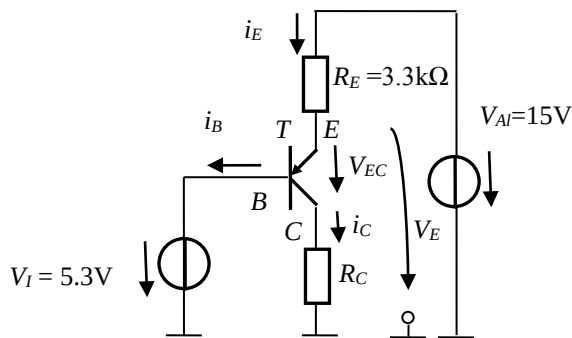


Fig. 8.3.

- Care este valoarea curentului de colector I_C ?
- În ce domeniu poate lua valori R_C astfel încât T să funcționeze în regiunea activă? Dar în regiunea de saturație?
- Care este potențialul în emitor V_E și ce valoare are tensiunea emitor-colector V_{EC} pentru $R_C = 0.7k\Omega$?

R.2.

- Tranzistorul din figură este de tip pnp și are $v_{EB,on} = 0.7V$.

Considerăm $I_B = 0$ și rezultă $I_C = I_E$.

Se calculează I_E din ochiul de circuit format din V_{Al} , R_E , joncțiunea BE a tranzistorului T și V_I :

$$-V_{Al} + I_E \cdot R_E + v_{EB,on} + V_I = 0$$

$$I_E = \frac{V_{Al} - v_{EB,on} - V_I}{R_E}$$

$$I_E = \frac{15 - 0.7 - 5.3}{3.3 \cdot 10^3} = 2.72mA$$

$$I_C = I_E = 2.72mA$$

- Pentru ca T să funcționeze în regiunea activă, $I_C < I_{Cex}$. Curentul I_{Cex} se determină din ochiul de circuit format din V_{Al} , R_E , joncțiunea EC a tranzistorului T și R_C și considerând $V_{EC} = V_{EC,ex} = 0.2V$:

$$-V_{Al} + I_E \cdot R_E + V_{EC} + I_C \cdot R_C = 0$$

Dar $I_C = I_E$ și rezultă

$$I_{Cex} = \frac{V_{Al} - V_{EC,ex}}{R_C + R_E}$$

Înlocuind cu relația obținută pentru I_C la punctul a), $I_C < I_{Cex}$ devine:

$$\frac{V_{Al} - v_{EB,on} - V_I}{R_E} < \frac{V_{Al} - V_{EC,ex}}{R_C + R_E}$$

$$2.72 \cdot 10^{-3} < \frac{14.8}{R_C + R_E}$$

$$2.72 \cdot 10^{-3} (R_C + R_E) < 14.8$$

$$R_C < \frac{14.8 - 2.72 \cdot 3.3}{2.72 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_C < \frac{5.82}{2.72 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_C < 2.14k\Omega$$

$$R_C \in [0; 2.14k\Omega]$$

c) Potențialul în emitor V_E se poate determina din ochiul de circuit format din V_{A1} , R_E și V_E :

$$\begin{aligned} -V_{A1} + I_E \cdot R_E + V_E &= 0 \\ V_E &= V_{A1} - I_E \cdot R_E \\ V_E &= 6V \end{aligned}$$

Tensiunea emitor-colector V_{EC} se determină din ochiul de circuit format din V_E , joncțiunea EC a tranzistorului și R_C :

$$-V_E + V_{EC} + I_C \cdot R_C = 0$$

Înlocuim valoarea potențialului în emitor determinată anterior și astfel se poate calcula tensiunea V_{EC} :

$$V_{EC} = V_E - I_C \cdot R_C$$

$$V_{EC} = 6 - 2.72 \cdot 10^{-3} \cdot 0.7 \cdot 10^3$$

$$V_{EC} = 4.1V$$

P.3.

Se consideră circuitul din Fig. 8.4, pentru care $\beta = 100$ și $v_{BE,on} = 0.7V$

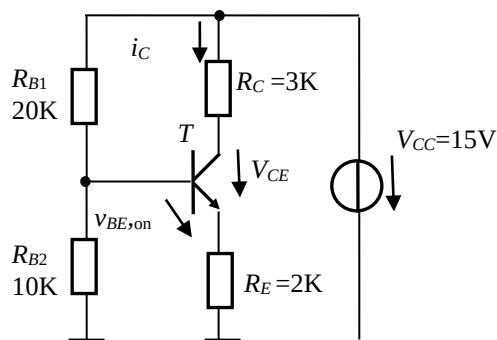


Fig. 8.4.

- Calculați punctul static de funcționare al tranzistorului $Q(I_C, V_{CE})$.
- Reprezentați pe figură potențialele în cele trei terminale ale tranzistorului și determinați valorile acestora.
- Dacă R_C se înlocuiește cu o altă rezistență $R_{C1} = 8k\Omega$ care este noul punct static de funcționare al T , $Q_1(I_{C1}, V_{CE1})$?

R.3.

a) Schema circuitului, completată cu sensurile pozitiv alese pentru tensiuni și curenți, este:

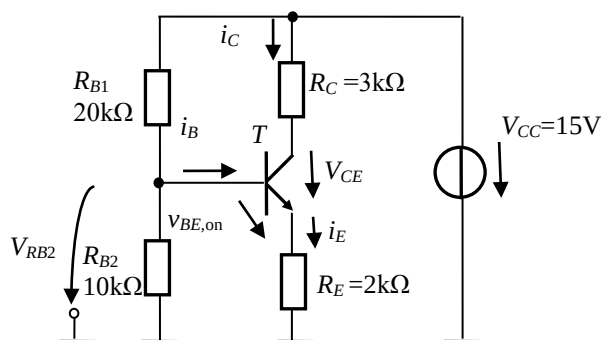


Fig. 8.5.

Deoarece I_B este foarte mic și $I_C = I_E + I_B$, rezultă $I_C = I_E$. Tot din acest motiv, tensiunea continuă din baza tranzistorului poate fi calculată folosind divizorul de tensiune. Astfel:

$$V_{RB2} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC}$$

$$V_{RB2} = \frac{10k}{30k} \cdot 15V = 5V$$

În ochiul de circuit format din R_{B2} , joncțiunea BE a tranzistorului T și R_E se aplică TKV (se alege un sens arbitrar de parcurgere a circuitului, de exemplu în sensul acelor de ceasornic). În acest ochi, singura tensiune necunoscută este V_{RE} ($V_{RB2} = 5V$ și $v_{BE,on} = 0.7V$).

$$-V_{RB2} + v_{BE,on} + V_{RE} = 0$$

$$V_{RE} = V_{RB2} - v_{BE,on}$$

$$V_{RE} = 5 - 0.7 = 4.3V$$

Curentul I_C se calculează folosind legea lui Ohm pentru tensiunea V_{RE} :

$$V_{RE} = I_E \cdot R_E$$

Dar $I_C = I_E$ și astfel

$$I_C = \frac{V_{RE}}{R_E}$$

$$I_C = \frac{4.3V}{2k\Omega} = 2.15mA$$

Pentru determinarea tensiunii V_{CE} se aplică TKV în ochiul de circuit format din V_{CC} , R_C , V_{CE} și R_E , alegându-se un sens de parcurgere.

$$-V_{CC} + I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_C \cdot R_E = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = 15 - 2.15 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3$$

$$V_{CE} = 4.25V$$

Punctul static de funcționare al tranzistorului este $Q(2.15mA; 4.25V)$.

b) Potențialale în cele trei terminale ale tranzistorului sunt reprezentate în Fig.8.6.

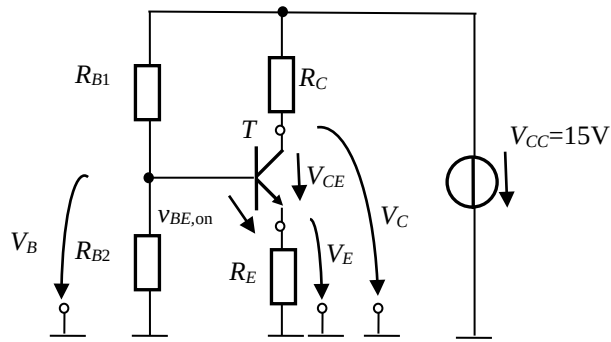


Fig. 8.6.

Potențialul în bază, V_B , este deja calculat la punctul a), deoarece $V_B = V_{RB2} = 5V$.

Potențialul în emitor V_E este:

$$V_E = I_C \cdot R_E$$

$$V_E = 2.15 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 = 4.3V$$

Potențialul în emitor V_C se poate calcula în două moduri:

$$i) V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$V_C = 15 - 2.15 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 = 8.55V$$

$$ii) V_C = V_{CE} + V_E$$

$$V_C = 4.25 + 4.3 = 8.55V$$

c) Dacă se înlocuiește rezistența R_C cu $R_{C1} = 8k\Omega$, se va modifica doar V_{CE} , deoarece ochiul de circuit din care se determină valoarea I_C nu se modifică.

$$I_C = I_{C1} = 2.15mA$$

Noua valoare a tensiunii V_{CE1} este:

$$V_{CE1} = V_{CC} - I_{C1} \cdot (R_{C1} + R_E)$$

$$V_{CE1} = 15 - 2.15 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3$$

$$V_{CE1} = -6V$$

Noul punct static de funcționare al tranzistorului este $Q1(2.15mA; -6V)$, ceea ce înseamnă că T nu mai lucrează în regiunea activă.

P.4.

Pentru tranzistorul T din Fig. 8.7 se cunosc $v_{BE,on}=0.7V$ și $\beta=100$.

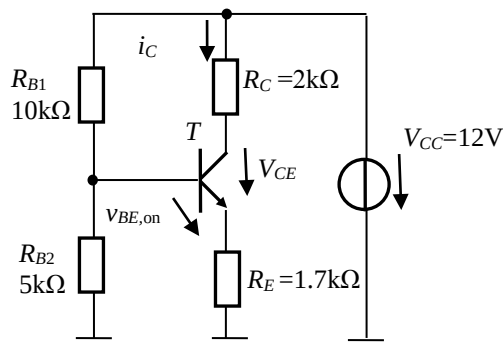


Fig. 8.7.

- Determinați punctul static de funcționare $Q(I_C, V_{CE})$.
- În ce regiune de funcționare se află tranzistorul? Justificați.
- Redimensionați R_C astfel încât punctul static $Q(I_C, V_{CE})$ să aibă valoarea $Q(2mA, 6V)$.

R.4.

Schema circuitului, completată cu tensiunile și curenții ce apar este prezentată în Fig. 8.8:

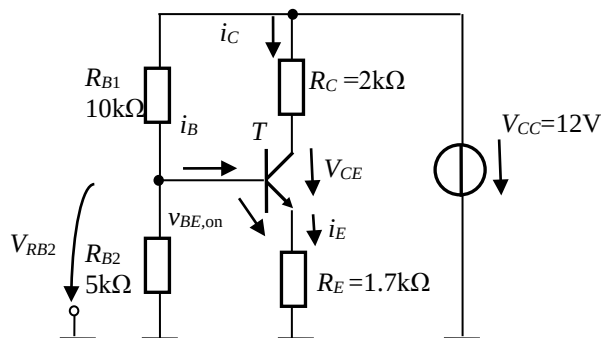


Fig. 8.8.

- Considerăm $I_B = 0$ și rezultă $I_C = I_E$.
Curentul din PSF va fi:

$$I_C = I_E = \frac{V_{RB2} - v_{BE,on}}{R_E} \quad (1)$$

iar V_{RB2} se determină din divizorul de tensiune R_{B1}, R_{B2}, V_{CC} :

$$V_{RB2} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC}$$

$$V_{RB2} = \frac{5 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} \cdot 12V = 4V$$

Înlocuind în (1) se obține:

$$I_C = \frac{4 - 0.7}{1.7 \cdot 10^3} = 2mA$$

Al doilea parametru al PSF, V_{CE} , este:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E) \quad (2)$$

$$V_{CE} = 15 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 3.7 \cdot 10^3$$

$$V_{CE} = 4.6V$$

PSF obținut este $Q(2mA; 4.6V)$.

b) Deoarece $V_{RB2} > v_{BE, on}$, T se află în regiunea activă sau în regiunea de saturație.

Se calculează I_{Cex} și se compară cu I_C obținut mai sus pentru a determina regiunea în care funcționează T .

$$I_{Cex} = \frac{V_{CC} - V_{CE,ex}}{R_C + R_E}$$

$$I_{Cex} = \frac{11.8}{3.7 \cdot 10^3}$$

$$I_{Cex} = 3.2mA$$

Pentru circuitul dat, $I_C < I_{Cex}$ ($2mA < 3.2mA$). Tranzistorul funcționează în regiunea activă directă.

c) Pentru redimensionarea rezistenței R_C , se folosește relația (2) cu ajutorul căreia s-a determinat tensiunea V_{CE} . Noua valoare a R_C va fi dată de ecuația:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - I_C \cdot R_E}{I_C}$$

$$R_C = \frac{12 - 6 - 2 \cdot 1.7}{2 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_C = 1.3k\Omega$$

P.5. Pentru circuitul din Fig. 8.9 se dă caracteristica de comandă $i_D(v_{GS})$ a tranzistorului.

Să se determine starea de conducție a tranzistorului în următoarele cazuri:

- $v_I = 1.8V$;
- $v_I = 6V$;
- În ce domeniu poate lua valori v_I pentru ca tranzistorul să fie în conducție extremă?

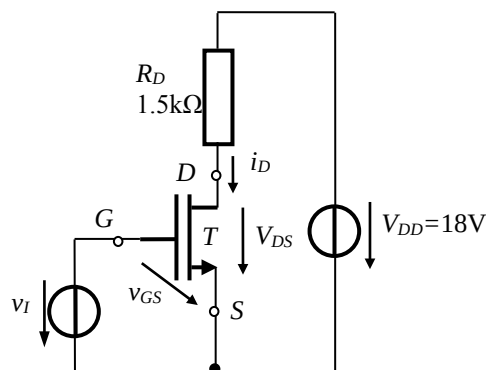
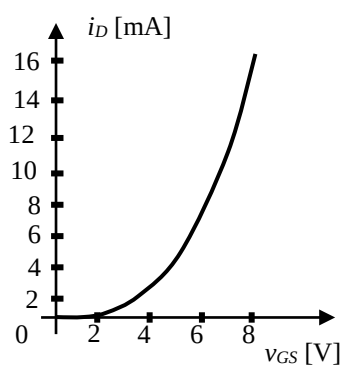


Fig. 8.9.

R.5.

Din caracteristica de comandă $i_D(v_{GS})$ a T se observă că $V_P = 2V$ (V_P este valoarea v_{GS} la care T începe să conducă și $I_D \neq 0$).

Tranzistorul T este un tranzistor MOS cu canal n indus, ceea ce înseamnă că este în blocare pentru $v_{GS} < V_P$ și în conducție pentru $v_{GS} > V_P$.

a) $v_I = 1.8V$

Se calculează tensiunea v_{GS} și se compară cu V_P .

$$v_{GS} = V_G - V_S$$

Dar $V_G = v_I$ și $V_S = 0$, de unde rezultă $v_{GS} = 1.8V$. Deoarece $v_{GS} < V_P$ tranzistorul este în blocare.

b) $v_I = 6V$

Folosind același raționament de la punctul a), $v_{GS} = v_I = 6V$. Deoarece $v_{GS} > V_P$ tranzistorul este în conducție, în regiunea activă directă (a_F) sau în regiunea de saturație (cex).

Pentru determinarea regiunii de funcționare, se determină v_{DS} și se compară cu $v_{DS, sat}$.

Pentru regiunea activă directă, $v_{DS} > v_{DS, sat}$.

$$v_{DS, sat} = v_{GS} - V_P$$

$$v_{DS, sat} = 6 - 2 = 4V$$

Tensiunea v_{DS} se determină din ochiul de circuit format din V_{DD} , R_D și joncțiunea DS a T . Astfel:

$$-V_{DD} = I_D \cdot R_D + v_{DS}$$

$$v_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D \quad (1)$$

Curentul prin drena tranzistorului, pentru cazul în care T este în regiunea (a_F), se determină cu relația:

$$i_D = \beta \cdot (v_{GS} - V_P)^2$$

Pentru circuitul de față utilizăm caracteristica de comandă a T pentru a afla valoarea curentului i_D . Se citește valoarea i_D pentru $v_{GS} = 6V$. Astfel, $i_D = 8mA$. Înlocuind în ecuația (1) se obține:

$$v_{DS} = 18 - 8 \cdot 10^{-3} \cdot 1.5 \cdot 10^3$$
$$v_{DS} = 6V$$

Deoarece pentru $v_I = 6V$ s-a obținut $v_{DS} > v_{DS, sat}$ ($6V > 4V$), T funcționează în regiunea activă directă.

c) Valoarea minimă a tensiunii v_{GS} , notată în continuare $v_{GS, min}$, pentru care T este în conducție extremă (cex) este cea corespunzătoare plasării tranzistorului pe curba $v_{DS, sat}$.

$$v_{DS, sat} = v_{GS, min} - V_P$$

Totodată, avem:

$$v_{DS, sat} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$$

Din egalitatea celor două relații se obține:

$$V_{DD} - I_D \cdot R_D = v_{GS, min} - V_P$$

iar

$$i_D = \beta (v_{GS} - V_P)^2$$

Astfel:

$$V_{DD} - R_D \cdot \beta \cdot (v_{GS, \min} - V_P)^2 = v_{GS, \min} - V_P$$

Dar $v_{GS, \min} = v_{I, \min}$. Se notează $v_{I, \min} - V_P = V_X$ și se rezolvă ecuația de gradul 2 cu necunoscuta V_X .

Valoarea β se determină utilizând caracteristica de comandă a T - pentru $v_{GS} = 6V$, $i_D = 8mA$. Astfel,

$$\beta = \frac{i_D}{(v_{GS} - V_P)^2} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{(6 - 2)^2} = 0.5 mA/V^2$$

Ecuația de gradul 2 cu necunoscuta V_X devine:

$$18 - 1.5 \cdot 10^3 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot V_X^2 = V_X \\ - 0.75 \cdot V_X^2 - V_X + 18 = 0$$

Se obțin două soluții:

$$V_{X1} = 4.26V; V_{X2} = -5.6V;$$

Pentru ca T să funcționeze în regiunile de conducție (activă directă sau conducție extremă), trebuie ca $v_I > V_P$, adică $v_I - V_P > 0$, ceea ce înseamnă că din cele două valori posibile obținute pentru V_X , se va alege $V_X = V_{X1} = 4.26V$. Astfel, $v_{I, \min}$ pentru care T funcționează în regiunea de conducție este $v_{I, \min} = 6.26V$.

P.6.

Pentru T din Fig. 8.10 se cunosc $V_P = 2.5V$ și $\beta = 2mA/V^2$.

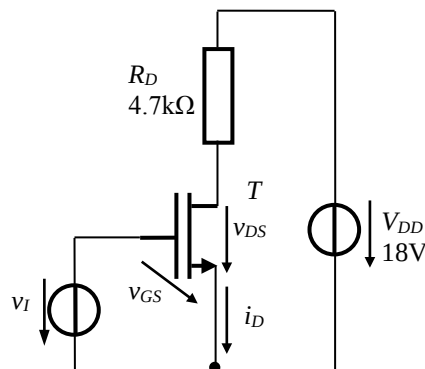


Fig. 8.10.

- În ce regiune de funcționare se află T pentru $v_I = 2V$? Justificați răspunsul.
- În ce regiune de funcționare se află T pentru $v_I = 3.5V$? Care este punctul static de funcționare?
- În ce regiune de funcționare se află T pentru $v_I = 4.5V$? Justificați răspunsul.
- Redimensionați rezistența R_D astfel încât punctul static de funcționare al T să devină Q (2mA; 10V), pentru $v_I = 3.5V$.

R.6.

Tranzistorul T este un tranzistor MOS cu canal n indus, ceea ce înseamnă că este în blocare pentru $v_{GS} < V_P$ și în conducție pentru $v_{GS} > V_P$. Pentru circuitul din Fig. 8.10, $v_{GS} = v_I$

- Pentru $v_I = 2V$, $v_{GS} < V_P$ ($2V < 2.5V$), tranzistorul T este blocat.

b) Pentru $v_I = 3.5V$, $v_{GS} = 3.5V$. Deoarece $v_{GS} > V_P$ tranzistorul este în conducție, în regiunea activă directă (a_F) sau în regiunea de saturație (cex).

Pentru determinarea regiunii de funcționare, se determină v_{DS} și se compară cu $v_{DS, sat}$.

$$\begin{aligned} v_{DS, sat} &= v_{GS} - V_P \\ v_{DS, sat} &= 3.5 - 2.5 = 1V \end{aligned}$$

Tensiunea v_{DS} se determină din ochiul de circuit format din V_{DD} , R_D și joncțiunea DS a T . Astfel:

$$\begin{aligned} -V_{DD} + I_D \cdot R_D + v_{DS} &= 0 \\ v_{DS} &= V_{DD} - I_D \cdot R_D \end{aligned}$$

Curentul prin drena tranzistorului, pentru cazul în care T este în regiunea (a_F) se determină cu relația:

$$\begin{aligned} i_D &= \beta \cdot (v_{GS} - V_P)^2 \\ i_D &= 2 \cdot 10^{-3} \cdot (3.5 - 2.5)^2 \\ i_D &= 2mA \\ v_{DS} &= 18 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 4.7 \cdot 10^3 \\ v_{DS} &= 8.6V \end{aligned}$$

Deoarece pentru $v_I = 3.5V$ s-a obținut $v_{DS} > v_{DS, sat}$ ($8.6V > 1V$), T funcționează în regiunea activă directă. Punctul static de funcționare este Q ($2mA$; $8.6V$).

c) $v_I = v_{GS} = 4.5V$. Deoarece $v_{GS} > V_P$ tranzistorul este în conducție, în regiunea activă directă (a_F) sau în regiunea de saturație (cex).

Pentru determinarea regiunii de funcționare, se determină v_{DS} și se compară cu $v_{DS, sat}$.

Pentru regiunea activă directă, $v_{DS} > v_{DS, sat}$

$$\begin{aligned} v_{DS, sat} &= v_{GS} - V_P \\ v_{DS, sat} &= 4.5 - 2.5 = 2V \end{aligned}$$

Tensiunea v_{DS} se determină din ochiul de circuit format din V_{DD} , R_D și joncțiunea DS a T . Astfel:

$$\begin{aligned} -V_{DD} + I_D \cdot R_D + v_{DS} &= 0 \\ v_{DS} &= V_{DD} - I_D \cdot R_D \end{aligned}$$

Presupunem că T este în regiunea (a_F). Curentul prin drena tranzistorului se determină cu relația:

$$\begin{aligned} i_D &= \beta \cdot (v_{GS} - V_P)^2 \\ i_D &= 2 \cdot 10^{-3} \cdot (4.5 - 2.5)^2 \\ i_D &= 8mA \\ v_{DS} &= 18 - 8 \cdot 10^{-3} \cdot 4.7 \cdot 10^3 \\ v_{DS} &= -19.6V \end{aligned}$$

Deoarece tensiunea v_{DS} nu poate fi negativă, presupunerea că T este în regiunea (a_F) este falsă, ceea ce înseamnă că T funcționează în regiunea de conducție extremă (cex).

d) Pentru $v_I = 3.5V$ se rescriu ecuațiile pentru determinarea I_D , V_{DS} , lăsând ca necunoscută rezistența R_D :

$$v_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D \quad (1)$$

$$i_D = \beta \cdot (v_{GS} - V_P)^2 \quad (2)$$

Din cele două ecuații se folosește doar prima, deoarece doar aici apare rezistența R_D și este singura necunoscută. Astfel:

$$R_D = \frac{V_{DD} - v_{DS}}{i_D}$$

$$R_D = \frac{18 - 10}{2 \cdot 10^{-3}}$$

Noua valoare a R_D este $R_D = 4k\Omega$.

Verificare:

$$v_{DS} = 18 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^3$$

$$v_{DS} = 10V$$

P.7.

Pentru T din Fig. 8.11 se cunosc $V_P = 3V$; $\beta = 0.2 \text{ mA/V}^2$.

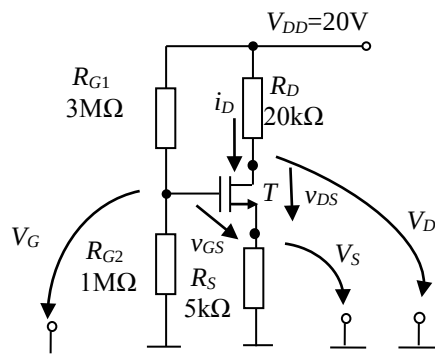


Fig. 8.11.

- Care este punctul static de funcționare $Q(I_D, V_{DS})$?
- Care sunt potențialele în fiecare din cele trei terminale ale tranzistorului V_G, V_S, V_D ?

R.7.

a) Pentru determinarea tensiunii v_{DS} , se scrie TKV în ochiul de circuit format din V_{DD} , R_D și joncțiunea DS a T . Astfel:

$$v_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S) \quad (1)$$

Curentul prin drena tranzistorului este:

$$i_D = \beta \cdot (v_{GS} - V_P)^2 \quad (2)$$

În ecuația (2) nu se cunoaște valoarea tensiunii v_{GS} . Se aplică TKV în ochiul format din R_{G2} , joncțiunea DS a T și R_S și se obține:

$$v_{GS} = V_G - V_S = V_{RG2} - V_{RS}$$

Tensiunea V_{RG2} se determină din divizorul de tensiune R_{G1} , R_{G2} , V_{DD} :

$$V_{RG2} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD}$$

$$V_{RG2} = \frac{1 \cdot 10^6}{4 \cdot 10^6} \cdot 20 = 5V$$

Tensiunea V_{RS} se calculează folosind legea lui Ohm:

$$V_{RS} = i_D \cdot R_S$$

Înlocuind în ecuația (2) se obține:

$$i_D = \beta \cdot (V_{RG2} - V_{RS} - V_P)^2$$

$$i_D = 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot (5 - i_D \cdot R_S - 3)^2$$

Se obține o ecuație de gradul 2 în care necunoscuta este i_D :

$$i_D = 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot (2 - 5 \cdot i_D)^2$$

$$5 \cdot i_D^2 - 5 \cdot i_D + 0.8 = 0$$

Se obțin două soluții:

$$i_{D1} = 0.8mA; i_{D2} = 0.2mA;$$

Deoarece ambele valori sunt pozitive, se va lucra în continuare cu ambele. Înlocuind în ecuația (1) se obțin două valori pentru v_{DS} :

$$(i) \quad v_{DS1} = V_{DD} - i_{D1} \cdot (R_D + R_S)$$

$$v_{DS1} = 20 - 0.8 \cdot 10^{-3} \cdot 25 \cdot 10^3$$

$$v_{DS1} = 0V$$

Pentru a considera potrivita aceasta valoare pentru v_{DS} , se compară v_{DS} cu $v_{DS, sat}$.

$$v_{DS, sat1} = v_{GS1} - V_P$$

$$v_{DS, sat1} = 5 - 0.8 \cdot 5 - 3 = -2 V$$

Valoarea i_{D1} nu este potrivită, deoarece $v_{DS, sat1} < 0V$.

$$(ii) \quad v_{DS2} = V_{DD} - i_{D2} \cdot (R_D + R_S)$$

$$v_{DS2} = 20 - 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 25 \cdot 10^3$$

$$v_{DS2} = 15V$$

Pentru a considera potrivita aceasta valoare se compară din nou v_{DS} cu $v_{DS, sat}$.

$$v_{DS, sat2} = v_{GS2} - V_P$$

$$v_{DS, sat2} = 5 - 0.2 \cdot 5 - 3 = 1 V$$

Pentru valoarea curentului $i_D = i_{D2}$, $v_{DS} > v_{DS, sat2}$. Așadar, valorile corecte pentru punctul static de funcționare sunt:

$$Q (0.2mA; 15V).$$

b) Potențialele în cele 3 terminale ale tranzistorului sunt V_G , V_S , V_D .
 V_G este deja calculat:

$$V_G = V_{RG2} \Rightarrow V_G = 5V.$$

Tensiunea V_S se obține utilizând legea lui Ohm:

$$V_S = i_D \cdot R_D$$

$$V_S = 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3$$

$$V_S = 1V$$

Tensiunea V_D se poate calcula în două moduri, obținându-se același rezultat:

$$V_D = V_{DD} - i_D \cdot R_D$$

$$V_D = 20 - 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^3$$

$$V_D = 16V$$

sau

$$V_D = V_{DS} + i_D \cdot R_S = V_{DS} + V_S$$

$$V_D = 15 + 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3$$

$$V_D = 16V$$

P.8. Pentru circuitul din Fig. 8.12 se cunosc:

$$V_{AI} = \pm 12V, R_G = 250k\Omega, R_D = 5.6k\Omega, I = 1.6mA, \beta = 0.1mA/V^2, V_p = 0.5V.$$

- Care sunt potențialele în cele trei terminale ale tranzistorului V_G , V_S , V_D ?
- Care este punctul static de funcționare $Q(I_D, V_{DS})$? Dovediți că tranzistorul lucrează în regiunea activă.
- Ce valoare are căderea de tensiune pe sursa de curent I ? Ce putere disipă sursa de curent?

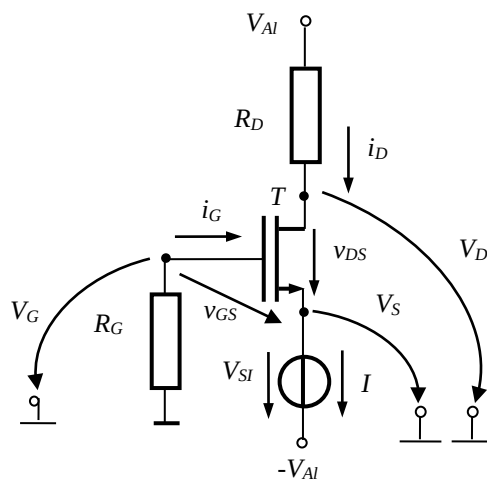


Fig. 8.12.

R.8.

a) Potențialele în cele 3 terminale ale tranzistorului sunt V_G , V_S , V_D și se determină folosind legea lui Ohm și TKV în circuit.

$$V_G = i_G \cdot R_G = 0V \text{ deoarece } i_G = 0A.$$

$$V_D = V_{Al} - i_D \cdot R_D \quad (1)$$

Deoarece $i_G = 0A$, rezultă $i_D = i_S = I$. Înlocuind în (1) se obține:

$$V_D = 12 - 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 5.6 \cdot 10^3$$

$$V_D = 3V$$

Tensiunea V_S se determină din ochiul de circuit format din R_G , joncțiunea GS a tranzistorului și respectiv terminalul S al tranzistorului. Astfel:

$$-V_G + v_{GS} + V_S = 0 \Rightarrow V_S = V_G - v_{GS} \quad (2)$$

Tensiunea v_{GS} se determină cu relația:

$$i_D = \beta (v_{GS} - V_P)^2 \Rightarrow (v_{GS} - V_P)^2 = \frac{i_D}{\beta}$$

$$(v_{GS} - V_P)^2 = \frac{i_D}{\beta}$$

$$(v_{GS} - V_P)^2 = \frac{1.6 \cdot 10^{-3}}{0.1 \cdot 10^{-3}}$$

$$v_{GS} - V_P = \pm 4V$$

Singura valoare posibilă pentru v_{GS} este dată de $v_{GS} - V_P = 4V$, ceea ce înseamnă $v_{GS} = 4.5V$.

Pentru $v_{GS} - V_P = -4V$ s-ar obține pentru v_{GS} o valoare mai mică decât V_P , adică tranzistorul ar funcționa în regiunea de blocare.

Înlocuind în ecuația (2) se obține:

$$V_S = 0 - 4.5V = -4.5V$$

b) Pentru calculul PSF valoarea curentului de drenă I_D este determinată deja:

$$I_D = I = 1.6mA$$

Cunoscând valoarea V_S , ecuația pentru determinarea V_{DS} este:

$$-V_{Al} + I_D \cdot R_D + V_{DS} + V_S = 0$$

$$V_{DS} = V_{Al} - I_D \cdot R_D - V_S$$

$$V_{DS} = 12 - 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 5.6 \cdot 10^3 - (-4.5)$$

$$V_{DS} = 7.5V$$

Punctul static de funcționare este Q (1.6mA; 7.5V).

Pentru a dovedi că tranzistorul lucrează în regiunea activă, se determină v_{DS} și se compară cu $v_{DS,sat}$. Dacă $v_{DS} > v_{DS,sat}$, T funcționează în (a_F).

Valoarea v_{DS} este calculată mai sus: $V_{DS} = 7.5V$

$$v_{DS,sat} = v_{GS} - V_P$$

$$v_{GS} = V_G - V_S$$

Înlocuind se obține:

$$v_{DS,sat} = 0 - (-4.5) - 0.5$$

$$v_{DS,sat} = 4V$$

Deoarece $v_{DS} > v_{DS,sat}$ ($7.5V > 4V$), T funcționează în regiunea activă directă.

c) Aplicând TKV pe ochiul de circuit format din terminalul S al tranzistorului, sursa de curent I și tensiunea de alimentare ($-V_{Al}$) se obține:

$$-V_S + V_{SI} + (-V_{Al}) = 0$$

unde cu V_{SI} se notează căderea de tensiune pe sursa de curent I .

Înlocuind se obține:

$$V_{SI} = -4.5 + 12 = 7.5V$$

Puterea disipată de sursa de curent I , P_{SI} , va fi dată de produsul dintre curentul generat de sursa de curent, I , și căderea de tensiune pe sursa de curent, V_{SI} .

$$P_{SI} = I \cdot V_{SI}$$

Înlocuind valorile deja cunoscute se obține:

$$P_{SI} = 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 7.5$$

$$P_{SI} = 12mW$$