

TEMA 2. Aplicații ale diodelor semiconductoare

Circuite studiate

- Redresor bialternanță în punte cu filtru capacitiv de netezire a undulațiilor
- Stabilizator parametric de tensiune continuă
- Limitator bilateral cu diode Zener

Obiective

- Observarea abilității diodelor redresoare de a redresa o tensiune alternativă de intrare și de a limita amplitudinea tensiunii de ieșire a unui circuit.
- Observarea abilității diodelor stabilizatoare de tensiune de a regla tensiunea de ieșire a unui circuit și de a-i limita amplitudinea.

Echipament necesar : osciloscop, generator de functii, Multisim 2001, macheta de laborator nr.1.

Metoda de observare

Redresor bialternanță în punte cu filtru capacitiv

- Aplicarea unei tensiuni sinusoidale la intrarea unei punți redresoare monofazate și observarea influenței rezistenței de sarcină și a capacității filtrului de ieșire asupra parametrilor tensiunii de ieșire (valoare de vârf, valoare medie, valoare efectivă, componentă ondulatorie), prin vizualizarea formei de undă și măsurarea unor parametri cu osciloscopul și cu multimetrul numeric.

Stabilizator parametric de tensiune continuă

- Aplicarea unei tensiuni continue cu o singură polaritate, cu nivel fix sau variabil între limite cunoscute, la intrarea circuitului, și observarea modificării nivelului tensiunii de ieșire la variația tensiunii de intrare sau/și a rezistenței de sarcină, ca și a relației intrare-ieșire, prin caracteristica statică de transfer a circuitului.

Limitator de amplitudine bilateral cu diode Zener

- Aplicarea unei tensiuni periodice, u_i , la intrarea unor circuite rezistor-diode Zener și observarea relației dintre tensiunea de la bornele diodei (tensiunea de ieșire a circuitului, u_o) și cea de intrare, relație exprimată grafic, în două moduri: prin cele două forme de undă, u_i și u_o , vizualizate pe osciloscop, și prin caracteristica de transfer, $u_o = f(u_i)$.

2. 1. Simulări

2. 1. 1. Redresor bialternanță în punte. Filtru capacitiv de netezire a undulațiilor

Se studiază redresorul bialternanță în punte din fig. 1.2.1, fără și cu filtru capacitiv de netezire a undulațiilor. Combinarea pozițiilor celor patru comutatoare (K0, K1, K2 și K3) permite construirea diverselor scheme de redresor în punte. Variantele studiate sunt denumite după cum urmează:

1. **RB_PM_OO** = redresor fără filtru capacitiv, cu ieșirea în gol;
2. **RB_PM_R2** = redresor fără filtru capacitiv, cu rezistență de sarcină $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$;
3. **RB_PM_C1_R2** = redresor cu filtru capacitiv $C_1 = 100 \mu\text{F}$ și rezistență de sarcină $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$;
4. **RB_PM_C1_R1** = redresor cu filtru capacitiv $C_1 = 100 \mu\text{F}$ și rezistență de sarcină $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$;
5. **RB_PM_C2_R2** = redresor cu filtru capacitiv $C_2 = 1000 \mu\text{F}$ și rezistență de sarcină $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.

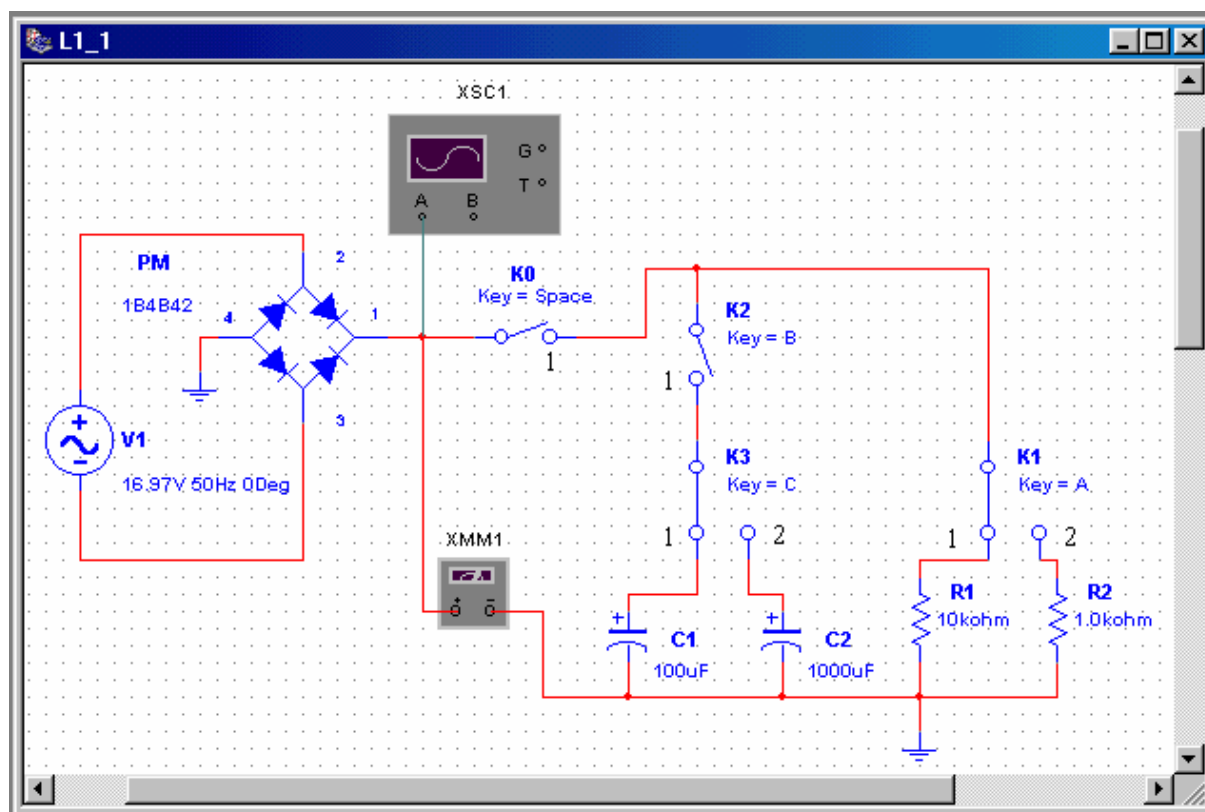


Fig. 1.2.1.

Tensiunea alternativă, aplicată punții redresoare, este fixată la o valoare de vârf, U_{sm} , de 16,97 V (valoarea efectivă, $U_s=12$ V), frecvența 50 Hz, faza inițială nulă. Această setare se va menține pentru toate cele șapte variante de redresor în punte. Va fi simulată fiecare topologie, vizualizând forma de undă a tensiunii de la ieșire (tensiunea redresată, respectiv tensiunea redresată și filtrată) și măsurând, cu ajutorul cursoroarelor, valoarea de vârf, U_{om} , și amplitudinea vârf la vârf a componentei ondulatorii, $U_{o\sim v-v}$, din tensiunea de ieșire. Cu multimetrul, se măsoară valoarea medie a tensiunii redresate, U_O , și valoarea efectivă a componentei ondulatorii din tensiunea redresată, $U_{oef\sim}$. Pozițiile comutatoarelor K0 și K2 vor fi referite ca 0 și 1, cu următoarele semnificații: K0 = 0, comutator deschis; K0 = 1, comutator închis; K2 = 0, comutator deschis; K2 = 1.

Datele oferite de simulare și/sau rezultate din acestea prin calcule algebrice vor fi numite **rezultatele simulării**. Folosind formulele de calcul ale mărimilor de interes, se determină **rezultatele teoretice** sau **predicții**. Pentru fiecare circuit simulat, vor fi comparate cele două seturi de rezultate (simulate și teoretice), explicând diferențele constatate.

2. 1. 1. a. RB_PM_OO (K0 = 0). Se simulează circuitul și se observă forma de undă a tensiunii redresate (fig. 1.2.2 și 1.2.3), pentru ieșire în gol. Setările osciloscopului: baza de timp se fixează la 5ms/div; factorul de scară al canalului A: 10 V/div.

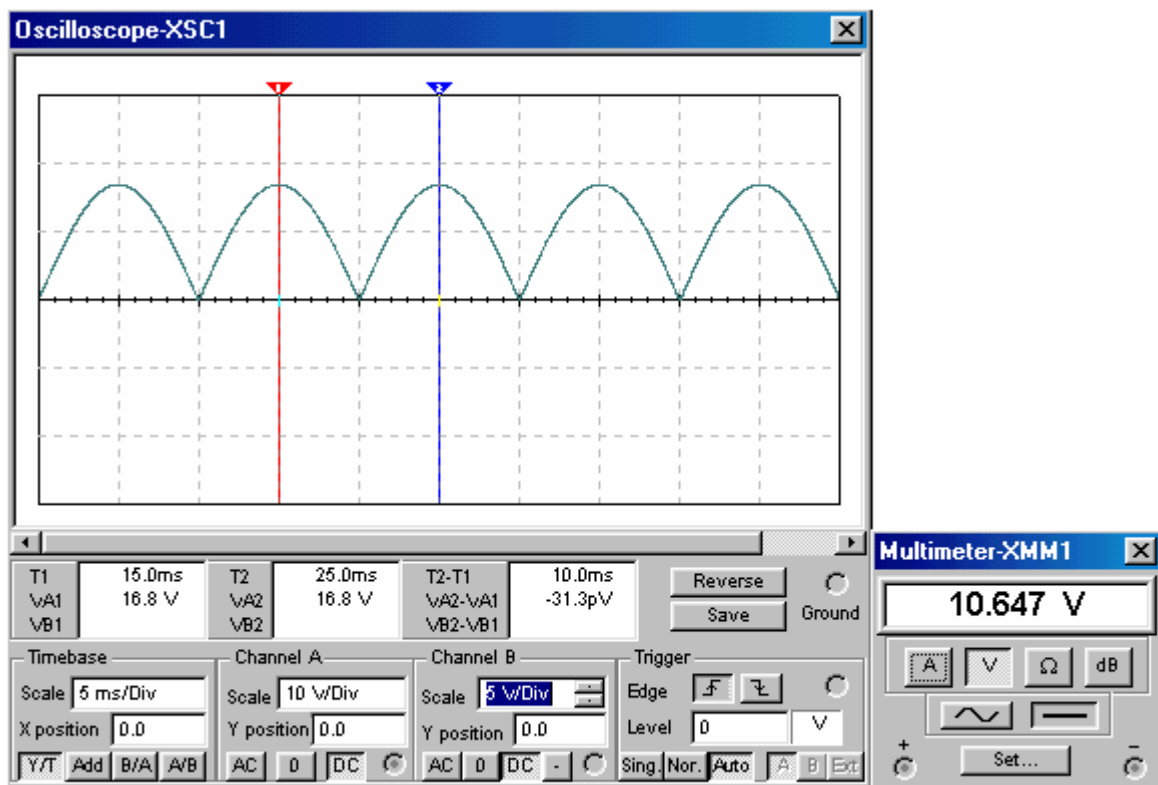


Fig. 1.2.2

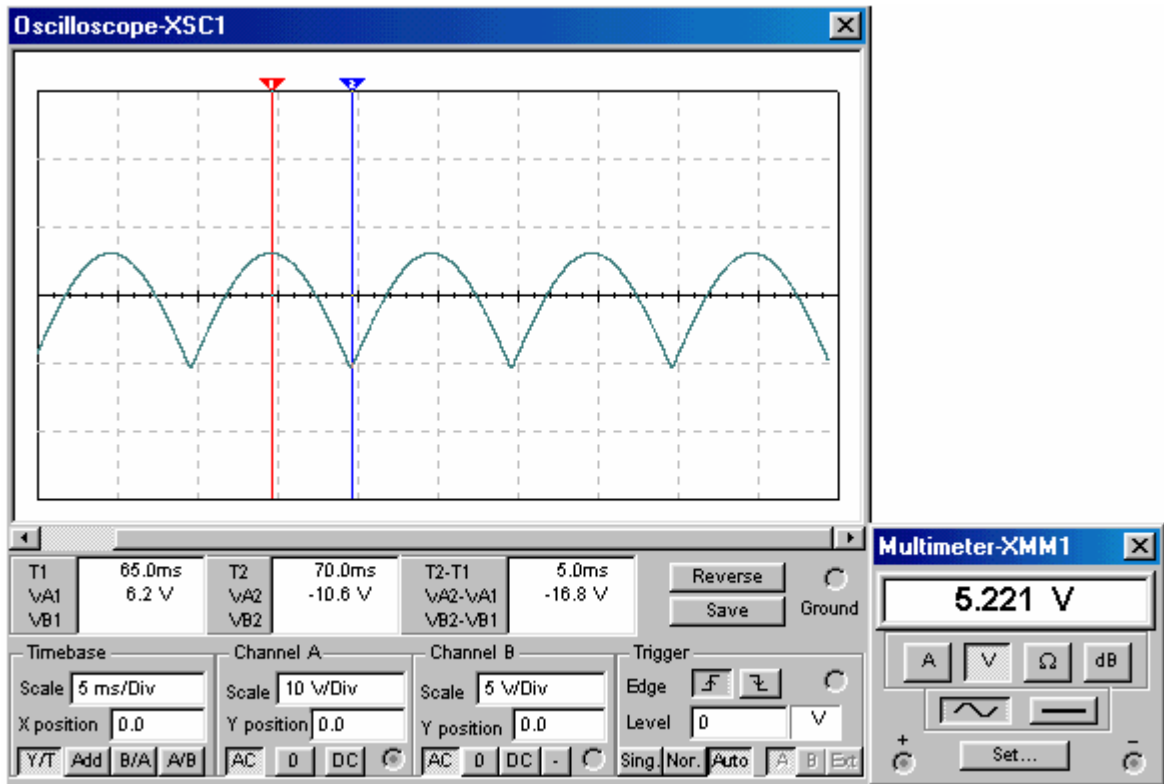


Fig. 1.2.3

Rezultatele simulării. Se măsoară $U_{om} = 16,8 \text{ V}$, perioada tensiunii redresate, $T = 10 \text{ ms}$ ($f = 100 \text{ Hz}$) și $U_{o\sim v} = 16,8 \text{ V}$ (fig. 1.2.1.3). Multimetrul indică $U_O = 10,647 \text{ V}$ și $U_{oef} = 5,221 \text{ V}$. Din valorile mărimilor măsurate, se calculează: valoarea de vârf a căderii de tensiune pe o diodă în conducție, $U_{Akm} = (U_{sm} - U_{om})/2 = (16,97 - 16,8)V/2 = 0,085 \text{ V}$; factorul de ondulație, $r = U_{oef}/U_O = 5,221/10,647 = 0,49$ sau $r = U_{o\sim v}/2 \times 1,41 \times U_O = 0,55$.

Rezultate teoretice. Valorile medie și efectivă ale tensiunii de ieșire (U_O și U_{oef}), valoarea de vârf a tensiunii pe o diodă în conducție (U_{Akm}), factorul de ondulație (r):

$$U_O = 2U_{sm}/\pi = 2 \times 16,97/3,14 = 10,81 \text{ V}; U_{oef} = U_{om}/1,41 = 16,8/1,41 = 11,91 \text{ V}, U_{Akm} = (U_{sm} - U_{om})/2 = (16,97 - 16,8)V/2 = 0,085 \text{ V}; r = \sqrt{(U_{oef}/U_O)^2 - 1} = 0,46.$$

2.1.1.b. RB_PM_R2 ($K_0 = 1$; $K_1 = 2$; $K_2 = 0$). Se simulează circuitul și se observă forma de undă a tensiunii redresate, pentru rezistența de sarcină $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$. Se mențin setările osciloscopului. Procedând ca la punctul anterior, se determină rezultatele simulate și cele teoretice.

2.1.1.c. RB_PM_C1_R2 ($K_0 = 1$; $K_1 = 2$; $K_2 = 1$; $K_3 = 1$). Se simulează circuitul și se observă forma de undă a tensiunii redresate, pentru condensator de filtrare $C_1 = 100 \mu\text{F}$ și rezistența de sarcină $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$. Se mențin setările osciloscopului. Amplitudinea vârf la vârf a

componentei ondulatorii a tensiunii de ieșire poate fi măsurată pe forma de undă din fig. 1.2.4 sau pe forma de undă din fig. 1.2.5.

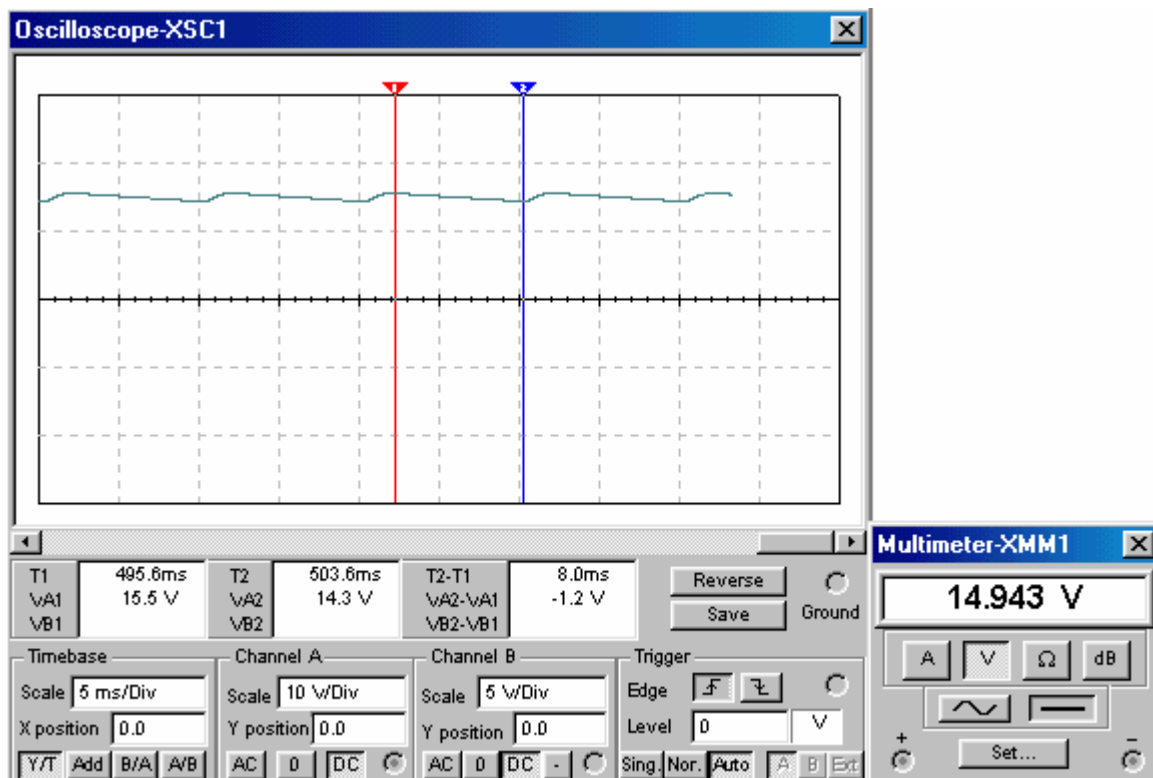


Fig. 1.2.4

Rezultatele simulării. Se măsoară $U_{om} = 15,5$ V, perioada tensiunii redresate, $T = 10$ ms ($f = 100$ Hz) și $U_{o\sim vv} = -(VA2-VA1) = 1,2$ V (osciloscop XSC1); durata conducerii diodelor într-o semi-alternanță este $t_1 = 2$ ms. Multimetru indică $U_O = 14,943$ V și $U_{oef\sim} = 370,519$ mV. Din valorile mărimilor măsurate pe forma de undă a tensiunii redresate și filtrate, se calculează: $U_O = U_{om} - U_{o\sim vv}/2 = 15,5V - 0,37V/2 = 15,315$ V; $U_{Akm} = (U_{sm} - U_{om})/2 = (16,97 - 15,5)V/2 = 0,735$ V; $r = U_{o\sim vv}/2 \times 1,73 \times U_O = 0,022$ sau, folosind indicațiile multimetrului, $r = U_{oef\sim}/U_O = 0,37V/14,943V = 0,024$.

Rezultate teoretice. Pentru determinarea predicțiilor, se calculează, mai întâi, factorul de ondulație, r , și, apoi, U_O , $U_{o\sim vv}$: $r = 1/4 \times 1,73 \times f \times C_1 \times R_2 = 0,028$; $U_O = U_{sm}/(1 + 1,73 \times r) = 16,18$ V; $U_{o\sim vv} = U_O/R_2 \times 2f \times C_1 = 1,618$ V; $U_{om} = U_O + U_{o\sim vv}/2 = 16,98$ V.

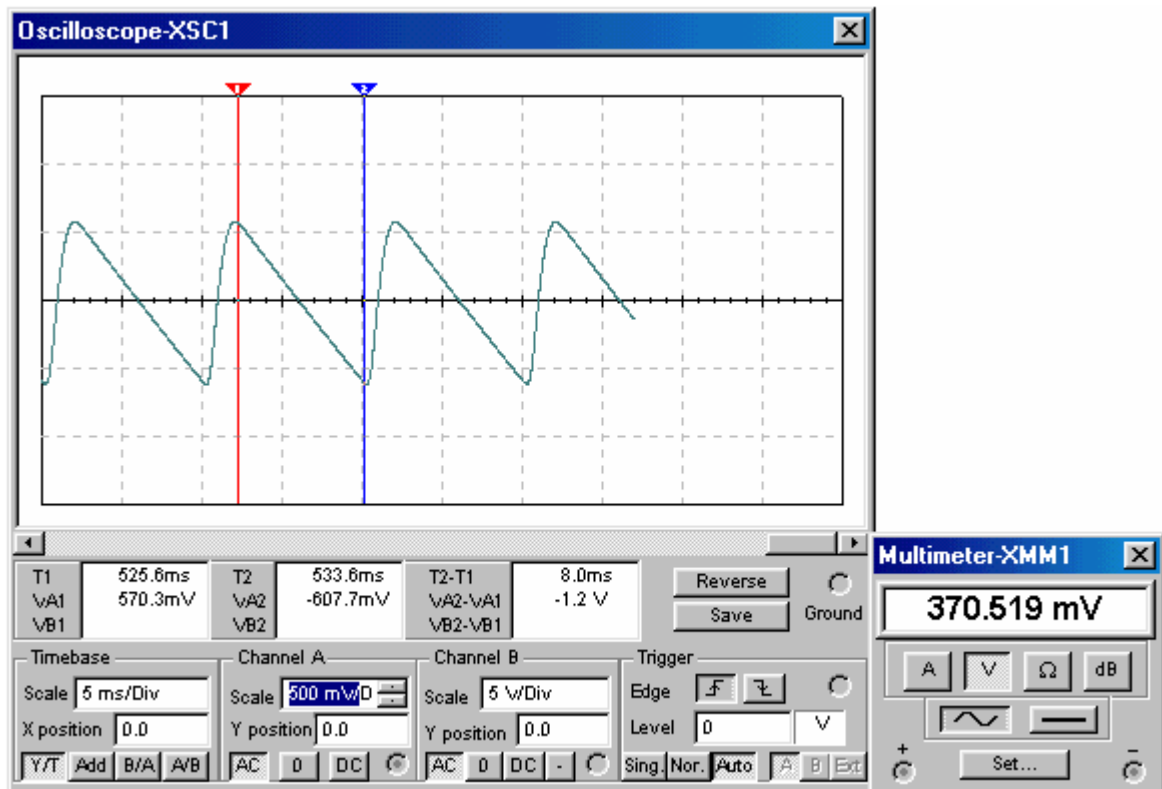


Fig. 1.2.5

2.1.1.d. RB_PM_C1_R1 ($K_0 = 1$; $K_1 = 1$; $K_2 = 1$; $K_3 = 1$). Se simulează circuitul și se observă forma de undă a tensiunii redresate, pentru condensator de filtrare $C_1 = 100 \mu\text{F}$ și rezistența de sarcină $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$. Se mențin setările osciloscopului. Procedând ca la punctul anterior, se determină rezultatele simulate și cele teoretice.

2.1.1.e. RB_PM_C2_R1 ($K_0 = 1$; $K_1 = 1$; $K_2 = 1$; $K_3 = 2$). Se simulează circuitul și se observă forma de undă a tensiunii redresate (fig. 1.2.6 și 1.2.7) pentru condensator de filtrare $C_2 = 1000 \mu\text{F}$ și rezistența de sarcină $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$. Se mențin setările osciloscopului. Procedând ca la punctul 1.2.1.d, se determină rezultatele simulate și cele teoretice.

Rezultatele simulării. Se măsoară $U_{om} = 15,7 \text{ V}$, perioada tensiunii redresate, $T = 10\text{ms}$ ($f = 100 \text{ Hz}$) și $U_{o\sim vv} = -(V_{A2}-V_{A1}) = 14 \text{ mV}$ (osciloscop XSC1); durata conducției diodelor într-o semi-alternanță este $t_1 = 1,6\text{ms}$. Multimetrul indică $U_O = 15,689 \text{ V}$ și $U_{oef\sim} = 4,298 \text{ mV}$. Din valorile mărimilor măsurate cu osciloscopul, se calculează: $U_O = U_{om}-U_{o\sim vv}/2 = 15,7-0,014/2 = 15,693 \text{ V}$; $U_{Akm} = (U_{sm}-U_{om})/2 = (16,97-15,7)\text{V}/2 = 0,635 \text{ V}$; $r = U_{o\sim vv}/2 \times 1,73 \times U_O = 0,00025$ sau, folosind indicațiile multimetrului, $r = U_{oef\sim}/U_O = 0,004/15,689 = 0,00025$ sau $r = U_{o\sim vv}/2 \times 1,41 \times U_O = 0,00031$.

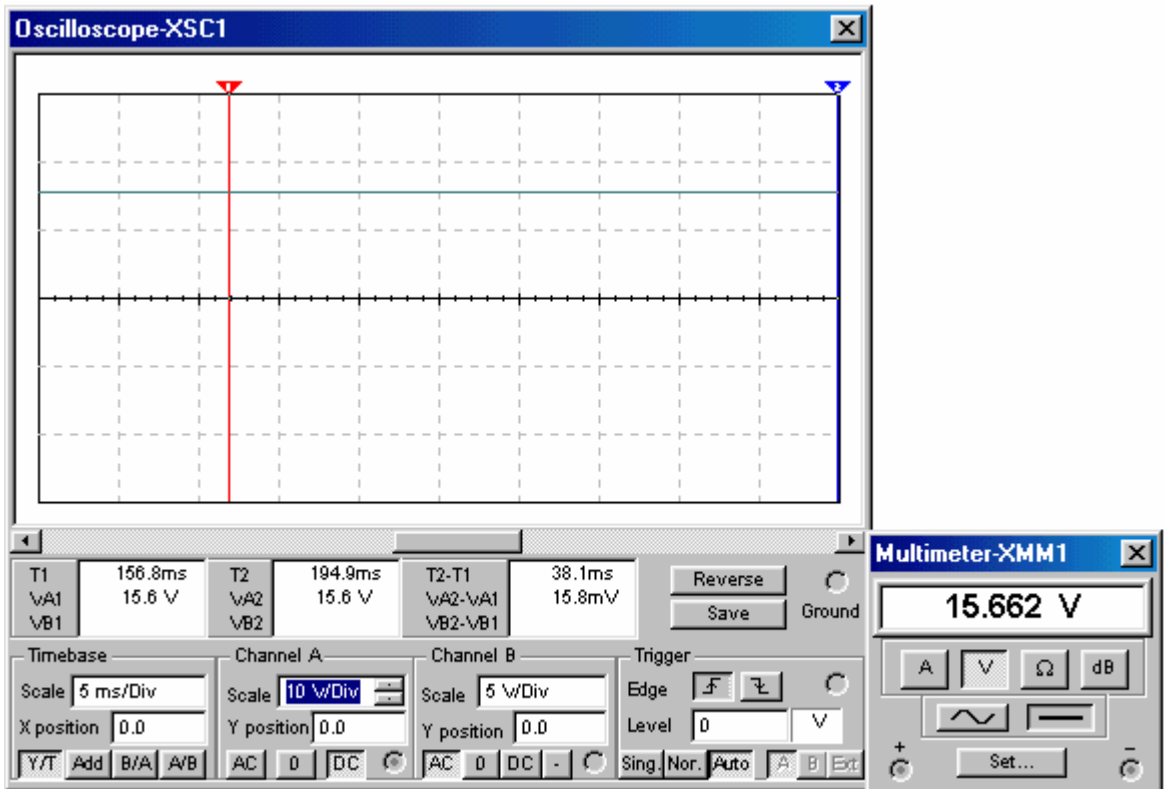


Fig. 1.2.6

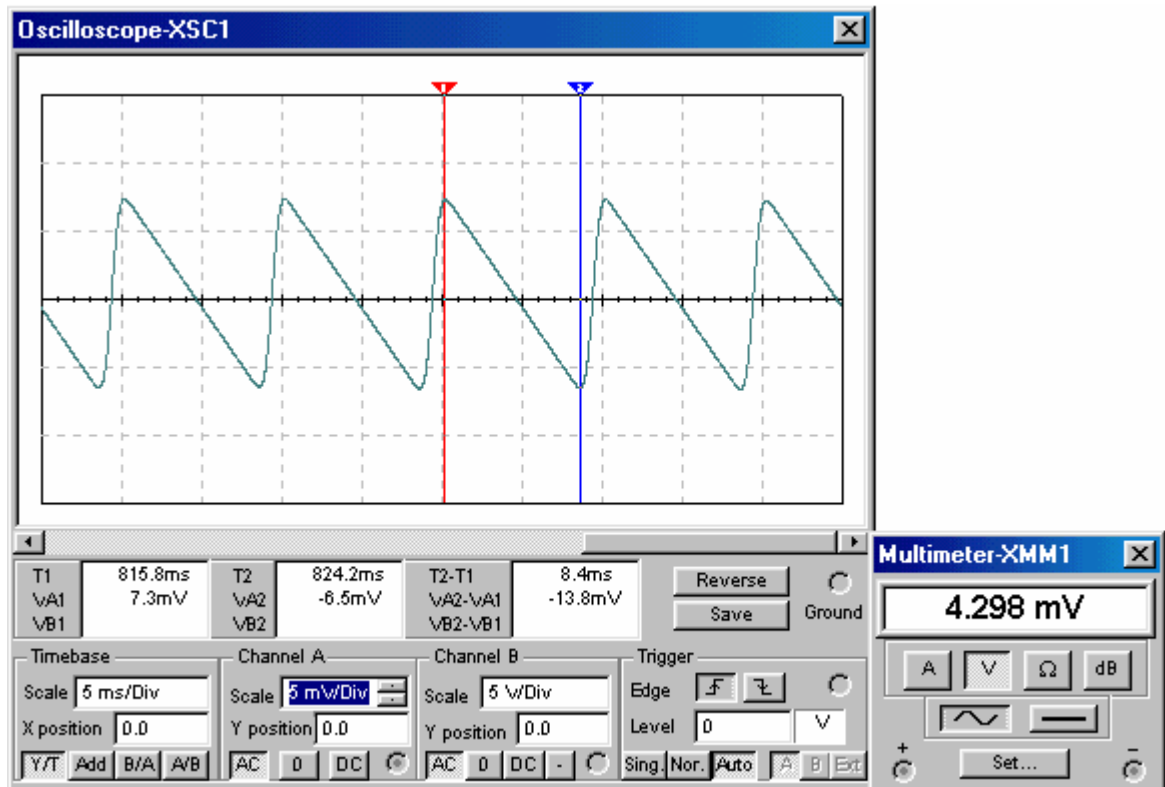


Fig. 1.2.7

Rezultate teoretice. Pentru determinarea predicțiilor, se calculează, mai întâi, factorul de ondulație, r , și, apoi, U_O , $U_{o\sim v}$: $r = 1/4 \times 1,73 \times f \times C_2 \times R_1 = 0,000289$; $U_O = U_{sm}/(1+1,73 \times r) = 16,96$ V; $U_{o\sim v} = U_O/R_1 \times 2f \times C_1 = 0,0169$ V; $U_{om} = U_O + U_{o\sim v}/2 = 16,968$ V.

2.1.2. Stabilizator parametric de tensiune continuă

2.1.2.a. Se editează circuitul unui stabilizator parametric alimentat de la un redresor bialternanță în punte, cu filtru C. Tensiunea alternativă este furnizată de o sursă de c.a., V1, cu amplitudinea de 17 V, frecvența 50 Hz și faza inițială 0° . Se conectează un osciloscop (XSC1) și două voltmetre (XMM1, XMM2), ca în fig. 1.2.21. Se simulează circuitul. Se vizualizează tensiunea de alimentare a stabilizatorului, u_i , și tensiunea de ieșire, u_o .

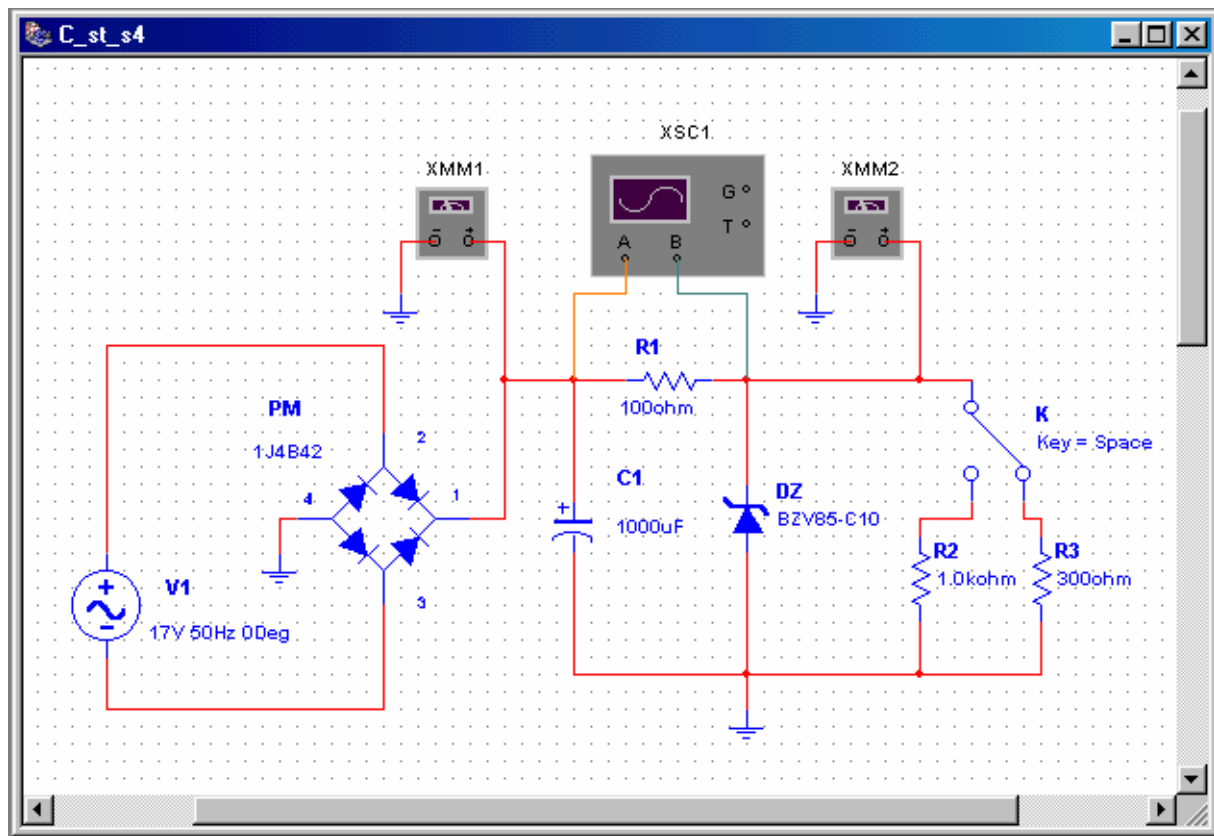


Fig. 1.2.21

Rezultatele simulării

Pentru sarcină $R_2 = 1$ k Ω , formele de undă ale tensiunilor de alimentare și de ieșire ale stabilizatorului sunt date în fig. 1.2.22. Din porțiunea inițială a acestor două forme de undă, corespunzătoare regimului tranzitoriu de la pornire (cursorul roșu), se determină tensiunea minimă de alimentare, $U_{Imin1} = VA1 = 11,6$ V, și tensiunea minimă stabilizată, $U_{omin1} = VB1 = 10$ V. Din formele de undă în regim staționar (cursorul albastru), se determină valoarea de

vârf a tensiunii de alimentare, $U_{im1} = VA2 = 15 \text{ V}$, și valoarea de vârf a tensiunii de ieșire, $U_{om1} = VB2 = 10 \text{ V}$. Indicațiile multimetrelor: tensiunea continuă de alimentare, $U_{I1} = 14,869 \text{ V}$; tensiunea continuă de ieșire, $U_{O1} = 10,039 \text{ V}$; valorile efective ale undulațiilor din tensiunea de intrare și, respectiv, din tensiunea de ieșire: $U_{i\sim ef} = 121,403 \text{ mV}$, respectiv, $U_{o\sim ef} = 1,681 \text{ mV}$. Curenții calculați: $I_{O1} = U_{O1}/R_3 = 10,039\text{V}/1\text{k}\Omega = 10,039 \text{ mA}$; $I_{Z1} = (U_{I1} - U_{O1})/R_1 - I_{O1} = (14,869 - 10,039)\text{V}/100\Omega - 10,039\text{mA} = 38,261 \text{ mA}$.

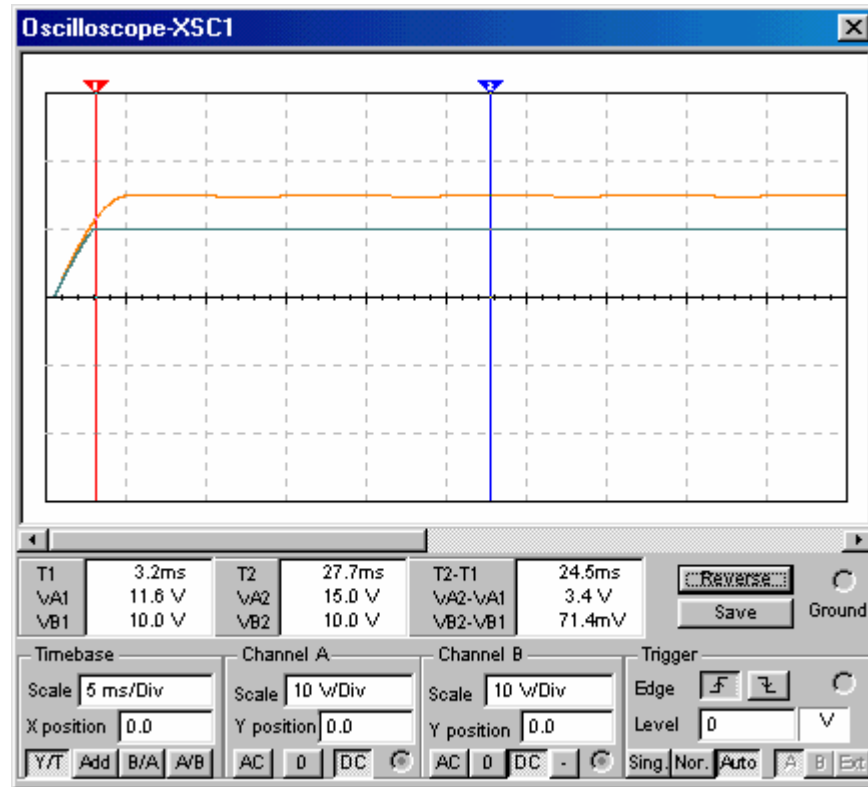


Fig. 1.2.22

Se vizualizează componentele alternative ale celor două tensiuni (ondulațiile) și se măsoară amplitudinile vârf la vârf ale undulațiilor conținute de tensiunea de alimentare și de tensiunea de ieșire, $U_{i\sim 1}$ și $U_{o\sim 1}$. Măsurarea undulațiilor este arătată în fig. 1.2.23. Cu $U_{i\sim 1} = -(VA2 - VA1) = 392,4 \text{ mV}$ și $U_{o\sim 1} = -(VB2 - VB1) = 5,4 \text{ mV}$, se calculează factorul de rejecție a undulațiilor, $RR = U_{i\sim 1}/U_{o\sim 1} = 392,4\text{mV}/5,4\text{mV} = 72,66$.

Din simularea circuitului cu sarcina $R_3 = 300 \Omega$, se obțin următoarele rezultate:

- din formele de undă: $U_{Imin2} = VA1 = 13,7 \text{ V}$; $U_{Omin2} = VB1 = 10 \text{ V}$; $U_{im2} = VA2 = 15 \text{ V}$; $U_{om2} = VB2 = 10 \text{ V}$;

- indicațiile voltmetrelor: $U_{I2} = 14,867 \text{ V}$; $U_{O2} = 9,998 \text{ V}$; $U_{i\sim ef2} = 122,34 \text{ mV}$; $U_{o\sim ef2} = 2,856 \text{ mV}$;

- curenți calculați: $I_{O2} = U_{O2}/R_2 = 9,998\text{V}/300\Omega = 33,32 \text{ mA}$; curentul prin DZ, $I_{Z2} = (U_{I2} - U_{O2})/R_1 - I_{O2} = (14,867 - 9,998)\text{V}/100\Omega - 33,32\text{mA} = 15,37 \text{ mA}$;
- factorul de rejecție a undulațiilor: $U_{i\sim 2} = -(VA2 - VA1) = 391,9 \text{ mV}$ și $U_{o\sim 2} = -(VB2 - VB1) = 9,2 \text{ mV}$; $RR = U_{i\sim 2}/U_{o\sim 2} = 391,9/9,2 = 42,59$.

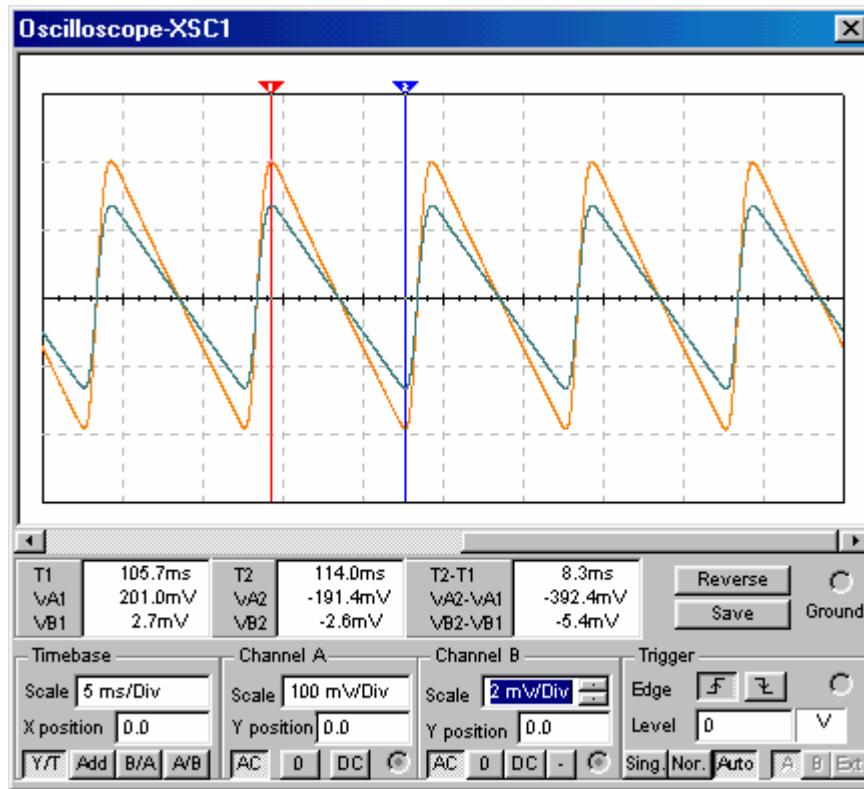


Fig. 1.2.23

Observație. Valorile medii ale celor două tensiuni pot fi determinate și din formele de undă afișate pe ecranul osciloscopului și, apoi, comparate cu acelea indicate de voltmetre. Procedând în acest mod, pentru $R_2 = 300 \Omega$, rezultă:

$$U'_{I2} = U_{im2} - U_{i\sim 2}/2 = 15\text{V} - 0,391\text{V}/2 = 14,8045 \text{ V};$$

$$U'_{O2} = U_{om2} - U_{o\sim 2}/2 = 10\text{V} - 0,0028\text{V}/2 = 9,998 \text{ V}.$$

Din formele de undă afișate pe ecranul osciloscopului (fig. 1.2.23), se obțin valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii din tensiunea de alimentare și, respectiv, din tensiunea stabilizată de ieșire. Valorile efective ale acestor semnale cvasitriunghiulare, calculate din datele precedente, sunt apropiate de valorile indicate de voltmetre: $U_{i\sim ef2} = U_{i\sim m2}/2 \times 1,73 = 391,9\text{mV}/2 \times 1,73 = 113,26 \text{ mV}$ (122,34 mV – indicația XMM1) și $U_{o\sim ef2} = U_{o\sim m2}/2 \times 1,73 = 9,2\text{mV}/2 \times 1,73 = 2,65 \text{ mV}$ (2,856 mV – indicația XMM2). Factorul de

rejecție a undulațiilor, $RR = U_{o-ef2}/U_{i-ef2} = 42,73$, față de 42,83, rezultat obținut din valorile efective indicate de voltmetre.

2.1.2.b. Se calculează parametrii S_0 și R_O . Pentru determinarea coeficientului de stabilizare a tensiunii de ieșire, S_0 , se modifică amplitudinea tensiunii alternative, $V_1 = 15,5$ V, păstrând rezistența de sarcină ($R_2 = 1$ k Ω), și se simulează circuitul. Se citesc tensiunile continue de intrare și de ieșire, pe ecranele multimetrelor.

Pentru determinarea rezistenței de ieșire a stabilizatorului, R_O , se modifică circuitul, ca în fig. 1.2.24, și se selectează **Simulate/Analyses/DC Sweep**. Se setează parametrii analizei: i_{i1} : 0 A, 0,15 A, 0,005 A, iar variabila de ieșire este potențialul nodului 4. Se obține, astfel, caracteristica externă din fig. 1.2.25.

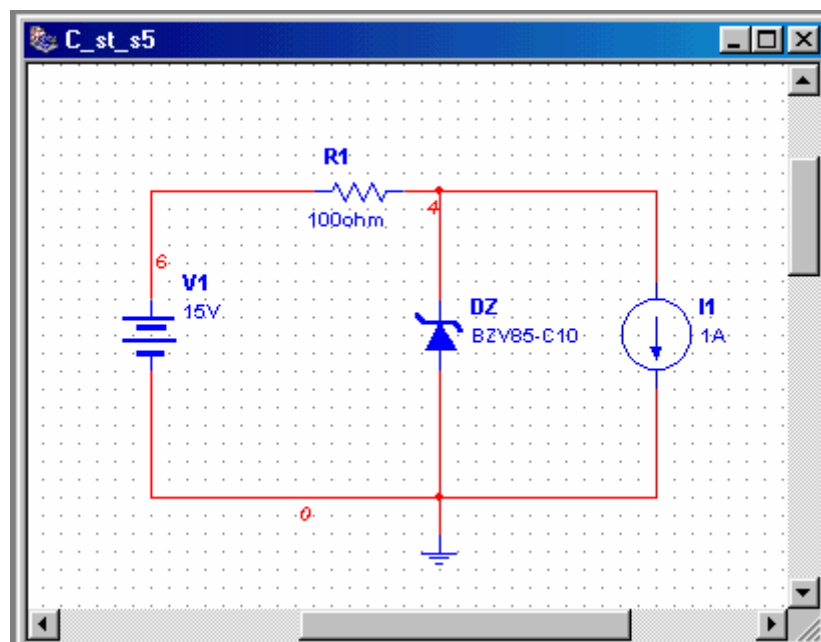


Fig. 1.2.24

Rezultatele simulării. Indicațiile multimetrelor: $U_{I3} = 13,482$ V; $U_{O3} = 10,018$ V; curentul prin sarcină, $I_{O3} = U_{O3}/R_3 = 10,018\text{V}/1\text{k}\Omega = 10,018$ mA; curentul prin DZ, $I_{Z3} = (U_{I3} - U_{O3})/R_1 - I_{O3} = (13,482 - 10,018)\text{V}/100\Omega - 10,018\text{mA} = 24,62$ mA. Aceste date, împreună cu cele corespunzătoare simulării cu $V_1 = 17$ V, permit calcularea coeficientului de stabilizare a tensiunii de ieșire,

$S_0 = (U_{I3} - U_{I1}) / (U_{O3} - U_{O1}) = (13,482 - 14,869)\text{V} / (10,018 - 10,039)\text{V} = 66,04$,
și a rezistenței dinamice a DZ,

$$r_z = (U_{O3} - U_{O1}) / (I_{Z3} - I_{Z1}) = (10,018 - 10,039)\text{V} / (24,62 - 33,9)\text{mA} = 2,26 \Omega.$$

Din caracteristica externă (fig. 1.2.25), folosind datele cursoroarelor, se determină:

- rezistența de ieșire,

$$R_O = -dy/dx = 139,6292\text{mV}/50\text{mA} = 2,7925 \Omega;$$

- tensiunea stabilizată cu ieșirea în gol, $U_{O,\text{gol}} = y1 = 10,0532 \text{ V};$
- tensiunea minimă stabilizată, $U_{O,\text{min}} = y2 = 9,9136 \text{ V},$ la un curent maxim prin sarcină, $I_{O,\text{max}} = 50 \text{ mA};$
- curentul de scurtcircuit, $I_{O,\text{sc}} = 150 \text{ mA}.$

Rezultate teoretice. Cu $r_z \cong 2 \Omega,$ se estimează:

$$S_0 = 1 + R_1/r_z = 1 + 100\Omega/2\Omega = 51; R_O = (R_1 \times r_z)/(R_1 + r_z) = (100 \times 2)\Omega/(100 + 2)\Omega = 0,99 \Omega.$$

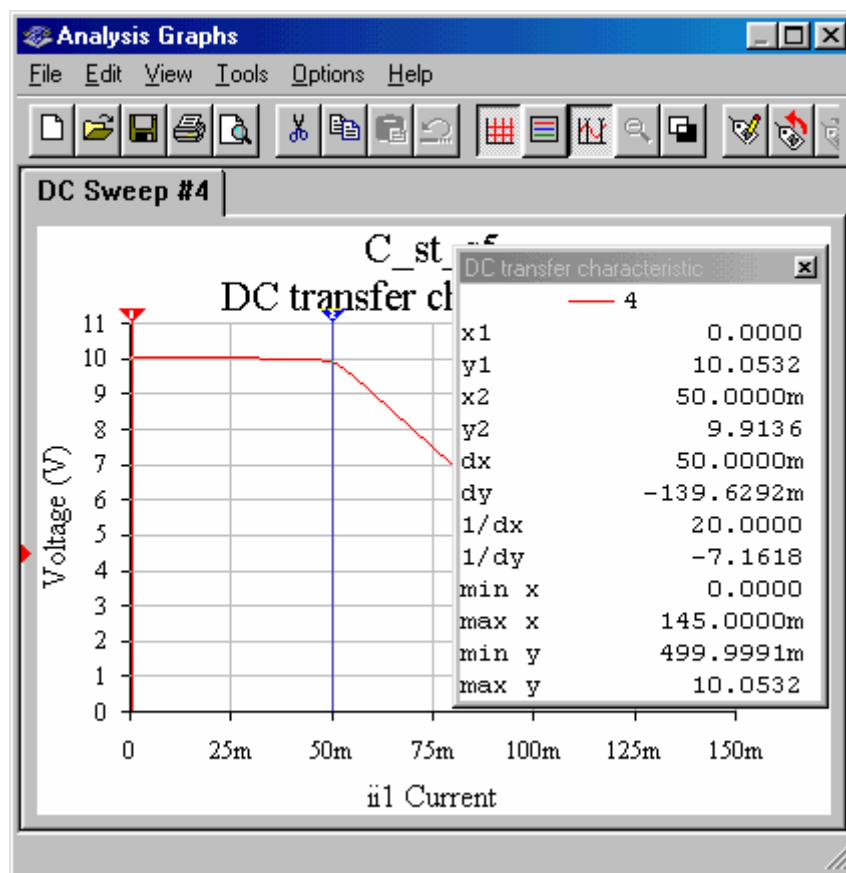


Fig. 1.2.25

2.1.3. Limitatoare bilaterale de amplitudine, cu diode stabilizatoare de tensiune

2.1.3.a. Se studiază funcționarea circuitului limitator bilateral simetric de amplitudine din fig. 1.2.26, cu $DZ1 \equiv DZ2$ (BVX85-C5V1), mai întâi, cu ieșirea în gol, și, apoi, cu un rezistor de sarcină $R_3 = 510 \Omega.$ Folosirea comutatoarelor permite editarea unui singur circuit

pentru trei topologii. Se conectează un generator de funcții (XFG1), la intrarea circuitului, și un osciloscop (XSC1), ca în figura de mai jos.

Topologiile limitatoarelor simulate vor fi denumite după cum urmează:

1. **LB_OO** = limitator bilateral cu ieșirea în gol;
2. **LB_R3** = limitator bilateral cu rezistență de sarcină $R_3 = 510 \Omega$.

Pozițiile comutatoarelor K1 și K2, notate cu 0, 1 și 2, au următoarele semnificații:

K1 = 0, comutator deschis; K1 = 1, comutator închis;

K2 = 1 conectează componenta din stânga; K2 = 2 conectează componenta din dreapta.

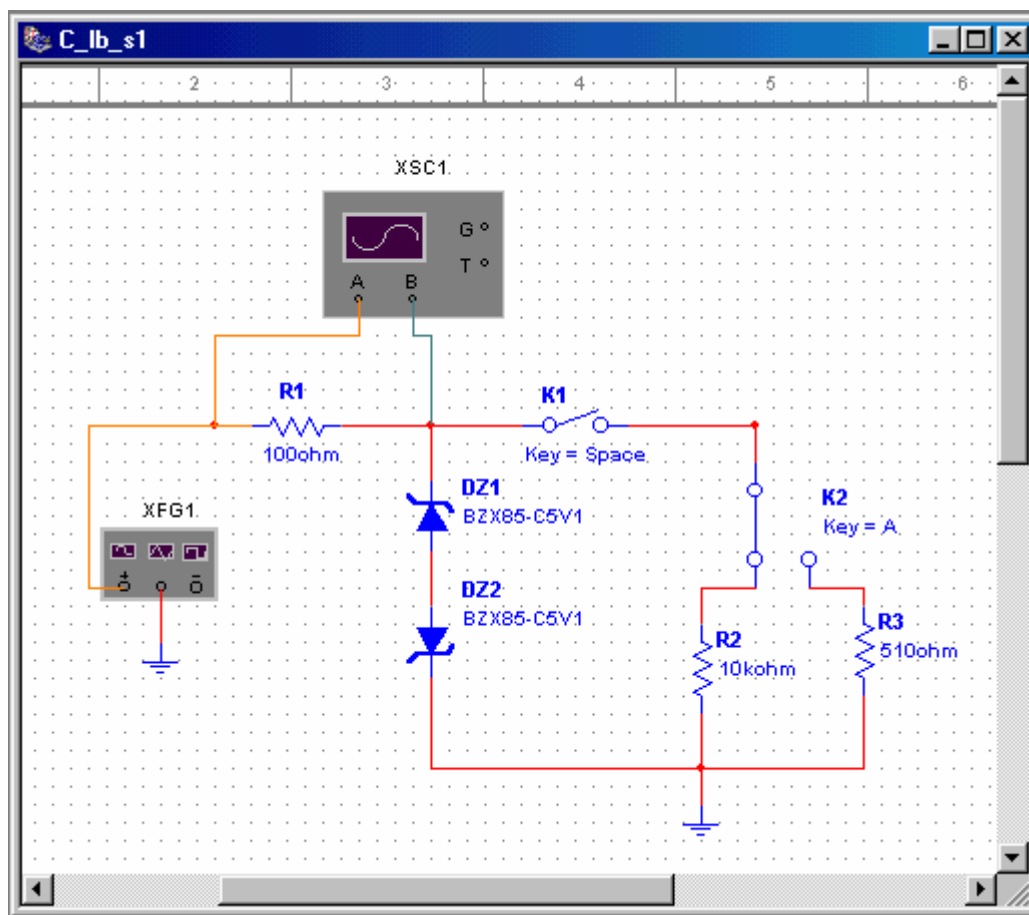


Fig. 1.2.26

2.1.3.b. LB_OO (K1 = 0). Generatorul de funcții se setează pentru o formă de undă sinusoidală, cu amplitudinea de 10 V, offset zero și frecvența de 1 kHz. Setările osciloscopului: baza de timp se fixează la $200 \mu\text{s}/\text{div}$; factorul de scară al canalului A: 5 V/div; factorul de scară al canalului B: 5V/div. Se simulează circuitul. Se observă și se tipăresc formele de undă ale semnalelor de intrare și de ieșire (fig. 1.2.27) și caracteristica de

transfer a limitatorului (fig. 1.2.28). Se extrage informația conținută de caracteristica de transfer și de formele de undă.

Rezultatele simulării

Din caracteristica de transfer a limitatorului bilateral, cu ajutorul cursoroarelor, se determină parametrii circuitului limitator, după cum urmează:

- panta caracteristicii de transfer în regiunea mediană a caracteristicii (fig. 1.2.28),

$$m = (VB2-VB1)/(VA2-VA1) = 11V/11,4V = 0,965;$$

- tensiunile de prag la limitare, nivelurile minime de limitare ale tensiunii de ieșire (fig. 1.2.28):

$$U_{ip1} = VA2 = 5,7 \text{ V}; U_{ol1min} = VB2 = 5,5 \text{ V};$$

$$U_{ip2} = VA1 = 5,7 \text{ V}; U_{ol2min} = VB1 = 5,5 \text{ V};$$

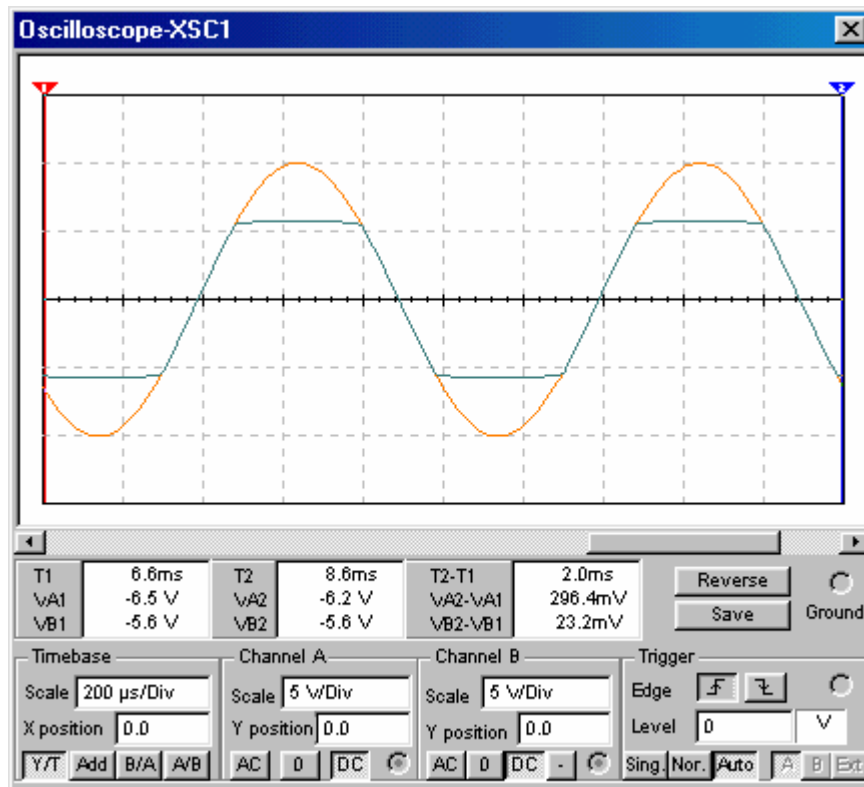


Fig. 1.2.27

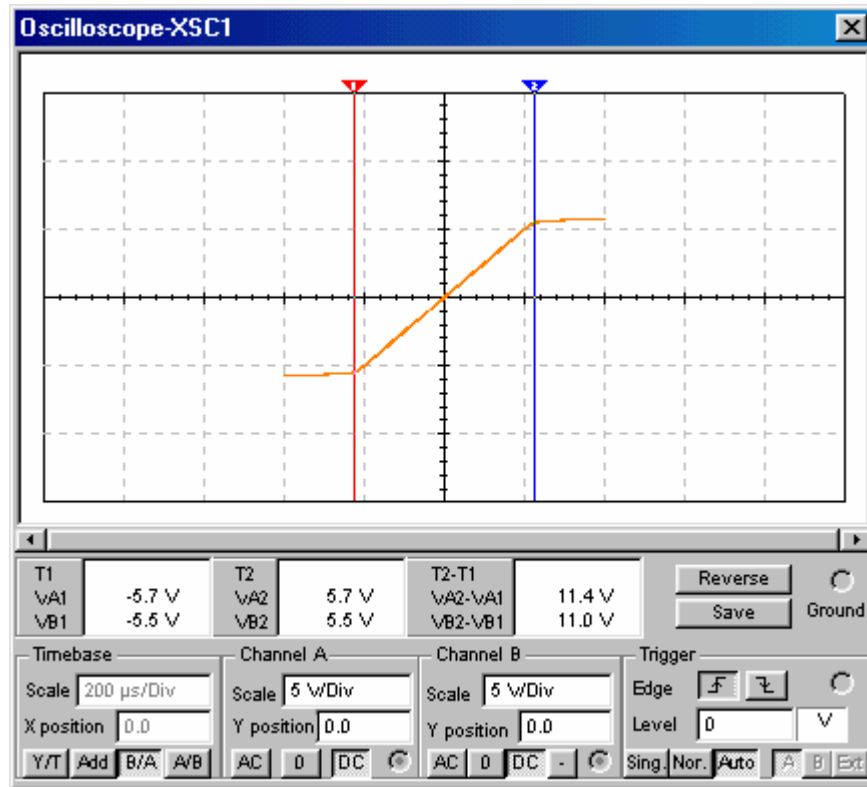


Fig. 1.2.28

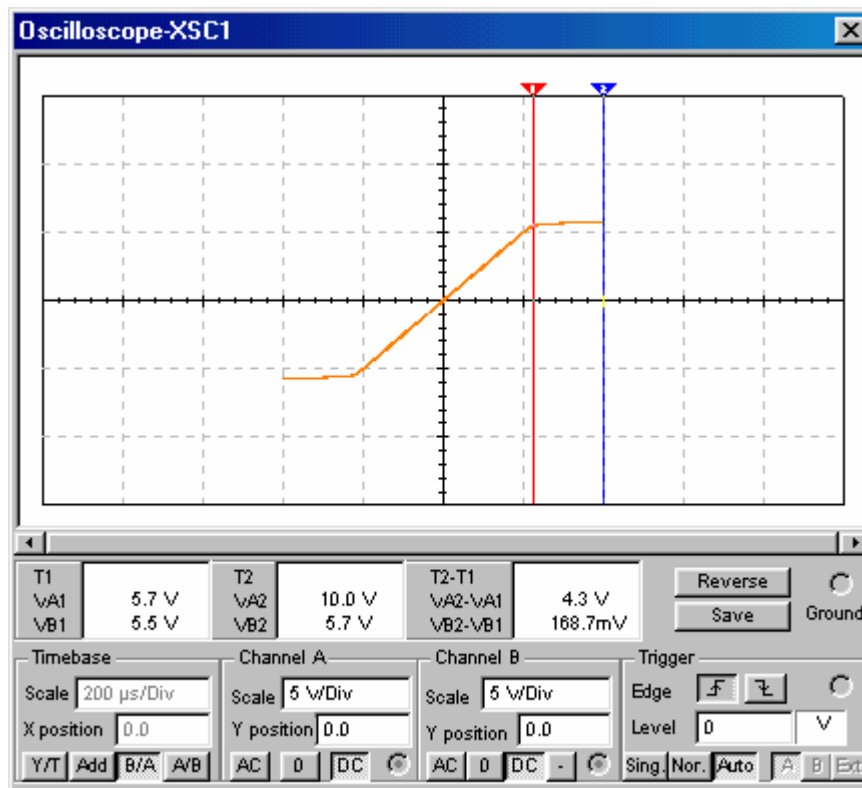


Fig. 1.2.29

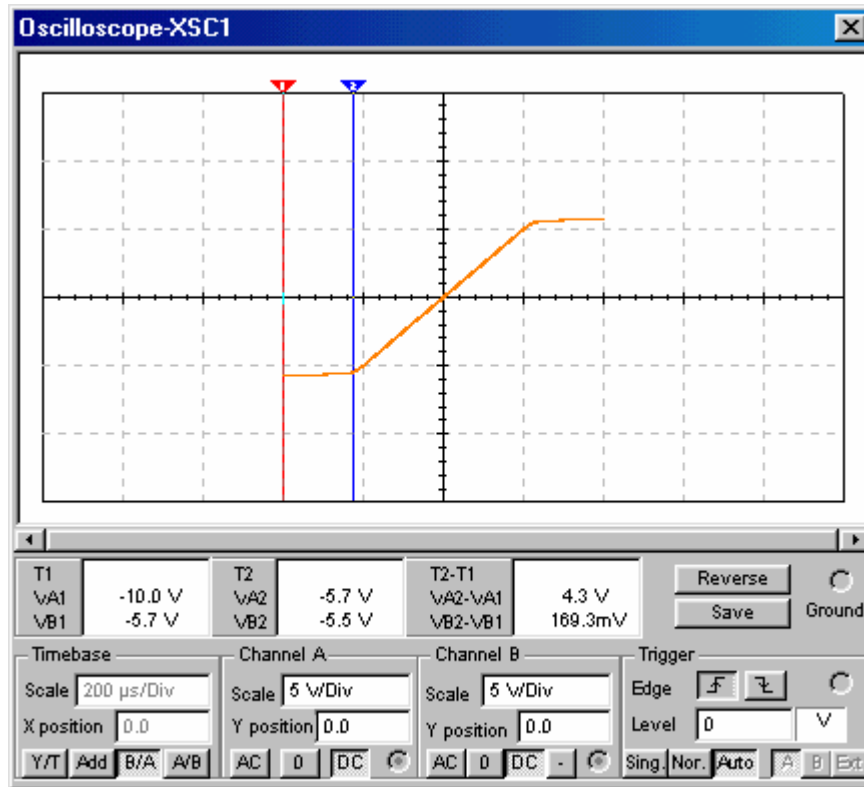


Fig. 1.2.30

- nivelul maxim de limitare al tensiunii pozitive de ieșire și panta semidreptei corespunzătoare regimului de limitare (fig. 1.2.29):

$$U_{ol1max} = VB2 = 5,7 \text{ V}; m_{lim1} = (VB2-VB1)/(VA2-VA1) = 168,7\text{mV}/4,3\text{V} = 0,039;$$

- nivelul minim de limitare al tensiunii negative de ieșire și panta semidreptei corespunzătoare regimului de limitare (fig. 1.2.30):

$$U_{ol2max} = VB1 = -5,7 \text{ V}; m_{lim2} = (VB2-VB1)/(VA2-VA1) = 169,3\text{mV}/4,3\text{V} = 0,039.$$

Rezultatele confirmă simetria circuitului, în ipoteza identității caracteristicilor electrice ale diodelor. Din pantele egale, corespunzătoare regiunilor de limitare ($m_{lim1} = m_{lim2} = m_{lim}$), poate fi determinată suma rezistențelor dinamice ale celor două diode,

$$r_d + r_z \cong \frac{R_1 m_{lim}}{1 - m_{lim}} = \frac{100\Omega \times 0,039}{1 - 0,039} = 4,05 \Omega.$$

Rezultate teoretice. Ipoteze: $(r_z+r_d) \ll R_1$; $U_\gamma \cong 0,6 \text{ V}$; $U_{Z0} \cong 5,1 \text{ V}$. Rezultate: $m \cong 1$; $U_{ip1} = U_{ol1} \cong U_\gamma + U_{Z0} = 5,7 \text{ V}$; $U_{ip2} = U_{ol2} \cong -(U_\gamma + U_{Z0}) = -5,7 \text{ V}$.

Observația 1. Toți parametrii circuitului limitator (U_{ip1} , U_{ip2} , U_{ol1min} , U_{ol1max} , U_{ol2min} , U_{ol2max} , m , m_{lim1} , m_{lim2}) pot fi determinați și din formele de undă ale semnalelor de intrare și de ieșire, folosind cursoarele ecranului (fig. 1.2.27).

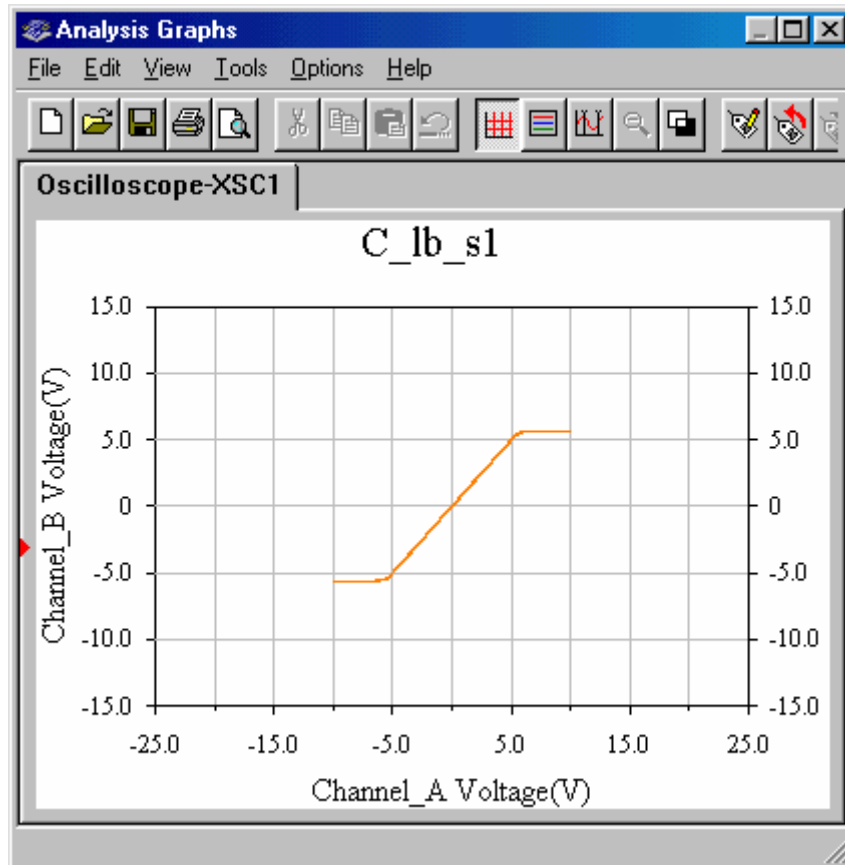


Fig. 1.2.31

Observația 2. Caracteristica de transfer poate fi vizualizată și cu ajutorul modulului grafic din programul Multisim. Se selectează **View/Show Grapher**; cu opțiunile **Grid**, **Cursors**, graficul caracteristicii de transfer se prezintă ca în fig. 1.2.31, pentru factori de scară ai canalelor osciloscopului de 2 V/div.

Observația 3. Caracteristica de transfer poate fi obținută și fără ajutorul osciloscopului, folosind submeniul de analiză în c.c., cu baleiajul unui domeniu precizat al tensiunii continue de intrare (pentru acest exemplu, între -10 V și 10 V) și vizualizarea graficului $U_o = f(U_i)$. Pentru aceasta, circuitul limitator bilateral simetric este construit ca în fig. 1.2.32. Generatorul de funcții este înlocuit cu o sursă de tensiune continuă, V1 (0 V). Se numerotează nodurile.

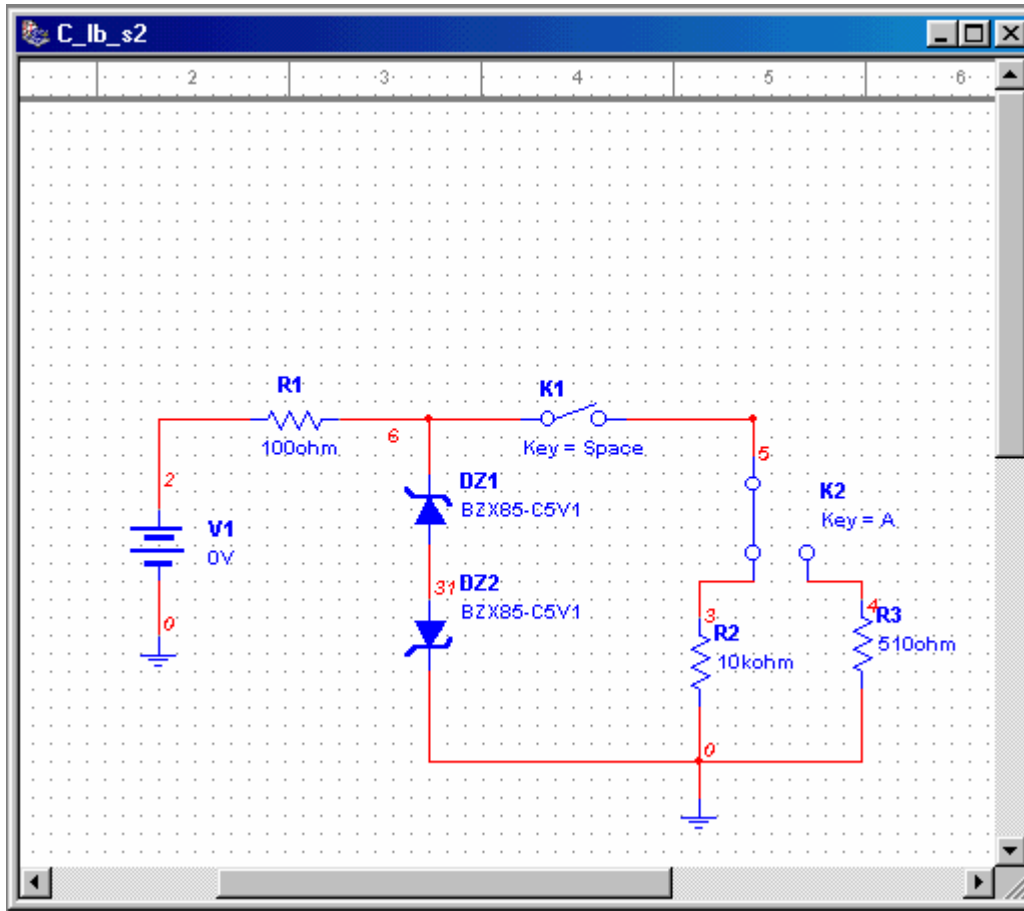


Fig. 1.2.32

Se selectează: **Simulate/Analyses/DC Sweep**. În fereastra de dialog DC Sweep Analysis, se fixează parametrii analizei (domeniul tensiunii continue de intrare vv1 și pasul de variație: -10 V, +10 V, +0,5 V) și variabila de ieșire (potențialul nodului 6). Rezultatul analizei este prezentat sub forma graficului caracteristicii statice de transfer (fig. 1.2.33).

2.1.3.c. Se setează generatorul de funcții pe formă de undă triunghiulară (factor de umplere $D = 50\%$), cu amplitudine de 10 V, frecvența de 1 kHz, factor de umplere $D=50\%$, offset nul, și se simulează circuitul. Se înregistrează și se explică formele de undă și caracteristica de transfer, afișate pe ecranul osciloscopului. Se vizualizează caracteristica de transfer și, cu ajutorul cursorilor osciloscopului, se determină panta caracteristicii m , tensiunile de prag la limitare, U_{ip1} și U_{ip2} , și nivelurile tensiunilor limitate la ieșire, U_{o11} și U_{o12} .

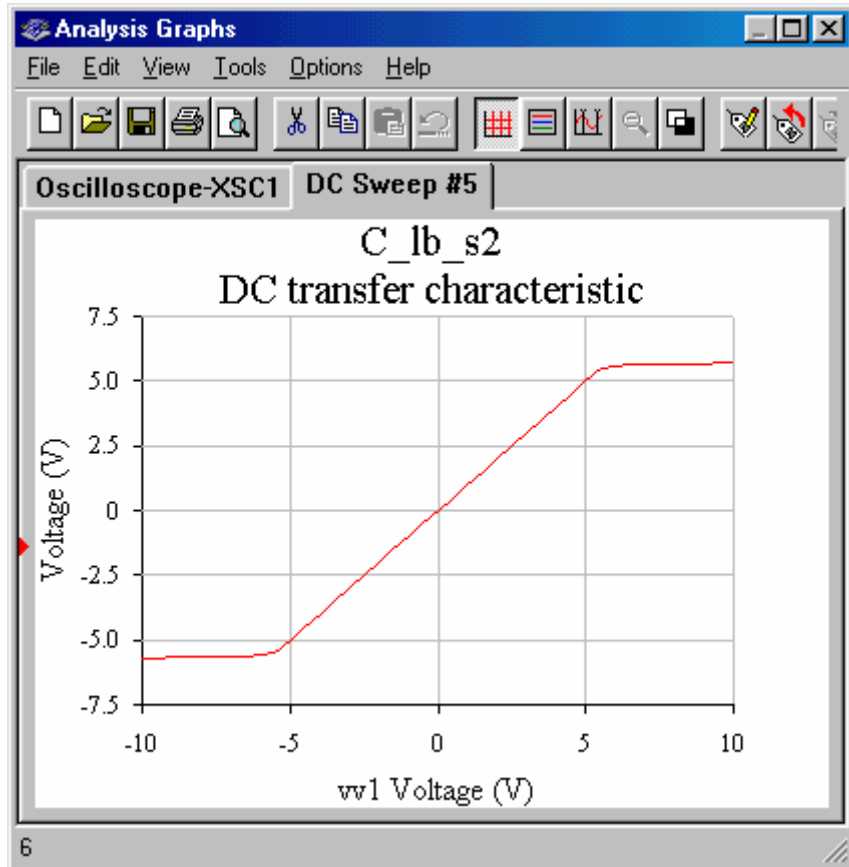


Fig. 1.2.33

2.1.3.d. Se modifică amplitudinea semnalului sinusoidal de intrare la 20 V, apoi, la 5 V. Se vizualizează formele de undă ale semnalelor de intrare și de ieșire, caracteristica de transfer și se explică diferențele observate.

2.1.3.e. LB_R3 ($K_1 = 1$; $K_2 = 2$). Se simulează limitatorul bilateral cu rezistență de sarcină $R_3 = 510 \Omega$, procedând ca la punctele anterioare.

Pentru fiecare topologie, se compară rezultatele simulărilor cu cele teoretice. Se compară, de asemenea, rezultatele simulărilor pentru cele trei topologii și se explică diferențele constatate.

2.2. Experimente

2.2.1. Redresor bialternanță în punte. Filtru capacitiv de netezire a undulațiilor

Se studiază redresoarele bialternanță în punte din fig. A1.3.1, fără și cu filtru capacitiv de netezire a undulațiilor. Combinarea valorilor rezistenței de sarcină (R_1 , R_2) și ale capacității de filtrare (C_1 , C_2) permite construirea a șase scheme de redresor în punte. Aceste variante de redresor în punte, realizate cu ajutorul celor două comutatoare (K_1 și K_2), își mențin numele primit în etapa de simulare:

1. **RB_PM_R1** = redresor fără filtru capacitiv, cu rezistență de sarcină $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$;
2. **RB_PM_R2** = redresor fără filtru capacitiv, cu rezistență de sarcină $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$;
3. **RB_PM_C1_R2** = redresor cu filtru capacitiv $C_1 = 100 \mu\text{F}$ și rezistență de sarcină $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$;
4. **RB_PM_C1_R1** = redresor cu filtru capacitiv $C_1 = 100 \mu\text{F}$ și rezistență de sarcină $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$;
5. **RB_PM_C2_R1** = redresor cu filtru capacitiv $C_2 = 1000 \mu\text{F}$ și rezistență de sarcină $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$;

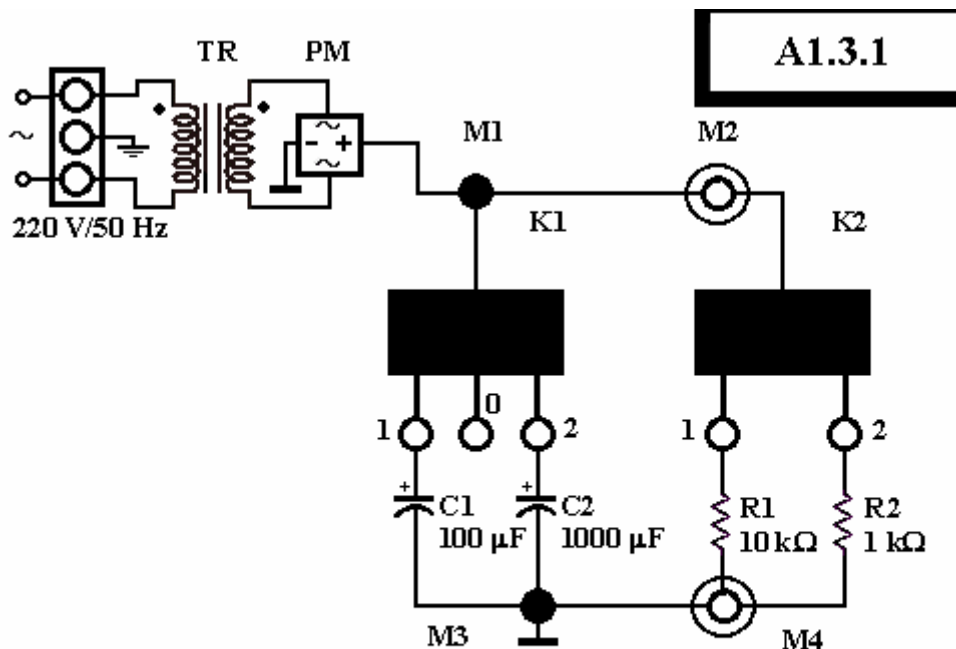


Fig. A1.3.1. Redresor în punte

Tensiunea alternativă, aplicată punții redresoare, este obținută din secundarul unui transformator TR, alimentat de la priză (220 V, 50 Hz). Valoarea efectivă a tensiunii din secundar este $U_s = 12$ V, frecvența 50 Hz, iar valoarea de vârf, $U_{sm} = 16,97$ V. Ordinea pozițiilor celor două comutatoare cu trei poziții a fost stabilită astfel încât experimentele să înceapă cu redresorul fără filtru și să permită studiul comparativ al diferitelor circuite redresoare cu filtru capacitiv: capacitate mică/mare a condensatorului de filtrare și rezistență mică/mare a rezistorului de sarcină. Instrumentele vor fi conectate la ieșirea circuitului redresor, după cum urmează: sonda canalului A al osciloscopului va fi conectată cu capul de măsurare la pinul cald de test (**M1**), iar masa sondei – la pinul de test aferent masei circuitului (**M3**); multimetrul digital va fi conectat ca voltmetru, între cele două borne de test ale montajului: **M2** și **M4**. Pentru fiecare variantă de circuit, va fi vizualizată forma de undă a tensiunii de la ieșire (tensiunea redresată, respectiv tensiunea redresată și filtrată), măsurând valoarea de vârf a tensiunii de ieșire, U_{om} , și amplitudinea vârf la vârf a componentei ondulatorii a tensiunii de ieșire, $U_{o\sim v\sim v}$. Cu voltmetrul, se măsoară valoarea medie a tensiunii redresate, U_O , și valoarea efectivă a componentei ondulatorii din tensiunea redresată, U_{oef} . Setările osciloscopului (factorul de scară al canalului A, baza de timp) și multimetrului (V, c.c./c.a, domeniul de măsură) vor fi în concordanță cu parametrii tensiunilor măsurate.

Datele culese prin măsurători efectuate pe circuitul fizic și/sau obținute din acestea prin calcule algebrice vor fi numite **rezultate experimentale**.

2.2.1.a. RB_PM_R1 ($K1 = 0$; $K2 = 1$). Se vizualizează tensiunea redresorului în punte, cu sarcină $R_1 = 10$ k Ω . Se desenează forma de undă, cu parametrii mășurați pe ecranul osciloscopului: amplitudinea U_{om} , perioada T și amplitudinea vârf la vârf a componentei ondulatorii, $U_{o\sim v\sim v}$. Se notează indicațiile multimetrului: U_O și U_{oef} .

Rezultate experimentale. Din valorile mărimilor măsurate, se calculează: valoarea de vârf a tensiunii pe diodele în conducție ($U_{AKm} = (U_{sm} - U_{om})/2$), factorul de ondulație ($r = U_{o\sim v\sim v}/2 \times 1,41 \times U_O$ sau $r = U_{oef}/U_O$), valorile de vârf, medie și efectivă ale curentului direct prin diodele în conducție ($I_{om} = U_{om}/R_1$; $I_O = U_O/R_1$; $I_{oef} = I_{om}/1,41$), rezistența dinamică a unei diode în conducție ($r_d = U_{AKm}/I_{om}$), randamentul circuitului ($\eta = (I_O)^2 \times R_1 / (I_{oef})^2 \times (R_1 + 2r_d)$).

2.2.1.b. RB_PM_R2 ($K1 = 0$; $K2 = 2$). Se testează circuitul redresor cu sarcină $R_2 = 1$ k Ω , procedând ca la punctul A1.3.1.a.

Se compară rezultatele experimentale obținute prin testarea celor două circuite redresoare.

2.2.1.c. RB_PM_C1_R2 ($K1 = 1$; $K2 = 2$). Se testează circuitul redresor cu filtru capacitiv $C_1 = 100 \mu\text{F}$ și rezistență de sarcină $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ (capacitate mică de filtrare și rezistență mică de sarcină), procedând ca la punctul A1.3.1.a.

Se desenează forma de undă, cu parametrii mășurați pe ecranul osciloscopului: amplitudinea U_{om} , perioada T și amplitudinea vârf la vârf a componentei ondulatorii, $U_{o\sim v-v}$, timpul de conducție al diodelor (t_1), într-o alternanță. Se notează indicațiile multimetrului: U_O și U_{oef} .

Rezultate experimentale. Din valorile mărimilor măsurate, se calculează: valoarea medie a tensiunii redresate ($U_O = U_{om} - U_{o\sim v-v} / 2$), valoarea de vârf a tensiunii pe o diodă în conducție ($U_{AKm} = (U_{sm} - U_{om}) / 2$), factorul de ondulație ($r = U_{o\sim v-v} / 2 \times 1,73 \times U_O$), valorile de vârf și medie ale curentului direct prin diodele în conducție ($I_{om} = U_{om} / R_2$; $I_O = U_O / R_2$), rezistența dinamică a unei diode în conducție ($r_d = U_{AKm} / I_{om}$).

2.2.1.d. RB_PM_C1_R1 ($K1 = 1$; $K2 = 1$). Se testează circuitul redresor cu filtru capacitiv $C_1 = 100 \mu\text{F}$ și rezistență de sarcină $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ (capacitate mică de filtrare și rezistență mare de sarcină), procedând ca la punctul A1.3.1.c.

Se compară rezultatele experimentale obținute prin testarea acestei grupe de circuite, evidențiind efectul rezistenței de sarcină asupra parametrilor tensiunii redresate (valoare de vârf, valoare medie, componentă ondulatorie).

2.2.1.e. RB_PM_C2_R1 ($K1 = 2$; $K2 = 1$). Se testează circuitul redresor cu filtru capacitiv $C_2 = 1000 \mu\text{F}$ și rezistență de sarcină $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ (capacitate mare de filtrare și rezistență mare de sarcină), procedând ca la punctul A1.3.1.c.

Se compară rezultatele experimentale obținute prin testarea acestei grupe de circuite, cu rezultatele corespunzătoare grupei studiate anterior (**RB_PM_C1_R1** și **RB_PM_C1_R2**), evidențiind efectul creșterii capacității condensatorului de filtrare și a rezistenței de sarcină asupra parametrilor tensiunii redresate (valoare de vârf, valoare medie, componentă ondulatorie).

Pentru fiecare circuit testat în laborator, vor fi comparate cele trei seturi de rezultate (simulate, teoretice și experimentale), explicând diferențele constatate.

Conținutul referatului

1. Schemele circuitelor simulate și testate, cu rezultatele simulărilor, predicțiile și rezultatele experimentale obținute.
2. Comentariile și explicațiile diferențelor dintre cele trei grupe de rezultate.

2.2.2. Stabilizator parametric de tensiune continuă

Se studiază funcționarea stabilizatorului parametric de tensiune continuă, cu DZ tip PL10V, alimentat de la un redresor bilaternanță în punte, cu filtru C, cu schema din fig. C1.3.1. Comutatorul K cu două poziții permite testarea circuitului cu două sarcini: $R_2 = 1\text{ k}\Omega$ ($K=1$) și $R_3 = 300\ \Omega$ ($K=2$).

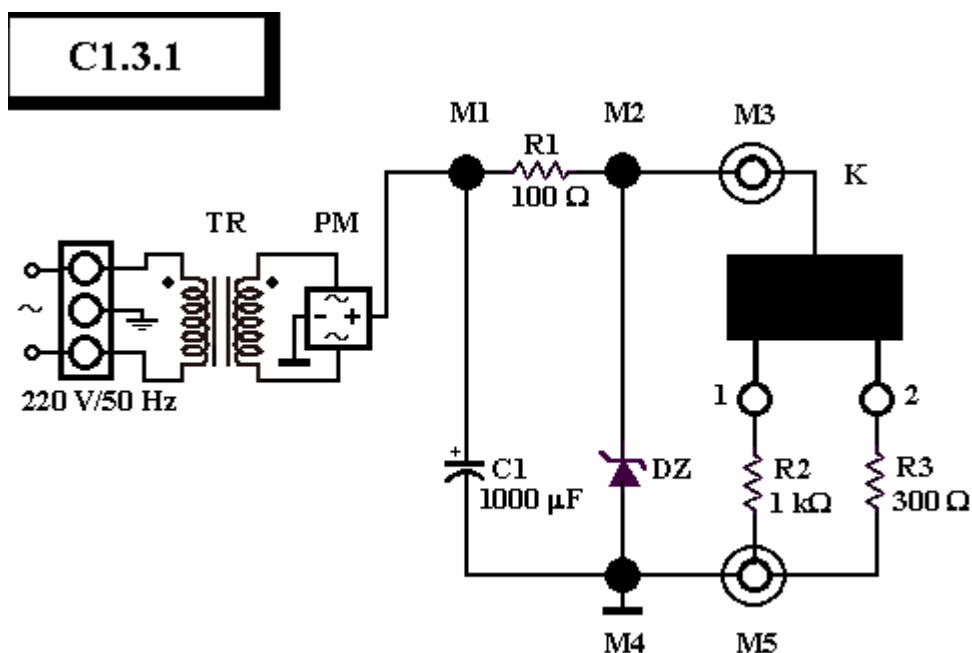


Fig. C1.3.1. Stabilizator parametric de tensiune continuă

Tensiunea alternativă, aplicată punții redresoare monofazate PM, este obținută din secundarul unui transformator TR, alimentat de la priză (220 V, 50 Hz). Valoarea efectivă a tensiunii din secundar este $U_s = 12\text{ V}$, frecvența 50 Hz, iar valoarea de vârf, $U_{sm} = 16,97\text{ V}$. Osciloscopul și multimetrul digital folosit ca voltmetru vor fi conectate astfel: sonda canalului A al osciloscopului va fi conectată cu capul de măsurare la pinul cald de test la intrarea circuitului (**M1**), iar sonda canalului B al osciloscopului va fi conectată cu capul de măsurare la pinul cald de test de la ieșirea circuitului (**M2**). Masa sondelor se conectează la pinul de test aferent masei circuitului (**M4**). Multimetrul sau voltmetrul va fi conectat la cele două borne ale montajului (**M3** și **M5**). Pentru fiecare rezistență de sarcină, vor fi vizualizate formele de undă ale tensiunii de alimentare a stabilizatorului (tensiunea redresată și filtrată) și tensiunii continue de ieșire (tensiunea stabilizată). Pe formele de undă, se măsoară valorile de vârf ale tensiunilor, U_{im} și U_{om} , și amplitudinile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii, U_{i-v-v} și U_{o-v-v} . Cu multimetrul, se măsoară valoarea medie a tensiunii de ieșire, U_o , și

valoarea efectivă a componentei ondulatorii din tensiunea de ieșire, U_{oef} . Setarea osciloscopului (sensibilitățile celor două canale, baza de timp) și a multimetrului (V, c.c./c.a, domeniul de măsură) vor fi în concordanță cu parametrii tensiunilor măsurate.

2.2.2.a. Se vizualizează tensiunile de alimentare, u_I , și de ieșire, u_O , ale stabilizatorului cu sarcină $R_2=1 \text{ k}\Omega$. Se desenează formele de undă, cu parametrii mășurați pe ecranul osciloscopului: valorile de vârf ale tensiunilor de intrare și de ieșire, $U_{\text{im}1}$ și $U_{\text{om}1}$, și amplitudinile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii din aceste tensiuni, $U_{i\sim v-1}$ și $U_{o\sim v-1}$. Se notează indicațiile voltmetrului: U_{O1} și $U_{\text{oef-}1}$.

Rezultate experimentale. Din mărimile măsurate, se calculează: valoarea medie a tensiunii de alimentare, $U_{I1}=U_{\text{im}1}-U_{i\sim v-1}/2$; curentul prin rezistorul de sarcină, $I_{O1} = U_{O1}/R_2$; curentul prin DZ, $I_{Z1} = (U_{I1}-U_{O1})/R_1-I_{O1}$; factorul de rejecție a undulațiilor, $RR = U_{i\sim v-1}/U_{o\sim v-1}$.

2.2.2.b. Se testează stabilizatorul cu sarcina $R_3 = 300 \Omega$, procedând ca la punctul anterior.

Rezultate experimentale. Din mărimile măsurate, se calculează: valoarea medie a tensiunii de alimentare, $U_{I2} = U_{\text{im}2}-U_{i\sim v-2}/2$; curentul prin rezistorul de sarcină, $I_{O2} = U_{O2}/R_3$; curentul prin DZ, $I_{Z2} = (U_{I2}-U_{O2})/R_1-I_{O2}$; factorul de rejecție a undulațiilor, $RR = U_{i\sim v-2}/U_{o\sim v-2}$; rezistența dinamică a DZ, $r_z = (U_{O1}-U_{O2})/(I_{Z2}-I_{Z1})$; rezistența de ieșire a circuitului, $R_O = (U_{O1}-U_{O2})/(I_{O2}-I_{O1})$.

Se compară rezultatele experimentale cu rezultatele teoretice și cu acelea obținute prin simulare. Se explică diferențele.

Conținutul referatului

1. Schemele circuitelor simulate și testate, cu rezultatele simulărilor, predicțiile și rezultatele experimentale obținute.
2. Comentariile și explicațiile privind diferențele dintre cele trei grupe de rezultate.

2.2.3. Limitatoare bilaterale de amplitudine, cu diode Zener

Se studiază funcționarea circuitului limitator bilateral simetric de amplitudine din fig. C1.3.2, realizat cu două diode Zener (DZ5V1), mai întâi, cu ieșirea în gol, și, apoi, cu un rezistor de sarcină $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, respectiv $R_3 = 5,1 \text{ k}\Omega$. Cele trei topologii stabilite prin intermediul comutatorului K, ce vor fi testate, își mențin numele primit în etapa de simulare:

1. **LB_OO** = limitator bilateral cu ieșirea în gol;
2. **LB_R2** = limitator bilateral cu rezistență de sarcină $R_2 = 10\text{ k}\Omega$;
3. **LB_R3** = limitator bilateral cu rezistență de sarcină $R_3 = 5,1\text{ k}\Omega$.

Cele trei topologii ale circuitului limitator sunt necesare pentru studierea efectului rezistenței de sarcină asupra parametrilor circuitului: praguri de limitare – la intrare, niveluri de limitare – la ieșire, panta regiunii de urmărire a semnalelor, pătrunderea semnalului de intrare la ieșire, în regim de limitare etc. Comportarea circuitului limitator va fi testată cu două tipuri de semnale (sinusoidal și triunghiular), cu diferite amplitudini și frecvențe, furnizate de generatorul de funcții (GF), conectat la intrare (borna **I1**). Pentru vizualizarea semnalelor de intrare și de ieșire și măsurarea parametrilor tensiunii de ieșire, se va folosi un osciloscop cu două canale: sonda canalului A al osciloscopului va fi conectată cu capul de măsurare la pinul cald de test de la intrarea circuitului (**M1**), iar sonda canalului B va fi conectată cu capul de măsurare la pinul cald de test de la ieșirea circuitului (**M2**); masa fiecărei sonde se conectează la pinul de test aferent masei circuitului (**M3**). Formele de undă ale semnalelor de intrare și de ieșire, suprapuse, ilustrează funcționarea circuitului și permit determinarea parametrilor circuitului. Setarea osciloscopului (factori egali de scară pentru cele două canale A și B, bază de timp) va fi în concordanță cu parametrii semnalelor de intrare și de ieșire.

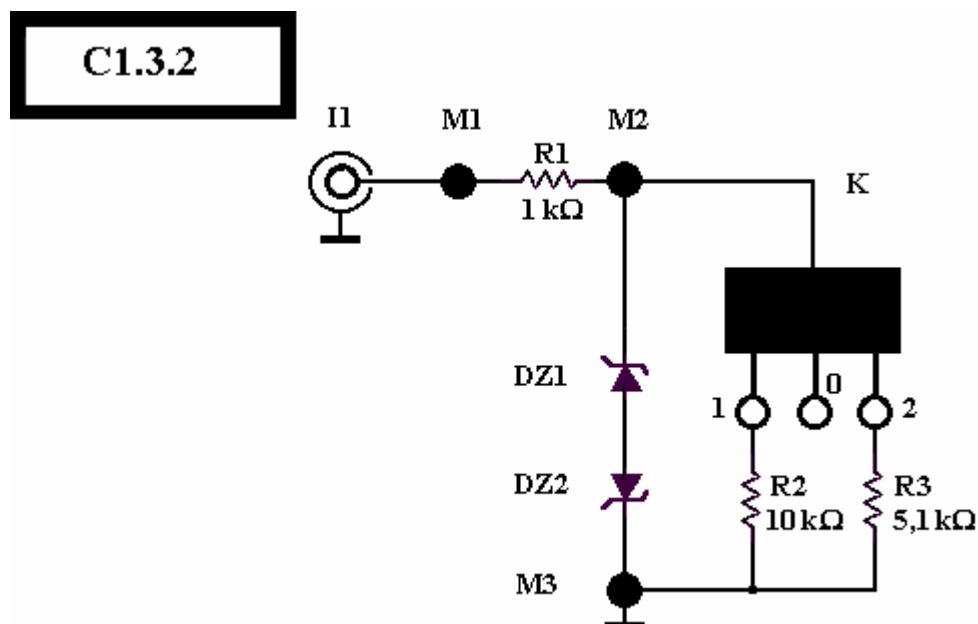


Fig. C1.3.2. Limitator bilateral de amplitudine cu diode Zener

2.2.3.a. LB_OO ($K = 0$). Generatorul de funcții se setează pentru o formă de undă sinusoidală, cu amplitudinea de 10 V și frecvența de 1 kHz. Se vizualizează tensiunea sinusoidală de intrare și tensiunea de ieșire, deplasând formele de undă până la suprapunerea axelor de referință.

Rezultate experimentale. Se desenează formele de undă, cu parametrii mășurați pe ecranul osciloscopului: tensiunea pozitivă de prag, U_{ip1} , și nivelurile minim și maxim de limitare ale tensiunii pozitive de ieșire (U_{ol1min} , U_{ol1max}); tensiunea negativă de prag, U_{ip2} , și nivelurile minim și maxim de limitare ale tensiunii negative de ieșire (U_{ol2min} , U_{ol2max}). Cu aceste date, se construiește caracteristica de transfer a limitatorului bilateral și se estimează panta segmentului de dreaptă corespunzător regimului de urmărire a semnalelor (m).

Se testează același circuit, cu un semnal triunghiular cu amplitudine 10 V, frecvența 1 kHz, factor de umplere 50%. Se desenează formele de undă vizualizate. Se modifică frecvența semnalului de intrare, către frecvențe inferioare și, respectiv, superioare frecvenței de 1 kHz, observând forma semnalului de la ieșire.

2.2.3.b. LB_R2 ($K = 1$). Se testează circuitul limitator cu rezistență de sarcină $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, urmând procedura expusă la punctul 2.2.3.a.

2.2.3.c. LB_R3 ($K = 2$). Se testează circuitul limitator cu rezistență de sarcină $R_3 = 5,1 \text{ k}\Omega$, urmând procedura expusă la punctul 2.2.3.a.

Se compară rezultatele experimentale obținute prin testarea limitatorului bilateral de amplitudine, evidențiind efectul rezistenței de sarcină asupra parametrilor limitatorului: tensiunile de prag, panta segmentului de dreaptă corespunzător regimului de urmărire a semnalelor, nivelurile de limitare, forma tensiunii de ieșire în regim de limitare, comportarea circuitului la testarea cu semnale cu diferite forme de undă și frecvențe diferite etc.

Pentru fiecare topologie a circuitului testat în laborator, vor fi comparate cele trei seturi de rezultate (simulate, teoretice și experimentale), explicând diferențele constatate.

Conținutul referatului

1. Schemele circuitelor simulate și testate, cu rezultatele simulărilor, predicțiile și rezultatele experimentale obținute.
2. Comentariile și explicațiile diferențelor dintre cele trei grupe de rezultate.
3. Formele de undă și caracteristica de transfer pentru circuitul limitator obținut prin eliminarea diodei DZ1 sau DZ2.

----- * -----