

## TEMA 5. Stabilizatoare liniare de tensiune continuă

### Circuite studiate

- Stabilizatoare monolitice de tensiune continuă fixă pozitivă și negativă

### Obiective

- Măsurarea și compararea unor parametri ai circuitelor integrate liniare stabilizatoare de tensiune continuă fixă și reglabilă.
- Observarea comportării stabilizatoarelor liniare de tensiune continuă fixă/reglabilă pozitivă și negativă la variația tensiunii de alimentare, sarcinii și temperaturii.

**Echipping necesar** : multimetru digital, osciloscop, Multisim 2001, macheta de laborator nr. 4.

### Metoda de observare

- Aplicarea unei tensiuni redresate și filtrate la intrarea circuitului integrat și observarea efectului de rejecție a ondulațiilor din tensiunea de ieșire, cu măsurarea parametrului aferent.
- Varierea tensiunii continue de alimentare și observarea caracteristicii statice de transfer, cu măsurarea tensiunii minime de alimentare a circuitului și a stabilizării de intrare (linie).
- Varierea rezistenței de sarcină și observarea caracteristicii de ieșire, cu măsurarea stabilizării de sarcină (rezistenței de ieșire) și a curentului maxim de ieșire.

## 5. 1. Simulări

I. Se vor determina parametrii CI monolitice stabilizatoare de tensiune continuă cu ieșire fixă (tip LM 7812, LM 7912) și cu ieșire reglabilă (tip LM 117), pe baza rezultatelor simulărilor și a analizelor adecvate. Variantele circuitelor de testare sunt denumite:

1. **STF\_P** = stabilizator liniar de tensiune continuă fixă pozitivă;
2. **STF\_N** = stabilizator liniar de tensiune continuă fixă negativă;
3. **STR\_P** = stabilizator liniar de tensiune continuă reglabilă pozitivă.

**4.2.1. STF\_P.** Se construiesc, pe rând, circuitele din fig. 4.2.1, pentru testarea stabilizatorului de tensiune pozitivă reglabilă cu LM 7812CT și măsurarea unor parametri ai CI: tensiunea nominală de ieșire,  $U_O$ , curentul consumat în gol,  $I_Q$ , diferența minimă a tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)min}$ , tensiunea minimă stabilizată la curent maxim de ieșire,

stabilizările de intrare și de sarcină, factorul de rejecție a undulațiilor, RR, coeficientul de temperatură al tensiunii stabilizate,  $K_T$ .

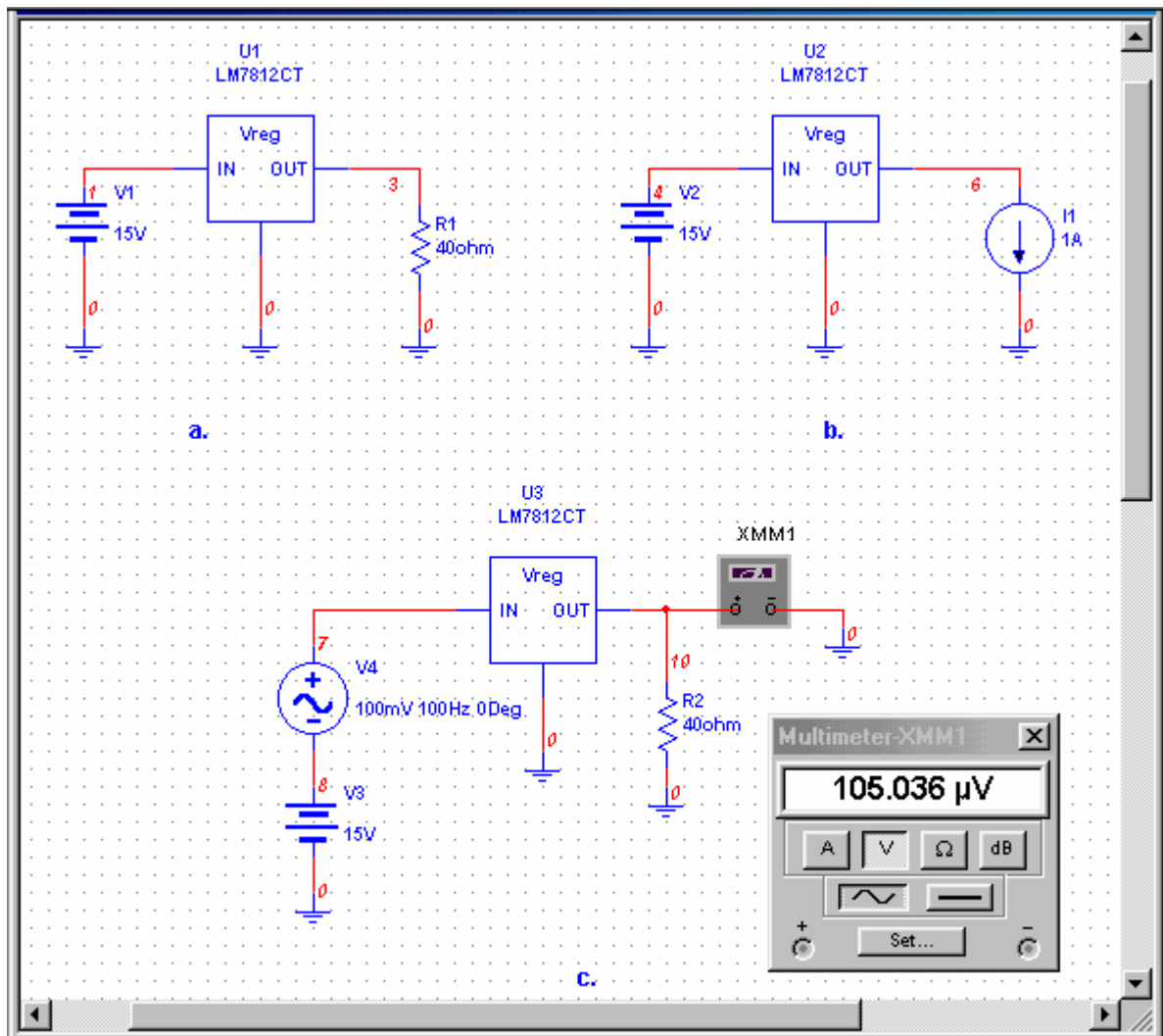


Fig. 4.2.1. Stabilizator linear de tensiune continuă fixă pozitivă (LM 7812CT)

a. Mai întâi, se face o analiză a punctului static de funcționare (submeniul **DC Operating Point**) al circuitului din fig. 4.2.1.a și se determină potențialul nodului de ieșire (3) și curentul absorbit la intrare (vv1#branch). Rezultatul analizei este dat în fig. 4.2.2.

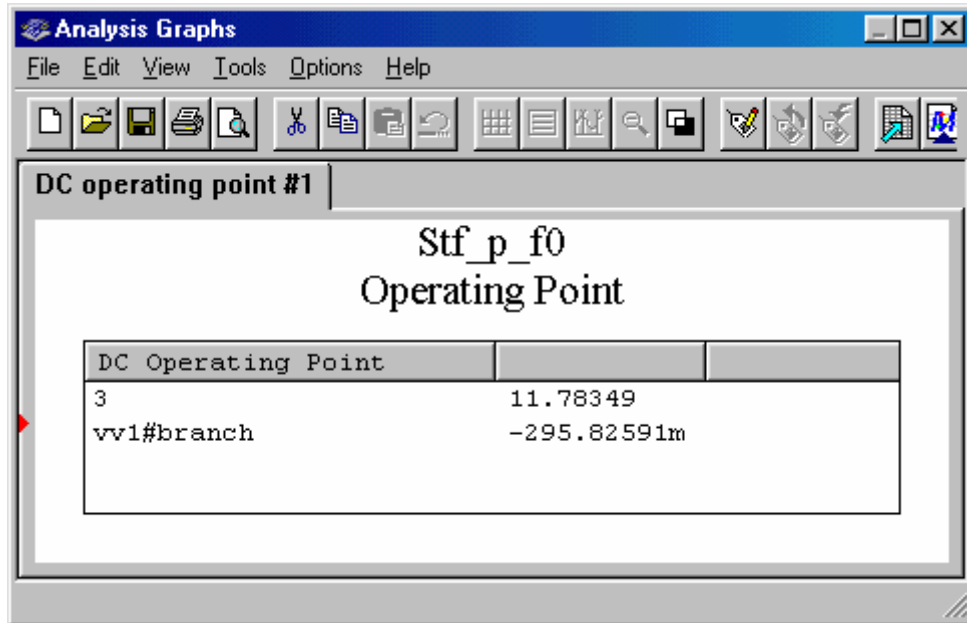


Fig. 4.2.2

b. Se trasează caracteristica de transfer a circuitului,  $U_0 = f(U_1)$ , folosind circuitul din fig. 4.2.1.a și submeniul **DC Sweep Analysis**; parametrii analizei sunt: vv1: 10V, 35V, 0.5V; variabila de ieșire este potențialul nodului de ieșire (3).

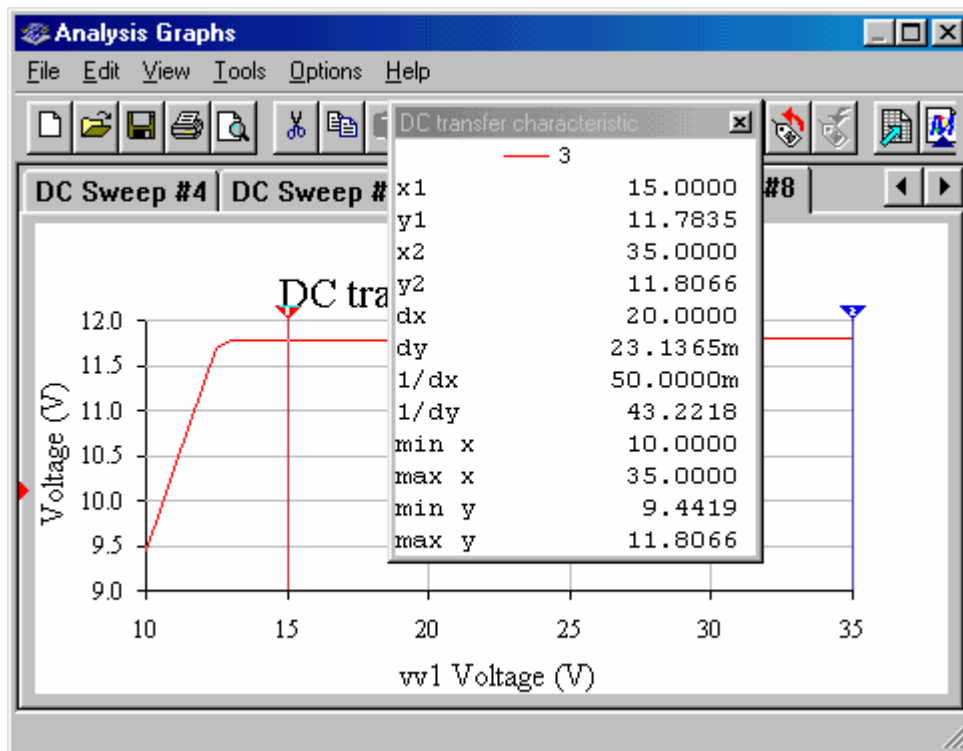


Fig. 4.2.3

Caracteristica de transfer din fig. 4.2.3 furnizează date privind tensiunea minimă de alimentare a circuitului,  $U_{\text{Imin}}$ , și tensiunea stabilizată corespunzătoare, și comportarea CI la variația tensiunii de alimentare, pentru o sarcină dată (stabilizarea de intrare).

c. Se trasează caracteristica de ieșire a stabilizatorului, cu ajutorul circuitului din fig. 4.2.1.b și a submeniului **DC Sweep Analysis**; parametrii analizei sunt:  $i_{i1}$ : 0A, 2A, 0.05A; variabila de ieșire – potențialul nodului de ieșire (6). Rezultatul analizei (alimentarea circuitului la  $V_2 = 15\text{ V}$ ) este dat în fig. 4.2.4. Din acest grafic, se obțin tensiunea maximă stabilizată cu ieșirea în gol,  $U_{\text{Omax}}$  ( $I_{\text{O}}=0$ ), și parametrul stabilizare la sarcină (rezistența de ieșire a stabilizatorului).

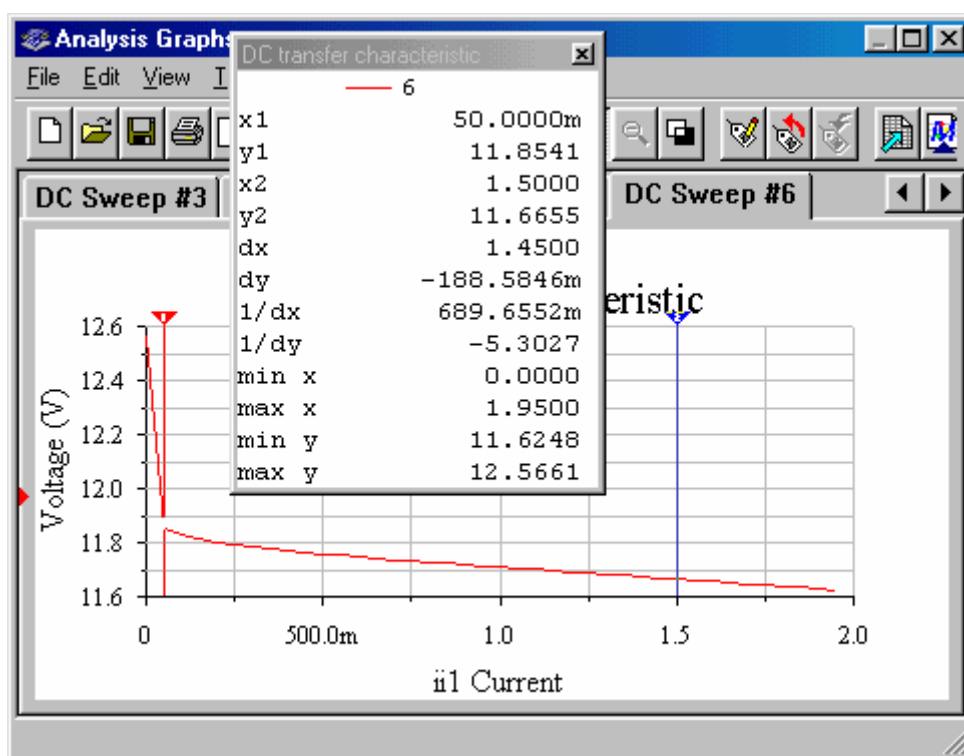


Fig. 4.2.4

d. Pentru testarea capacității CI de rejecție a ondulațiilor din tensiunea de alimentare, se introduce, la intrarea circuitului, o sursă de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 100 mV și frecvența de 100 Hz (fig. 4.2.1.c). Se simulează circuitul și se măsoară valoarea efectivă a componentei ondulatorii din tensiunea de ieșire.

e. Pentru circuitul stabilizator din fig. 4.2.1.a, rezultatele analizei punctului static de funcționare, date în tabelul din fig. 4.2.2, corespund temperaturii de 27°C. Coeficientul de temperatură al tensiunii stabilizate de ieșire poate fi determinat cu ajutorul submeniului **Temperature Sweep**.

În tab-ul activ **Analysis Parameters**, se fixează tipul de baleiaj al domeniului temperaturii (Linear, decade, Octave, List). S-a ales un baleiaj liniar, pentru care este necesară precizarea valorilor corespunzătoare capetelor domeniului (START: 27, STOP: 47, în exemplul considerat), numărul de puncte (# of points: 2) și incrementul (20). Variabila de ieșire, potențialul nodului de ieșire (3), se precizează în tab-ul **Output Variables**. Rezultatul acestei analize (fig. 4.2.5) arată o creștere nesemnificativă a tensiunii stabilizate de ieșire, de la 11,7835 V (T = 27°C) la 11,8398 V (T = 47°C).

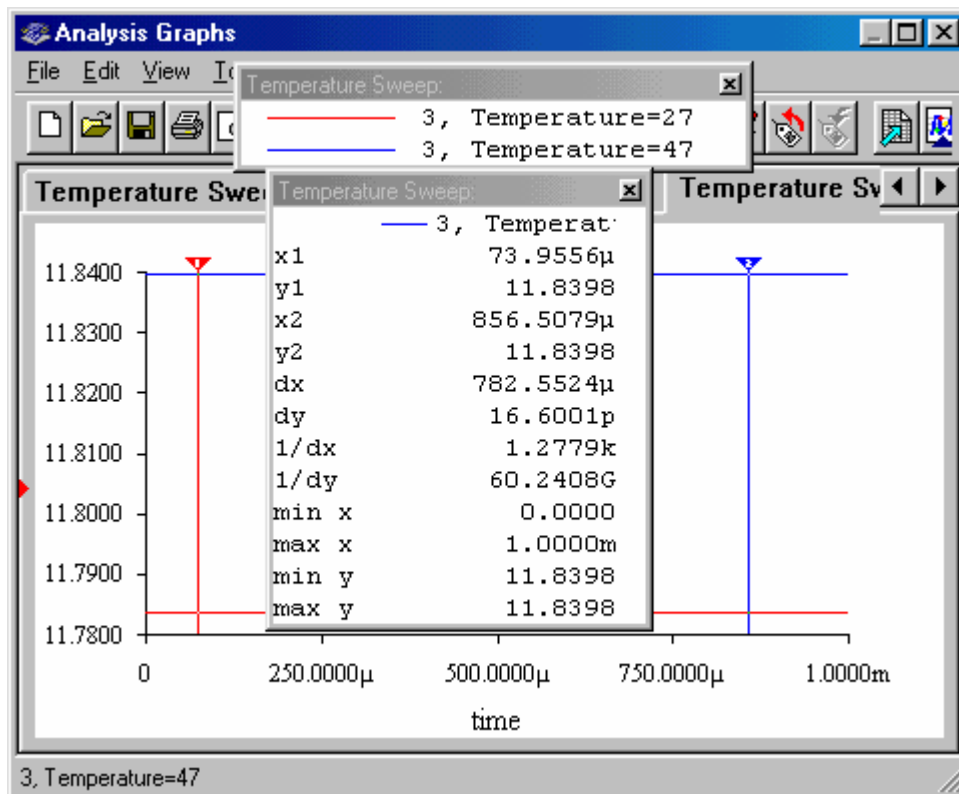


Fig. 4.2.5

**Date de catalog:** domeniul tensiunii de intrare/alimentare,  $U_I = +14,5 \text{ V} \div +35 \text{ V}$ ; tensiunea nominală de ieșire,  $U_O = 12 \text{ V}$ ; curent maxim de ieșire,  $I_{Omax} = 1 \text{ A}$ ; curent consumat în gol,  $I_Q = 8 \text{ mA}$ ; putere maximă disipată,  $P_{max} = 20 \text{ W}$ ; stabilizare de intrare,  $K_U = 10 \text{ mV}$  (tipic) și  $K_U = 240 \text{ mV}$  (maxim); stabilizare de sarcină,  $K_L = 5 \text{ mV}$  (tipic) și  $K_L = 120 \text{ mV}$  (maxim); rezistența de ieșire,  $R_O = 18 \text{ m}\Omega$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR = 72 \text{ dB}$ ; coeficientul de temperatură  $K_T = -1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

**Rezultatele analizelor și simulării.** Din rezultatele analizei punctului static de funcționare,  $V3 = 11,78349 \text{ V}$ ,  $vv1\#branch = 295,8591 \text{ mA}$ , pentru o tensiune de alimentare  $V1 = 15 \text{ V}$  și o sarcină  $R1 = 40 \Omega$ , se calculează: curentul prin sarcină,  $I_O = U_O/R_1 = V3/R1 =$

294,5125 mA; curentul consumat în gol,  $I_G = I_I - I_O = v1\#branch - I_O = 1,3466$  mA; diferența tensiunilor intrare – ieșire,  $U_{(I-O)} = U_I - U_O = V1 - V3 = 3,21651$  V.

Din caracteristica de transfer, pentru  $I_O = 300$  mA, se obțin următoarele date: tensiunea minimă de alimentare,  $U_{Imin} = 13$  V și tensiunea minimă stabilizată, corespunzătoare,  $U_{Omin} = 11,78$  V; stabilizarea de intrare, la  $\Delta U_I = dx = 20$  V,  $K_U = dy = 23,1365$  mV.

Din caracteristica de ieșire, pentru  $U_I = 15$  V, rezultă: tensiunea maximă stabilizată cu ieșirea în gol ( $I_O = 0$ ),  $U_{Omax} = 12,56$  V, și tensiunea minimă stabilizată la curent maxim de ieșire,  $U_{Omin} = 11,6655$  V ( $I_O = 1,5$  A). Stabilizarea de sarcină, la  $\Delta I_O = dx = 1,45$  A,  $K_L = dy = -188,5846$  mV. Rezistența de ieșire a circuitului stabilizator este  $R_O = -dy/dx = 0,13$   $\Omega$ . Caracteristica de limitare a curentului nu poate fi vizualizată, întrucât modelul CI nu conține circuitul de protecție la scurtcircuit.

Voltmetrul de c.a. din circuitul dat în fig. 4.2.1.c indică o tensiune ondulatorie la ieșire cu valoarea efectivă  $U_{o\sim ef} = 0,105036$  mV, pentru o tensiune ondulatorie la intrare cu valoarea efectivă  $U_{i\sim ef} = 70,7$  mV (frecvența de 100 Hz); rezultatul se menține și la frecvența de 1 kHz. Factorul de rejecție a ondulației este  $RR = 20\lg(U_{i\sim ef}/U_{o\sim ef}) = 56,56$  dB.

Coeficientul de temperatură al tensiunii stabilizate are valoarea  $K_T = [U_O(T=47^\circ\text{C}) - U_O(T=27^\circ\text{C})]/(47^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}) = 2,815$  mV/ $^\circ\text{C}$ .

**4.2.2. STF\_N.** Se testează, în aceleași condiții de sarcină, stabilizatorul de tensiune fixă negativă (LM 7912CT), în schemele din fig. 4.2.6.

**a.** Se face o analiză a punctului static de funcționare (submeniul **DC Operating Point**) al circuitului din fig. 4.2.6.a și se determină potențialul nodului de ieșire (5) și curentul absorbit la intrare (v1#branch). Rezultatul analizei este dat în fig. 4.2.7.

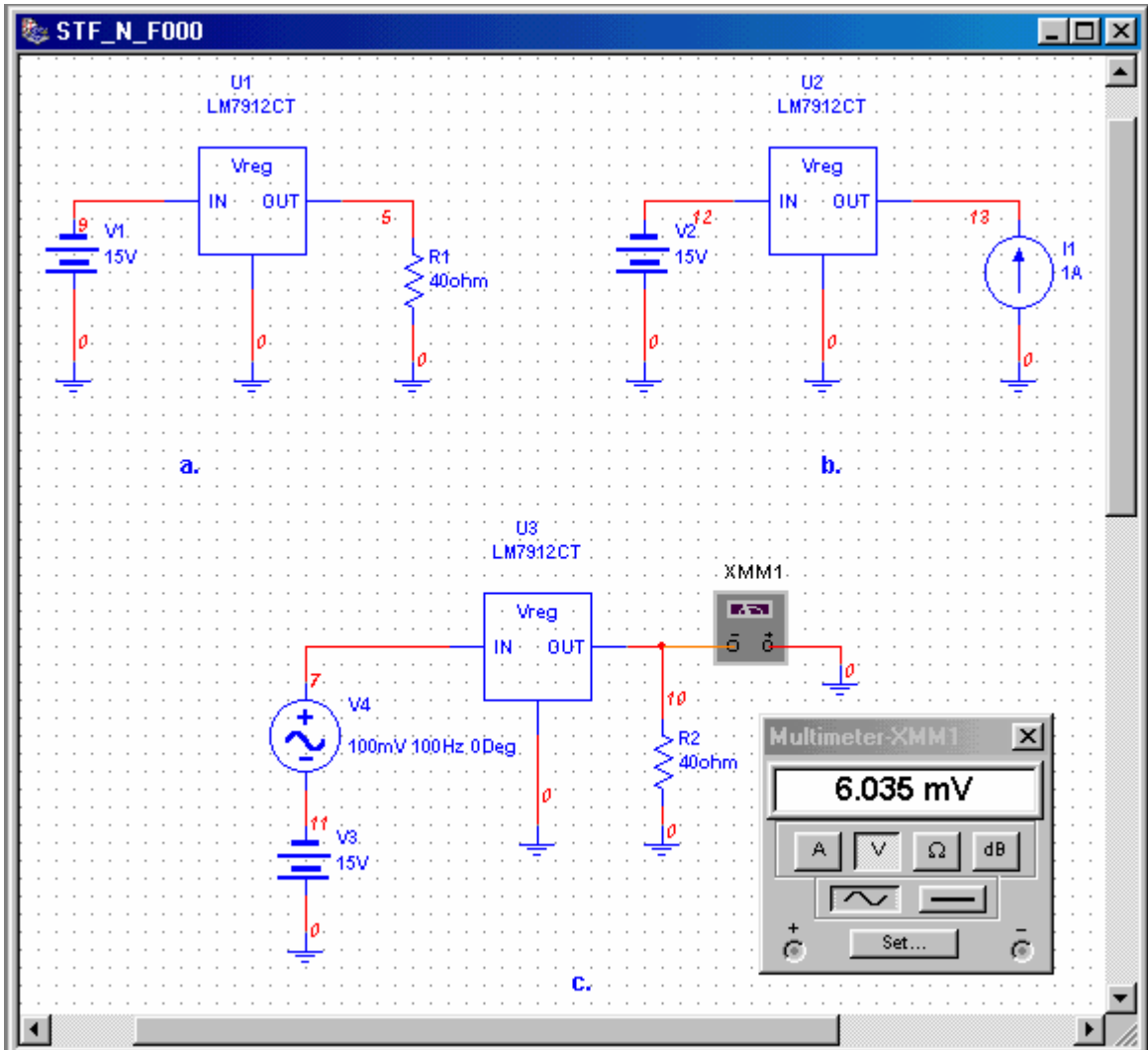


Fig. 4.2.6. Stabilizator liniar de tensiune continuă fixă negativă (LM 7912CT)

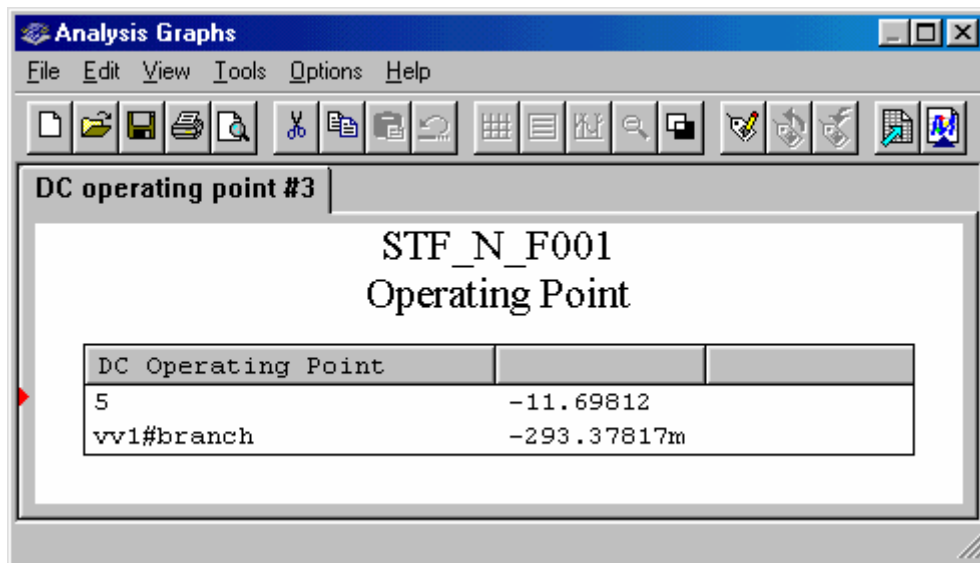


Fig. 4.2.7

b. Se trasează caracteristica de transfer a circuitului,  $U_O = f(U_I)$ , folosind circuitul din fig. 4.2.6.a și submeniul **DC Sweep Analysis**; parametrii analizei sunt: vv1: -10V, -35V, 1V; variabila de ieșire – potențialul nodului de ieșire (5).

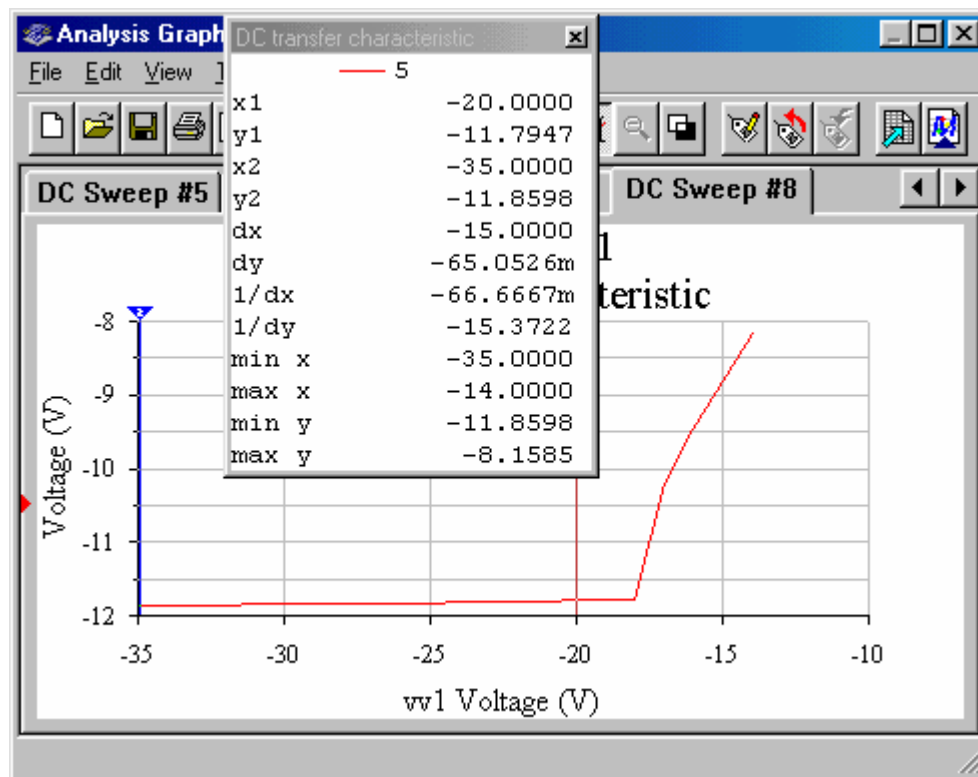


Fig. 4.2.8

Caracteristica de transfer  $U_O = f(U_I)$  este dată în fig. 4.2.8 și permite determinarea următoarelor mărimi: tensiunea minimă de alimentare a circuitului,  $U_{\min}$ , și tensiunea stabilizată corespunzătoare, și stabilizarea de intrare.

c. Se trasează caracteristica de ieșire a stabilizatorului, cu ajutorul circuitului din fig. 4.2.6.b și submeniului **DC Sweep Analysis**; parametrii analizei sunt: ii1: 0A, 1.5A, 0.01A; variabila de ieșire – potențialul nodului de ieșire (13). Rezultatul analizei (alimentarea circuitului la  $V_2 = 30\text{ V}$ ) este dat în fig. 4.2.9. Din acest grafic, se obține tensiunea minimă stabilizată cu ieșirea în gol,  $U_{O\min}$  ( $I_O=0$ ) și parametrul stabilizare la sarcină (rezistența de ieșire a stabilizatorului).



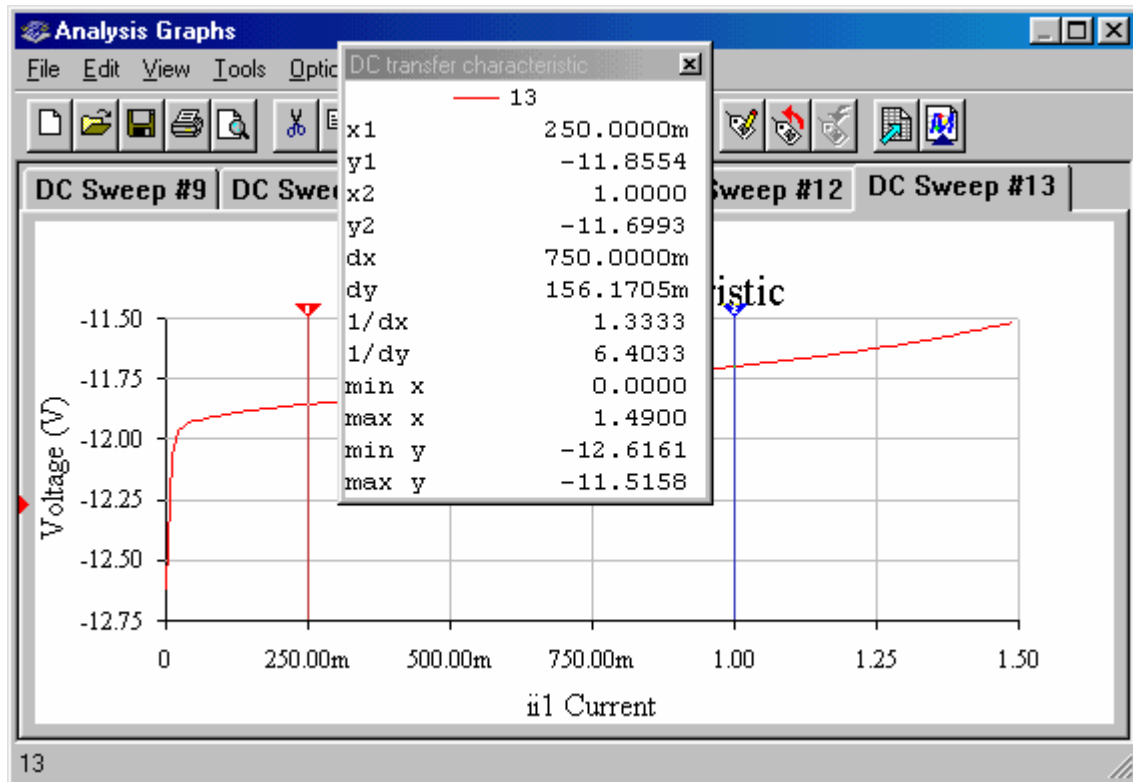


Fig. 4.2.9

d. Se introduce, la intrarea circuitului, o sursă de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 100 mV și frecvența de 100 Hz (fig. 4.2.6.c). Se simulează circuitul și se măsoară valoarea efectivă a componentei ondulatorii din tensiunea de ieșire.

e. Pentru circuitul stabilizator din fig. 4.2.6.a, rezultatele analizei punctului static de funcționare, date în tabelul din fig. 4.2.7, corespund temperaturii de 27°C. Coeficientul de temperatură al tensiunii stabilizate de ieșire poate fi determinat cu ajutorul analizei variației potențialului nodului de ieșire (5) la variația temperaturii. Pentru aceleași setări ale parametrilor analizei **Temperature Sweep**, ca în analiza de la punctul 4.2.1.e, se obțin rezultatele din fig. 4.2.10; tensiunea de ieșire scade la creșterea temperaturii: de la -11,6981 V ( $T = 27^{\circ}\text{C}$ ) la -11,7995 V ( $T = 47^{\circ}\text{C}$ ).

**Date de catalog:** domeniul tensiunii de intrare/alimentare,  $U_I = -14,5 \text{ V} \div -35 \text{ V}$ ; tensiunea nominală de ieșire,  $U_O = -12 \text{ V}$ ; curent maxim de ieșire,  $I_{O\text{max}} = 1,5 \text{ A}$ ; curent consumat în gol,  $I_Q = 1,5 \text{ mA}$ ; putere maximă disipată,  $P_{\text{max}} = 20 \text{ W}$ ; stabilizare de intrare,  $K_U = 12 \text{ mV}$  (tipic) și  $K_U = 240 \text{ mV}$  (maxim); stabilizare de sarcină,  $K_L = 12 \text{ mV}$  (tipic) și  $K_L = 240 \text{ mV}$  (maxim); factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR = 60 \text{ dB}$ ; rezistența de ieșire nu este precizată.

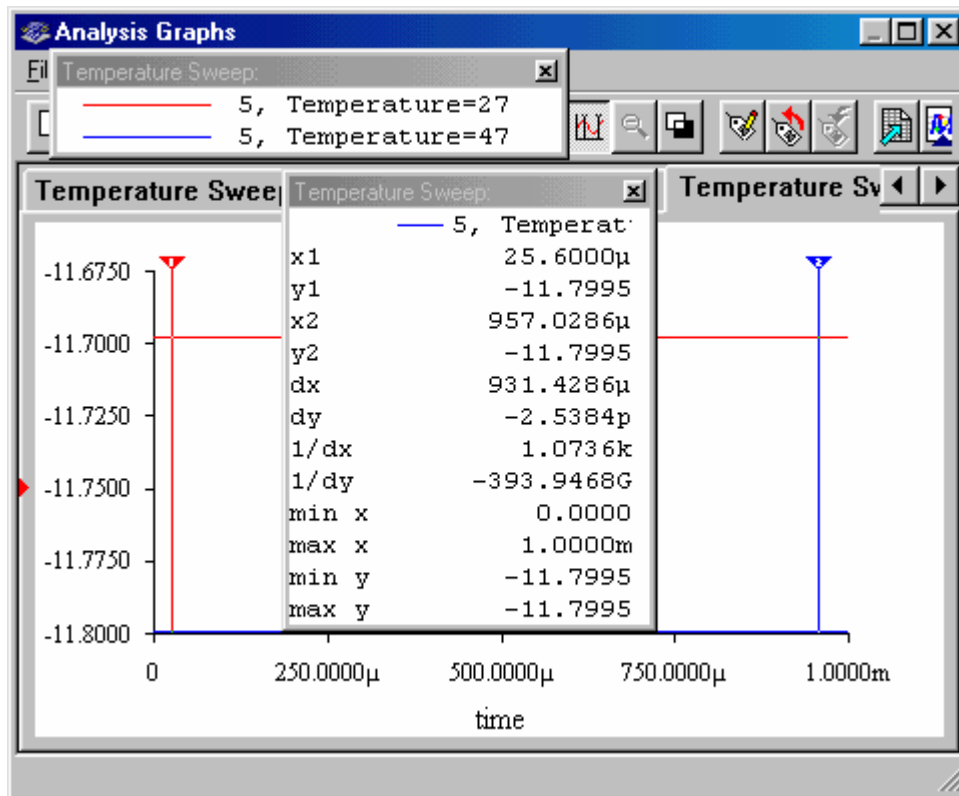


Fig. 4.2.10

**Rezultatele analizelor și simulării.** Din rezultatele analizei punctului static de funcționare,  $V_5 = -11,69812 \text{ V}$ ,  $vv1\#branch = -293,37817 \text{ mA}$ , pentru o tensiune de alimentare  $V_1 = 15 \text{ V}$  și o sarcină  $R_1 = 40 \Omega$ , se calculează: curentul prin sarcină,  $I_O = U_O/R_1 = V_5/R_1 = -292,453 \text{ mA}$ ; curentul consumat în gol,  $I_G = I_1 - I_O = vv1\#branch - I_O = 0,92517 \text{ mA}$ ; diferența tensiunilor intrare – ieșire,  $U_{(I-O)} = U_I - U_O = V_1 - V_5 = 3,3 \text{ V}$ .

Din caracteristica de transfer, pentru  $I_O = 300 \text{ mA}$ , se obțin următoarele date: tensiunea maximă de alimentare,  $U_{I\max} = -18 \text{ V}$  și tensiunea maximă stabilizată, corespunzătoare,  $U_{O\min} = -11,77 \text{ V}$ ; stabilizarea de intrare, la  $\Delta U_I = dx = -15 \text{ V}$ ,  $K_U = dy = -65,0526 \text{ mV}$ .

Din caracteristica de ieșire, pentru  $U_I = -30 \text{ V}$ , rezultă: tensiunea minimă stabilizată cu ieșirea în gol ( $I_O = 0$ ),  $U_{O\min} = -12,6161 \text{ V}$ , și tensiunea maximă stabilizată la curent maxim de ieșire,  $U_{O\max} = -11,5158 \text{ V}$  ( $I_O = 1,5 \text{ A}$ ). Stabilizarea de sarcină, la  $\Delta I_O = dx = 0,75 \text{ A}$ ,  $K_L = dy = 156,1705 \text{ mV}$ . Rezistența de ieșire a circuitului stabilizator este  $R_O = dy/dx = 0,208 \Omega$ . Caracteristica de limitare a curentului nu poate fi vizualizată, întrucât modelul CI nu conține circuitul de protecție la scurtcircuit.

Voltmetrul de c.a. din circuitul dat în fig. 4.2.6.c indică o tensiune ondulatorie la ieșire cu valoarea efectivă  $U_{o-ef} = 6,012 \text{ mV}$ , pentru o tensiune ondulatorie la intrare cu valoarea

efectivă  $U_{i-ef} = 70,7 \text{ mV}$  (frecvența de 100 Hz); rezultatul se menține și la frecvența de 1 kHz. Factorul de rejectie a undulației este  $RR = 20\lg(U_{i-ef}/U_{o-ef}) = 21,4 \text{ dB}$ . Coeficientul de temperatură al tensiunii stabilizate are valoarea  $K_T = [U_O(T=47^\circ\text{C})-U_O(T=27^\circ\text{C})]/(47^\circ\text{C}-27^\circ\text{C}) = -5,07 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

**4.2.3. STR\_P.** Se construiește circuitul din fig. 4.2.11, pentru testarea stabilizatorului de tensiune pozitivă reglabilă cu LM 117CT și măsurarea unor parametri ai CI; rețeaua  $R_1, R_2$  a fost dimensionată pentru fixarea unei tensiuni de ieșire de 12 V.

a. Se face o analiză a punctului static de funcționare și se determină potențialele nodurilor de ieșire (11), de ajustare (3) și curentul absorbit la intrare (vv1#branch). Rezultatul analizei este dat în fig. 4.2.12.

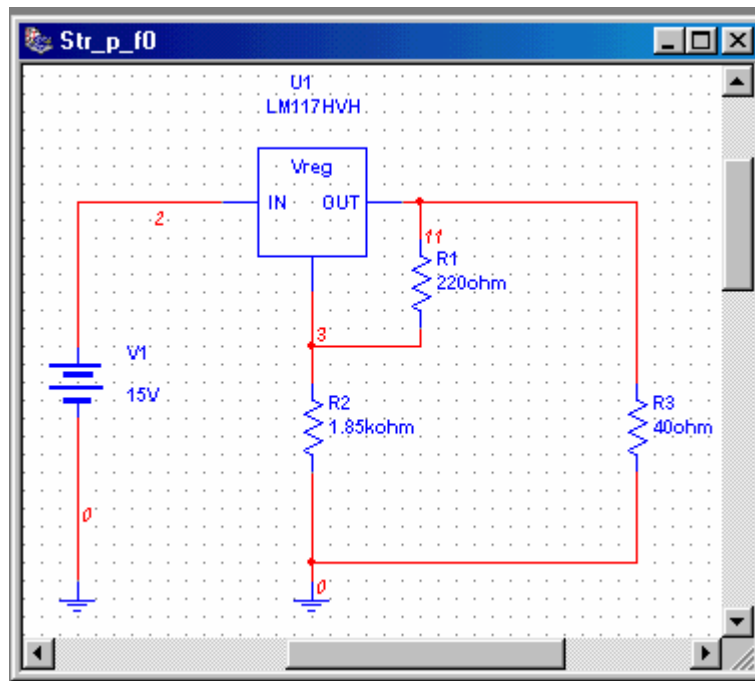


Fig. 4.2.11

Str_p_f0 Operating Point	
DC Operating Point	
3	10.77470
11	12.04537
vv1#branch	-306.95837m

Fig. 4.2.12

b. Se introduce, la intrarea stabilizatorului, o sursă de tensiune alternativă cu amplitudinea de 100 mV și frecvența de 100 Hz, ca sursă de undulații, pentru măsurarea factorului de rejecție a undulației, RR (fig. 4.2.13). Voltmetrul conectat la ieșire indică valoarea efectivă a componentei ondulatorii a tensiunii de ieșire.

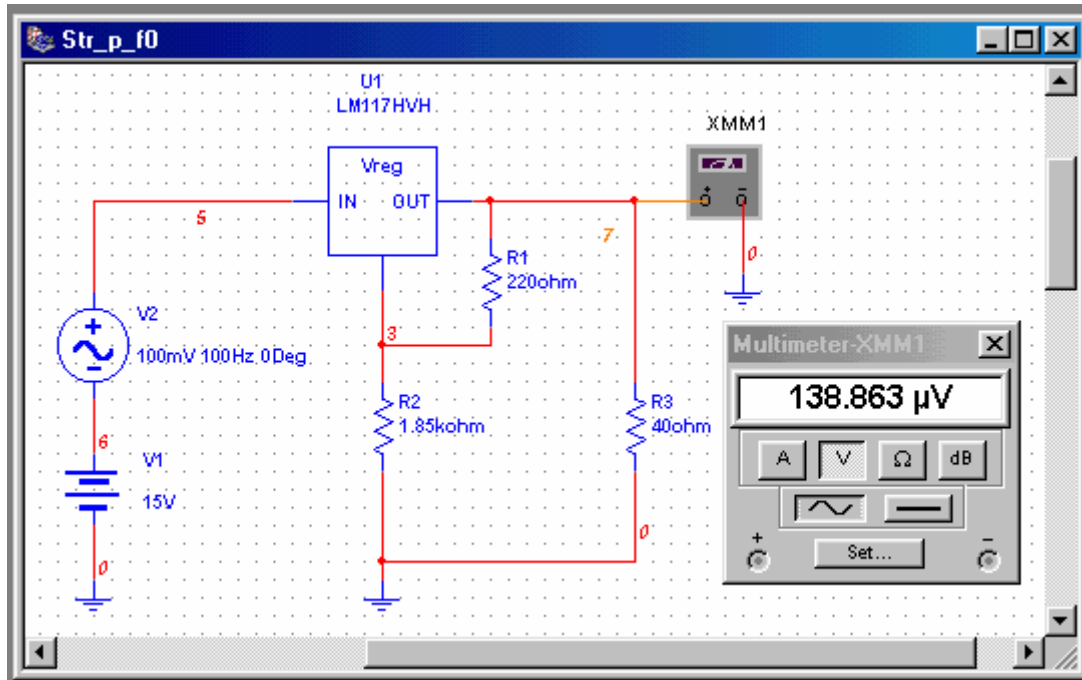


Fig. 4.2.13

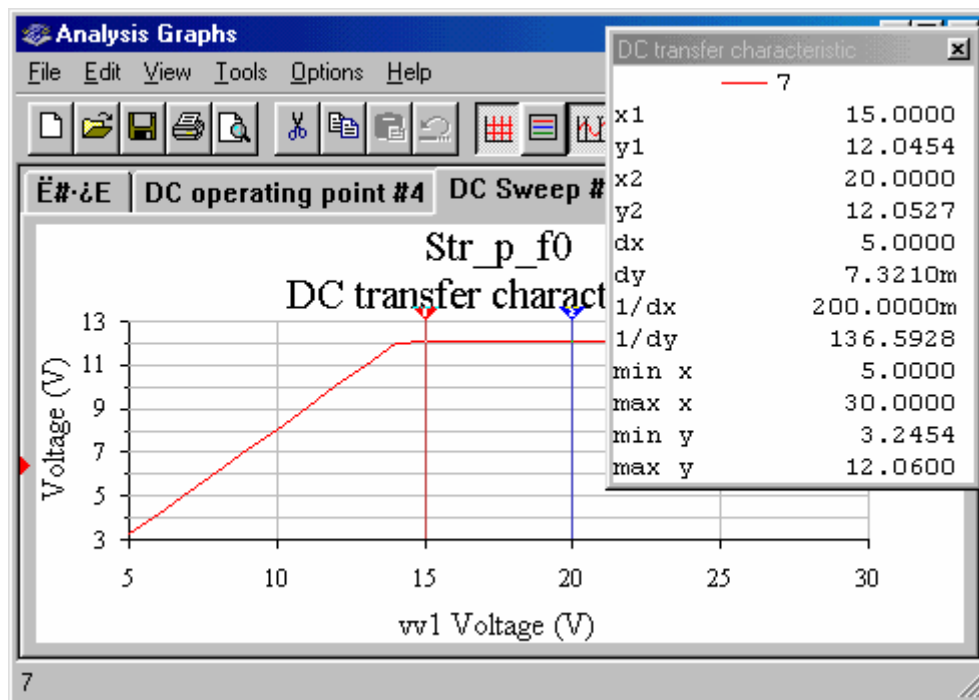


Fig. 4.2.14

c. Se elimină sursa de tensiune alternativă din circuit și se trasează caracteristica de transfer a stabilizatorului, folosind analiza în c.c. cu baleiajul domeniului tensiunii continue V1 (submeniul **DC Sweep Analysis**). Pentru  $R_L=R_3=40\ \Omega$ , se obține caracteristica de transfer  $U_O=f(U_I)$  din fig. 4.2.14, din care se determină tensiunea minimă de alimentare, tensiunea minimă stabilizată și stabilizarea de intrare.

d. Se construiește circuitul pentru măsurarea stabilizării de sarcină (fig. 4.2.15). Cu submeniul **DC Sweep Analysis**, se obține caracteristica de ieșire a stabilizatorului din fig. 4.2.16.

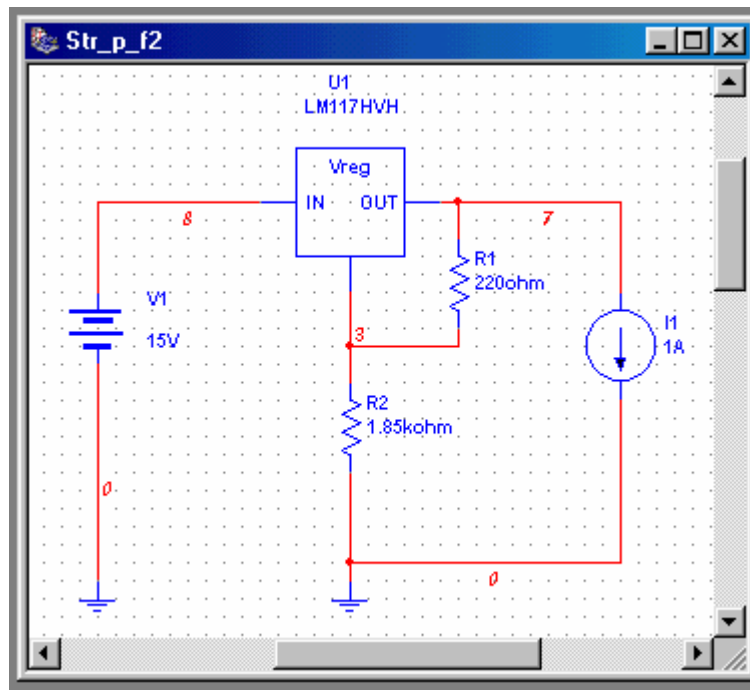


Fig. 4.2.15

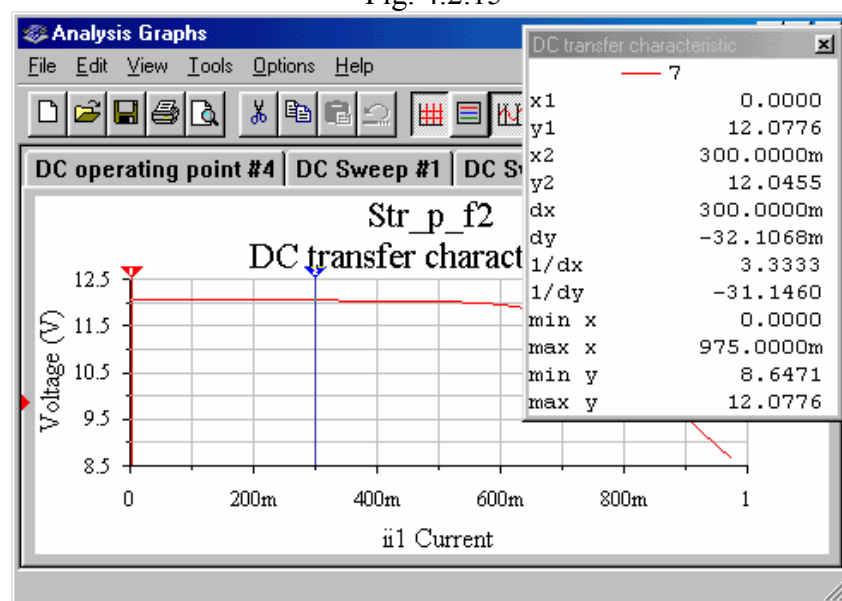


Fig. 4.2.16

e. Pentru circuitul stabilizator din fig. 4.2.11, rezultatele analizei punctului static de funcționare, date în tabelul din fig. 4.2.12, corespund temperaturii de 27°C. Coeficientul de temperatură al tensiunii stabilizate de ieșire poate fi determinat cu ajutorul submeniului **Temperature Sweep**. Rezultatul acestei analize (fig. 4.2.17) arată o creștere nesemnificativă a tensiunii stabilizate de ieșire, de la 12,0454 V ( $T = 27^\circ\text{C}$ ) la 12,047 V ( $T = 47^\circ\text{C}$ ).

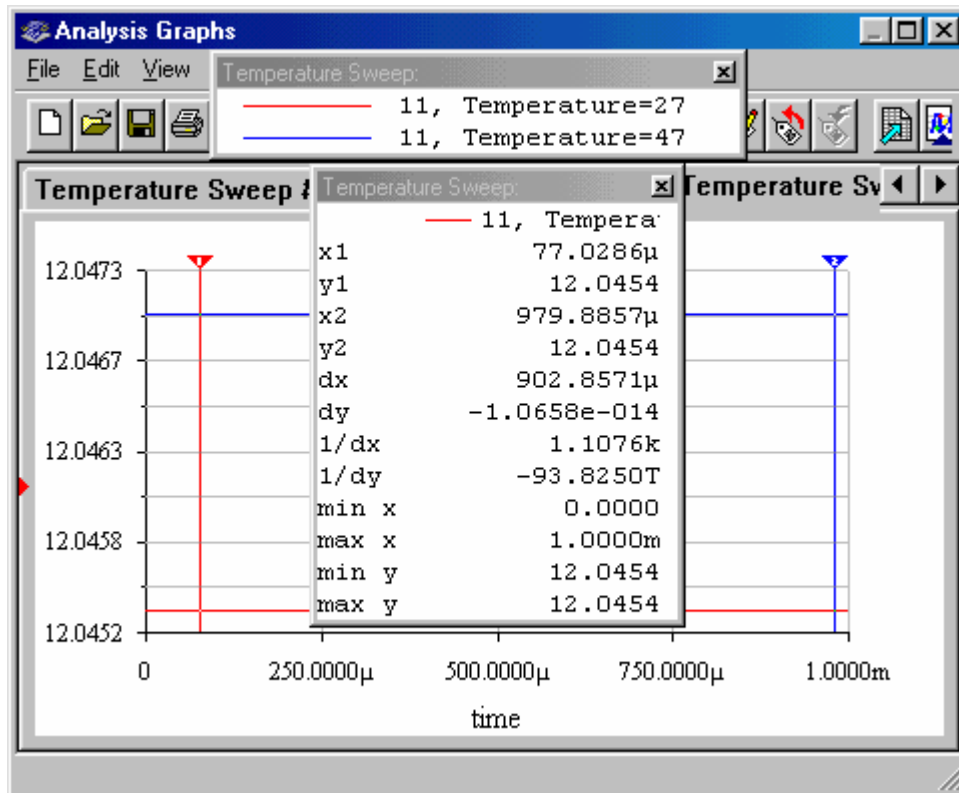


Fig. 4.2.17

**Date de catalog:** domeniul tensiunii de intrare/alimentare,  $U_I = +3,2 \text{ V} \div +60 \text{ V}$ ; domeniul tensiunii de ieșire,  $U_O = +1,2 \text{ V} \div +40 \text{ V}$ ; curent maxim de ieșire,  $I_{O_{\max}} = 1,8 \text{ A}$ ; putere maximă disipată,  $P_{\max} = 15 \text{ W}$ ; tensiune de referință,  $U_{\text{ref}} = 1,25 \text{ V}$ ; curent prin terminalul de ajustare,  $I_{AJ} = 50 \mu\text{A}$ ; curent minim de ieșire,  $I_G = 3,5 \text{ mA}$ ; stabilizare de intrare,  $K_U = 0,01\%/V$  (tipic) și  $K_U = 0,05\%/V$  (maxim); stabilizare de sarcină,  $K_L = 0,3\%$  (tipic) și  $K_L = 1\%$  (maxim); factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR = 80 \text{ dB}$ .

**Rezultatele analizelor și simulării.** Din rezultatele analizei punctului static de funcționare,  $V11 = U_O = 12,04537 \text{ V}$ ,  $V3 = V_{\text{ADJ}} = 10,7747 \text{ V}$ ,  $v_{v1\#branch} = I_I = -306,95837 \text{ mA}$ , pentru o tensiune de alimentare  $V1 = 15 \text{ V}$  și o sarcină  $R_1 = 40 \Omega$ , se calculează: tensiunea de referință,  $U_{\text{ref}} = V11 - V3 = 1,27067 \text{ V}$ ; curentul prin sarcină,  $I_O = U_O/R_3 = V11/R_3 = 301,13425 \text{ mA}$ ; curentul prin rezistorul  $R_1$ ,  $I_1 = U_{\text{ref}}/R_1 = 5,77 \text{ mA}$ ; curentul prin

terminalul de ajustare,  $I_{ADJ} = I_I - I_O - I_1 = 0,05412 \text{ mA}$ ; diferența tensiunilor intrare – ieșire,  $U_{(I-O)} = U_I - U_O = V1 - V11 = 2,9544 \text{ V}$ .

Din caracteristica de transfer, pentru  $I_O = 301 \text{ mA}$ , se obțin următoarele date: tensiunea minimă de alimentare,  $U_{Imin} = 14 \text{ V}$  și tensiunea minimă stabilizată, corespunzătoare,  $U_{Omin} = 11,8926 \text{ V}$ ; stabilizarea de intrare, la  $\Delta U_I = dx = 5 \text{ V}$ ,  $K_U = 100dy/dx \cdot U_O = 100 \cdot 7,321 \text{ mV} / 5 \text{ V} \cdot 12 \text{ V} = 0,012\%/\text{V}$ .

Din caracteristica de ieșire, pentru  $U_I = 15 \text{ V}$ , rezultă: tensiunea maximă stabilizată cu ieșirea în gol ( $I_O = 0$ ),  $U_{Omax} = 12,077 \text{ V}$ , și tensiunea minimă stabilizată la curent maxim de ieșire,  $U_{Omin} = 11,83 \text{ V}$  ( $I_O = 650 \text{ mA}$ ). Stabilizarea de sarcină este  $K_L = 100dy/U_O = 100 \cdot 32,1068 \text{ mV} / 12 \text{ V} = 0,26\%$ , pentru  $\Delta I_O = dx = 300 \text{ mA}$ . Rezistența de ieșire a circuitului stabilizator este  $R_O = dy/dx = 0,107 \Omega$ .

Voltmetrul de c.a. din circuitul dat în fig. 4.2.13.c indică o tensiune ondulatorie la ieșire cu valoarea efectivă  $U_{o-ef} = 0,14 \text{ mV}$ , pentru o tensiune ondulatorie la intrare cu valoarea efectivă  $U_{i-ef} = 70,7 \text{ mV}$  (frecvența de  $100 \text{ Hz}$ ); rezultatul se menține și la frecvența de  $1 \text{ kHz}$ . Factorul de rejecție a undulației este  $RR = 20 \lg(U_{i-ef}/U_{o-ef}) = 56,39 \text{ dB}$ .

Coefficientul de temperatură al tensiunii stabilizate de ieșire are valoarea  $K_T = [U_O(47^\circ\text{C}) - U_O(27^\circ\text{C})] / [U_O(27^\circ\text{C}) \cdot (47^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C})] = 6,641 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$  sau  $K_T = 6,641 \cdot 10^{-4} \%/^\circ\text{C}$ .

**II.** Cu ajutorul simulării și a analizelor aferente, vor fi studiate câteva aplicații practice ale acestor circuite integrate liniare, de tipul:

1. **STF\_P\_RB** = sursă de tensiune stabilizată pozitivă fixă, realizată cu CI tip LM7812CT;
2. **STF\_N\_RB** = sursă de tensiune stabilizată negativă fixă, realizată cu CI tip LM7912CT;
3. **STD\_RB** = sursă dublă de tensiuni stabilizate, realizată cu CI tip LM7812CT și LM7912CT.

**4.2.4. STF\_P\_RB.** Se construiește circuitul din fig. 4.2.18, pentru testarea sursei de alimentare cu tensiune pozitivă fixă, realizată cu CI tip LM 7812CT, cu două rezistențe de sarcină ( $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$  și  $R_2 = 120 \Omega$ ); sursa de tensiune alternativă, V1, cu amplitudinea de  $17 \text{ V}$  (valoare efectivă  $12 \text{ V}$ ), frecvența  $50 \text{ Hz}$ , modelează secundarul unui transformator cu raport de transformare egal cu  $0,055$ , alimentat în primar de la priza de  $220 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ . Redresorul bialternanță în punte (D1) și filtrul capacitiv (C1) furnizează tensiunea de alimentare a stabilizatorului.

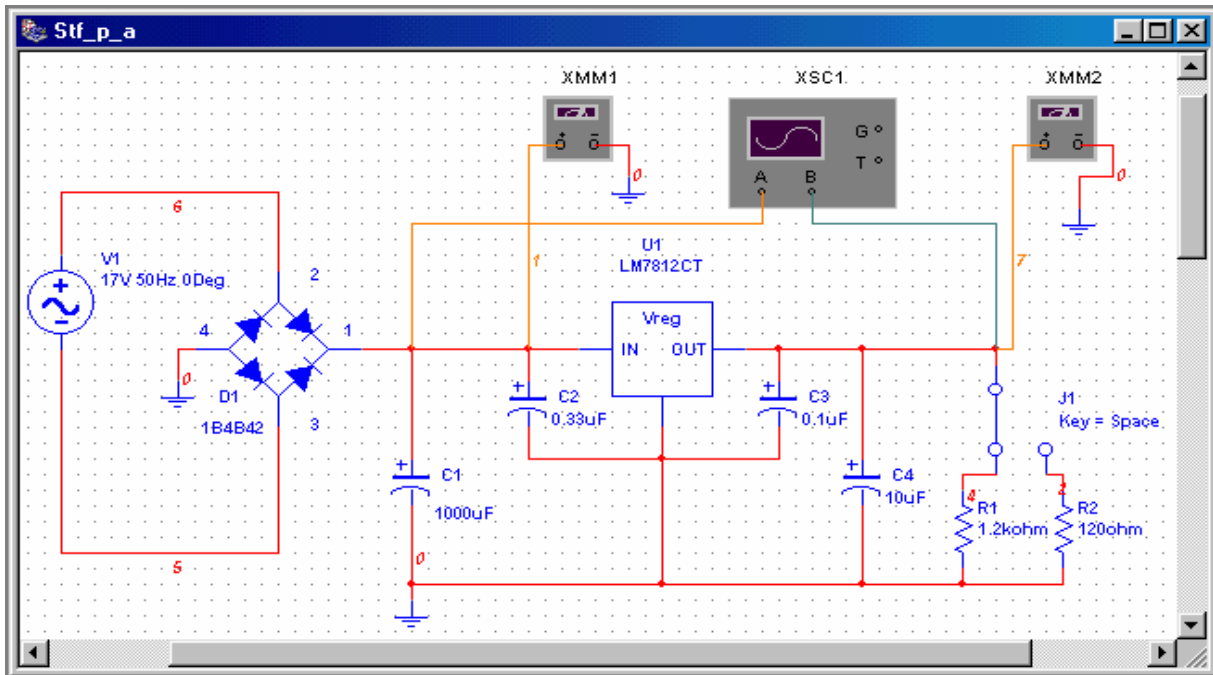


Fig. 4.2.18

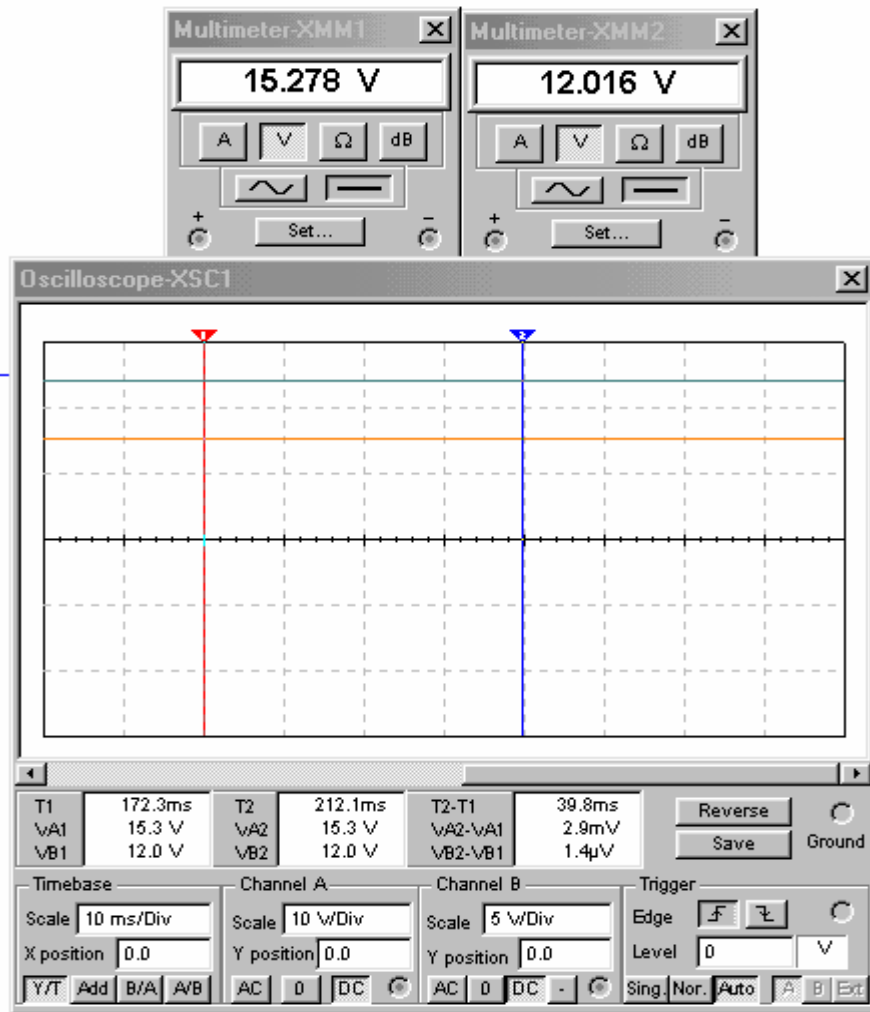


Fig. 4.2.19



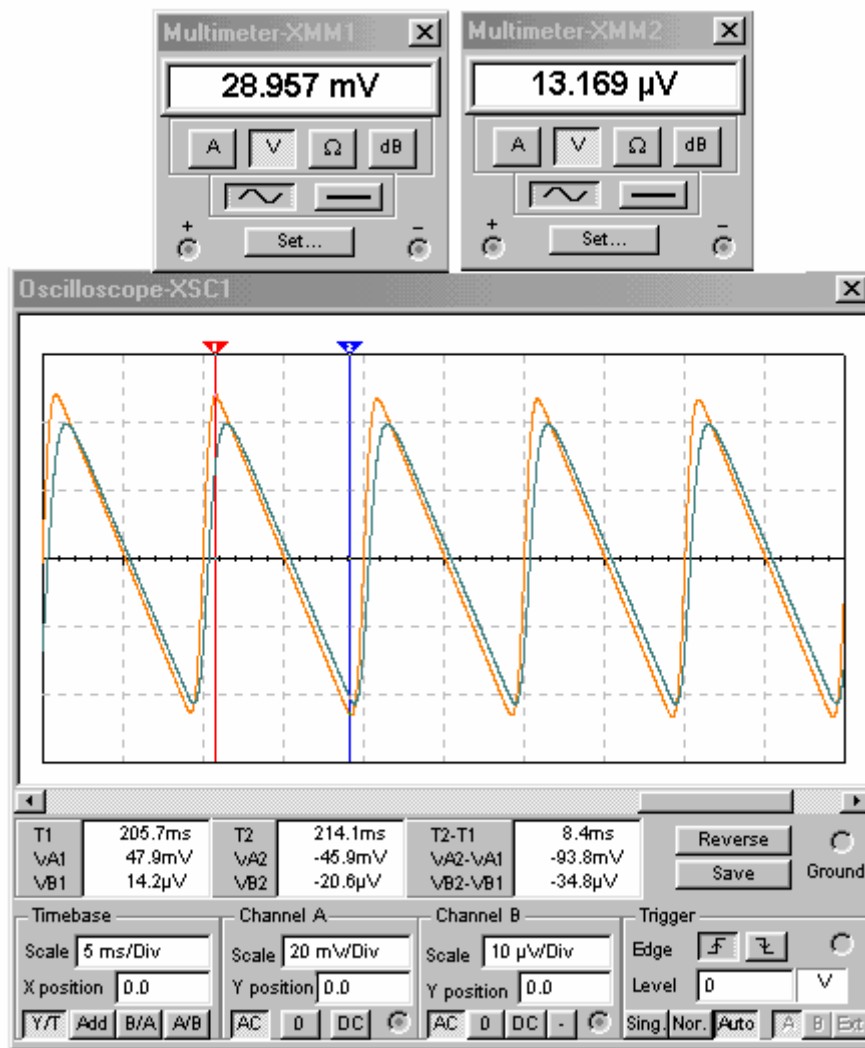


Fig. 4.2.20

a. Se face o simulare a circuitului cu rezistență de sarcină  $R_{L1} = R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$  și se vizualizează formele de undă ale tensiunilor de la intrarea și ieșirea stabilizatorului, măsurând valorile medii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{I1}$ ) și de ieșire ( $U_{O1}$ ) și amplitudinile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale aceluiași tensiuni ( $U_{(i\sim v-v)1}$  și  $U_{(o\sim v-v)1}$ ); în același timp, se citesc indicațiile celor două voltmetre (XMM1, conectat la intrarea stabilizatorului, și XMM2, conectat la ieșirea stabilizatorului): tensiunile continue de alimentare ( $U_{I1}$ ) și de ieșire ( $U_{O1}$ ); valorile efective ale componentelor ondulatorii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{(i\sim ef)1}$ ) și de ieșire ( $U_{(o\sim ef)1}$ ). Rezultatele simulării, sub forma citirilor pe ecranele osciloscopului și voltmetrelor, sunt grupate în fig. 4.2.19 și 4.2.20

b. Se face o nouă simulare a circuitului, pentru rezistența de sarcină  $R_{L2} = R_2 = 120 \Omega$ , și se culeg datele în aceeași manieră ca la punctul precedent. Mărimile măsurate, în acest caz, sunt: valorile medii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{I2}$ ) și de ieșire ( $U_{O2}$ ) și amplitudinile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale aceluiași tensiuni ( $U_{(i\sim v-v)2}$  și  $U_{(o\sim v-v)2}$ );

indicațiile voltmetrelor: tensiunile continue de alimentare ( $U_{I2}$ ) și de ieșire ( $U_{O2}$ ) și valorile efective ale componentelor ondulatorii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{(i-ef)2}$ ) și de ieșire ( $U_{(o-ef)2}$ ). Rezultatele acestei simulări sunt grupate în fig. 4.2.21 și 4.2.22. Pentru determinarea coeficientului de temperatură al tensiunii stabilizate (nodul 7), se face o analiză cu submeniul **Temperature Sweep**, pentru un domeniu  $27^{\circ}\text{C} - 47^{\circ}\text{C}$ , la fel ca mai înainte. Rezultatul analizei este prezentat în fig. 4.2.23.

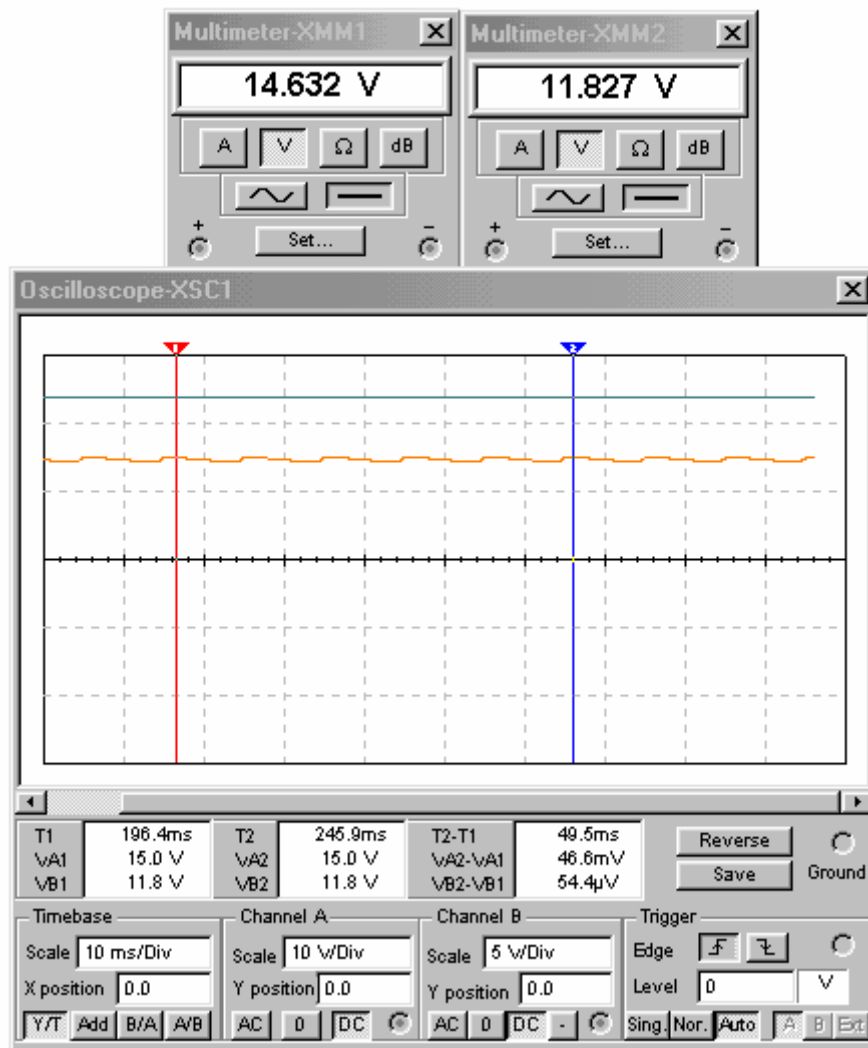


Fig. 4.2.21

**Rezultatele simulărilor.** Fiind disponibile două seturi de valori foarte apropiate, pentru aceleași mărimi (furnizate de osciloscop și de voltmetre), va fi folosit, pentru determinarea parametrilor sursei, setul citirilor la voltmetre.

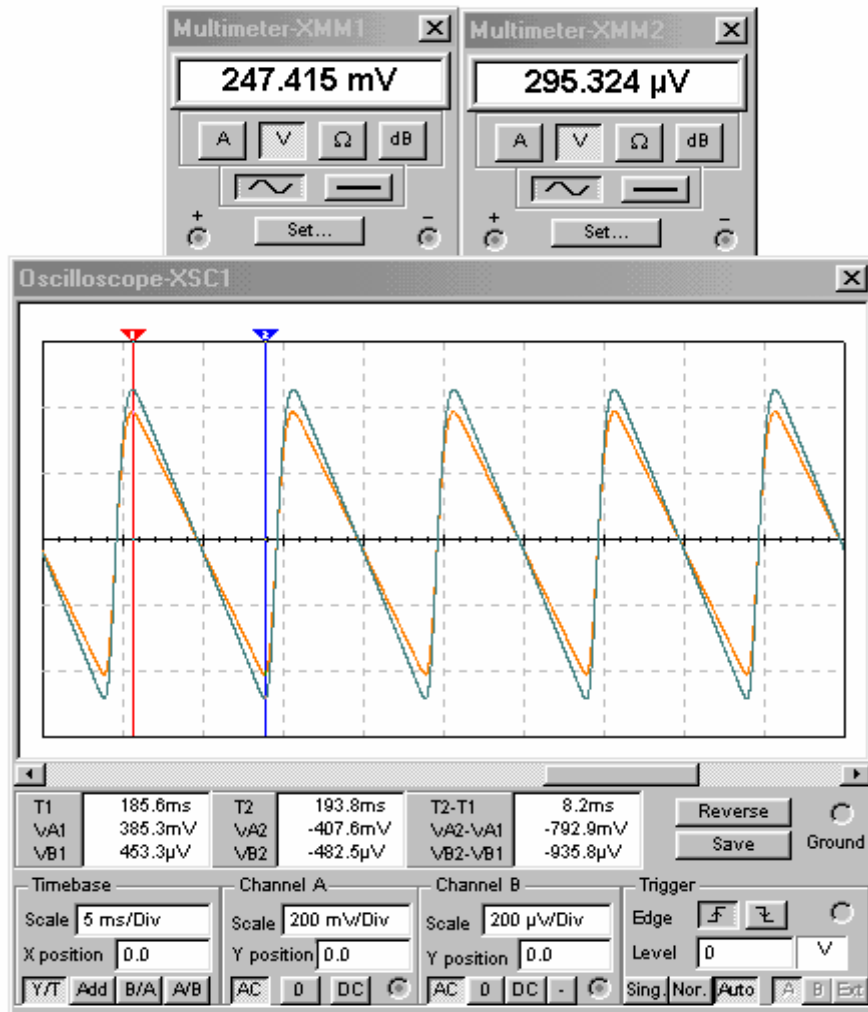


Fig. 4.2.22

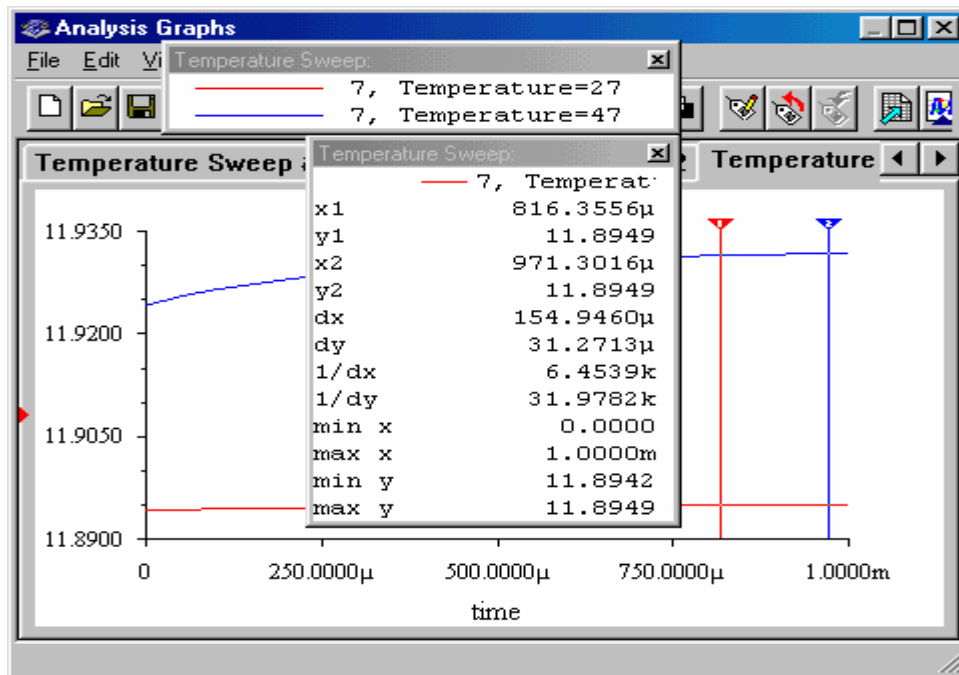


Fig. 4.2.23

Pentru  $R_{L1} = R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$ , s-au obținut următoarele rezultate:  $U_{I1} = 15,278 \text{ V}$ ;  $U_{O1} = 12,016 \text{ V}$ ;  $U_{(i\sim\text{ef})1} = 28,957 \text{ mV}$ ;  $U_{(o\sim\text{ef})1} = 13,169 \mu\text{V}$ ;  $U_{(i\sim\text{v-v})1} = 93,8 \text{ mV}$ ;  $U_{(o\sim\text{v-v})1} = 40,8 \mu\text{V}$ . Se calculează: curentul prin sarcina  $R_1$ ,  $I_{O1} = U_{O1}/R_1 = 10,01 \text{ mA}$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)1} = U_{I1} - U_{O1} = 3,262 \text{ V}$ ; factorii de ondulație la intrare,  $r_{i1} = U_{(i\sim\text{ef})1}/U_{I1} = 0,001895$  și la ieșire,  $r_{o1} = U_{(o\sim\text{ef})1}/U_{O1} = 0,000001095$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_1 = 20\lg(U_{(i\sim\text{v-v})1}/U_{(o\sim\text{v-v})1}) = 67,23 \text{ dB}$ ; coeficientul de temperatură,  $K_T = [U_O(47^\circ\text{C}) - U_O(27^\circ\text{C})]/(47^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}) = 1,83 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)1} \geq U_{(I-O)\text{min}}$ .

Pentru  $R_{L2} = R_2 = 120 \Omega$ , s-au obținut următoarele rezultate:  $U_{I2} = 14,632 \text{ V}$ ;  $U_{O2} = 11,827 \text{ V}$ ;  $U_{(i\sim\text{ef})2} = 247,415 \text{ mV}$ ;  $U_{(o\sim\text{ef})2} = 295,324 \mu\text{V}$ ;  $U_{(i\sim\text{v-v})2} = 792,9 \text{ mV}$ ;  $U_{(o\sim\text{v-v})2} = 935,8 \mu\text{V}$ . Din datele culese, se calculează: curentul prin sarcina  $R_2$ ,  $I_{O2} = U_{O2}/R_2 = 98,55 \text{ mA}$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)2} = U_{I2} - U_{O2} = 2,805 \text{ V}$ ; factorii de ondulație la intrare,  $r_{i2} = U_{(i\sim\text{ef})2}/U_{I2} = 0,0169$ , și la ieșire,  $r_{o2} = U_{(o\sim\text{ef})2}/U_{O2} = 0,0000249$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_2 = 20\lg(U_{(i\sim\text{v-v})2}/U_{(o\sim\text{v-v})2}) = 58,56 \text{ dB}$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)2} \geq U_{(I-O)\text{min}}$ . În ipoteza  $U_{I1} \cong U_{I2}$ , stabilizarea de sarcină,  $K_U = \Delta U_O|_{U_I = \text{ct}}; \Delta I_O = U_{O1} - U_{O2} = 0,189 \text{ V}$ , și rezistența de ieșire a sursei stabilizate,  $R_O = -\Delta U_O/\Delta I_O|_{U_I = \text{ct}} = (U_{O1} - U_{O2})/(I_{O2} - I_{O1}) = 2,13 \Omega$

Întrucât  $U_{I1} \neq U_{I2}$ , pentru calculul stabilizării de sarcină, se face o nouă simulare a circuitului cu aceeași rezistență de sarcină,  $R_2$ , dar cu tensiune de alimentare  $U_{I2} = U_{I1} = 15,278 \text{ V}$ . Pentru aceasta, se modifică amplitudinea tensiunii alternative,  $V_1$ , de la  $17 \text{ V}$ , la  $17,65 \text{ V}$ ; tensiunea de alimentare este  $U_{I2} = 15,276 \text{ V}$ , tensiunea de ieșire,  $U_{O2} = 11,828 \text{ V}$ , iar curentul prin sarcină,  $I_{O2} = 98,56 \text{ mA}$ . Ultimele două rezultate sunt aproape identice cu acelea obținute pentru  $R_2$  și  $U_{I2} = 14,632 \text{ V}$ . Cu aceste date,  $K_U = \Delta U_O|_{U_I = \text{ct}}; \Delta I_O = U_{O1} - U_{O2} = 0,188 \text{ V}$ , și rezistența de ieșire a sursei stabilizate,  $R_O = -\Delta U_O/\Delta I_O|_{U_I = \text{ct}} = (U_{O1} - U_{O2})/(I_{O2} - I_{O1}) = 2,12 \Omega$ . Această nouă simulare a fost făcută numai pentru a arăta că ieșirea sursei stabilizate nu este sensibilă la diferențe mici ale tensiunii de alimentare; prin urmare, în astfel de cazuri, ipoteza  $U_{I1} \cong U_{I2}$  poate fi admisă ca valabilă.

**4.2.5. STF\_N\_RB.** Se construiește circuitul din fig. 4.2.24, pentru testarea sursei de alimentare cu tensiune negativă fixă, realizată cu CI tip LM 7912CT, cu două rezistențe de sarcină ( $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$  și  $R_2 = 120 \Omega$ ). Blocul de alimentare al stabilizatorului este realizat în același mod ca la sursa de tensiune pozitivă fixă, iar sursa de tensiune alternativă,  $V_1$ , are aceiași parametri (amplitudinea  $17 \text{ V}$ , frecvența  $50 \text{ Hz}$ ).

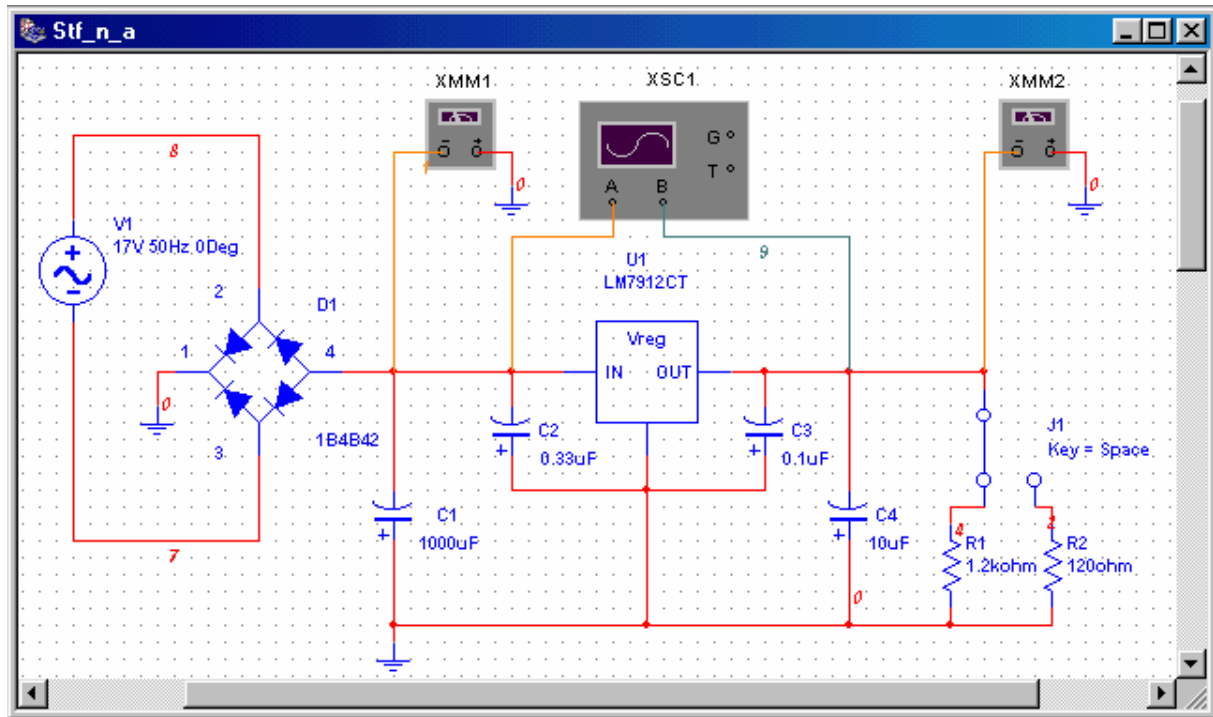


Fig. 4.2.24

a. Se face o simulare a circuitului cu rezistență de sarcină  $R_{L1} = R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$  și se vizualizează formele de undă ale tensiunilor de la intrarea și ieșirea stabilizatorului, măsurând amplitudinile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale aceluiași tensiuni ( $U_{(i-v-v)1}$  și  $U_{(o-v-v)1}$ ); în același timp, se citesc indicațiile celor două voltmetre (XMM1, conectat la intrarea stabilizatorului, și XMM2, conectat la ieșirea stabilizatorului): tensiunile continue de alimentare ( $U_{I1}$ ) și de ieșire ( $U_{O1}$ ); valorile efective ale componentelor ondulatorii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{(i-ef)1}$ ) și de ieșire ( $U_{(o-ef)1}$ ). Se face o analiză cu submeniul **Temperature Sweep**, pentru domeniul temperaturii de la  $27^\circ\text{C}$  la  $47^\circ\text{C}$ .

b. Se face o nouă simulare a circuitului, pentru rezistență de sarcină  $R_{L2} = R_2 = 120 \Omega$ , și se culeg datele în aceeași manieră ca la punctul precedent. Mărimile măsurate, în acest caz, sunt: amplitudinile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale aceluiași tensiuni ( $U_{(i-v-v)2}$  și  $U_{(o-v-v)2}$ ); tensiunile continue de alimentare ( $U_{I2}$ ) și de ieșire ( $U_{O2}$ ) și valorile efective ale componentelor ondulatorii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{(i-ef)2}$ ) și de ieșire ( $U_{(o-ef)2}$ ). Pentru determinarea coeficientului de temperatură al tensiunii stabilizate (nodul 7), se face o analiză cu submeniul **Temperature Sweep**, pentru același domeniu al temperaturii ca în analiza precedentă ( $27^\circ\text{C} - 47^\circ\text{C}$ ).

**Rezultatele simulărilor.** Pentru  $R_{L1} = R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$ , s-au obținut următoarele rezultate:  $U_{I1} = 15,279 \text{ V}$ ;  $U_{O1} = 12,03 \text{ V}$ ;  $U_{(i-ef)1} = 28,897 \text{ mV}$ ;  $U_{(o-ef)1} = 124,535 \mu\text{V}$ ;  $U_{(i-v-v)}$

$v_1=92,6$  mV;  $U_{(o\sim v-v)_1}=391,4$   $\mu$ V. Se calculează: curentul prin sarcina  $R_1$ ,  $I_{O1}=U_{O1}/R_1=10,025$  mA; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)_1}=U_{I1}-U_{O1}=3,249$  V; factorii de undulație la intrare,  $r_{i1}=U_{(i\sim ef)_1}/U_{I1}=0,001891$  și la ieșire,  $r_{o1}=U_{(o\sim ef)_1}/U_{O1}=0,00001035$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_1=20\lg(U_{(i\sim v-v)_1}/U_{(o\sim v-v)_1})=47,47$  dB; coeficientul de temperatură,  $K_T=[U_O(47^\circ\text{C})-U_O(27^\circ\text{C})]/(47^\circ\text{C}-27^\circ\text{C})=1,82$  mV/ $^\circ\text{C}$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)_1}\geq U_{(I-O)\min}$ .

Pentru  $R_{L2} = R_2 = 120 \Omega$ , s-au obținut următoarele rezultate:  $U_{I2} = 14,632$  V;  $U_{O2} = 11,836$  V;  $U_{(i\sim ef)_2} = 247,415$  mV;  $U_{(o\sim ef)_2} = 2,078$  mV;  $U_{(i\sim v-v)_2} = 792,4$  mV;  $U_{(o\sim v-v)_2} = 6,7$  mV. Din datele culese, se calculează: curentul prin sarcina  $R_2$ ,  $I_{O2} = U_{O2}/R_2 = 98,63$  mA; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)_2} = U_{I2} - U_{O2} = 2,796$  V; factorii de undulație la intrare,  $r_{i2} = U_{(i\sim ef)_2}/U_{I2} = 0,0169$ , și la ieșire,  $r_{o2} = U_{(o\sim ef)_2}/U_{O2} = 0,000175566$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_2 = 20\lg(U_{(i\sim v-v)_2}/U_{(o\sim v-v)_2}) = 41,45$  dB; coeficientul de temperatură,  $K_T = [U_O(47^\circ\text{C})-U_O(27^\circ\text{C})]/(47^\circ\text{C}-27^\circ\text{C}) = 2,74$  mV/ $^\circ\text{C}$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)_2}\geq U_{(I-O)\min}$ . În ipoteza  $U_{I1} \cong U_{I2}$ , stabilizarea de sarcină,  $K_U = \Delta U_O/\Delta I_O|_{U_I = ct}$ ;  $\Delta I_O = U_{O1}-U_{O2} = 0,647$  V, și rezistența de ieșire a sursei stabilizate,  $R_O = -\Delta U_O/\Delta I_O|_{U_I = ct} = (U_{O1}-U_{O2})/(I_{O2}-I_{O1}) = 7,3 \Omega$ .

**4.2.6. STD\_RB.** Se construiește circuitul din fig. 4.2.25, pentru testarea sursei duble de alimentare cu tensiuni fixe, pozitivă și negativă; secțiunea de tensiune pozitivă este realizată cu un CI tip LM7812CT, iar secțiunea de tensiune negativă fixă este realizată cu CI tip LM 7912CT. Circuitul va fi testat pentru patru combinații ale rezistențelor de sarcină ( $R_1=R_3=1,2$  k $\Omega$  și  $R_2=R_4=120 \Omega$ ). Tensiunea de intrare a stabilizatorului dublu este furnizată de o punte redresoare, alimentată cu tensiune alternativă de la două surse independente, V1 și V2 (amplitudine 17 V, frecvența 50 Hz), ce modelează transformatorul cu înfășurare secundară cu priză mediană.

a. Se testează sursa cu ieșire echilibrată, în sensul conectării unor rezistori de sarcină la ieșirea fiecărei secțiuni, cu rezistențe egale:  $R_{L1,1} = R_1 = 1,2$  k $\Omega$  și  $R_{L2,1} = R_3 = 1,2$  k $\Omega$ . Se vizualizează formele de undă ale tensiunilor de intrare și de ieșire ale fiecărei secțiuni și se citesc indicațiile voltmetrelor, pentru măsurarea următoarelor mărimi: tensiunile continue de alimentare ( $U_{I1,1}$ ,  $U_{I2,1}$ ) și de ieșire ( $U_{O1,1}$ ,  $U_{O2,1}$ ); valorile efective ale componentelor ondulatorii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{(i\sim ef)1,1}$ ,  $U_{(i\sim ef)2,1}$ ) și de ieșire ( $U_{(o\sim ef)1,1}$ ,  $U_{(o\sim ef)2,1}$ ).

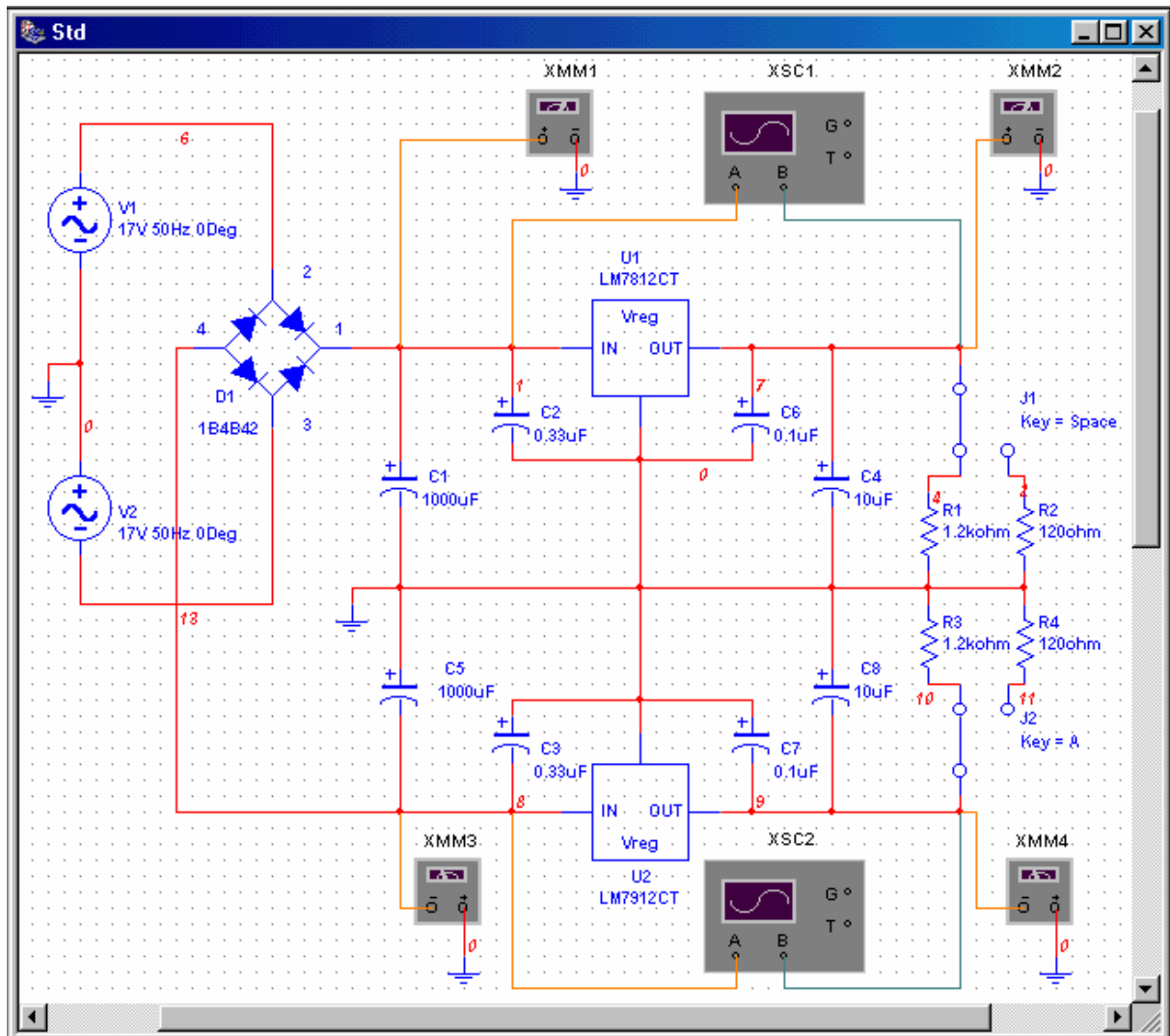


Fig. 4.2.25

**Rezultatele simulărilor** ( $R_{L1,1} = R_{L2,1} = 1,2 \text{ k}\Omega$ )

Pentru secțiunea cu tensiune de ieșire pozitivă,

- rezultatele simulării:  $U_{I1,1} = 16,094 \text{ V}$ ;  $U_{O1,1} = 12,017 \text{ V}$ ;  $U_{(i\sim ef)1,1} = 30,382 \text{ mV}$ ;  $U_{(o\sim ef)1,1} = 13,471 \mu\text{V}$ ;
- rezultatele calculate: curentul prin sarcină,  $I_{O1,1} = U_{O1,1}/R_1 = 10,014 \text{ mA}$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)1,1} = U_{I1,1} - U_{O1,1} = 4,077 \text{ V}$ ; factorul de respingere a undulațiilor,  $RR_{1,1} = 20 \lg(U_{(i\sim ef)1,1}/U_{(o\sim ef)1,1}) = 67,06 \text{ dB}$ .

Pentru secțiunea cu tensiune de ieșire negativă,

- rezultatele simulării:  $U_{I2,1} = 16,094 \text{ V}$ ;  $U_{O2,1} = 12,033 \text{ V}$ ;  $U_{(i\sim ef)2,1} = 30,353 \text{ mV}$ ;  $U_{(o\sim ef)2,1} = 114,634 \mu\text{V}$ ;

- rezultatele calculate: curentul prin sarcină,  $I_{O2,1}=U_{O2,1}/R_3 = 10,0275 \text{ mA}$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)2,1}=U_{I2,1} - U_{O2,1}=4,061 \text{ V}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{2,1} = 20\lg(U_{(i\sim\text{ef})2,1}/U_{(o\sim\text{ef})2,1}) = 48,45 \text{ dB}$ .

**b.** Se testează sursa cu ieșire echilibrată, cu sarcinile  $R_{L1,2} = R_2 = 120 \Omega$  și  $R_{L2,2} = R_4 = 120 \Omega$ . Se vizualizează formele de undă ale tensiunilor de intrare și de ieșire ale fiecărei secțiuni și se citesc indicațiile voltmetrelor, pentru măsurarea următoarelor mărimi: tensiunile continue de alimentare ( $U_{I1,2}$ ,  $U_{I2,2}$ ) și de ieșire ( $U_{O1,2}$ ,  $U_{O2,2}$ ); valorile efective ale componentelor ondulatorii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{(i\sim\text{ef})1,2}$ ,  $U_{(i\sim\text{ef})2,2}$ ) și de ieșire ( $U_{(o\sim\text{ef})1,2}$ ,  $U_{(o\sim\text{ef})2,2}$ ).

**Rezultatele simulărilor** ( $R_{L1,2} = R_{L2,2} = 120 \Omega$ )

Pentru secțiunea cu tensiune de ieșire pozitivă,

- rezultatele simulării:  $U_{I1,2}=15,637 \text{ V}$ ;  $U_{O1,2}=11,828 \text{ V}$ ;  $U_{(i\sim\text{ef})1,2}=255,582 \text{ mV}$ ;  $U_{(o\sim\text{ef})1,2}=297,108 \mu\text{V}$ ;
- rezultatele calculate: curentul prin sarcină,  $I_{O1,2}=U_{O1,2}/R_2 = 98,56 \text{ mA}$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)1,2}=U_{I1,2}-U_{O1,2}=3,809 \text{ V}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{1,2} = 20\lg(U_{(i\sim\text{ef})1,2}/U_{(o\sim\text{ef})1,2}) = 58,69 \text{ dB}$ .

Pentru secțiunea cu tensiune de ieșire negativă,

- rezultatele simulării:  $U_{I2,2}=15,636 \text{ V}$ ;  $U_{O2,2}=11,844 \text{ V}$ ;  $U_{(i\sim\text{ef})2,2}=255,779 \text{ mV}$ ;  $U_{(o\sim\text{ef})2,2}=1,817 \text{ mV}$ ;
- rezultatele calculate: curentul prin sarcină,  $I_{O2,2}=U_{O2,2}/R_4=98,7 \text{ mA}$ ; diferența tensiunilor intrare -ieșire,  $U_{(I-O)2,2}=U_{I2,2}-U_{O2,2}=3,792 \text{ V}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{2,2}=20\lg(U_{(i\sim\text{ef})2,2}/U_{(o\sim\text{ef})2,2}) = 42,97 \text{ dB}$ .

**c.** Se testează sursa cu ieșire dezechilibrată, cu sarcinile  $R_{L1,3} = R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$  și  $R_{L2,3} = R_4 = 120 \Omega$ . Se vizualizează formele de undă ale tensiunilor de intrare și de ieșire ale fiecărei secțiuni și se citesc indicațiile voltmetrelor, pentru măsurarea următoarelor mărimi: tensiunile continue de alimentare ( $U_{I1,3}$ ,  $U_{I2,3}$ ) și de ieșire ( $U_{O1,3}$ ,  $U_{O2,3}$ ); valorile efective ale componentelor ondulatorii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{(i\sim\text{ef})1,3}$ ,  $U_{(i\sim\text{ef})2,3}$ ) și de ieșire ( $U_{(o\sim\text{ef})1,3}$ ,  $U_{(o\sim\text{ef})2,3}$ ).

**Rezultatele simulărilor** ( $R_{L1,3} = R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$  și  $R_{L2,3} = R_4 = 120 \Omega$ )

Pentru secțiunea cu tensiune de ieșire pozitivă,

- rezultatele simulării:  $U_{I1,3}=16,094 \text{ V}$ ;  $U_{O1,3}=12,017 \text{ V}$ ;  $U_{(i\sim\text{ef})1,3}=30,387 \text{ mV}$ ;  $U_{(o\sim\text{ef})1,3}=13,345 \mu\text{V}$ ;



- rezultatele calculate: curentul prin sarcină,  $I_{O1,3}=U_{O1,3}/R_1=10,014$  mA; diferența tensiunilor intrare -ieșire,  $U_{(I-O)1,3}=U_{I1,3}-U_{O1,3}=4,077$  V; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{1,3}=20\lg(U_{(i\sim ef)1,3}/U_{(o\sim ef)1,3}) = 67,147$  dB.

Pentru secțiunea cu tensiune de ieșire negativă,

- rezultatele simulării:  $U_{I2,3}=15,636$  V;  $U_{O2,3}=11,844$  V;  $U_{(i\sim ef)2,3}=255,779$  mV;  $U_{(o\sim ef)2,3}=1,817$  mV;
- rezultatele calculate: curentul prin sarcină,  $I_{O2,3}=U_{O2,3}/R_4=98,7$  mA; diferența tensiunilor intrare -ieșire,  $U_{(I-O)2,3}=U_{I2,3} -U_{O2,3}=3,792$  V; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{2,3}= 20\lg(U_{(i\sim ef)2,3}/U_{(o\sim ef)2,3}) = 42,97$  dB.

**d.** Se testează sursa cu ieșire dezechilibrată, cu sarcinile  $R_{L1,4} = R_2 = 120 \Omega$  și  $R_{L2,4} = R_3 = 1,2$  k $\Omega$ . Se vizualizează formele de undă ale tensiunilor de intrare și de ieșire ale fiecărei secțiuni și se citesc indicațiile voltmetrelor, pentru măsurarea următoarelor mărimi: tensiunile continue de alimentare ( $U_{I1,4}$ ,  $U_{I2,4}$ ) și de ieșire ( $U_{O1,4}$ ,  $U_{O2,4}$ ); valorile efective ale componentelor ondulatorii ale tensiunilor de alimentare ( $U_{(i\sim ef)1,4}$ ,  $U_{(i\sim ef)2,4}$ ) și de ieșire ( $U_{(o\sim ef)1,4}$ ,  $U_{(o\sim ef)2,4}$ ).

**Rezultatele simulărilor** ( $R_{L1,4} = R_2 = 120 \Omega$  și  $R_{L2,4} = R_3 = 1,2$  k $\Omega$ )

Pentru secțiunea cu tensiune de ieșire pozitivă,

- rezultatele simulării:  $U_{I1,4}=15,637$  V;  $U_{O1,4}=11,828$  V;  $U_{(i\sim ef)1,4}=255,582$  mV;  $U_{(o\sim ef)1,4}=297,085$   $\mu$ V;
- rezultatele calculate: curentul prin sarcină,  $I_{O1,4}=U_{O1,4}/R_4=98,56$  mA; diferența tensiunilor intrare -ieșire,  $U_{(I-O)1,4}=U_{I1,4}-U_{O1,4}=3,809$  V; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{1,4}=20\lg(U_{(i\sim ef)1,4}/U_{(o\sim ef)1,4})= 58,69$  dB.

Pentru secțiunea cu tensiune de ieșire negativă,

- rezultatele simulării:  $U_{I2,4}=16,094$  V;  $U_{O2,4}=12,033$  V;  $U_{(i\sim ef)2,4}=30,353$  mV;  $U_{(o\sim ef)2,4}=115,272$   $\mu$ V;
- rezultatele calculate: curentul prin sarcină,  $I_{O2,4}=U_{O2,4}/R_3=10,0275$  mA; diferența tensiunilor intrare -ieșire,  $U_{(I-O)2,4}=U_{I2,4}-U_{O2,4}=4,06$  V; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{2,4}=20\lg(U_{(i\sim ef)2,4}/U_{(o\sim ef)2,4}) = 48,4$  dB.

**Observație.** Prin simulările efectuate cu sursa dublă cu sarcini echilibrate și respectiv dezechilibrate, s-a urmărit evidențierea simetriei și respectiv asimetriei tensiunilor de ieșire. Această comportare este evidențiată și de rezultatele analizei regimului tranzitoriu. Se selectează **Simulate/Transient Analysis** și, în tab-ul activ **Analysis Parameters**, se setează

un interval de timp pentru simulare, de 3 perioade ale tensiunii alternative de intrare (TSTART: 0s; TSTOP: 0,06s); se selectează, în tab-ul **Output variables**, ca variabile de ieșire, potențialele celor două ieșiri: nodul 7 (ieșirea secțiunii de tensiune pozitivă) și nodul 9 (ieșirea secțiunii de tensiune negativă). Pentru rezistențe de sarcină egale ( $R_{L1,1} = R_{L2,1} = 1,2 \text{ k}\Omega$ ), rezultatul analizei regimului tranzitoriu este prezentat în fig. 4.2.26.

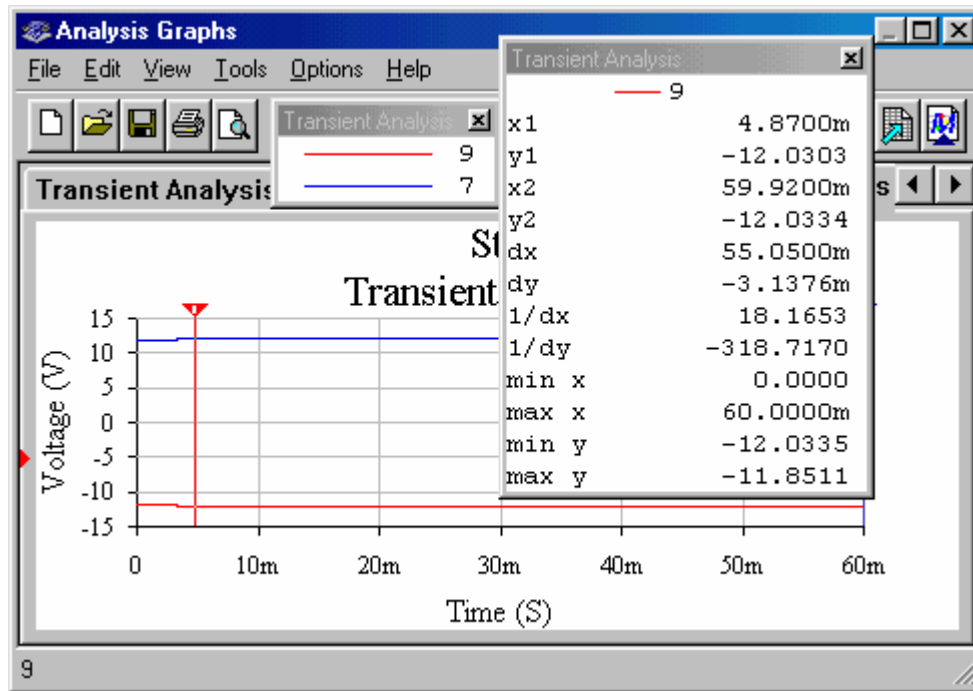


Fig. 4.2.26

Fig. 4.2.27 arată rezultatul analizei regimului tranzitoriu pentru rezistențe de sarcină diferite la cele două ieșiri ( $R_{L1,3} = R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$  și  $R_{L2,3} = R_4 = 120 \Omega$ ) și aceleași setări.

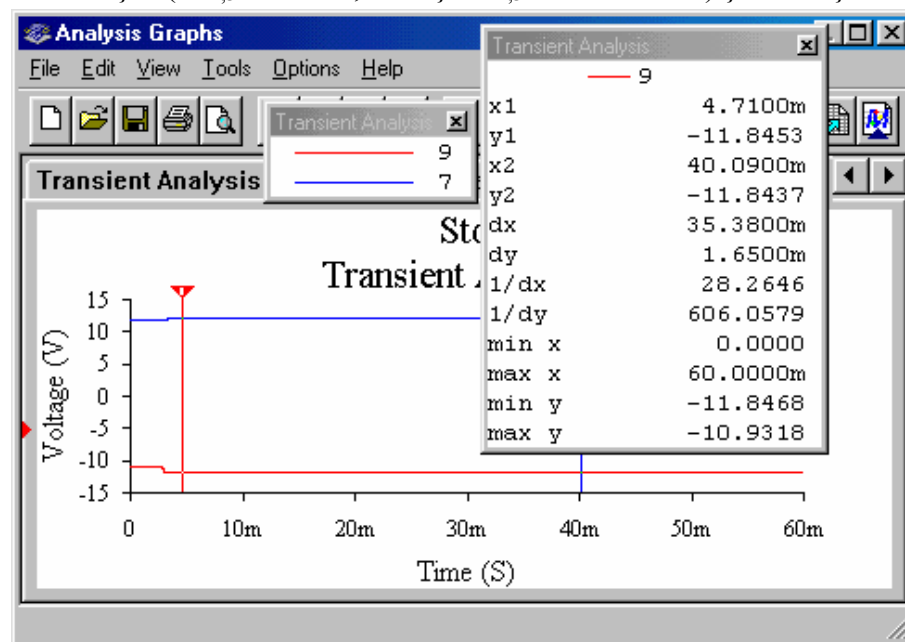


Fig. 4.2.27

## 5.2. Experimente

Se va studia comportarea circuitelor integrate stabilizatoare de tensiune continuă fixă și reglabilă, în configurații de surse simple și duble de alimentare. Dintre parametrii unei surse, vor fi măsurăți: factorul de rejecție a undulațiilor și stabilizarea de sarcină. În sursa dublă, va fi observată comportarea în condiții de sarcini egale și diferite la ieșirile celor două secțiuni ale sursei.

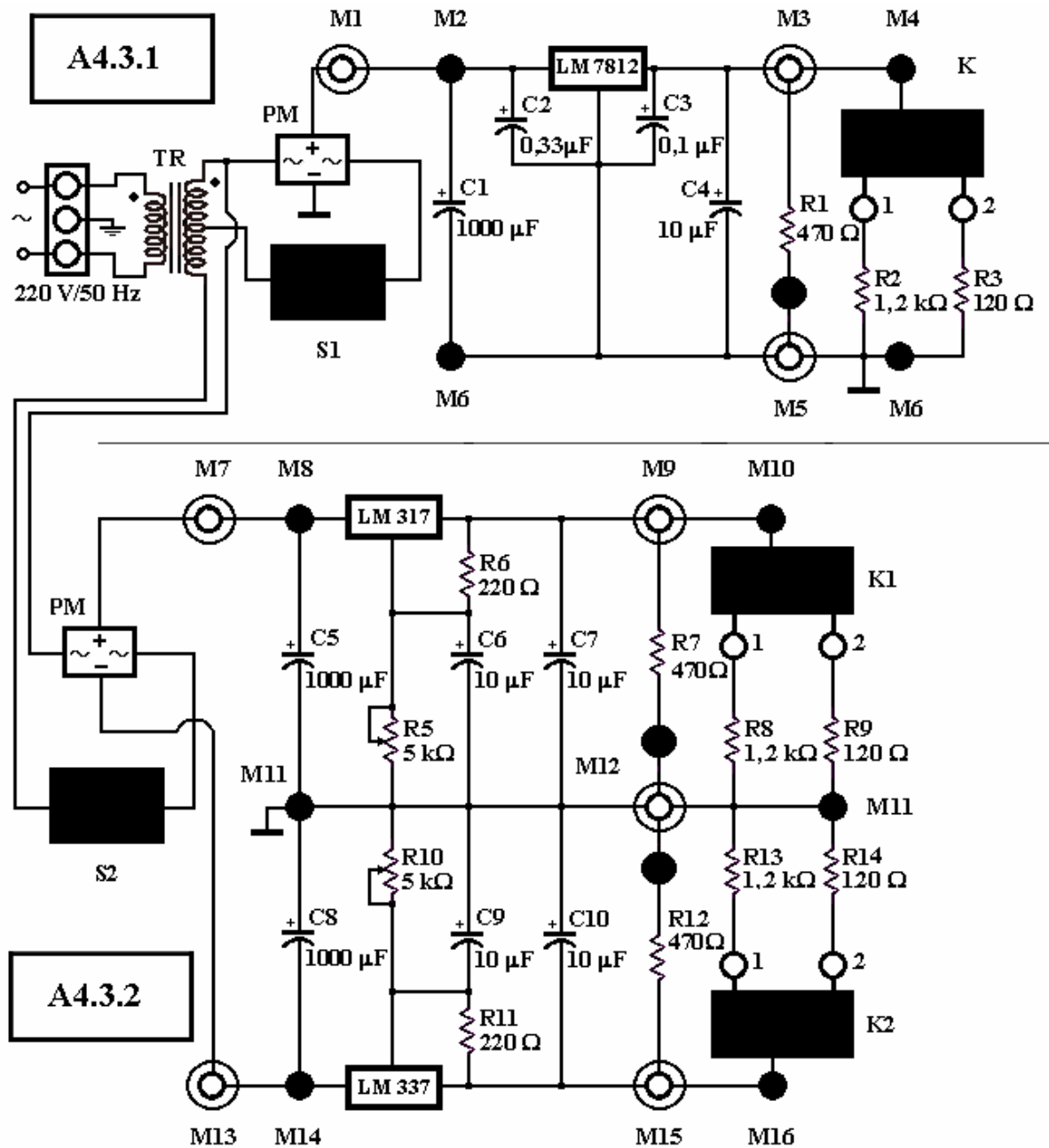


Fig. 4.3.1. Sursă stabilizată de tensiune continuă fixă pozitivă (A4.3.1). Sursă dublă de tensiune continuă pozitivă și negativă (A4.3.2)

Cele două aplicații ale stabilizatoarelor monolitice liniare vor fi denumite:

**a. STF\_P** = sursă stabilizată de tensiune continuă fixă pozitivă;

**b. STD** = sursă dublă de tensiune continuă pozitivă și negativă.

**4.3.1. STF\_P.** Cu întrerupătoarele S1 închis și S2 deschis, se testează sursa stabilizată de tensiune continuă fixă pozitivă (+12 V), construită cu CI tip LM 7812CT (fig. 4.3.1, secțiunea A4.3.1).

**a.** Comutatorul K se pune pe poziția 1, sarcina circuitului fiind  $R_{L1} = R_2 = 1,2 \text{ k}\Omega$ . Se conectează capul de măsurare al sondei canalului A al osciloscopului la pinul de test M2, iar capul de măsurare al sondei canalului B al osciloscopului - la pinul de test M4; se vizualizează tensiunea redresată și filtrată de alimentare,  $U_{I1}$ , și tensiunea stabilizată de ieșire,  $U_{O1}$ . Se măsoară valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni:  $U_{(i\sim v)1}$  și  $U_{(o\sim v)1}$ . Cu voltmetrul digital conectat, întâi, între bornele de măsură M1 – M5, și, după aceea, între bornele de măsură M3 – M5, se măsoară tensiunile continue de alimentare și de ieșire ( $U_{I1}$  și  $U_{O1}$ ) și valorile efective ale unduțiilor la intrare și la ieșire ( $U_{(i\sim ef)1}$  și  $U_{(o\sim ef)1}$ ).

Din datele culese, se calculează: curentul prin sarcina  $R_2$ ,  $I_{O1} = U_{O1}/R_2$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)1} = U_{I1} - U_{O1}$ ; factorii de undulație la intrare,  $r_{i1} = U_{(i\sim ef)1}/U_{I1}$ , și la ieșire,  $r_{o1} = U_{(o\sim ef)1}/U_{O1}$ ; factorul de rejecție a unduțiilor,  $RR_1 = 20\log(U_{(i\sim v)1}/U_{(o\sim v)1})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)1} \geq U_{(I-O)\min}$ , cu  $U_{(I-O)\min} = 2 \text{ V}$ .

**b.** Se modifică sarcina sursei,  $R_{L2} = R_3 = 120 \Omega$ , punând comutatorul K pe poziția 2. Se repetă procedura aplicată la punctul precedent, pentru noua sarcină. Pe ecranul osciloscopului, se măsoară valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni:  $U_{(i\sim v)2}$  și  $U_{(o\sim v)2}$ . Cu voltmetrul digital, se măsoară tensiunile continue de alimentare și de ieșire ( $U_{I2}$  și  $U_{O2}$ ) și valorile efective ale unduțiilor la intrare și la ieșire ( $U_{(i\sim ef)2}$  și  $U_{(o\sim ef)2}$ ).

Din datele culese, se calculează: curentul prin sarcina  $R_3$ ,  $I_{O2} = U_{O2}/R_3$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)2} = U_{I2} - U_{O2}$ ; factorii de undulație la intrare,  $r_{i2} = U_{(i\sim ef)2}/U_{I2}$ , și la ieșire,  $r_{o2} = U_{(o\sim ef)2}/U_{O2}$ ; factorul de rejecție a unduțiilor,  $RR_2 = 20\log(U_{(i\sim v)2}/U_{(o\sim v)2})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)2} \geq U_{(I-O)\min}$  și  $U_{I1} \cong U_{I2}$ . Se calculează stabilizarea de sarcină,  $K_U = \Delta U_O / \Delta I_O|_{U_I = ct}$ ;  $\Delta I_O = I_{O2} - I_{O1}$ , și rezistența de ieșire a sursei stabilizate,  $R_O = -\Delta U_O / \Delta I_O|_{U_I = ct} = (U_{O1} - U_{O2}) / (I_{O2} - I_{O1})$ .

**4.3.2. STD.** Cu întrerupătoarele S1 deschis și S2 închis, se testează sursa stabilizată cu două ieșiri (fig. 4.3.1, secțiunea A4.3.2); cei doi semireglabili ( $R_{10} = 5 \text{ k}\Omega$ ) sunt fixați la o

rezistență de 1,9 kΩ). Secțiunea sursei cu tensiune de ieșire pozitivă este construită cu CI tip LM 317CT, iar secțiunea sursei cu tensiune de ieșire negativă - cu CI tip LM 337CT. Tensiunile de referință ale celor două CI fiind egale cu 1,25 V, tensiunile de ieșire ale sursei duble vor fi apropiate de ±12 V. Sursa dublă folosește o singură punte redresoare, tensiunile de alimentare ale celor două secțiuni fiind obținute prin divizarea capacitivă a condensatorilor de filtrare ( $C_5 = C_8 = 1000 \mu\text{F}$ ). Testele urmăresc comportarea celor două secțiuni ale sursei în condiții de încărcare simetrică la ieșire (aceeași rezistență de sarcină) și de încărcare nesimetrică (rezistențe de sarcină diferite). Indicii atașați mărimilor măsurate au următoarea semnificație: mărimile aferente secțiunii de tensiune pozitivă primesc, ca prim indice, cifra 1, în timp ce mărimile aferente secțiunii de tensiune negativă primesc, ca prim indice, cifra 2. Cel de-al doilea indice numeric atașat unei mărimi măsurate/calculate, separat prin virgulă de primul indice, reprezintă numărul experimentului 1/2/3/4. Fiecare experiment începe cu secțiunea de tensiune pozitivă.

**a.** Comutatoarele K1 și K2 se pun pe poziția 1, fiecare secțiune a sursei având sarcina  $R_{L1,1} = R_{L2,1} = 1,2 \text{ k}\Omega$  ( $R_8 = R_{13}$ ). Se vizualizează tensiunile de alimentare și de ieșire ale fiecărei secțiuni.

Pentru secțiunea de tensiune pozitivă, se conectează capul de măsurare al sondei canalului A al osciloscopului la pinul de test **M8**, iar capul de măsurare al sondei canalului B al osciloscopului - la pinul de test **M10**; se măsoară valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni:  $U_{(i\sim v)1,1}$  și  $U_{(o\sim v)1,1}$ . Cu voltmetrul digital conectat, întâi, între bornele de măsură **M7 – M12**, și, după aceea, între bornele de măsură **M9 – M12**, se măsoară tensiunile continue de alimentare și de ieșire ( $U_{II,1}$  și  $U_{O1,1}$ ) și valorile efective ale undulațiilor la intrare și la ieșire ( $U_{(i\sim ef)1,1}$  și  $U_{(o\sim ef)1,1}$ ).

Pentru secțiunea de tensiune negativă, se conectează capul de măsurare al sondei canalului A al osciloscopului la pinul de test **M14**, iar capul de măsurare al sondei canalului B al osciloscopului - la pinul de test **M16**; se măsoară valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni:  $U_{(i\sim v)2,1}$  și  $U_{(o\sim v)2,1}$ . Cu voltmetrul digital conectat, întâi, între bornele de măsură **M13 – M12**, și, după aceea, între bornele de măsură **M15 – M12**, se măsoară tensiunile continue de alimentare și de ieșire ( $U_{I2,1}$  și  $U_{O2,1}$ ) și valorile efective ale undulațiilor la intrare și la ieșire ( $U_{(i\sim ef)2,1}$  și  $U_{(o\sim ef)2,1}$ ).

Din datele culese, se calculează:

- pentru secțiunea de tensiune continuă pozitivă: curentul prin sarcina  $R_8$ ,  $I_{O1,1} = U_{O1,1}/R_8$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)1,1} = U_{II,1} - U_{O1,1}$ ; factorii de

ondulație la intrare,  $r_{i1,1} = U_{(i\sim ef)1,1}/U_{I1,1}$ , și la ieșire,  $r_{o1,1} = U_{(o\sim ef)1,1}/U_{O1,1}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{1,1} = 20\log(U_{(i\sim v\sim v)1,1}/U_{(o\sim v\sim v)1,1})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)1,1} \geq U_{(I-O)1,\min}$ .

- pentru secțiunea de tensiune continuă negativă: curentul prin sarcina  $R_{13}$ ,  $I_{O2,1} = U_{O2,1}/R_{13}$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)2,1} = U_{I2,1} - U_{O2,1}$ ; factorii de ondulație la intrare,  $r_{i2,1} = U_{(i\sim ef)2,1}/U_{I2,1}$ , și la ieșire,  $r_{o2,1} = U_{(o\sim ef)2,1}/U_{O2,1}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{2,1} = 20\log(U_{(i\sim v\sim v)2,1}/U_{(o\sim v\sim v)2,1})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)2,1} \geq U_{(I-O)2,\min}$ .

**b.** Comutatoarele K1 și K2 se pun pe poziția 2, fiecare secțiune a sursei având sarcina  $R_{L1,2} = R_{L2,2} = 120 \Omega$  ( $R_9 = R_{14}$ ). Se repetă procedura aplicată la punctul precedent, pentru noua sarcină, vizualizând tensiunile de alimentare și de ieșire ale fiecărei secțiuni și măsurând mărimile care interesează. Procedând astfel, se obțin următoarele rezultate:

Pentru secțiunea de tensiune pozitivă,

- se măsoară: valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni,  $U_{(i\sim v\sim v)1,2}$  și  $U_{(o\sim v\sim v)1,2}$ ; tensiunile continue de alimentare și de ieșire,  $U_{I1,2}$  și  $U_{O1,2}$ ; valorile efective ale undulațiilor la intrare și la ieșire,  $U_{(i\sim ef)1,2}$  și  $U_{(o\sim ef)1,2}$ ;
- se calculează: curentul prin sarcina  $R_9$ ,  $I_{O1,2} = U_{O1,2}/R_9$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)1,2} = U_{I1,2} - U_{O1,2}$ ; factorii de ondulație la intrare,  $r_{i1,2} = U_{(i\sim ef)1,2}/U_{I1,2}$ , și la ieșire,  $r_{o1,2} = U_{(o\sim ef)1,2}/U_{O1,2}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{1,2} = 20\log(U_{(i\sim v\sim v)1,2}/U_{(o\sim v\sim v)1,2})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)1,2} \geq U_{(I-O)1,\min}$  și  $U_{I1,2} \geq U_{I1,2}$ . Se calculează stabilizarea de sarcină,  $K_{L1} = 100 \times (\Delta U_{O1}/U_{O1,1}) = 100 \times (U_{O1,1} - U_{O1,2})/U_{O1,1}$ . Se determină, de asemenea, rezistența de ieșire a sursei stabilizate,  $R_{O1} = -(\Delta U_{O1}/\Delta I_{O1})|_{U_{I1}=\text{ct}} = (U_{O1,1} - U_{O1,2})/(I_{O1,2} - I_{O1,1})$ .

Pentru secțiunea de tensiune negativă,

- se măsoară: valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni,  $U_{(i\sim v\sim v)2,2}$  și  $U_{(o\sim v\sim v)2,2}$ ; tensiunile continue de alimentare și de ieșire,  $U_{I2,2}$  și  $U_{O2,2}$ ; valorile efective ale undulațiilor la intrare și la ieșire,  $U_{(i\sim ef)2,2}$  și  $U_{(o\sim ef)2,2}$ ;
- se calculează: curentul prin sarcina  $R_{14}$ ,  $I_{O2,2} = U_{O2,2}/R_{14}$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)2,2} = U_{I2,2} - U_{O2,2}$ ; factorii de ondulație la intrare,  $r_{i2,2} = U_{(i\sim ef)2,2}/U_{I2,2}$ , și la ieșire,  $r_{o2,2} = U_{(o\sim ef)2,2}/U_{O2,2}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{2,2} = 20\log(U_{(i\sim v\sim v)2,2}/U_{(o\sim v\sim v)2,2})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)2,2} \geq U_{(I-O)2,\min}$ .

$U_{O2,min}$  și  $U_{I2,1} \cong U_{I2,2}$ . Se calculează stabilizarea de sarcină,  $K_{L2} = 100 \times (\Delta U_{O2} / U_{O2,1}) = 100 \times (U_{O2,1} - U_{O2,2}) / U_{O2,1}$ , și rezistența de ieșire a sursei stabilizate,  $R_{O2} = -(\Delta U_{O2} / \Delta I_{O2})|_{U_{I2} = ct} = (U_{O2,1} - U_{O2,2}) / (I_{O2,2} - I_{O2,1})$ .

**c.** Comutatorul K1 rămâne pe poziția 2, iar comutatorul K2 trece pe poziția 1, secțiunile sursei având sarcini diferite:  $R_{L1,3} = R_9 = 120 \Omega$  și  $R_{L2,3} = R_{13} = 1,2 k\Omega$ . Se repetă procedura aplicată la punctul precedent, pentru noile condiții de funcționare, vizualizând tensiunile de alimentare și de ieșire ale fiecărei secțiuni și măsurând mărimile care interesează. Procedând astfel, se obțin următoarele rezultate:

Pentru secțiunea de tensiune pozitivă,

- se măsoară: valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni,  $U_{(i\sim v)1,3}$  și  $U_{(o\sim v)1,3}$ ; tensiunile continue de alimentare și de ieșire,  $U_{I1,3}$  și  $U_{O1,3}$ ; valorile efective ale undulațiilor la intrare și la ieșire,  $U_{(i\sim ef)1,3}$  și  $U_{(o\sim ef)1,3}$ ;
- se calculează: curentul prin sarcina  $R_9$ ,  $I_{O1,3} = U_{O1,3} / R_9$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)1,3} = U_{I1,3} - U_{O1,3}$ ; factorii de ondulație la intrare,  $r_{i1,3} = U_{(i\sim ef)1,3} / U_{I1,3}$ , și la ieșire,  $r_{o1,3} = U_{(o\sim ef)1,3} / U_{O1,3}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{1,3} = 20 \log(U_{(i\sim v)1,3} / U_{(o\sim v)1,3})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)1,3} \geq U_{(I-O)1,min}$ .

Pentru secțiunea de tensiune negativă,

- se măsoară: valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni,  $U_{(i\sim v)2,3}$  și  $U_{(o\sim v)2,3}$ ; tensiunile continue de alimentare și de ieșire,  $U_{I2,3}$  și  $U_{O2,3}$ ; valorile efective ale undulațiilor la intrare și la ieșire,  $U_{(i\sim ef)2,3}$  și  $U_{(o\sim ef)2,3}$ ;
- se calculează: curentul prin sarcina  $R_{13}$ ,  $I_{O2,3} = U_{O2,3} / R_{13}$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)2,3} = U_{I2,3} - U_{O2,3}$ ; factorii de ondulație la intrare,  $r_{i2,3} = U_{(i\sim ef)2,3} / U_{I2,3}$ , și la ieșire,  $r_{o2,3} = U_{(o\sim ef)2,3} / U_{O2,3}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{2,3} = 20 \log(U_{(i\sim v)2,3} / U_{(o\sim v)2,3})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)2,3} \geq U_{(I-O)2,min}$ .

**d.** Comutatorul K1 trece pe poziția 1, iar comutatorul K2 trece pe poziția 2, secțiunile sursei având sarcini diferite:  $R_{L1,4} = R_8 = 1,2 k\Omega$  și  $R_{L2,4} = R_{14} = 120 \Omega$ . Se repetă procedura aplicată la punctul precedent, pentru noile condiții de funcționare, vizualizând tensiunile de alimentare și de ieșire ale fiecărei secțiuni și măsurând mărimile care interesează. Procedând astfel, se obțin următoarele rezultate:

Pentru secțiunea de tensiune pozitivă,

- se măsoară: valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni,  $U_{(i\sim v)1,4}$  și  $U_{(o\sim v)1,4}$ ; tensiunile continue de alimentare și de ieșire,  $U_{I1,4}$  și  $U_{O1,4}$ ; valorile efective ale undulațiilor la intrare și la ieșire,  $U_{(i\sim ef)1,4}$  și  $U_{(o\sim ef)1,4}$ ;
- se calculează: curentul prin sarcina  $R_8$ ,  $I_{O1,4} = U_{O1,4}/R_8$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)1,4} = U_{I1,4} - U_{O1,4}$ ; factorii de ondulație la intrare,  $r_{i1,4} = U_{(i\sim ef)1,4}/U_{I1,4}$ , și la ieșire,  $r_{o1,4} = U_{(o\sim ef)1,4}/U_{O1,4}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{1,4} = 20\log(U_{(i\sim v)1,4}/U_{(o\sim v)1,4})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)1,4} \geq U_{(I-O)1,\min}$  și  $U_{I1,3} \cong U_{I1,4}$ . Se calculează stabilizarea de sarcină,  $K_{L3} = 100 \times (\Delta U_{O1}/U_{O1,3}) = 100 \times (U_{O1,4} - U_{O1,3})/U_{O1,3}$ , și rezistența de ieșire a sursei stabilizate,  $R_{O3} = -(\Delta U_{O1}/\Delta I_{O1})|_{U_{II} = ct} = (U_{O1,4} - U_{O1,3})/(I_{O1,3} - I_{O1,4})$ . Se compară rezultatele experimentelor de la punctele a și b cu cele corespunzătoare dezechilibrului sarcinilor (punctele c și d).

Pentru secțiunea de tensiune negativă,

- se măsoară: valorile vârf la vârf ale componentelor ondulatorii ale celor două tensiuni,  $U_{(i\sim v)2,4}$  și  $U_{(o\sim v)2,4}$ ; tensiunile continue de alimentare și de ieșire,  $U_{I2,4}$  și  $U_{O2,4}$ ; valorile efective ale undulațiilor la intrare și la ieșire,  $U_{(i\sim ef)2,4}$  și  $U_{(o\sim ef)2,4}$ ;
- se calculează: curentul prin sarcina  $R_{14}$ ,  $I_{O2,4} = U_{O2,4}/R_{14}$ ; diferența tensiunilor intrare - ieșire,  $U_{(I-O)2,4} = U_{I2,4} - U_{O2,4}$ ; factorii de ondulație la intrare,  $r_{i2,4} = U_{(i\sim ef)2,4}/U_{I2,4}$ , și la ieșire,  $r_{o2,4} = U_{(o\sim ef)2,4}/U_{O2,4}$ ; factorul de rejecție a undulațiilor,  $RR_{2,4} = 20\log(U_{(i\sim v)2,4}/U_{(o\sim v)2,4})$ . Se verifică satisfacerea condiției de funcționare normală  $U_{(I-O)2,4} \geq U_{(I-O)2,\min}$  și  $U_{I2,3} \cong U_{I2,4}$ . Se calculează stabilizarea de sarcină,  $K_{L4} = 100 \times (\Delta U_{O2}/U_{O2,3}) = 100 \times (U_{O2,4} - U_{O2,3})/U_{O2,3}$ , și rezistența de ieșire a sursei stabilizate,  $R_{O4} = -(\Delta U_{O2}/\Delta I_{O2})|_{U_{II} = ct} = (U_{O2,3} - U_{O2,4})/(I_{O2,3} - I_{O2,4})$ . Se compară rezultatele experimentelor de la punctele a și b cu cele corespunzătoare dezechilibrului sarcinilor (punctele c și d).

**Conținutul referatului**

1. Schemele circuitelor simulate și testate, cu rezultatele simulărilor, predicțiile și rezultatele experimentale obținute. Se compară rezultatele experimentelor cu datele de catalog ale CI tip LM 7812CT, LM 317CT, LM 337CT.
2. Comentariile și explicațiile diferențelor dintre cele trei grupe de rezultate.

----- \* -----