

LUCRAREA 5

UNITATE PENTRU CONDIȚIONAREA SEMNALELOR DE VIBRAȚII

1. Destinație

Unitatea pentru condiționarea semnalelor de vibrații este destinată amplificării și filtrării semnalului electric generat de un traductor de vibrații, până la nivelul necesar la intrarea unui convertor analog – numeric (CAN), în vederea prelucrării numerice.

2. Caracteristici tehnice

- impedanța de intrare: $> 500 \text{ M}\Omega$;
- tensiunea maximă de intrare (pt. semnal maxim nedistorsionat la ieșire): $0,5 \text{ V}_{\text{Vv}}$;
- gama dinamică a semnalului la intrare: 80 dB ;
- traductor de semnal: accelerometru piezoelectric;
- frecvența limită inferioară: 1 Hz ;
- frecvența limită superioară: 300 Hz , 1 kHz , 3 kHz , 10 kHz ;
- filtre antialiasing: filtre active trece jos, tip Cebîșev, ordin 9 (80 dB/octavă) sau eliptice, tip Cauer, ordin 7 (108 dB/octavă , atenuare minimă în banda de tăiere: 40 dB);
- tensiunea de ieșire: reglabilă în trepte de 20 dB și 10 dB ;
- impedanța de ieșire: $< 10 \Omega$;
- tensiunea maximă de ieșire: 10 V_{Vv} ;
- tensiunea rețelei monofazate de alimentare: $220 \text{ V} \pm 15\%$;
- puterea absorbită de la rețea: $< 20 \text{ VA}$;

3. Principiul de funcționare

Semnalul electric generat de traductor este amplificat, filtrat și eventual atenuat până la valoarea de maxim 10 V_{Vv} , necesară la intrarea convertorului analog – numeric (CAN), pentru obținerea unei rezoluții maxime.

S-au folosit diode electroluminiscente (LED) pentru semnalizarea nivelului de tensiune de depășire la ieșire și semnalizarea nivelului mai mare de 5 V_{Vv} (-6 dB) la ieșire.

Semnalul de ieșire este accesibil la mufa BNC pe panoul frontal și la conectorul Rack cu 25 poli, împreună cu tensiunile de alimentare CAN, pe panoul spate.

Schema bloc a unității de condiționare (fig. 5.1) conține patru blocuri:

- amplificatorul de intrare,
- filtrele active,
- amplificatorul de ieșire și
- stabilizatoarele de tensiune continuă.

4. Traductorul de vibrații

Unitatea de condiționare a semnalelor de vibrații este proiectată să lucreze cu unul din următoarele tipuri de traductoare: accelerometre piezoelectrice, cu sensibilitate în gama ($10 \dots 100$) pC/g și mufa coaxială miniatură a cablului compatibilă *Bruel & Kjaer* (Danemarca), TP2-09 (ICPE București) cu banda de frecvențe 10 kHz , KD13 (MMF Radebel, Germania) cu banda de frecvențe 10 kHz 4366 și 4334 (*Bruel & Kjaer*) cu 10 kHz și 4335, 4343 și 4371 (*Bruel & Kjaer*) cu 20 kHz . La traductoarele enumerate, frecvența minimă este de aproximativ 1 Hz . Se pot folosi și alte tipuri de accelerometre piezoelectrice având caracteristici apropiate.

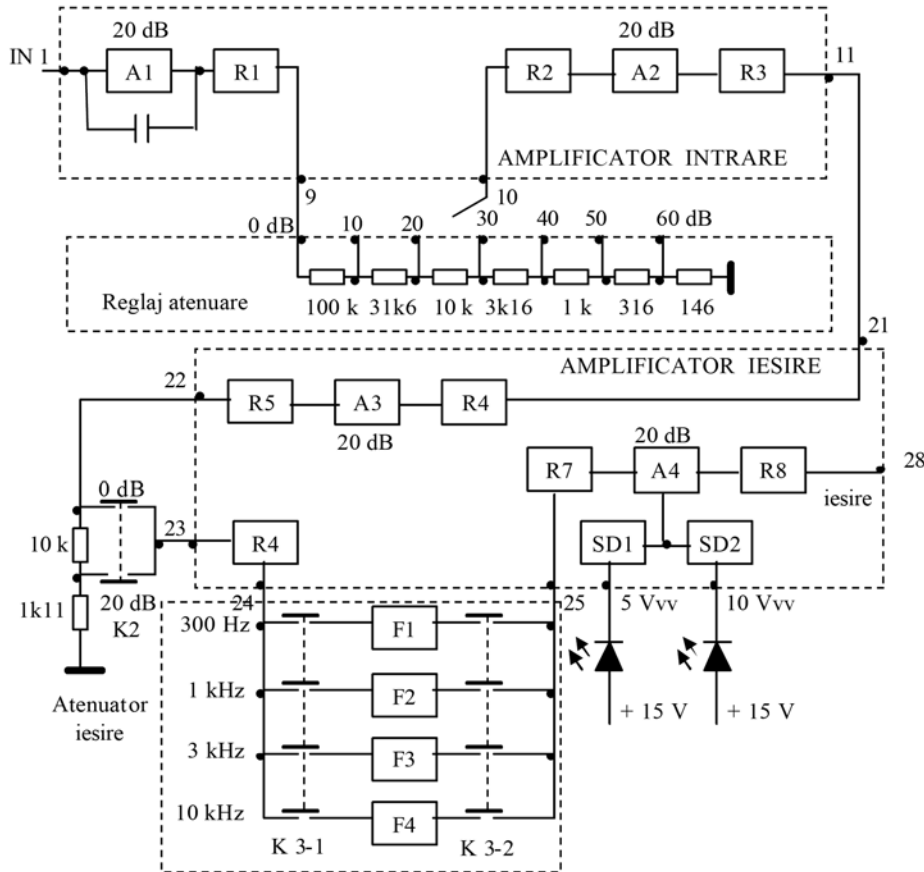


Fig. 5.1

Pentru minimizarea influențelor radiațiilor, temperaturii, umidității, câmpurilor electromagnetice, zgomotelor, etc., se recomandă traductoare cu trei pastile tip Delta. La măsurători de calitate se ține cont de masa traductorului și a structurii, masa traductorului fiind mai mică decât o zecime din masa structurii.

Pentru măsurători finale, se recomandă montarea cu șurub a traductoarelor.

Pentru măsurători preliminare se folosește montarea cu magnet permanent (suprafața de montare trebuie să fie cât mai plană și cât mai curată, pentru a avea frecvența de rezonanță a monturii în afara domeniului de frecvență de analiză), ceară, disc autoadeziv, adeziv sau probe manuale. Se are în vedere poziția cablului coaxial al accelerometrului, încât acesta să nu vibreze liber ci să fie prins de structura de testat, mai ales când se măsoară vibrații de nivel mic.

Pentru măsurători de vibrații multicanal se vor evita bucele de masă, prin împământarea de calitate, într-un singur punct, a aparatelor și prin montarea accelerometrelor izolate electric față de structură.

5. Amplificatorul de intrare

Este realizat în configurație de amplificator de sarcină electrică, pentru a scădea influența lungimii cablului de legătură dintre traductor și unitatea de condiționare (lungimea standard este 1,25 m) și pentru a avea o impedanță de intrare foarte mare (fig. 5.2). Aceasta din urmă se măsoară cu etajul de intrare tip repetor, realizat cu tranzistorul cu efect de câmp T_1 , tip BFW11 și tranzistorul bipolar de zgomot redus T_2 , tip BC253. Diodele D_1 și D_2 au rol de protecție pentru tranzistorul T_1 .

Amplificarea semnalului se face cu amplificatoare operaționale, tip $\beta M308$. Primul amplificator, legat în configurație inversoare, amplifică semnalul de 10 ori și face parte din amplificatorul de sarcină. Capacitatea echivalentă la intrare devine astfel ($C_2 \times$ raportul de amplificare), adică $1 \text{ nF} \times 10 = 10 \text{ nF}$, mai mare decât capacitatea traductorului adunată cu capacitatea cablului (aproximativ 100

pF/m), creșterea capacității cablului având influență nesemnificativă față de capacitatea de intrare. Astfel, variația sarcinii electrice dată de transductorul piezoelectric este translată integral la intrarea amplificatorului de intrare. Capacitatea condensatorului C_2 poate fi crescută oricât, deoarece limitează superior banda semnalului.

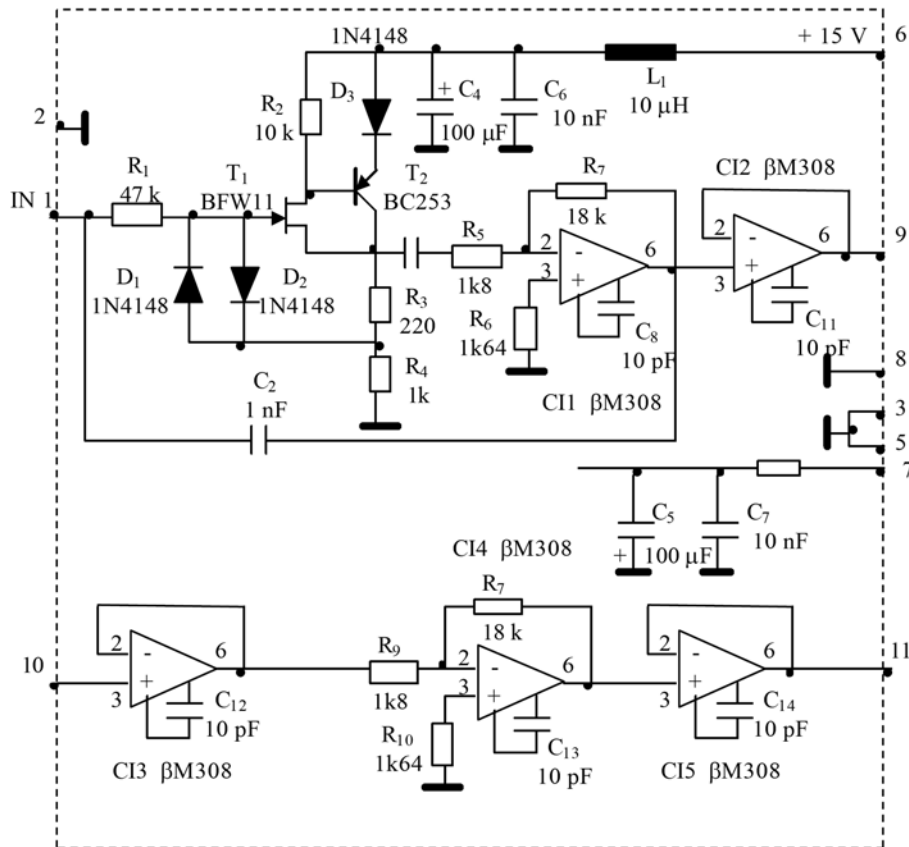


Fig. 5.2

Pentru semnale mai mari la intrare s-a prevăzut un divizor rezistiv după amplificatorul de sarcină, comutabil în șase trepte de câte 10 dB. Divizorul a fost realizat cu tranzistoare de valoare mare, de aceea a fost nevoie de un etaj repetor, pentru creșterea impedenței de intrare și scăderea impedenței de ieșire.

6. Filtrele active trece jos

Sunt filtre active trece jos cu rol de filtre antialiasing, de tip Cebîșev, ordin 9, cu panta de tăiere minim 80 dB/octavă sau eliptice, de tip Cauer, ordin 7, cu atenuare în banda de tăiere minim 40 dB și panta de tăiere minim 108 dB/octavă.

Realizarea practică s-a efectuat cu ajutorul amplificatoarelor operaționale cu câștig unitar sau apropiat de unitate, fig. 5.3.

6.1. Determinarea gabaritului și parametrilor

Gabaritul definește următorii parametri:

- banda de trecere: zona de frecvențe $f < f_i$, pentru care atenuarea trebuie să fie mai mică decât o valoare A_{max} ;
- banda atenuată: zona de frecvențe $f > f_a$, pentru care atenuarea trebuie să fie mai mare decât o valoare A_{min} (fig. 5.4).

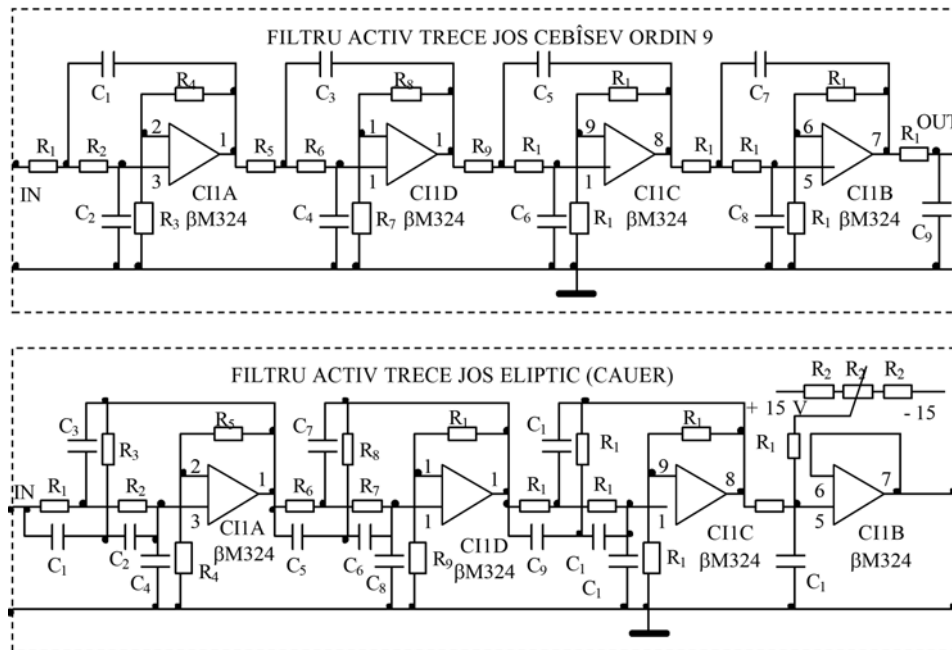


Fig. 5.3

Parametrii caracteristici unui gabarit sunt:

- atenuarea maximă în banda de trecere: A_{\max} (dB) ;
- atenuarea minimă în banda de trecere A_{\min} (dB) ;
- panta de tăiere: $k = f_i / f_a$.

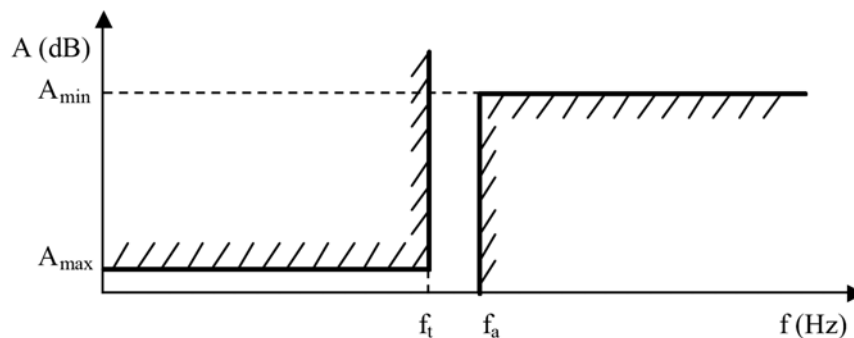


Fig. 5.4

6.2 Alegerea tipului de filtru

Principalele criterii ce stau la baza alegerii filtrului sunt: panta de tăiere, uniformitatea curbei de răspuns, comportarea în regim tranzitoriu, uniformitatea timpilor de propagare de grup, existența zerourilor de transmisie, complexitatea realizării, ușurința punerii în funcțiune.

Analizând două tipuri de filtre care au curbele de răspuns cele mai apropiate de filtrul ideal, se pot desprinde următoarele concluzii:

- filtrele Cebîșev sunt filtre simple, cu pantă de tăiere mare (18 dB/octavă pentru o celulă), dar comportamentul tranzitoriu nu este excelent și necesită componente de precizie; sunt filtre polinomiale, adică au funcția caracteristică de forma unui polinom în ω^2 . Filtrele Cebîșev sunt optimizate pentru a avea panta de tăiere cea mai mare posibil, atenuarea rămânând continuu crescătoare.

- filtrele Cauer sunt circuite complexe care permit obținerea unor pante de tăiere foarte abrupte; sunt foarte dificil de calculat (necesită rezolvarea prin iterații a unor integrale eliptice complexe), necesită componente de precizie mare (toleranța < 0,5 %) și sunt greu de pus în funcțiune. Sunt filtre

nepolinomiale, care introduc frecvențe de atenuare infinită și zerouri de transmisie. Sunt cele mai utilizate în aplicațiile de performanță ridicată, deoarece au curba de răspuns a amplitudinii cea mai apropiată de filtrul ideal.

6.2. Calculul filtrelor

Pentru realizarea filtrelor s-au folosit circuite integrate tip $\beta M324$ (patru AO pe capsulă). S-a urmărit ca nivelul semnalului prin filtre să fie < 1 V_{VV}, pentru obținerea unor pante de tăiere maxime.

Curbele de răspuns ale filtrelor calculate sunt prezentate în fig. 5.5.

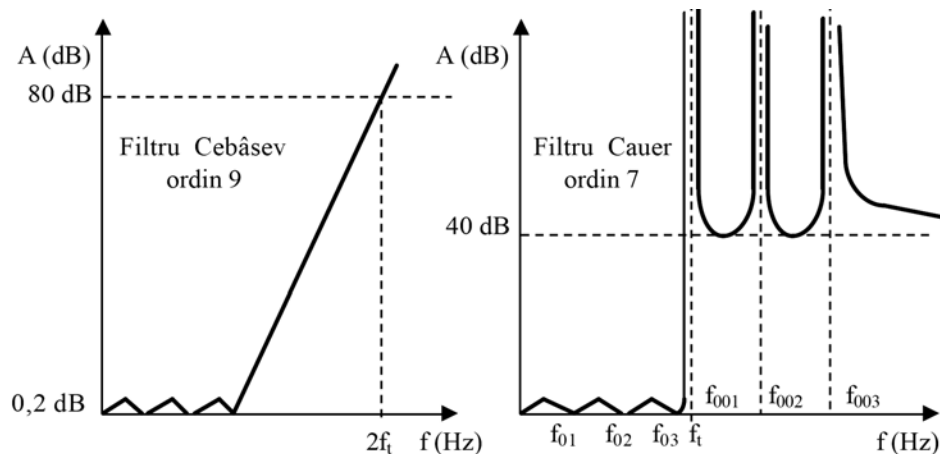


Fig. 5.5

Valorile componentelor obținute sunt următoarele (toleranța 0,5 %):

a) Filtru activ trece jos eliptic (Cauer) ordin 7

Componenta / f_i 300 Hz	1 kHz	3 kHz	10 kHz	
$R_1 = R_2 = R_4$	14k3	19k6	14k	17k8
$R_3 = R_1/2$	7k15	9k76	6k98	8k87
R_5	8k66	12k	8k45	10k9
$R_6 = R_7 = R_9$	13k3	12k9	17k2	12k7
R_8	6k65	6k42	8k66	6k34
R_{10}	1k02	976	1k3	1k14
$R_{11} = R_{12} = R_{14}$	12k4	14k	20k5	14k
R_{13}	6k19	6k98	10k2	6k98
R_{15}	432	475	706	475
R_{16}	9k76	8k98	8k98	11k8
$C_1 = C_2$	19,6nF	4,27nF	2nF	470pF
$C_3 = 2C_1$	39,2nF	8,56nF	4,02nF	942pF
C_4	45,9nF	10nF	4,7nF	1,1nF
$C_5 = C_6$	32nF	10nF	2,49nF	1,01nF
C_7	64,2nF	20nF	4,99nF	2,01nF
C_8	19,5nF	3,3nF	816pF	332pF
$C_9 = C_{10}$	37,9nF	10,2nF	2,29nF	1,02nF
C_{11}	75,9nF	20,5nF	4,59nF	2,05nF
C_{12}	3,79nF	1,01nF	229pF	101pF
C_{13}	92nF	30,1nF	9,88nF	2,26nF

b) Filtru activ trece jos Cebîșev, ordin 9

Componenta / f_i 300 Hz	1 kHz	3 kHz	10 kHz	
C_1	150nF	71,5nF	15,2nF	4,12nF
C_2	55,6nF	26,7nF	5,62nF	1,52pF
C_3	154nF	72,3nF	10nF	9,88nF
C_4	15,2nF	7,23nF	1nF	988pF
C_5	160nF	77,7nF	23,2nF	9,88nF
C_6	4,02nF	1,96nF	583pF	252pF
C_7	470nF	198nF	70,6nF	23,4nF
C_8	1,14nF	475pF	169pF	56,9pF
C_9	138nF	37nF	10nF	6,65nF
$R_1 = R_2$	13k	8k16	12k7	14k2
$R_5 = R_6$	15k6	9k88	23k7	7k23
$R_9 = R_{10}$	22k9	14k2	15k8	11k1
$R_{13} = R_{14}$	22k3	16k	14k9	13k5
R_{17}	13k2	14k9	18k2	8k25

7. Amplificatorul de ieșire

Pentru procesarea semnalului s-au folosit AO tip $\beta M308$, fig. 5.6. T_1 , T_2 și T_3 realizează circuitul pentru semnalizarea depășirii de 5 V_v, iar T_4 , T_5 și T_6 alcătuiesc circuitul pentru semnalizarea depășirii de 10 V_v la ieșire. Cele două circuite de semnalizarea depășirii sunt sensibile atât la semnale pozitive cât și la semnale negative. Ieșirea circuitului CI3 este cuplată la un divizor rezistiv cu două poziții: 0 dB și 20 dB, comutabile, pentru reglarea atenuării la ieșire.

Ieșirea unității de condiționare este prevăzută cu protecție cu diode Zener, astfel încât semnalul să fie limitat la maxim 10 V_v ($\pm 5\%$), aceasta fiind gama dinamică a convertorului analog – numeric.

8. Stabilizatoarele de tensiune continuă

Tensiunile continui de alimentare, +15 V și – 15 V s-au obținut folosind două stabilizatoare de tensiune continuă realizate cu circuite integrate de tip $\beta A723C$, prevăzute cu protecție la întoarcerea caracteristicii, atunci când se depășește curentul nominal debitat (400 mA). Pentru obținerea curentului nominal s-au folosit tranzistoarele BD137 și 2N5492,

9. Punerea în funcțiune

Pentru cuplarea unității de condiționare la rețea se acționează întrerupătorul de rețea (aflat pe panoul spate) în sus și se urmărește aprinderea diodei electroluminiscente de semnalizare rețea, montată pe panoul frontal, stânga, sus. Se așteaptă câteva secunde pentru stingerea proceselor tranzitorii și trecerea la regim staționar.

Se cuplează mufa traductorului la mufa corespunzătoare de intrare a unității de condiționare, aflată pe panoul frontal.

Pentru funcționare corectă, trebuie ca LED-ul verde (galben) montat pe panou “Depășire 5 V_v” să fie aprins, iar LED-ul roșu “Depășire 10 V_v” să fie stins. Dacă ambele LED-uri de semnalizare depășire sunt aprinse, se acționează atenuatorul de intrare sau/și de ieșire, până la stingerea LED-ului roșu, urmărind eventual și ecranul osciloscopului, pentru a vedea dacă semnalul nu este distorsionat.

Trebuie remarcat că, la trecerea de pe o poziție pe alta a comutatoarelor, au loc fenomene tranzitorii, care pot duce la aprinderea LED-urilor de semnalizare depășire; la fel ca la pornire, se va aștepta câteva secunde pentru trecerea la regim staționar.

Dacă semnalul nu este limitat, se poate trece la analiză alegând corespunzător banda de frecvențe.

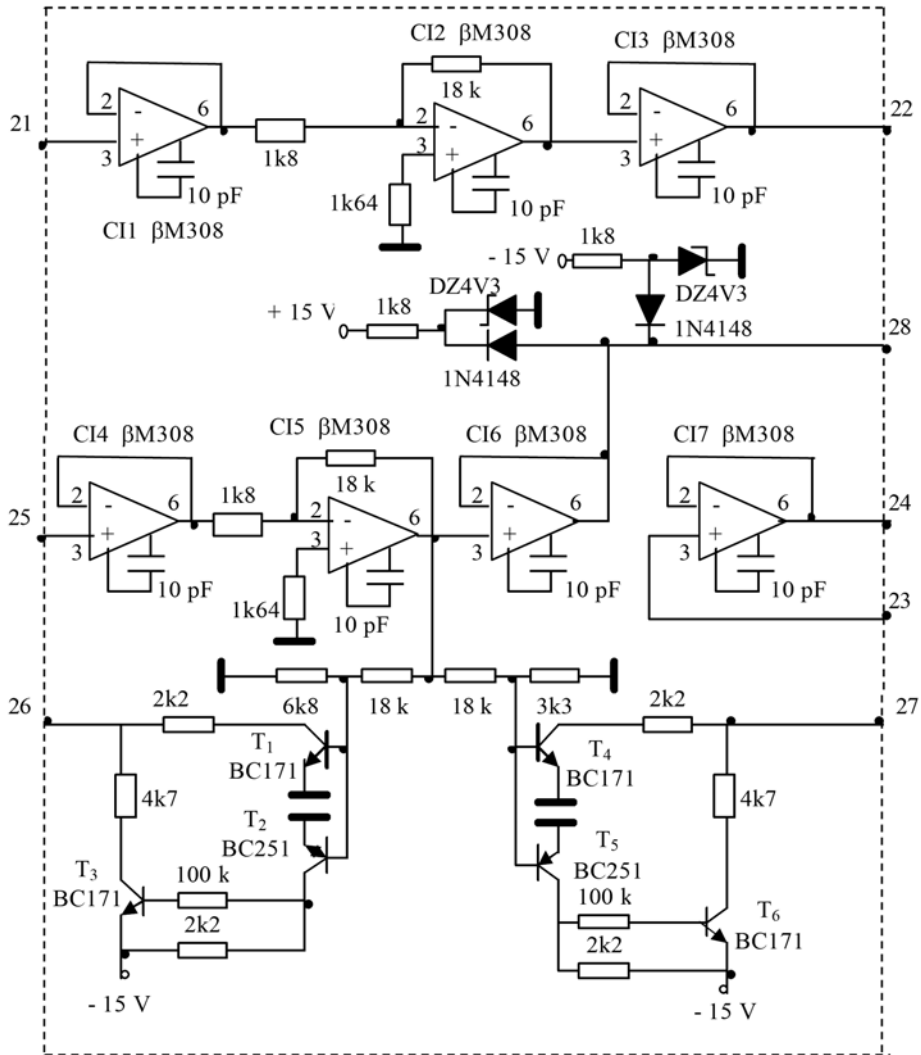


Fig. 5.6