



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2016 00796**

(22) Data de depozit: **07/11/2016**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/08/2023** BOPI nr. **8/2023**

(41) Data publicării cererii:
30/05/2018 BOPI nr. **5/2018**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
DEZVOLTARE PENTRU TEHNOLOGII
IZOTOPICE ȘI MOLECULARE (INCDTIM),
STR. DONATH NR. 67-103, CLUJ-NAPOCA,
CJ, RO**

(72) Inventatori:
• **POP MIRCEA NICOLAE, STR. DONATH
NR. 166B, AP. 9A, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 8228121 B2; US 9204813 B2

(54) **CIRCUIT DE CONDIȚIONARE A SEMNALELOR ANALOGICE,
COMANDAT DIGITAL, ȘI SISTEM DE ACHIZIȚIE A UNUI
SEMNAL CONDIȚIONAT**



RO 132619 B1

1 Invenția se referă la circuite de condiționare a semnalelor analogice, atunci când este
necesar să existe posibilitatea ajustării amplitudinii și componente continue a semnalului de
3 ieșire. Semnalul de ieșire este transformat în cod digital cu ajutorul unui convertor analog/
digital CAD. Semnalul de ieșire poate fi folosit drept semnal analogic de comandă/ control
5 sau poate fi folosit sub formă de cod digital. Invenția este utilă atunci când este vizată
scalarea semnalelor analogice la interfața dintre două blocuri funcționale care utilizează
7 nivele și tipuri diferite de semnale analogice (de exemplu: ieșire bloc unu, bipolar +/-10 V,
intrare bloc doi, unipolar +3,3 V).

9 Circuitul de condiționare a semnalelor analogice la care se referă invenția se poate
utiliza pentru a echipa noduri senzoriale, pentru a echipa instalații industriale și/ sau
11 instrumente de laborator. Circuitul de condiționare este util în acele cazuri în care sunt
necesare operații de ajustare, testare și/sau calibrare periodice, eventual când nu este
13 posibil accesul fizic direct la circuitul de condiționare dar există o cale de comunicare digitală
(de exemplu, serială, cu sau fără fir) cu circuitul de condiționare a semnalelor analogice.

15 Invenția prezintă aplicabilitate pentru sistemele inteligente de măsură și monitorizare,
deoarece conferă unui miez digital de control posibilitatea ajustării directe a parametrilor
17 circuitului de condiționare. Astfel, se poate asigura ajustarea optimă a caracteristicilor
semnalului analogic și obținerea corespondentului digital al acestuia. Totodată, ajustarea
19 digitală a parametrilor este utilă în scopul evitării pierderilor de informație, atunci când se
efectuează achiziția unui semnal de intrare cu gamă dinamică mare (mai mare decât trei
21 decade). În acest caz, se poate pierde informație: i. fie prin funcționarea lanțului analogic sau
a CAD în regim neliniar (de exemplu, atunci când semnalul depășește cel puțin una din
23 limitele benzii dinamice ale CAD), ii. fie din cauza amplificării insuficiente a semnalului de
intrare (de exemplu, atunci când amplitudinea semnalului de la ieșirea circuitului de
25 condiționare a semnalelor analogice reprezintă sub 10% din gama dinamică a CAD).

În general semnalul de intrare al circuitului de condiționare a semnalelor analogice
27 este un semnal de tensiune care poate prezenta variații ale amplitudinii sau ale componente
continue. Circuitul propus, este utilizabil practic cu semnale de intrare din domeniul de curent
29 continuu până la frecvențe de ordinul a 10^4 Hz, fiind capabil să furnizeze o tensiune de ieșire,
teoretic cuprinsă între nivelele tensiunii de alimentare. Circuitul la care se referă invenția
31 poate fi realizat sub forma unui bloc discret, relativ ușor de cascadat într-un lanț de
prelucrare analogică a semnalului (impedanța de intrare poate fi realizată de ordinul a 10^{13}
33 Ω iar impedanța de ieșire poate fi obținută de ordinul a $10^2 \Omega$).

Benhamouda et al. [**F. Benhamouda, R. Kiri, J.- M. Linotte, Automatic gain**
35 **control circuit, US8 228121 B2 (2012), 8p.**] a obținut un brevet de invenție pentru un circuit
cu controlul automat al amplificării, realizat în jurul unui amplificator cu amplificare variabilă,
37 un comparator și un bloc logic care ajustează nivelul amplificării. Semnalul de ieșire al
amplificatorului cu amplificare variabilă este apoi furnizat unui CAD. Circuitul cu amplificare
39 variabilă propus în acest document este realizat cu un amplificator operațional, în confi-
gurație inversoare, având un potențiomtru digital PD conectat ca și reostat, inserat în bucla
41 de reacție. Amplificatorul cu câștig variabil permite obținerea atât a factorilor de amplificare
supraunitari cât și a factorilor subunitari, deci blocul propus poate efectua inclusiv atenuarea
43 semnalului de intrare. Invenția propusă este destinată compresiei dinamice, controlate digital,
a semnalelor provenite de la senzori piezoelectrice care pot furniza scurte impulsuri de
45 amplitudine relativ mare. Brevetul menționat nu se referă la implementarea ajustării pe cale
digitală a nivelului de offset al semnalului condiționat (componenta continuă).

RO 132619 B1

Kaib et al. [**T. E. Kaib, S. S. Volpe, J. D. Macho, Method of detecting signal clipping in a wearable ambulatory medical device, US 9204813 (2015), 13p.**] au obținut un brevet pentru o metodă de detecție a saturației semnalelor unui dispozitiv medical portabil, utilizat în special pentru monitorizarea permanentă a activității cardiace a pacienților prin analiza electrocardiogramei. În brevetul menționat este revendicat inclusiv un lanț de achiziție a semnalului electrocardiogramei. Lanțul de achiziție este alcătuit din multiple blocuri de amplificare și atenuare cascade și poate conține inclusiv un bloc analogic de ajustare automată a factorului de amplificare. Brevetul se referă și la detecția depășirii de către semnalul de ieșire a unor nivele prestabilite de tensiune: maxim și minim (caracteristice electrocardiogramei, cu valori inferioare nivelelor de saturație specifice blocurilor funcționale). Pe baza detecției depășirii nivelelor prestabilite, în vederea evitării saturării ieșirii, sunt revendicate și procedeele de ajustare automată a factorilor de amplificare. Brevetul menționat nu face nicio referire directă la ajustarea nivelului de offset al semnalului de ieșire și/sau al semnalelor intermediare existente în lanțul de condiționare. De asemenea, nu este propusă nicio topologie referitoare la construcția circuitelor de amplificare sau a celor de atenuare.

Grassi et al. [**M. Grassi, P. Malcovati, A. Baschirotto, A 160 dB Equivalent Dynamic Range Auto-Scaling Interface for Resistive Gas Sensors Arrays, IEEE journal of solid-state circuits (2007) vol. 42, no. 3, 518- 528**] a raportat realizarea unui circuit de condiționare a semnalelor analogice, prevăzut cu scalare automată. Circuitul de condiționare permite ajustarea digitală a factorului de amplificare într-un domeniu relativ extins. Circuitul propus este destinat condiționării semnalelor analogice de la senzorii de gaz. Circuitul conține un bloc cu amplificare controlată, construit de asemenea în jurul unui amplificator operațional, în configurație inversoare, rezistența din bucla de reacție fiind interschimbabilă cu ajutorul unui multiplexor. Circuitul raportat permite de asemenea ajustarea tensiunii de offset prin suprapunerea peste semnalul furnizat de senzor a unui semnal sintetizat digital cu ajutorul unui convertor digital/analogic CDA.

Rastrello et al. [**F. Rastrello, P. Piacidi, A. Scorzoni, E. Cozzani, M. Messina, I. Elmi, S. Zampolli, G.C. Cardinali, Thermal Conductivity Detector for Gas Chromatography: Very Wide Gain Range Acquisition System and Experimental Measurements, IEEE Transactions on instrumentation and measurement (2013) vol. 62, no. 5, 974-981**] au propus un sistem destinat condiționării semnalelor furnizate de senzori rezistivi de gaz. Circuitul de condiționare a semnalului este alcătuit parțial dintr-un amplificator de instrumentație cu intrări diferențiale și ieșire simplă (o singură bornă caldă), obținut cu ajutorul a trei amplificatoare operaționale, rezistori ficși și un PD. Circuitul preia semnalul diferențial de la o punte alcătuită din senzori rezistivi și poate efectua atât amplificarea cât și atenuarea semnalului. Acest bloc nu prezintă posibilitatea ajustării nivelului de offset al semnalului de ieșire.

O abordare teoretică a circuitelor de condiționare a semnalelor analogice, dotate cu posibilitatea ajustării digitale a parametrilor, în scopul optimizării procesului de achiziție, bazat pe conversia analogic/digitală a fost raportată de Catunda et al. [**S. Y. C. Catunda, J. -F. Naviner, G. S. Deep, R. C. S. Freire, Designing a programmable analog signal conditioning circuit without loss of measurement range, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 52 no. 5, (2003) 1482-1487**]. Optimizarea procesului de achiziție presupune ajustarea liniară a parametrilor circuitului de condiționare, astfel încât semnalul de ieșire să acopere teoretic complet gama dinamică a CAD. Autorii propun un bloc generic de condiționare a semnalului care permite atât ajustarea tensiunii de offset cât și ajustarea factorului de amplificare.

RO 132619 B1

1 În general circuitele de condiționare a semnalului analogic sunt utilizate pentru
amplificarea unui semnal, pentru modificarea componentei continue a acestuia, pentru
3 modificarea componentelor spectrale ale semnalului (filtrare analogică) și/sau atunci când
este necesară adaptarea impedanței între blocul funcțional care furnizează semnalul și
5 blocul care preia acest semnal. Semnalul de intrare poate fi furnizat de un senzor. Semnalul
de intrare poate fi preamplificat sau nu de un circuit electronic de intrare, cum ar fi de
7 exemplu un amplificator cu zgomot mic, eng: front-end amplifier [M. N. Pop, “*A flexible high
input impedance AFE for measurement purposes*”, *Measurement*, **159**, (2020), 107721].

9 Circuitele de condiționare a semnalului au în general parametrii de funcționare fixați
prin construcție sau ajustabili mecanic. Există o clasă de amplificatoare cu amplificare
11 variabilă, programabile (care stochează valoarea factorului de amplificare) sau doar
ajustabile digital, dar nu multe dintre acestea permit ajustarea tensiunii de offset a semnalului
13 de ieșire. De asemenea, nu multe amplificatoare cu câștig variabil, disponibile în formă
integrată, permit implementarea factorilor de câștig subunitari. În același timp, circuitele de
15 amplificare disponibile comercial au în general raporturi supraunitare între două trepte con-
secutive posibile ale factorului de amplificare și foarte puține dintre acestea pot condiționa
17 semnale de intrare aflate oriunde între nivele de tensiune de alimentare. Simultan, puține
circuite de amplificare disponibile comercial au un domeniu larg de variație al raportului dintre
19 amplitudinea semnalului util și tensiunea de offset (componenta continuă). Altfel spus, nu
multe variante disponibile comercial, ale blocurilor circuitelor integrate, ajustabile digital,
21 dedicate condiționării semnalelor analogice, permit condiționarea unor semnale de intrare
de amplitudine relativ mică, care au o tensiune de offset situată foarte aproape de unul dintre
23 nivelele tensiunii de alimentare (fig.10).

În ceea ce privește proiectarea circuitelor de condiționare a semnalelor analogice
25 există două direcții de dezvoltare:

i. prima are în vedere dezvoltarea unor circuite de condiționare cu simplitate maximă,
27 având blocuri cât mai puține și componente electronice cu valori fixate iar;

ii. a doua are în vedere dezvoltarea unor lanțuri cu flexibilitate mare, prevăzute cu
29 posibilitatea ajustării parametrilor lanțului și probabil, schimbarea funcționalității lanțului de
condiționare [M.N. Pop, “*A flexible high input impedance AFE for measurement
31 purposes*”, *Measurement* **159** (2020)], prin comutarea unor căi de semnal din structura
acestuia (astfel suprimându-se unele funcții sau introducându-se funcții noi). În general
33 aceste deziderate se obțineau în cadrul instrumentelor clasice de test și măsură prin punerea
la dispoziția unui utilizator uman a unor elemente mecanice de ajustare (potențiometre,
35 comutatoare etc). În cazul unor blocuri prevăzute cu posibilitatea ajustării automate, se pot
proiecta bucle locale de control care să implice fie un comportament liniar fie unul neliniar.
37 Buclele locale de control liniar se bazează pe afectarea comportamentului unui element activ
de circuit (într-un domeniu liniar) prin intermediul unei mărimi electrice (curent sau tensiune).

39 În ultimele decade se poate observa o tendință pronunțată de dezvoltare a sistemelor
cu miez digital de control. În cadrul acestora, un element digital supraveghează și contro-
41 lează funcționarea întregului sistem prin ajustarea optimă a parametrilor sistemului. Astfel
se lărgeste foarte mult capacitatea sistemului de a prelucra și comunica informația. În
43 continuare miezul digital de control va fi denumit unitate de procesare digitală UPD, aceasta
având în general resursele fizice (posibilitate de stocare a informației, capacitate de calcul,
45 blocuri hardware de comunicare etc.) și flexibilitatea ajustabilă prin programare atât pentru
implementarea buclelor complexe de control cât și pentru prelucrarea parțială a informației
47 și transmiterea ulterioară a informației procesate. Unitatea de procesare digitală UPD poate
fi configurată (prin programare) să funcționeze ca și releu, efectuând automat unele operații

RO 132619 B1

| | |
|--|----------------|
| de rutină (de exemplu, achiziția semnalului prin controlul CAD, verificarea încadrării semnalului condiționat în domeniul liniar etc), lăsând la latitudinea unui utilizator uman (care controlează sistemul de la o consolă), deciziile privitoare la parametrii de funcționare ai circuitului de condiționare analogică. | 1 3 |
| Pentru sistemele de control și pentru sistemele de achiziție controlate digital, este util ca UPD: i. să dețină o posibilitate de ajustare a parametrilor lanțului de condiționare și ii. să cunoască și să poată verifica valorile reale a acestor parametri. | 5 7 |
| Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în (re)configurarea digitală a parametrilor (factor de amplificare și nivelul de offset al semnalului de ieșire) lanțurilor de condiționare analogice, atunci când componenta continuă și componenta care conține informația utilă a semnalului de ieșire suferă fluctuații relativ mari și imprevizibile. | 9 11 |
| Circuitul de condiționare analogică de bază rezolvă problema menționată prin aceea că este alcătuit dintr-un amplificator operațional care prezintă: | 13 |
| I. un potențiomtru digital cu priza mediană conectată la intrarea inversoare, una din secțiunile potențiometrului fiind inclusă în calea semnalului de intrare conectată în serie cu un rezistor, iar cealaltă secțiune a potențiometrului digital, de asemenea conectată în serie cu un rezistor, fiind inclusă în bucla de reacție, iar între intrarea inversoare și ieșire, în paralel cu ramura rezistivă formată din a doua secțiune a potențiometrului și rezistor este conectat un condensator, iar | 15 17 19 |
| II. la intrarea neinversoare un circuit care furnizează un nivel de tensiune comandat digital. | 21 |
| Conform unui alt aspect al invenției, nivelul de tensiune furnizat de circuitul conectat la intrarea neinversoare este generat cu ajutorul unui convertor digital/analog, sau cu ajutorul unui potențiomtru digital dispus în conexiune de tipul divizor de tensiune, fiecare extremitate fiind conectată la câte o referință de tensiune, iar priza mediană fiind conectată la intrarea neinversoare. | 23 25 |
| Conform unui alt aspect al invenției, nivelul de tensiune furnizat de circuitul conectat la intrarea neinversoare este obținut prin selectarea, cu ajutorul unor comutatoare analogice, a unui nivel prestabilit de tensiune. | 27 29 |
| Conform unui alt aspect al invenției, nivelul de tensiune furnizat de circuitul conectat la intrarea neinversoare este generat cu ajutorul unui generator de tensiune care utilizează un semnal dreptunghiular cu factor de umplere ajustabil, semnalul cu factor de umplere ajustabil fiind filtrat corespunzător. | 31 33 |
| Conform unui alt aspect al invenției, circuitul de condiționare analogică de bază mai prezintă un etaj cu intrare simplă și ieșire simplă, cu impedanță de ieșire constantă și cunoscută, astfel încât factorul de amplificare al circuitului de condiționare analogică de bază să fie independent de impedanța echivalentă a generatorului de semnal. | 35 37 |
| Conform unui alt aspect al invenției, circuitul de condiționare analogică de bază mai prezintă la intrare un alt etaj cu intrare diferențială și ieșire simplă care are o impedanță mare de intrare și impedanță de ieșire constantă și cunoscută, astfel încât factorul de amplificare al circuitului de condiționare analogică de bază să fie independent de impedanța echivalentă a generatorului. | 39 41 |
| Conform unui alt aspect al invenției, circuitul de condiționare analogică de bază mai prezintă o intrare de semnal de testare, iar în locul rezistorului conectat în serie cu prima secțiune a potențiometrului digital, conține două rețele paralele alcătuite din câte un rezistor și câte un comutator analogic comandat cu ajutorul unor semnale digitale diferite, sau doi | 43 45 |

RO 132619 B1

1 rezistori conectați fiecare la una dintre intrările unui multiplexor analogic de tipul 2 la 1,
comandat de un singur semnal digital, astfel încât prin primul rezistor se aplică un semnal,
3 iar prin al doilea rezistor se aplică alt semnal, în vederea efectuării unor operații de testare
a funcționării și/sau de calibrare.

5 Conform unui alt aspect al invenției, circuitul de condiționare analogică este alcătuit
din două circuite de condiționare analogică de bază, astfel încât primul circuit de condiționare
7 preia și condiționează semnalul de intrare care este adus, de asemenea, la intrarea unui filtru
trece-jos care separă componenta continuă a semnalului de intrare, componenta continuă
9 fiind condiționată de al doilea circuit de condiționare a cărui tensiune de ieșire este aplicată
la intrarea de test a primului circuit de condiționare, iar parametri de funcționare ai celui de
11 al doilea circuit de condiționare sunt aleși astfel încât tensiunea de ieșire a primului circuit
de condiționare să fie de amplitudine cunoscută și independentă de componenta continuă
13 a semnalului de intrare.

Conform unui alt aspect al invenției, circuitul de condiționare analogică prezintă două
15 circuite de condiționare analogică de bază cascade direct, sau două circuite de condițio-
nare analogică de bază separate printr-un bloc intermediar care este un element de separare
17 galvanică, sau două de condiționare analogică de bază separate printr-un bloc intermediar
care este un bloc electronic funcțional, destinat modificării componentelor spectrale ale
19 semnalului condiționat, izolării galvanice, sau amplificării suplimentare a semnalului.

Problema tehnică mai este rezolvată și printr-un sistem de achiziție a unui semnal
21 analogic, care este alcătuit dintr-un singur lanț de condiționare analogică, care conține cel
puțin un circuit de condiționare de bază, un convertor analog/digital și o unitate de procesare
23 digitală care achiziționează semnalul de ieșire al lanțului de condiționare, comunicând cu
convertorul analog/digital prin intermediul unei căi digitale și pe baza caracteristicilor
25 semnalului digitalizat modifică parametrii circuitului de condiționare de bază prin intermediul
căilor digitale de comunicare, astfel încât să îmbunătățească acoperirea benzii dinamice a
27 convertorului analog/digital.

Conform unui alt aspect al invenției, în sistemul de achiziție a unui semnal analogic,
29 lanțul de condiționare analogică conține cel puțin două circuite de condiționare analogică de
bază, iar prin intermediul unor convertoare analog/digital simple sau multicanal, unitatea de
31 procesare digitală achiziționează atât semnalul de ieșire, cât și cel puțin un semnal
intermediar și utilizează caracteristicile semnalelor intermediare pentru a asigura condiționa-
33 rea optimă a semnalului de ieșire sau a reconstitui semnalul de intrare atunci când semnalul
de ieșire sau vreunul din semnalele de intrare depășește domeniul de funcționare liniară.

35 Conform unui alt aspect al invenției, sistemul de achiziție a unui semnal analogic,
este alcătuit din două lanțuri de condiționare analogică conectate în paralel, iar fiecare lanț
37 conține cel puțin un circuit de condiționare analogică de bază, unul sau mai multe conver-
toare analog/digitale simple sau multicanal, iar sistemul conține și o unitate de procesare
39 digitală prevăzută cu posibilitatea achiziției cel puțin a semnalelor de ieșire ale fiecărui lanț
de condiționare, astfel încât primul semnal de ieșire să fie utilizat pentru achiziția continuă
41 a semnalului de intrare, iar al doilea semnal de ieșire să fie utilizat pentru pentru optimizarea
achiziției variațiilor mici ale semnalului de intrare, sau drept semnal de comandă și control,
43 monitorizat și ajustat digital.

Deci, în contextul stadiului actual al tehnicii, invenția oferă o posibilitate de dezvoltare
45 modulară (utilizând topologia CCB) a unor circuite particularizate de condiționare a unui
semnal analogic. Circuitele de condiționare a semnalului analogic pot fi adaptate, prin proiect-
47 tare, la particularitățile semnalului de intrare (amplitudine probabilă, spectru de frecvență
etc). Circuitele de condiționare a semnalului analogic propuse oferă posibilitatea ajustării

RO 132619 B1

| | |
|---|----|
| digitale a parametrilor, astfel încât, în limitele alese în timpul proiectării, se pot modifica parametri de condiționare, pentru optimizarea semnalului de ieșire. Aplicațiile principale ale circuitelor de condiționare cu ajustare digitală la care se referă invenția se rezumă la: i. sintetizarea unor semnale de comandă și control și ii. condiționarea unor semnale în vederea achiziției acestora. Invenția pune la dispoziția proiectantului posibilitatea dezvoltării unor lanțuri de condiționare ajustabile digital, utilizând circuite integrate după cum urmează: amplificatoare operaționale, potențiometre digitale, CDA (deși sunt prezentate și alternative), CAD, posibil comutatoare analogice și elemente pasive de circuit, fără să existe constrângerile cauzate de topologia fixată a unor elemente integrate disponibile comercial (amplificatoare cu câștig controlabil, amplificatoare cu câștig programabil, etc). | 1 |
| Se dă în continuare un exemplu de aplicare a invenției în legătură cu fig. 1...10 după cum urmează: | 11 |
| - fig. 1, schema electrică a unui singur CCB și simbolul blocului folosit pentru acesta; | 13 |
| - fig. 2, schema electrică a unui circuit de achiziție a unui semnal condiționat, care permite controlul digital al parametrilor CCB; | 15 |
| - fig. 3, schema electrică a unui exemplu de utilizare a unui CCB circuit de condiționare care asigură performanțele maxime ale CCB; | 17 |
| - fig. 4, schemele electrice a unor CCB îmbunătățite prin adăugarea la intrare a unor etaje tampon: | 19 |
| - fig. 4.a, etaj tampon IC_4 cu intrare simplă; | |
| - fig. 4.b, etaj tampon IC_5 cu intrare cu intrare diferențială. | 21 |
| - fig. 5, schemele electrice a unor CCB îmbunătățite prin adăugarea unei căi de testare și calibrare la intrarea neinvertoare: | 23 |
| - fig. 5.a, calea de semnal și calea de testare și calibrare, sunt prevăzute fiecare cu comutatoare analogice IC_2 și IC_3 , comandate cu un semnal digital D_{IN} , respectiv D_{TST} ; | 25 |
| - fig. 5.b, calea de semnal și calea de testare și calibrare, sunt multiplexate cu un multiplexor 2 la 1 IC_6 , comandat cu un semnal digital D_{MUX} . | 27 |
| - fig. 6, schema bloc a unui circuit de condiționare a semnalului analogic, prevăzut cu un etaj analogic de autoreglare a nivelului de offset, având posibilitatea supraajustării digitale a autoreglării; | 29 |
| - fig. 7, circuit de condiționare analogică alcătuit din două CCB-uri cascade, CCB_1 și CCB_2 : | 31 |
| - fig. 7.a, schema bloc a unui circuit de condiționare; | 33 |
| - fig. 7.b, schema electrică unui circuit de condiționare în care CCB_1 și CCB_2 sunt alimentate de la două surse de tensiune, unipolare, diferite U_{S1} și U_{S2} ; | 35 |
| - fig. 7.c, schema electrică unui circuit de condiționare în care CCB_1 și CCB_2 sunt alimentate de la două surse de tensiune diferite $\pm U_{S1}$, bipolar și unipolar U_{S2} . | 37 |
| - fig. 8, circuit de condiționare analogică alcătuit din două CCB-uri cascade și un bloc intermediar CCB_1 , BI și CCB_2 : | 39 |
| - fig. 8.a, schema bloc a unui circuit de condiționare cu BI; | 41 |
| - fig. 8.b, schema bloc a unui circuit de condiționare în care BI este un filtru cu capacități comutate FE, a cărui frecvență de tăiere depinde de frecvența unui semnal de ceas f_c , furnizat de UPD. | 43 |
| - fig. 8.c, schema electrică unui circuit de condiționare cu două CCB separate galvanic cu ajutorul unui BI care îndeplinește rolul de etaj separator liniar, în care CCB_1 și CCB_2 sunt alimentate de la două surse de tensiune diferite $\pm U_{S1}$, bipolar și unipolar U_{S2} ; | 45 |
| | 47 |

RO 132619 B1

1 - fig. 9, schemele bloc ale unor circuite de condiționare analogică alcătuite din două ramuri de condiționare conectate în paralel:

3 - fig. 9.a, fiecare ramură este alcătuită dintr-un singur CCB;
- fig. 9.b, o ramură este alcătuită din CCB₁ iar cealaltă ramură din două CCB
5 cascade (CCB₂ și CCB₃);

- fig. 8. c, fiecare ramură este alcătuită din câte două CCB cascade.

7 - fig.10, formele de undă (înregistrate cu un osciloscop digital) ale semnalului de intrare și ale celui de ieșire, condiționat cu un circuit alcătuit din două CCB-uri cascade
9 direct.

Semnalele furnizate de elemente piezoelectrice pot avea variații de amplitudine relativ mare, sau în bobinele utilizate ca și traductori, pot apărea supratensiuni, cauzate în general de evenimente electromagnetice neprevăzute. Un alt exemplu, se referă la cazul monitorizării mărimilor specifice rețelelor de distribuție ale energiei electrice (curent/tensiune), când există posibilitatea saltului rapid al mărimii monitorizate (fie din cauza unui fenomen tranzitoriu, fie din cauza conectării simultane a mai multor consumatori). În aceste cazuri, semnalul care trebuie condiționat suferă variații imprevizibile și rapide.

17 Într-un alt caz, este posibil ca semnalul de intrare să fie preamplificat cu ajutorul unui prim etaj cu factor de amplificare constant astfel încât semnalul furnizat la ieșire să depășească gama dinamică a blocului care preia semnalul, fiind astfel necesară atenuarea semnalului preamplificat. În unele situații, există necesitatea izolării unui domeniu de variație a semnalului unui senzor care corespunde unui domeniu îngust de fluctuație a parametrului măsurat. În aceste situații, se impune scalarea parametrilor de condiționare a semnalului, astfel încât gama dinamică a semnalului condiționat să corespundă domeniului parametrului măsurat. De exemplu, atunci când se folosește un termocuplu de tipul K pentru măsurarea temperaturii exclusiv în domeniul 20-50°C, iar gama dinamică necesară la ieșirea circuitului de condiționare corespunde intervalului 0-5 V.

27 În alte cazuri, poate fi necesară scalarea liniară a unor semnale furnizate de circuite alimentate bipolar (de exemplu cu domeniul de ieșire +/- 10 V, centrate în jurul valorii de 0V) în semnale unipolare (de exemplu: 0-5 V, centrate în jurul valorii de 2,5 V, pentru a fi preluate de blocuri alimentate unipolar). Scalarea unui semnal de curent continuu necesită atât ajustarea factorului de amplificare cât și ajustarea componentei continue. Semnalele provenite de la senzori care necesită prezența unei rețele de polarizare conțin o tensiune de offset. Complementar, componenta continuă se poate datora auto-amplificării tensiunii de offset interne unui preamplificator care preia semnalul furnizat de un senzor. Și în aceste cazuri, condiționarea semnalului presupune în general atât amplificarea acestuia cât și ajustarea componentei continue.

37 În general, pentru condiționarea unui semnal analogic, fie se folosesc circuite particularizate pentru tipul de semnal condiționat, fie se folosesc circuite integrate de condiționare. Pentru condiționarea semnalului analogic, este necesar să se țină cont de: i. gama dinamică a semnalului de intrare, ii. domeniul de variație a componentei continue, iii. spectrul de frecvențe, iv. impedanța sursei care furnizează acest semnal și v. tipul de semnal necesar la ieșire. Circuitele integrate de condiționare, disponibile comercial, pot să nu permită adaptarea completă a funcționalității la tipul de semnal condiționat. Astfel, fie există posibilitatea ca pentru unele caracteristici ale semnalului de intrare, semnalul de ieșire să nu fie condiționat corespunzător, fie ca unele funcții ale circuitului integrat să nu fie folosite. Din considerente economice, sau pentru optimizarea performanței este necesară o proiectare riguroasă care să urmărească condiționarea optimă a semnalului, cu un număr ideal de componente și funcțiuni.

Circuitul de condiționare la care se referă invenția permite ajustarea parametrilor săi (factorul de amplificare și componenta continuă a semnalului de ieșire). Această ajustare se face pe cale digitală (de către sau prin intermediul unui UPD) [M.N. Pop, “**A digitally adjustable sensor signal conditioning circuit for low frequency operation**”, **Sens. Actuat. A 255 (2017)**]. Circuitul de condiționare la care se referă invenția posedă o topologie minimalistă a cărei flexibilitate permite: i. alegerea unui factor de amplificare supraunitar sau subunitar într-un domeniu relativ larg de valori, ii. adaptarea de impedanță: circuitul posedă impedanța foarte mare de intrare, de ordinul a $10^{13} \Omega$ și impedanță relativ mică de ieșire $10^0 - 10^2 \Omega$ (în funcție de frecvența și curentul furnizat la ieșire), iii. implementarea relativ facilă a unei funcții de transfer elementare de tipul trece-jos. Toate aceste deziderate sunt implementate într-un bloc funcțional, denumit în cele ce urmează circuit de condiționare de bază (CCB). Circuitul de condiționare de bază permite un design modular al lanțurilor de condiționare, deoarece se pretează la conectarea în serie sau în paralel.

Invenția se referă la un circuit de condiționare analogică de bază **CCB** cu comandă digitală, implementat utilizând configurația inversoare specifică amplificatoarelor operaționale. Configurația propusă a unui **CCB** conține o secțiune R_{41b} a unui potențiomtru digital **PD** (notat cu R_{41} în fig. 1) în bucla de reacție, în timp ce prin cealaltă secțiune R_{41a} a aceluiași potențiomtru se aplică semnalul de intrare. Deci, **PD** este conectat în configurație divizor de tensiune cu priza mediană conectată la intrarea inversoare a unui amplificator operațional IC_1 . Această conexiune permite comanda digitală atât a factorilor de amplificare subunitari cât și a celor supraunitari. De asemenea, în această conexiune, zgomotul introdus de **PD** în bucla de reacție este diminuat în comparație cu cel specific conexiunii reostat (când priza mediană este conectată la una dintre intrări). Potențiomtrul digital **PD** se prezintă în mod uzual sub forma unui circuit integrat care necesită alimentare proprie. În general alimentarea **PD** se face de la același nivel de tensiune (U_s în fig. 1) cu amplificatorul operațional. Doi rezistori R_{21} și R_{51} sunt introduși în serie cu fiecare secțiune a **PD**. Aceștia au rolul de a stabili prin construcție valoarea minimă și maximă a factorului de amplificare **G**. Un condensator nepolarizat C_{31} este conectat în paralel cu ramura rezistivă de reacție, alcătuită din R_{41b} și R_{51} . Acest condensator cauzează restrângerea benzii de trecere a **CCB**₁ (îmbunătățind raportul semnal/zgomot, liniaritatea și stabilitatea **CCB**). După rezistorii R_{11} și R_{21} conectați în serie cu fiecare intrare a amplificatorului operațional IC_1 și masă este conectat câte un condensator C_{11} și C_{21} . Astfel, în serie cu fiecare intrare a IC_1 sunt conectate două filtre RC de tipul trece-jos **FTJ**, destinate reducerii benzii de trecere și deci, reducerii zgomotului semnalelor V_{IN} și V_{OFF} aplicate la intrări. Prin extrapolare, condensatoarele C_{11} , C_{21} și C_{31} pot fi înlocuite cu una sau mai multe ramuri de circuit (conectate în paralel), alcătuite dintr-un comutator bilateral (circuit integrat, releu etc.) un rezistor și un condensator (circuite RC serie comutate). Astfel, prin acționarea comutatorului este modificată frecvența de tăiere a **FTJ** echivalent. Semnalul de intrare V_{IN} este adus la intrarea inversoare a blocului funcțional de bază. Tensiunea de ajustare a componentei contine V_{OFF} se aplică la intrarea neinversoare. Tensiunea de offset (fig. 2) poate fi: i. sintetizată digital cu ajutorul unui **CDA** dedicat, ii. obținută cu ajutorul unui **PD** în configurație divizor de tensiune, iii. generată cu ajutorul unui semnal dreptunghiular cu factor de umplere ajustabil, post-filtrat corespunzător, sau iv. obținută prin comutarea unor nivele de tensiune V_{REF1} , V_{REF2} , V_{REF3} etc. de referință. În fig. 2 este reprezentat un exemplu de aplicare a **CCB** pentru condiționarea și achiziția unui semnal analogic (generat de o sursă de semnal, cu impedanța de ieșire echivalentă Z_G și tensiune generată, variabilă în timp u_G). O unitate de procesare digitală **UPD** controlează atât procesul de achiziție, schimbând date în format digital cu **CAD** printr-un canal digital **DCAD**, cât și

RO 132619 B1

1 parametri **CCB** (controlat prin intermediul unui canal **DIN1**) care condiționează semnalul de
intrare. În fig. 3 este reprezentat schematic un exemplu de utilizare a **CCB** atunci când este
3 necesară maximizarea performanțelor circuitului de condiționare. Astfel, **CCB₁** este introdus
în circuit între două blocuri, un bloc preamplificator **PA** cu impedanța mare de intrare și cu
5 un factor de amplificare **G** posibil supraunitar și un etaj tampon **ET** de ieșire. Semnalul
generat de **CDA** este filtrat suplimentar cu ajutorul unui filtru RC **FTJ** și transmis printr-un etaj
7 tampon **ET**, înainte de a fi adus la intrarea **CCB₁**.

Se poate arăta că tensiunea de ieșire a unui singur **CCB** este descrisă de ecuația [M.
9 **N. Pop, A digitally adjustable sensor signal conditioning circuit for low frequency
operation, Sens. Actuat. A 255 (2017)**]:

$$11 \quad V_{OUT} = V_{OFF} \frac{Z_{C11}}{R_{11} + Z_{C11}} [1 + G_1(\omega)] - v_{ECH1} G_1(\omega) \quad (1)$$

13 în care:

$$15 \quad G_1(\omega) = Z_{FB1} / (Z_{ECH1} + x_1 R_{41})$$

$$17 \quad x_1 = R_{41a} / R_{41}$$

$$19 \quad v_{ECH1} = v_{in1} [Z_{C21} / (R_{21} + Z_{C21})]$$

$$21 \quad Z_{CH1} = R_{21} Z_{C21} / (R_{21} + Z_{C21})$$

$$23 \quad Z_{FB1} = \left\{ [(1-x)R_{41} + R_{51}] Z_{C31} \right\} / [(1-x)R_{41} + R_{51} + Z_{C31}]$$

$$25 \quad Z_{Ci1} = 1 / (j\omega C_{i1}); i = 1, 2, 3$$

$$j = \sqrt{-1}$$

27 G_1 este factorul de amplificare al **CCB₁**,

x_1 este raportul dintre rezistențele primei secțiuni a **PD** și rezistența totală a acestuia,
29 v_{ECH1} este tensiunea echivalentă Thevenin, cauzată doar de semnalul V_{IN} și de calea
de semnal de la intrarea inversoare,

31 Z_{ECH1} este impedanța echivalentă Thevenin, la intrarea inversoare,

Z_{FB1} este impedanța echivalentă a ramurii de reacție negativă,

33 Z_{Ci1} sunt impedanțele complexe ale celor trei condensatori: C_{11} , C_{12} și C_1 , iar

j este unitatea imaginară.

Este de preferat ca intrarea inversoare să preia semnalul V_{IN} , i. fie de la o sursă cu
35 impedanță cunoscută și suficient de mică în comparație cu Z_{ECH1} , ii. fie de la ieșirea unui etaj
tampon cu impedanță de ieșire cât mai mică și invariabilă pentru întreaga bandă de frecvențe
37 presetată cu ajutorul elementelor reactive de circuit conținute de **CCB**. Se recomandă
utilizarea unui circuit tampon de ieșire (cu impedanță relativ mare de intrare). În felul acesta,
39 impedanța echivalentă de sarcină, la ieșirea **CCB**, este neglijabilă și nu influențează valoarea
impedanței echivalente a rețelei de reacție. În principiu, deoarece atât factorul de amplificare
cât și tensiunea de offset se pot ajusta digital, parametrii **CCB** pot fi ajustați pe parcurs,
41 pentru a compensa efectele modificării impedanțelor echivalente la intrare și la ieșire. În
cazul în care semnalul condiționat este convertit în cod digital, dacă se utilizează un **CAD**
43 cu frecvența de eșantionare suficient de mare în comparație cu frecvența de tăiere specifică
45 **CCB**, atunci V_{OUT} poate fi adus direct la intrarea **CAD**, fără a fi necesar un filtru anti-aliasing
suplimentar. Acest fapt devine avantajos atunci când se are în vedere simplificarea circuitului

RO 132619 B1

de achiziție. Se poate arăta că dacă se prestabilesc cele două limite: inferioară și superioară ale factorului de amplificare (G_{1min} , respectiv G_{1max}), pentru o valoare dată a rezistenței totale a **PD**, valorile rezistențelor R_{21} și R_{51} sunt date de relațiile:

$$R_{21} = \frac{R_{41}(1 + G_{1min}) - R_w(2 + G_{1max} - G_{1min})}{G_{1max} - G_{1min}}$$

$$R_{51} = \frac{R_{41}G_{1min}(1 + G_{1max}) + R_w[G_{1max}(1 - G_{1min}) + G_{1min}(1 + G_{1max})]}{G_{1max} - G_{1min}} \quad (2)$$

unde R_w este rezistența serie, remanentă, specifică potențiometrului digital.

În principiu, pentru a putea fi ajustați parametrii circuitelor de condiționare este necesar ca un utilizator uman sau un **UPD** destinat autoreglării să cunoască i. ori forma semnalului de ieșire V_{OUT} , ii. ori dacă V_{OUT} depășește o serie de nivele limită. Deci, i. fie se pot folosi elemente comparatoare, pentru detecția depășirii nivelelor limită, ii. fie se pot folosi **CAD** integrate, separate sau integrate în capsula **UPD** (de exemplu, există microcontrolere care conțin atât **CAD** cât și comparatoare integrate). Blocurile **CAD**, reprezentate în cele ce urmează, care au mai multe conexiuni de intrare pentru semnalul analogic, pot fi ori mai multe elemente independente (fiecare cu o singură intrare și o cale de comunicare digitală), ori un singur element integrat cu mai multe intrări analogice (și cu o singură cale de comunicare digitală). În cele ce urmează, din cauza disponibilității blocurilor funcționale **CAD** (deși achiziția unui semnal analogic poate solicita resursele **UPD**), pentru evaluarea semnalului de ieșire din circuitele de condiționare se vor reprezenta elemente **CAD**. În principiu, pentru achiziția semnalelor, este recomandată utilizarea unor **CAD** cu rezoluție relativ mare (10-24 biți), dar pentru obținerea unor semnale de comandă și control se pot utiliza și **CAD** cu rezoluții mai mici (6-12 biți). În general, dacă este necesar, semnalul de intrare V_{IN} poate fi achiziționat la rândul său, posibil prin intermediul unui etaj tampon **ET**, deoarece un **UPD** poate utiliza această informație pentru a obține o estimare (fig. 10) legată de domeniul în care ar trebui să se situeze parametrii **CCB₁**, care preia acest semnal. Astfel se poate evita în primul rând ca **CCB₁** să lucreze în regim neliniar.

Pentru obține un bloc de condiționare analogică, care se pretează mai bine la proiectarea modulară, invenția se referă și la un circuit de condiționare de bază îmbunătățit **CCBI** alcătuit din circuitul de condiționare din fig. 1, dar având încorporat în blocul funcțional și un etaj cu impedanță mare de intrare (**ET** sau **PA**, ca și în fig. 3), înseriat în calea semnalului de intrare. Astfel **CCBI** (fig. 4) asigură independența factorului de amplificare **G** de impedanța echivalentă Z_G a sursei de semnal (care generează V_{IN}) și deci, permite cascada (conectarea în serie) și/sau în paralel a mai multor **CCBI** fără să se modifice factorul de amplificare al fiecărui bloc. Circuitul de intrare poate fi de tipul: i. intrare simplă/ieșire simplă, construit în jurul **IC₀₄** (fig. 4.a) sau ii. intrare diferențială (pentru preluarea unui semnal diferențial cu componentele V_{INP} și V_{INN})/ieșire simplă, construit în jurul **IC₀₅** (fig. 4.b). În cel de-al doilea caz, **CCBI** poate fi utilizat și pentru condiționarea semnalelor diferențiale de intrare. Circuitul integrat **IC₀₅** din fig. 4.b este un amplificator de instrumentație (de exemplu, se poate utiliza INA128) cu impedanța relativ mare de intrare.

Invenția se referă și la o variantă a unui circuit de condiționare de bază îmbunătățit **CCBT** prevăzut cu posibilitatea: i. testării funcționării sau ii. a calibrării factorului de amplificare. În cazul **CCBT** (fig. 5) la intrarea neinversoare sunt conectate (în locul grupării R_{21} și

RO 132619 B1

1 C_{21}) în paralel, două rețele alcătuite fiecare dintr-un comutator analogic înseriat cu un filtru
trece-jos RC (fig. 5.a). Astfel se formează două ramuri care conțin fiecare, unul din rezistorii
3 R_{s1} și R_{s2} , fiecare rezistor fiind prevăzut cu câte un condensator de filtrare C_{s1} și C_{s2} și
fiecare grupare RC fiind înseriată cu câte un comutator analogic (IC_2 , comandat cu semnalul
5 digital D_{IN} și IC_3 , comandat cu semnalul digital D_{TST}). Comutatoarele IC_2 și IC_3 sunt
comutatoare electronice cu impedanța relativ mare în starea deschis (de exemplu, se poate
7 utiliza ADG701). Astfel, prin intermediul semnalelor D_{IN} și D_{TST} se poate selecta semnalul
aplicat la intrarea $CCBT$, fie V_{IN} , fie V_{TST} , fie un semnal V_{ECH} , echivalent cu media ponderată
9 a semnalelor V_{IN} și V_{TST} , (**M. N. Pop, A digitally adjustable sensor signal conditioning
circuit for low frequency operation, Sens. Actuat. A 255, 2017**), descris de următoarea
11 ecuație:

$$V_{ECH} = V_{IN} \frac{R_{s2}}{R_{s1} + R_{s2}} + V_{TST} \frac{R_{s1}}{R_{s1} + R_{s2}} \quad (3)$$

13 Comutatoarele IC_2 și IC_3 pot fi înlocuite cu un multiplexor/demultiplexor integrat cu
două intrări și o ieșire (de exemplu, se poate utiliza ADG719), comandat cu ajutorul unui
15 singur semnal digital D_{MUX} , caz în care la intrarea CCB se poate aplica ori V_{IN} , ori V_{TST} (fig.
5.b). Semnalul de test sau calibrare, V_{TST} este sintetizat în mod similar cu semnalul V_{OFF} (fig.
17 2). Cunoscând valorile rezistenței R_{s2} și amplitudinea semnalului V_{TST} , dacă la intrarea $CCBT$
se aplică doar V_{TST} , prin măsurarea amplitudinii semnalului V_{OUT} se poate evalua valoarea
19 factorului de amplificare G . În plus, în același mod se poate evalua experimental și influența
semnalului V_{OFF} asupra V_{OUT} pentru o valoare cunoscută a factorului G . Semnalul V_{ECH} poate
21 fi generat prin comutarea simultană a IC_2 și IC_3 (fig. 5.a). Astfel, măsurând valoarea semna-
lului V_{OUT} în cazul în care la intrarea $CCBT$ se aplică doar V_{IN} și măsurând valoarea sem-
23 nalului V_{OUT} în cazul în care la intrarea $CCBT$ se aplică V_{ECH} , cunoscând valorile R_{s1} și R_{s2}
și amplitudinea V_{TST} se poate evalua valoarea G fără să se piardă informație despre V_{IN} (care
25 este achiziționat neîntrerupt, chiar dacă periodic peste acesta este suprapus semnalul
cunoscut V_{TST}). Adițional, așa cum arată, ecuația (3), intrarea semnalului V_{TST} poate fi utili-
27 zată și drept intrare de ajustare alternativă a componentei continue a V_{OUT} ; V_{TST} exercită o
acțiune antagonică față de V_{OFF} asupra V_{OUT} .

29 În cele ce urmează, prin CCB se va face referire la oricare din cele trei versiuni
31 menționate mai sus: CCB , $CCBI$ sau $CCBT$ chiar dacă în toate reprezentările grafice s-a
ilustrat varianta cea mai simplă de circuit de condiționare de bază. Adițional, $CCBI$ prevăzut
33 cu intrări diferențiale necesită un semnal diferențial (cu componentele V_{INP} și V_{INN}).
Complementar, $CCBT$ necesită unul (dacă la intrări este dispus un multiplexor 2 la 1) sau
35 două (dacă la intrări sunt dispuse două comutatoare analogice independente) semnale
digitale de selectare a intrării și un semnal analogic de test.

37 Ajustarea automată, neîntreruptă, atât a factorului de amplificare G cât și a com-
ponentei continue a V_{OUT} poate fi problematică pentru un sistem digital deoarece în principiu,
39 parametrii trebuie ajustați consecutiv iar sistemul ar trebui să evalueze efectele fiecărei
modificări a parametrilor. Pentru a veni în întâmpinarea acestei dificultăți, este posibilă
41 obținerea unei bucle analogice de ajustare a tensiunii de offset, cu supra-ajustare digitală.
În acest fel UPD este parțial degrevat de necesitatea ajustării V_{OFF} și poate modifica
43 încontinuu factorul G , având totuși posibilitatea să evalueze amplitudinea componentei con-
tinue a V_{OUT} și să comande digital modificarea acesteia. Invenția se referă deci și la un circuit
45 de condiționare a semnalelor analogice, care conține două CCB (fig. 6), care oferă
posibilitatea auto-ajustării prin intermediul buclei analogice de control, a componentei con-
47 tinue a semnalului V_{OUT} , prevăzut: i. cu posibilitatea supra-ajustării digitale a tensiunii de

RO 132619 B1

offset și ii. cu posibilitatea măsurării tensiunii de offset a semnalului de intrare. Astfel, V_{IN} este adus la intrarea CCB_1 și simultan, la intrarea unui etaj tampon ET , care furnizează un semnal de ieșire V_{OUT2} . Semnalul V_{OUT2} este adus la intrarea unui filtru trece jos FTJ cu o frecvență de tăiere mai mică decât 10% din frecvența minimă estimată a semnalului V_{IN} . Astfel, semnalul V_{OUT3} , furnizat de FTJ este de fapt componenta continuă a V_{IN} . Acesta este adus la intrarea CCB_2 care are rolul de a furniza la ieșire un semnal V_{OUT4} care este adus la una din extremitățile unui divizor de tensiune, alcătuit din rezistorii R_1 și R_2 . Priza mediană a acestui divizor de tensiune este conectată la intrarea de ajustare a tensiunii de offset V_{OFF1} a CCB_1 , iar cealaltă extremitate este alimentată cu un semnal V_{REF} , generat de exemplu, de un CDA . Circuitul de condiționare CCB_2 are rolul principal de a inversa și de a atenua semnalul V_{IN} , astfel încât efectul semnalului V_{OFF1} să producă în CCB_1 o componentă continuă a V_{OUT1} de valoare dorită, constantă și independentă de componenta continuă a V_{IN} . De exemplu, nivelul acestei componente continue a V_{OUT1} poate fi ales la mijlocul gamei dinamice a CAD .

Blocul funcțional de bază este un etaj inversor. Performanțele acestui etaj depind de rezoluția generării V_{OFF} și de rezoluția PD . De asemenea, nu este indicată folosirea circuitelor cu amplificatoare operaționale pentru implementarea unor factori de amplificare mai mari de 100V/V din motive de stabilitate, bandă de trecere etc. În unele situații, funcția de inversare a semnalului condiționat ar putea fi nepotrivită pentru tipul de aplicație vizat (de exemplu, dacă se intenționează utilizarea semnalului condiționat drept semnal de comandă linară). Deci, este posibil ca un singur CCB să nu fie suficient pentru condiționarea satisfăcătoare a unui semnal dat. În aceste circumstanțe, invenția se referă și la un circuit de condiționare a semnalelor analogice, neinversor, alcătuit din două CCB cascade (conectate în serie), reprezentat în fig.7. Cu ajutorul componentelor pasive sau active conectate la cele două intrări și în bucla de reacție, se pot prestabili nivelele de amplificare pentru fiecare bloc funcțional de bază în parte, astfel încât să se poată acoperi cât mai bine domeniul aflat între valorile minime și maxime ale benzii dinamice necesare la ieșire, de exemplu în cazul unui CAD (fig.7.a). Astfel, CCB_2 poate fi folosit doar pentru ajustarea fină a amplitudinii și a componentei continue a semnalului. Într-o altă ipostază (fig. 7.b) la care se referă invenția, CCB_1 și CCB_2 pot fi alimentate cu diferite nivele de tensiune. De asemenea, invenția se referă și la un circuit de condiționare a semnalelor analogice, alcătuit din două CCB cascade, alimentate de la surse unipolare fig. 7.c, care furnizează nivele diferite de tensiune. Astfel, CCB_1 poate fi alimentat bipolar cu nivele relativ mari de tensiune (de exemplu, $+/-U_{s1} = +/-12 V$), iar CCB_2 poate fi alimentat unipolar de la un nivel relativ mic de tensiune (de exemplu: $U_{s2} = 3,3 V$, similar cu nivelul de tensiune de la care se alimentează CAD). În fig. 7.c se poate observa că masa este comună celor două CCB . Astfel, CCB_1 poate condiționa teoretic semnale de intrare situate în intervalul tensiunii de alimentare (în acest caz, $+/- U_{s1} = +/-12 V$) și prin ajustarea factorului de amplificare și a tensiunii V_{OFF1} (posibil bipolară) se obține o tensiune la ieșirea acestui bloc V_{OUT1} care se încadrează în domeniul $0V - U_{s2}$. Deci, pentru a putea condiționa semnale de intrare (având amplitudinea în intervalul teoretic $0 - 24 V$) în cazul CCB_1 , ar putea fi nevoie să se ajusteze factorul de amplificare și în domeniul subunitar ($G < 1$, specific unei funcții de atenuare), atunci când amplitudinea V_{IN} depășește 3,3 V.

În altă aplicație, la care se referă invenția, între cele două blocuri cascade (CCB_1 și CCB_2) este interconectat (fig. 8.a) un bloc funcțional intermediar (BI). Blocul intermediar poate fi: i. fie un circuit pasiv care conține cel puțin un element reactiv de decuplare (de exemplu, un condensator pentru eliminarea componentelor de frecvență foarte joasă sau un

RO 132619 B1

1 transformator, care ar asigura izolarea galvanică între cele două blocuri), ii. fie un bloc
2 electronic funcțional (bloc de modificare a componentei spectrului semnalului condiționat,
3 circuit liniar de separare galvanică, amplificator cu amplificare sub/ supraunitară, controlată
4 digital sau nu). Blocul de modificare a componentei spectrului semnalului condiționat poate
5 asigura o funcție de transfer de tipul trece - jos, trece - sus, trece - bandă, oprește bandă sau
6 poate fi un circuit de eșantionare/ modulare. Astfel, în cadrul circuitului de condiționare
7 analogică (fig. 8.a), **CCB₁** furnizează semnalul optim de intrare pentru **BI** iar **CCB₂** furnizează
8 semnalul optim necesar la ieșire. În acest fel se poate minimiza influența etajului intermediar
9 asupra semnalului condiționat. De exemplu în cazul filtrelor cu eșantionare **FE** (fig. 8.b) care
10 pot avea frecvențe de tăiere ajustabile cu ajutorul unui semnal de ceas f_c , care în general
11 prezintă un raport semnal/zgomot relativ mic și rareori prezintă ieșiri extensibile până la
12 nivelul sursei de alimentare, **CCB₁** menține semnalul aplicat filtrului la o amplitudine relativ
13 mare, constantă dar în limitele domeniului liniar de intrare al filtrului, iar **CCB₂** preia semnalul
14 furnizat de filtru și asigură încontinuu acoperirea optimă a gamei dinamice a unui **CAD**,
15 utilizat pentru achiziția semnalului filtrat. Astfel se poate obține un lanț de achiziție a
16 semnalului V_{IN} care permite: i. condiționarea optimă a semnalului pentru o gamă dinamică
17 extinsă a semnalului de intrare și ii. ajustarea benzii de trecere prin modificarea frecvenței
18 semnalului f_c . Dacă **BI** este un etaj de separare galvanică (optică, magnetică cum este cazul
19 transformatoarelor, circuit integrat etc.) atunci se poate obține o separare galvanică completă
20 (fig. 8.c) între **CCB₁** și **CCB₂** (deci, masa nu mai este comună).

21 Circuitul de condiționare de bază permite ajustarea factorului de amplificare și a
22 tensiunii de offset în timpul funcționării, dar orice asemenea ajustare pe cale digitală
23 presupune un decalaj în timp alcătuit dintr-o însumare de intervale de timp: un interval de
24 măsură, un interval de procesare a informației digitale și un interval de acțiune (transmitere
25 date către **PD**, **CDA** etc. și efectuare operație dorită după recepționarea datelor). Deci,
26 acțiunea de ajustare a unui parametru nu este instantanee. În cazul semnalelor cu o gamă
27 dinamică mai mare de două decade, semnalul poate suferi modificări de amplitudine foarte
28 rapide astfel încât să cauzeze saturarea unui **CCB**.

29 Invenția se referă de asemenea la un circuit de condiționare a semnalului de intrare,
30 alcătuit din două ramuri conectate în paralel (fig. 9) astfel încât ambele ramuri preiau același
31 semnal V_{IN} . Fiecare ramură este alcătuită din cel puțin un **CCB** (sau din două asemenea
32 circuite de condiționare cascade). Fiecare ramură condiționează semnalul de intrare, dar
33 este proiectată și utilizată (în ceea ce privește configurarea digitală a parametrilor) pentru
34 obiective diferite: i. o ramură pentru monitorizarea semnalului și ii. o ramură pentru achiziția
35 fluctuațiilor semnalului de intrare. Prima ramură este destinată achiziției semnalului de intrare
36 astfel încât să se obțină un semnal V_{OUT1} care întotdeauna (indiferent de fluctuațiile V_{IN}) se
37 încadrează în domeniul liniar necesar la ieșire. A doua ramură este destinată să amplifice
38 semnalul de intrare, cu compensarea continuă a V_{OFF} . În aceste condiții, a doua ramură ar
39 putea suferi saturația semnalului V_{OUT2} până la reajustarea parametrilor, interval de timp în
40 care codul digital corespondent tensiunii V_{OUT1} poate fi utilizat pentru ca să nu se piardă
41 informație despre V_{IN} . Circuitele din fig. 9 pot fi utilizate și pentru generarea unui semnal de
42 control, cu supracontrol digital (de exemplu V_{OUT1}), simultan cu achiziția semnalului V_{IN} ,
43 condiționat optim și transpus în forma V_{OUT2} . În principiu unitatea de procesare digitală **UPD**
44 poate înregistra întotdeauna toate semnalele; de exemplu, în fig. 9.c se poate înregistra
45 semnalul de intrare V_{IN} , semnalele intermediare v_{i1} și v_{i2} și semnalele condiționate: V_{OUT1} și
46 V_{OUT2} . Cunoscând relațiile (liniare) între semnalele înregistrate, condiționate în domeniul
47 liniar, **UPD** poate reconstitui forma semnalului de intrare coroborând informația înregistrată.

RO 132619 B1

Astfel, se poate evita pierderea de informație în timpul unui eveniment tranzitoriu, iar **UPD** poate analiza caracteristicile evenimentului care a determinat saturarea unei ramuri de condiționare optimă. Astfel, se pot lua măsuri pentru evitarea ulterioară a saturării. De exemplu, în cazul monitorizării energiei electrice pe o ramură de circuit, există posibilitatea ca la un moment dat să se conecteze simultan mai mulți consumatori. Astfel, pot apărea atât supratensiuni cât și supracurenți tranzitorii urmate de o posibilă creștere considerabilă a nivelului de curent consumat. În acest context se poate utiliza unul din circuitele de condiționare din fig. 9, pentru a măsura de exemplu curentul printr-o ramură de circuit, în condițiile fluctuațiilor descrise. Dacă se utilizează un circuit similar și pentru măsurarea tensiunii aceleiași ramuri, **UPD** poate: i. evita pierderea de informație, ii. achiziționa optim valorile curentului și tensiunii, chiar dacă este necesară coroborarea informației și iii. evalua inclusiv mărimi combinate (energia și puterea) din cele achiziționate.

Unitatea de procesare digitală poate fi un circuit realizat cu un element integrat de procesare (sistem încorporat), un circuit realizat cu un circuit logic programabil (FPGA, PGA, CPLD etc.), un sistem complex cum este cazul unui computer personal care prezintă o interfață de comunicare cu circuitele mixte (**CAD**, **CDA**, **PD**, comutatoare analogice etc.) care sunt conținute în circuitul de condiționare.

Bibliografie

1. F. Benhamouda, R. Kiri, J. M. Linotte, Automatic gain control circuit, US. Patent, US8228121 B2 (2012), 8p.
2. T. E. Kaib, S. S. Volpe, J. D. Macho, Method of detecting signal clipping in a wearable ambulatory medical device, US9 204813 (2015), 13p.
3. M. Grassi, P. Malcovati, A. Baschiroto, A 160 dB Equivalent Dynamic Range Auto-Scaling Interface for Resistive Gas Sensors Arrays, IEEE Journal of Solid-State Circuits (2007) vol. 42, no.3, 518-528.
4. F. Rastrello, P. Placidi, A. Scorzoni, E. Cozzani, M. Messina, I. Elmi, S. Zampolli, G.C. Cardinali, Thermal Conductivity Detector for Gas Chromatography: Very Wide Gain Range Acquisition System and Experimental Measurements, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (2013) vol. 62, no. 5, 974-981.
5. S. Y. C. Catunda, J.-F. Naviner, G. S. Deep, R.C.S. Freire, Designing a programmable analog signal conditioning circuit without loss of measurement range, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 52 no. 5, (2003) 1482-1487.
6. M. N. Pop, A flexible high input impedance AFE for measurement purposes, Measurement, 159, (2020).
7. M. N. Pop, A digitally adjustable sensor signal conditioning circuit for low frequency operation, Sens. Actuat. A 255 (2017).

RO 132619 B1

Revendicări

1

3 1. Circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), **caracterizat prin aceea că**, este
alcătuit dintr-un amplificator operațional (IC_1) care prezintă:

5

I. un potențiomtru digital (R_{41}) cu priza mediană conectată la intrarea inversoare, una
din secțiunile potențiometrului (R_{41a}) fiind inclusă în calea semnalului de intrare (V_{IN})
conectată în serie cu un rezistor (R_{21}), iar cealaltă secțiune a potențiometrului digital (R_{41b}),
de asemenea conectată în serie cu un rezistor (R_{51}) fiind inclusă în bucla de reacție, iar între
intrarea inversoare și ieșire, în paralel cu ramura rezistivă formată din secțiunea
potențiometrului (R_{41b}) și rezistorul (R_{51}) este conectat un condensator (C_{31}), iar

11

II. la intrarea neinversoare un circuit care furnizează un nivel de tensiune comandat
digital.

13

2. Circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), conform revendicării 1,
caracterizat prin aceea că, nivelul de tensiune furnizat de circuitul conectat la intrarea
neinversoare este generat cu ajutorul unui convertor digital/analog (**CDA**).

15

17

3. Circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), conform revendicării 1,
caracterizat prin aceea că, nivelul de tensiune furnizat de circuitul conectat la intrarea
neinversoare este generat cu ajutorul unui potențiomtru digital dispus în conexiune de tipul
divizor de tensiune, fiecare extremitate fiind conectată la câte o referință de tensiune, iar
priza mediană fiind conectată la intrarea neinversoare.

19

21

4. Circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), conform revendicării 1,
caracterizat prin aceea că, nivelul de tensiune furnizat de circuitul conectat la intrarea
neinversoare este obținut prin selectarea, cu ajutorul unor comutatoare analogice, a unui
nivel prestabilit de tensiune.

23

25

5. Circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), conform revendicării 1,
caracterizat prin aceea că, nivelul de tensiune furnizat de circuitul conectat la intrarea
neinversoare este generat cu ajutorul unui generator de tensiune care utilizează un semnal
dreptunghiular cu factor de umplere ajustabil, semnalul cu factor de umplere ajustabil fiind
filtrat corespunzător.

27

29

6. Circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), conform revendicării 1,
caracterizat prin aceea că, mai prezintă un etaj cu intrare simplă și ieșire simplă (IC_{04}), cu
impedanță de ieșire constantă și cunoscută, astfel încât factorul de amplificare al circuitului
de condiționare analogică de bază (**CCB**) să fie independent de impedanța echivalentă a
generatorului de semnal (Z_G).

31

33

35

7. Circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), conform revendicării 1,
caracterizat prin aceea că, mai prezintă la intrare un etaj cu intrare diferențială și ieșire
simplă (IC_{05}), care are o impedanță mare de intrare și impedanță de ieșire constantă și
cunoscută, astfel încât factorul de amplificare al circuitului de condiționare analogică de bază
(**CCB**) să fie independent de impedanța echivalentă a generatorului (Z_G).

37

39

41

8. Circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), conform revendicării 1,
caracterizat prin aceea că, mai prezintă o intrare de semnal de testare, iar în locul
rezistorului (R_{21}) conține două rețele paralele alcătuite din câte un rezistor (R_{s1}), respectiv
(R_{s2}) și câte un comutator analogic (IC_2) comandat cu ajutorul unui semnal digital (D_{IN}),
respectiv un comutator analogic (IC_3) comandat cu ajutorul altui semnal digital (D_{TST}).

43

45

9. Circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), conform revendicării 1,
caracterizat prin aceea că, mai prezintă o intrare de semnal de testare, iar în locul
rezistorului (R_{21}) conține doi rezistori (R_{s1} , R_{s2}) conectați fiecare la una dintre intrările unui
multiplexor analogic (IC_4) de tipul 2 la 1, comandat de un semnal (D_{MUX}), astfel încât prin
rezistorul (R_{s1}) se aplică semnalul (V_{IN}), iar prin rezistorul (R_{s2}) se aplică semnalul (V_{TST}), în
vederea efectuării unor operații de testare a funcționării și/sau de calibrare.

47

49

RO 132619 B1

10. Circuit de condiționare analogică, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit din două circuite de condiționare analogică de bază (**CCB₁**, **CCB₂**), astfel încât primul circuit de condiționare (**CCB₁**) preia și condiționează semnalul de intrare (**V_{IN}**), iar semnalul (**V_{IN}**) este adus, de asemenea, la intrarea unui filtru trece-jos care separă componenta continuă (**V_{OUT3}**) a semnalului de intrare (**V_{IN}**), componenta continuă (**V_{OUT3}**) fiind condiționată de al doilea circuit de condiționare (**CCB₂**) a cărui tensiune de ieșire este aplicată la intrarea de test a primului circuit de condiționare (**CCB₁**), iar parametrii de funcționare ai celui de al doilea circuit de condiționare (**CCB₂**) sunt aleși astfel încât tensiunea de ieșire (**V_{OUT1}**) a primului circuit de condiționare (**CCB₁**) să fie de amplitudine cunoscută și independentă de componenta continuă a semnalului (**V_{IN}**). 1
11. Circuit de condiționare analogică, conform revendicării 10, **caracterizat prin aceea că**, prezintă două circuite de condiționare analogică de bază (**CCB₁**, **CCB₂**) cascade direct. 3
12. Circuit de condiționare analogică, conform revendicării 10, **caracterizat prin aceea că**, prezintă două circuite de condiționare analogică de bază (**CCB₁**, **CCB₂**) separate printr-un bloc intermediar (**BI**) care este un element de separare galvanică. 5
13. Circuit de condiționare analogică, conform revendicării 10, **caracterizat prin aceea că** prezintă două circuite de condiționare analogică de bază (**CCB₁**, **CCB₂**) separate printr-un bloc intermediar (**BI**) care este un bloc electronic funcțional, destinat modificării componentelor spectrale ale semnalului condiționat, izolării galvanice, sau amplificării suplimentare a semnalului. 7
14. Sistem de achiziție a unui semnal analogic, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit dintr-un singur lanț de condiționare analogică, care conține cel puțin un circuit de condiționare de bază (**CCB**), un convertor analog/digital (**CAD**) și o unitate de procesare digitală (**UPD**) care achiziționează semnalul de ieșire al lanțului de condiționare, comunicând cu convertorul analog/digital (**CAD**) prin intermediul unei căi digitale (**DCAD**) și pe baza caracteristicilor semnalului digitalizat modifică parametrii circuitului de condiționare de bază (**CCB**), prin intermediul căilor digitale de comunicare (**D_{IN}** și **DCDA**), astfel încât să îmbunătățească acoperirea benzii dinamice a convertorului analog/digital (**CAD**). 9
15. Sistem de achiziție a unui semnal analogic, conform revendicării 14, **caracterizat prin aceea că** lanțul de condiționare analogică conține cel puțin două circuite de condiționare analogică de bază (**CCB**), iar prin intermediul unor convertoare analog/digital (**CAD**) simple sau multicanal, unitatea de procesare digitală (**UPD**) achiziționează atât semnalul de ieșire (**V_{OUT2}**), cât și cel puțin un semnal intermediar (**V_{IN}**, sau **V_{OUT1}**, sau **V_{IN2}**) și utilizează caracteristicile semnalelor intermediare pentru a asigura condiționarea optimă a semnalului (**V_{OUT2}**) sau a reconstitui semnalul (**V_{IN}**) atunci când semnalul de ieșire sau vreunul din semnalele de intrare depășește domeniul de funcționare liniară. 11
16. Sistem de achiziție a unui semnal analogic, conform revendicării 14, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit din două lanțuri de condiționare analogică conectate în paralel, iar fiecare lanț conține cel puțin un circuit de condiționare analogică de bază (**CCB**), unul sau mai multe convertoare analog/digitale (**CAD**) simple sau multicanal, iar sistemul conține și o unitate de procesare digitală (**UPD**) prevăzută cu posibilitatea achiziției cel puțin a semnalelor de ieșire (**V_{OUT1}**, **V_{OUT2}**) ale fiecărui lanț de condiționare, astfel încât semnalul (**V_{OUT1}**) să fie utilizat pentru achiziția continuă a semnalului (**V_{IN}**), iar semnalul (**V_{OUT2}**) să fie utilizat pentru optimizarea achiziției variațiilor mici ale semnalului (**V_{IN}**), sau drept semnal de comandă și control, monitorizat și ajustat digital. 13

(51) Int.Cl.

H03F 3/45 (2006.01);

H03M 1/12 (2006.01)

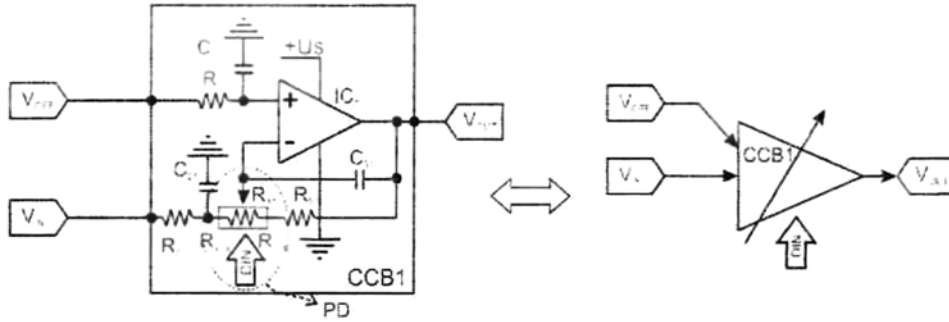


Fig. 1

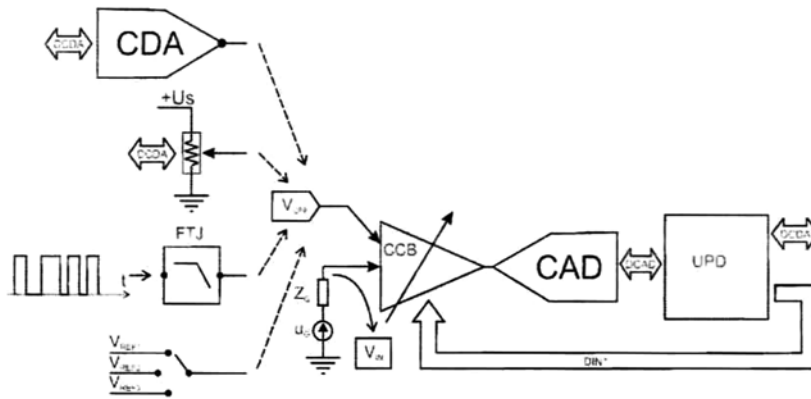


Fig. 2

(51) Int.Cl.

H03F 3/45 (2006.01);

H03M 1/12 (2006.01)

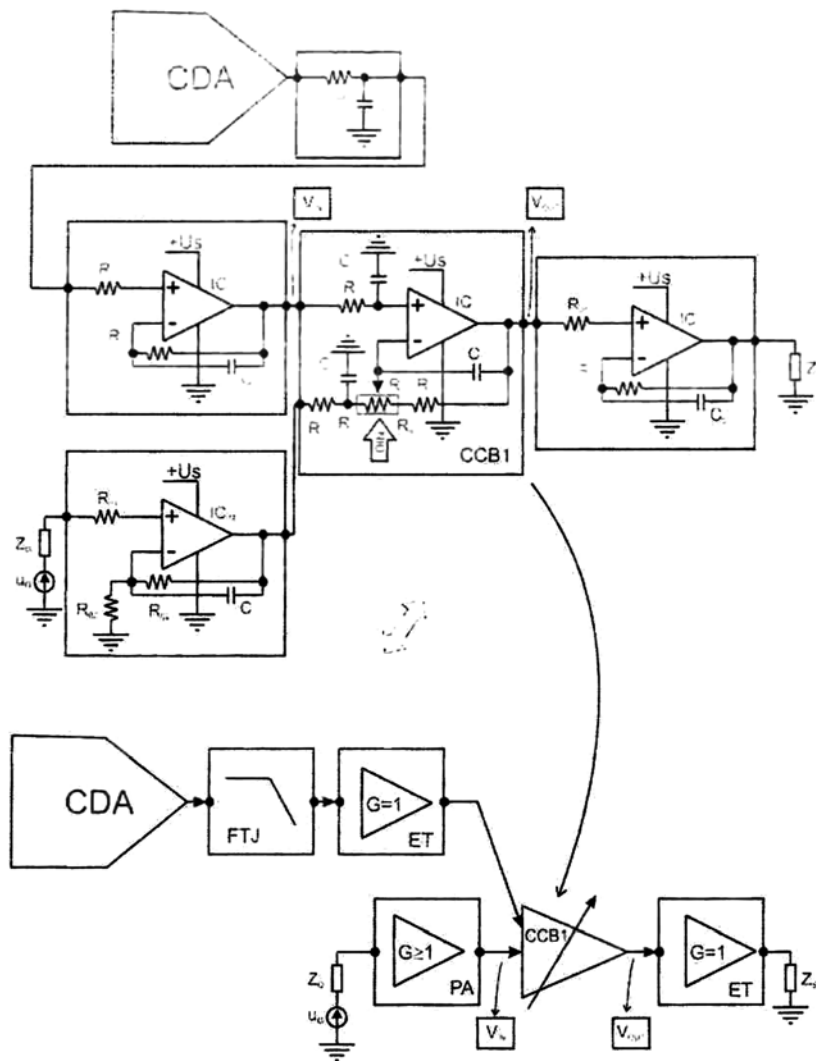


Fig. 3

RO 132619 B1

(51) Int.Cl.

H03F 3/45 (2006.01),

H03M 1/12 (2006.01)

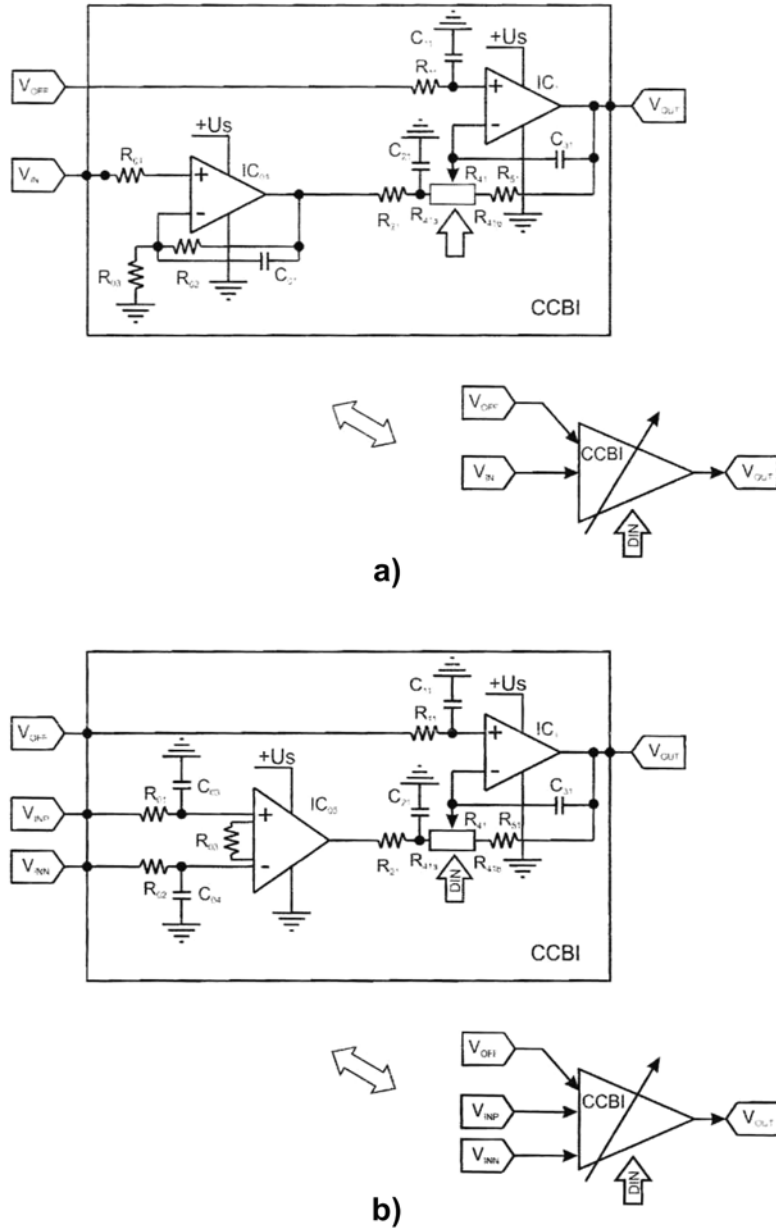
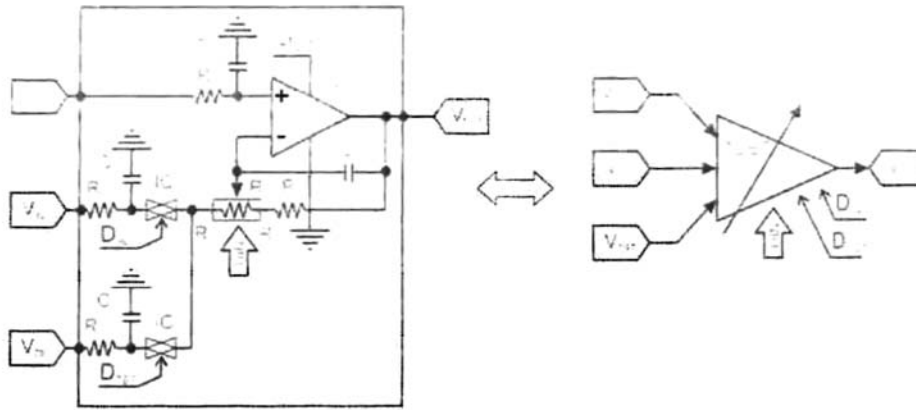


Fig. 4

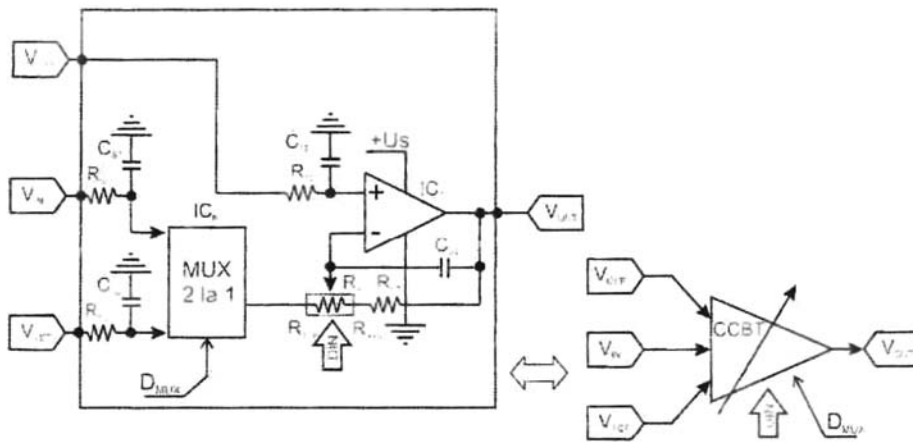
(51) Int.Cl.

H03F 3/45 (2006.01);

H03M 1/12 (2006.01)



a)



b)

Fig. 5

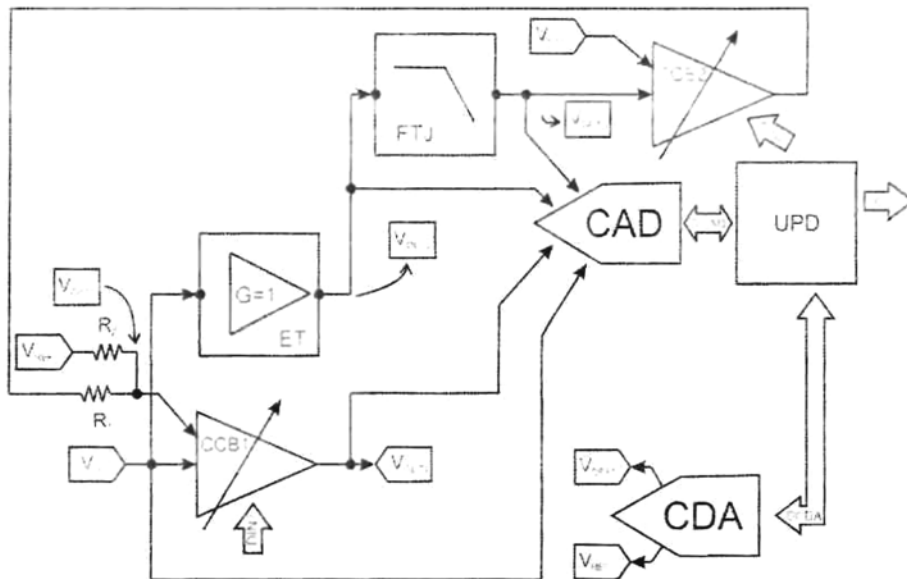


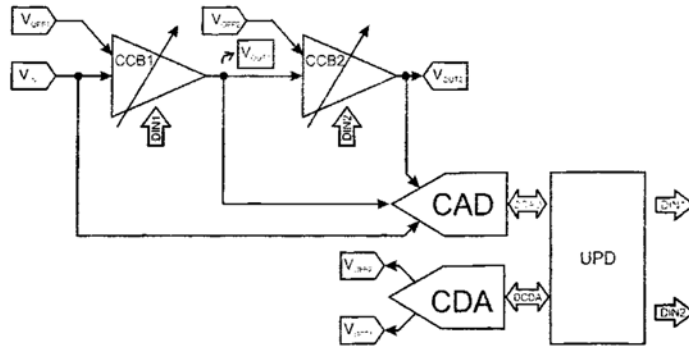
Fig. 6

RO 132619 B1

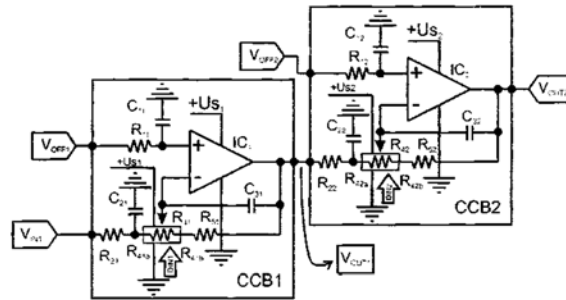
(51) Int.Cl.

H03F 3/45 (2006.01);

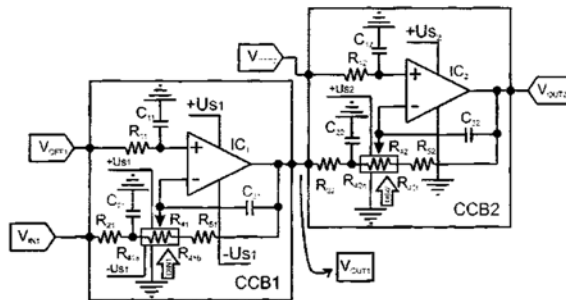
H03M 1/12 (2006.01)



a)



b)



c)

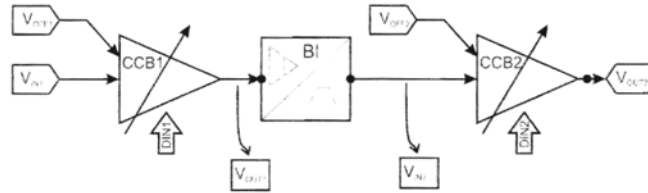
Fig. 7

RO 132619 B1

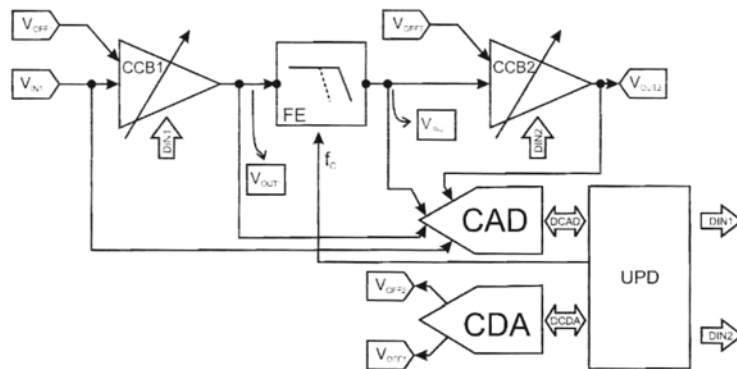
(51) Int.Cl.

H03F 3/45 (2006.01);

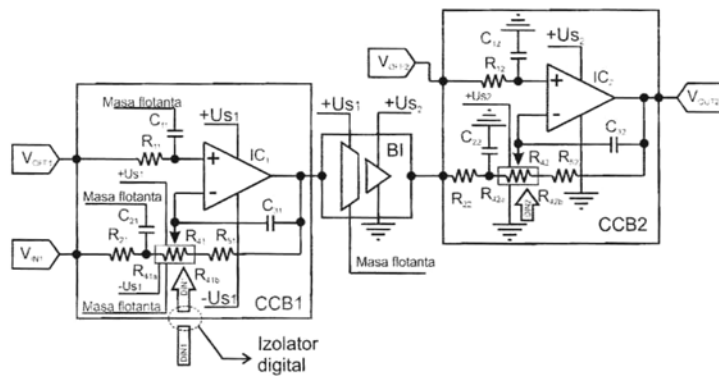
H03M 1/12 (2006.01)



a)

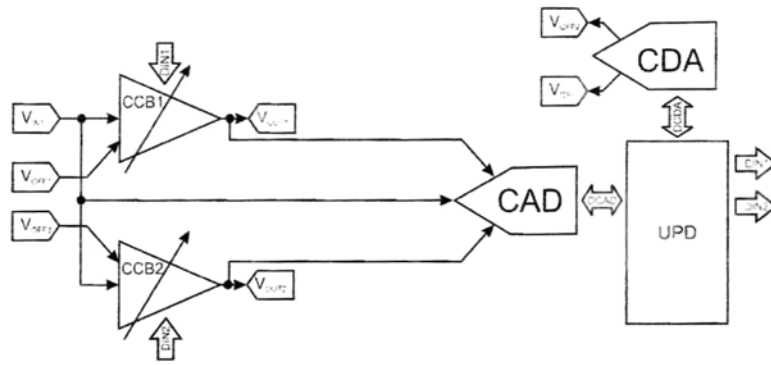


b)

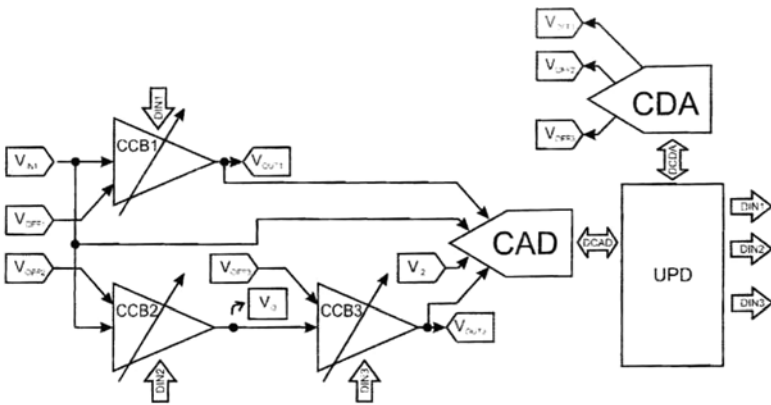


c)

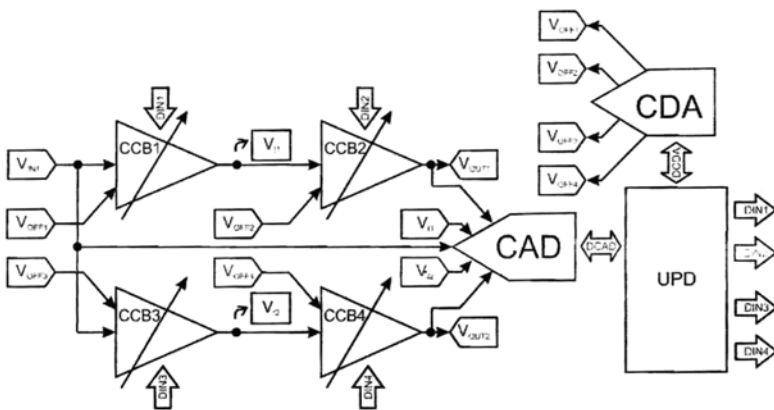
Fig. 8



a)



b)



c)

Fig. 9

(51) Int.Cl.

H03F 3/45 (2006.01);

H03M 1/12 (2006.01)

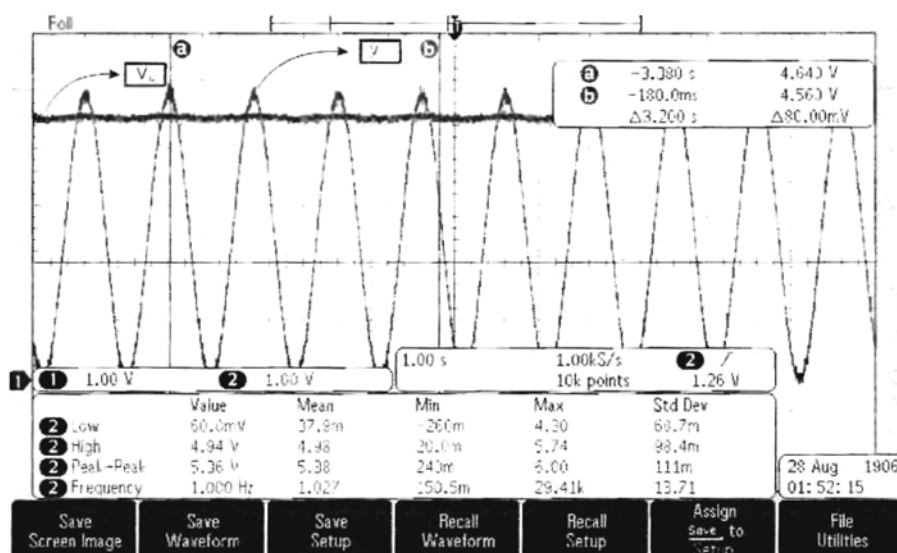


Fig. 10



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
 Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
 sub comanda nr. 311/2023