



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00624**

(22) Data de depozit: **22/08/2013**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/05/2022** BOPI nr. **5/2022**

(41) Data publicării cererii:
29/05/2015 BOPI nr. **5/2015**

(73) Titular:
• **LAMBDA COMMUNICATIONS SRL,**
STR. AVRAM IANCU NR. 37,
TÂRGU MUREȘ, MS, RO

(72) Inventatori:
• **LOSONCZI LAJOS, STR.REPUBLICII**
NR.23/16, TÂRGU MUREȘ, MS, RO

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 7339510 B2; US 2005/0213697 A1;
ZHENG, ZHONGQIANG ET AL.,
"SIGMA-DELTA MODULATORS WITH
INTERSTAGE GAIN SCALING",
PROCEEDINGS OF THE 43RD IEEE
MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS
AND SYSTEMS (CAT. N^o. CH37144), IEEE,
VOL. 1, PP. 40-43, 2000; FANG L. ET AL.,
"A MULTI-BIT SIGMA-DELTA
MODULATOR WITH INTERSTAGE

FEEDBACK", PROCEEDINGS OF THE
IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
CIRCUITS AND SYSTEMS, PP. I-583-I586,
1998; SANCHEZ-RENEO, MANUEL ET
AL., "A CASCADED CT SIGMADELTA
MODULATOR WITH NTF ZERO AND
SIMPLE MISMATCH TUNING METHOD
USING INTERSTAGE FEEDBACK", PH. D
RESEARCH IN MICROELECTRONICS AND
ELECTRONICS CONFERENCE, IEEE,
PP. 77-80, 2007; RAMESH M. ET AL.,
"PIPELINED SIGMA-DELTA
MODULATORS WITH INTERSTAGE
SCALING", PROCEEDINGS OF THE 42ND
MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS
AND SYSTEMS, PP. 39-42, 1999;
KHAZEILI, BEHESHTI ET AL., "A SIMPLE
GLOBAL RESONATION STRATEGY FOR
WIDEBAND DISCRETE-TIME MASH
SIGMADELTA MODULATORS", 22ND
IRANIAN CONFERENCE ON ELECTRICAL
ENGINEERING (ICEE), IEEE,
PP. 334-337, 2014

(54) **MODULATOR SIGMA-DELTA CU FUNCȚIA DE TRANSFER**
A ZGOMOTULUI DE CUANTIZARE REDUS



RO 130285 B1

1 Invenția se referă la un modulator Sigma-Delta cu funcția de transfer a zgomotului
de cuantizare redus, care poate fi folosit pentru realizarea unui convertor analog-numeric
3 utilizat, de exemplu, pentru conversia semnalelor biologice cu spectru de frecvență relativ
scăzut și amplitudine mică.

5 Este cunoscut faptul că elementul critic, cel mai important al unui sistem de control
numeric, reprezintă convertorul analog-digital al semnalelor măsurate, care rezolvă problema
7 eșantionării, cuantizării și codării informației. Există mai multe tipuri de convertoare analog
numerice, toate trebuind să îndeplinească criteriile contradictorii: conversie cu viteză cât mai
9 ridicată, rezoluție mare, dar în același timp și dimensiuni cât mai mici, consum cât mai puțin,
și imunitate bună față de perturbații.

11 La aceste cerințe se adaugă nevoia de a integra convertorul analog-digital împreună
cu circuitele de condiționare a semnalelor achiziționate, lucru greu de realizat, deoarece
13 tehnologia actuală economică de realizare a circuitelor integrate digitale (CMOS) nu este
adecvată pentru realizarea precisă a componentelor electronice pasive (rezistoare, conden-
15 satoare), de mare precizie și, respectiv, valoare, care reprezintă elementele cheie în realiza-
rea convertoarelor clasice de bună calitate.

17 Majoritatea convertoarelor analog-numerice pot fi clasificate în două grupuri: conver-
toare pe frecvența Nyquist, la care semnalul analogic de intrare are frecvența maximă puțin
19 sub frecvența Nyquist $f_N = f_e/2$, unde f_e este frecvența de eșantionare, și convertoare cu
supraeșantionare, care realizează procesul de eșantionare cu o frecvență mult mai mare,
21 $f_N \ll k \cdot f_e$, unde $k \cdot f_e$ este frecvența de eșantionare a semnalului de intrare, iar k se numește
factor de supraeșantionare.

23 Zgomotul de cuantizare de valoare efectivă, este repartizat pe întreg intervalul
de frecvență, $\left(0 - k \cdot \frac{f_e}{2}\right)$ astfel zgomotul din banda de frecvență $\left(0 - k \cdot \frac{f_e}{2}\right)$ a sem-
25 nalului util devine mult mai redus față de zgomotul de cuantizare generat în cazul conversiei
fără supraeșantionare. Zgomotul de cuantizare din banda de frecvență
27 $\left(\frac{f_e}{2} - k \cdot \frac{f_e}{2}\right)$ este eliminat cu ajutorul unui filtru trece jos digital, cu frecvența de
29 tăiere de $\frac{f_e}{2}$.

31 Volumul de date la ieșirea filtrului digital este prea mare, având o redundanță

33 $(k-1)$ față de rata de date necesară în cazul respectării condiției Nyquist. Datele redundante
se elimină prin decimare, adică reținerea a câte unui eșantion din pachete de k eșantioane
35 consecutive, astfel, în final, rezultând o rată de date cu frecvența f_e . Structura convertoarelor
analog-numerice cu supraeșantionare este relativ simplă: modulator analog-numeric urmat
37 de un filtru numeric și un decimator numeric.

39 Reducerea adițională a zgomotului de cuantizare se poate obține prin aplicarea unei
tehnicile speciale, modulația Sigma-Delta. Modulatorul Sigma-Delta asociat cu supraeșantio-
narea și utilizarea filtrului digital, asigură deplasarea accentuată a zgomotului de cuantizare,
41 între frecvențele $\frac{f_e}{2}$ și $k \cdot \frac{f_e}{2}$. Semnalul util este separat de semnalul de zgomot datorat

43 erorii de cuantizare, prin filtrarea și formarea zgomotului de cuantizare în buclă de reacție.
Se pot obține rate ridicate ale fluxului numeric la ieșire, fără utilizarea unor componente
45 electronice foarte precise și sofisticate, și prin utilizarea unor convertoare simple de un bit
și supraeșantionarea semnalului de intrare.

47 Se cunosc mai multe structuri pentru modulatoarele Sigma-Delta, pentru conversia
analog-digitală a semnalelor. Acestea diferă între ele în modul de amplasare a buclilor de
49 reacție, ordinul modulatorului, tehnologia de realizare, numărul de biți de cuantizare,

RO 130285 B1

rezoluție. De exemplu, soluția prezentată în brevetul de invenție **US 7339510 B2** se referă la un modulator Sigma-Delta adaptiv, utilizat în special pentru a extinde domeniul de stabilitate al modulatorului și dinamica semnalului de intrare. În acest caz, este folosit un modulator de ordinul unu, iar adaptarea este realizată folosind semnal de reacție adaptiv, pentru formarea semnalului diferență la intrarea acumulatorului, reprezentat de integratorul numeric al modulatorului. Configurația poate fi împărțită într-o secțiune analogică și una digitală. La intrarea modulatorului se aplică semnalul analogic care este diferența între semnalul de intrare, cu domeniul de variație dat, și semnalul analogic obținut prin conversia numeric-analogică a semnalului de ieșire a predictorului din bucla de reacție, care este de fapt valoarea predictată a semnalului de intrare. Astfel, domeniul de variație a semnalului diferență se reduce la un interval mai mic decât domeniul de variație a semnalului de intrare. Semnalul diferență poate fi în acest mod digitizat într-un domeniu mai redus, generând în acest fel numai o fracțiune din zgomotul de cuantizare al modulatorului standard neadaptat. Rolul algoritmului predictiv este formarea semnalului de reacție pentru a preveni că semnalul diferență să iasă din domeniul minim stabilit. Un asemenea algoritm este implementat în acest caz cu ajutorul unui registru cu valori discrete, realizat cu o memorie RAM.

Aceste soluții prezintă dezavantajul unui raport semnal/zgomot relativ ridicat, complexitate excesivă a structurilor realizate, tendințe de instabilitate, implementarea buclelor de reacție adaptivă pe partea analogică a modulatorului, sau generarea de semnal digital, de ieșire, multinivel. În plus, modulatoarele de ordin superior sau adaptive se proiectează mai greu, deoarece modelul liniar este cu atât mai inexact, cu cât crește ordinul și complexitatea modulatorului, iar algoritmul și configurația de adaptare pot introduce erori suplimentare aditive.

Problemele pe care le rezolvă invenția constau în: reducerea valorii funcției de transfer a zgomotului de cuantizare (*NTF*); creșterea preciziei de conversie, fără creșterea ordinului modulatorului sau folosirea unor algoritmi de adaptare suplimentară; evitarea utilizării unui semnal digital multinivel; complexitatea circuitelor electronice mult mai mică față de alte convertoare cu aceeași rezoluție; schema electrică ușor de realizat cu module electronice elementare: comparatoare, amplificatoare operaționale, registre binare, porți logice. Cuanlizarea se realizeaza prin utilizarea cuantizoarelor de un singur bit, iar adaptarea semnalului de reacție este obținută prin implementarea unui alt modulator Sigma-Delta de ordinul unu în bucla de reacție.

Modulatorul Sigma-Delta cu funcția de transfer a zgomotului de cuantizare redus, conform invenției, este alcătuit cu un prim modulator Sigma-Delta, de ordinul unu, format dintr-un sumator de intrare, un etaj de integrare, un sumator de reacție și un cuantizor de un bit; o buclă de reacție realizată cu un modulator Sigma-Delta, secund, de ordinul unu format dintr-un sumator de intrare, un etaj de integrare și un cuantizor de un bit; și o buclă de compensare formată din două elemente de întârziere legate în serie. Semnalul util de intrare se aplică la intrarea primului modulator, iar semnalul de ieșire al acestuia se adună cu ajutorul unui sumator cu ieșirea buclei de compensare, formând astfel semnalul de ieșire al modului. La intrarea modulatorului secund se aplică eroarea de cuantizare a primului modulator obținută prin adunarea cu ajutorul unui sumator a semnalului de la ieșirea primului modulator, cu semnalul inversat de la ieșirea sumatorului de reacție al primului modulator. La intrarea buclei de compensare se aplică eroarea de cuantizare a modulatorului secund obținută prin adunarea cu ajutorul unui sumator a semnalului de la ieșirea buclei de reacție cu semnalul inversat de la ieșirea etajului de integrare al modulatorului secund. Ieșirea inversată a buclei de reacție se aplică la cealaltă intrare a sumatorului de reacție al primului modulator.

RO 130285 B1

1 Modulatorul Sigma-Delta cu funcția de transfer a zgomotului de cuantizare redus,
conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

- 3 - raportul semnal/zgomot îmbunătățit;
- stabilitate ridicată;
- 5 - interfațare ușoară cu restul echipamentului digital de măsurare;
- miniaturizare și portabilitate ridicată;
- 7 - posibilitatea integrării echipamentului în sisteme mobile de măsurare.

Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, prezentat în legătură cu
9 stadiul tehnicii, în conformitate cu fig. 1...4, care reprezintă:

- fig. 1, schema de principiu a unui modulator Sigma-Delta de ordinul unu, cunoscut;
- 11 - fig. 2, modelul z al unui modulator Sigma-Delta de ordinul unu, cunoscut;
- fig. 3, schema de principiu a unui modulator Sigma-Delta de ordinul doi, cunoscut;
- 13 - fig. 4, modelul z al modulatorului Sigma-Delta, cu funcția de transfer a zgomotului
de cuantizare redus, conform invenției.

15 Schema de principiu a funcționării unui modulator Sigma-Delta este prezentată în
fig. 1. Ideea de bază a modulației Sigma-Delta este memorarea sau transmiterea diferenței
17 (Delta) și semnelui acesteia (Sigma) dintre eșantionul curent și cel anterior. Schema conține
un sumator la intrare, un etaj de integrare, urmat de un comparator cu tampon la ieșire și un
19 convertor rapid analog-numeric de un bit, în bucla de reacție. Pe perioada unui ciclu de
funcționare, integratorul însumează diferența între semnalul de intrare și tensiunea de
21 referință corespunzătoare semnalului de ieșire în ciclul precedent. Deoarece semnalul de
ieșire al integratorului intersectează punctul de zero al comparatorului, acesta își schimbă
23 valoarea de ieșire, și la începutul ciclului următor se schimbă polaritatea tensiunii de referință
scăzută din semnalul de intrare. Astfel, fluxul de biți de la ieșire, eșantionat foarte rapid,
25 încearcă să urmărească valoarea medie a semnalului de intrare.

Fig. 2, reprezintă modelul cunoscut al modulatorului Sigma-Delta în domeniul z . Se
27 observă că, integratorul, având funcția de transfer $\frac{1}{z-1}$ în domeniul z , este echivalat cu un

29 element de întârziere $\frac{1}{z}$, a cărui semnal de ieșire este însumat cu semnalul de intrare.

31 Aplicând modelul de zgomot aditiv al erorii de cuantizare, obținem, cu aproximație bună,
modelul linear al modulatorului, din care se poate deduce că semnalul de ieșire y al
33 modulatorului, în momentul de timp i , este:

$$35 \quad y_i = x_{i-1} + (e_i - e_{i-1}) \quad (1)$$

unde e_i este eroarea de cuantizare în momentul i , iar e_{i-1} este eroarea de cuantizare în
37 momentul $(i-1)$ precedent.

Într-adevăr, dacă semnalul de ieșire al elementului de întârziere $\frac{1}{z}$ este "a", atunci
39 se poate scrie că:

$$41 \quad a = (x - y + a) \cdot \frac{1}{z} \quad \text{Deci} \quad a = \frac{x - y}{z - 1}$$

43 Deoarece, $y = a + e = \frac{x - y}{z - 1} + e$ rezultă că:

$$47 \quad y = x \cdot \frac{1}{z} + e \cdot \left(1 - \frac{1}{z}\right) \quad (2)$$

RO 130285 B1

deci se verifică relația (1), deoarece dacă $y = y_i$, atunci $x \cdot \frac{1}{z} = x_{i-1}$, iar 1

$$e \cdot \left(1 - \frac{1}{z}\right) = e - e \cdot \frac{1}{z} = e_i - e_{i-1} . \quad 3$$

În acest caz, funcția de transfer *STF* a semnalului util x , respectiv funcția de transfer *NTF* a zgomotului de cuantizare e , va fi: 7

$$STF(x) = z^{-1}, \text{ respectiv, } NTF(z) = 1 - z^{-1}. \quad 9$$

Deoarece bucla integrează eroarea ce apare între semnalul eșantionat și semnalul de intrare, ea realizează o filtrare tip trece jos a semnalului și o filtrare de tip trece sus a zgomotului. Semnalul de intrare se regăsește în semnalul de ieșire neschimbat, dar cu o perioadă de eșantionare întârziată, atâta timp cât componentele sale de frecvență nu depășesc frecvența de tăiere a filtrului, dar bucla Sigma-Delta deplasează zgomotul de cuantizare într-o bandă de frecvență mai înaltă, rezultând scăderea semnificativă a densității de zgomot în banda de bază. 11 13 15

Rezultă că, pentru a îmbunătăți raportul semnal/zgomot al modulatorului, există două căi deschise: 17

a. pentru un zgomot de cuantizare (e) de valoare dată, se micșorează funcția de transfer *NTF* (de exemplu, prin creșterea ordinului modulatorului); 19

b. pentru o funcție de transfer *NTF* dată, se micșorează zgomotul de cuantizare (de exemplu, prin creșterea frecvenței de eșantionare). 21

Pentru modulatoarele Sigma-Delta cu rezoluție mai mare (de la 16 biți în sus), un zgomot de cuantizare acceptabil se poate obține numai pentru frecvențe de supraeșantionare foarte mari. Soluția este de a utiliza modulatoare de ordin mai înalt. Cu cât crește ordinul, cu atât rămâne mai puțin zgomot în intervalul de frecvență $0 = \frac{f_e}{2}$ dar totodată scade stabilitatea modulatorului. 23 25 27

Modulatorul de ordinul doi se obține din modulatorul de ordinul unu prin adăugarea a încă unui integrator în bucla de reacție (fig. 3). Aplicând modelul de zgomot aditiv al erorii de cuantizare, se poate calcula caracteristica de transfer în domeniul z al modulatorului de ordinul doi: 29

$$y = z^{-1} \cdot x + (1 - z^{-1})^2 \cdot e \quad (3) \quad 31$$

Se observă că funcția de transfer a semnalului util, respectiv a zgomotului de cuantizare, va fi: 33

$$STF(x) = z^{-1}, \text{ respectiv: } NTF(z) = (1 - z^{-1})^2 \quad 35$$

Rezultă că, în acest caz, caracteristica de transfer a semnalului util nu s-a modificat, dar funcția de transfer a zgomotului a devenit de ordinul doi, ceea ce înseamnă o atenuare mai accentuată a zgomotului de cuantizare. 37

Creșterea ordinului filtrului (gradul modulatorului) nu este convenabilă datorită posibilității apariției unei instabilități în sistem. 39

Performanțele de atenuare a zgomotului de cuantizare a unui modulator Sigma-Delta pot fi îmbunătățite dacă se adaptează semnalul de reacție în funcție de semnalul la ieșirea modulatorului, pe baza unui algoritm stabilit. 41 43

Modulatorul Sigma-Delta cu funcția de transfer a zgomotului de cuantizare redus, conform invenției (fig. 4), este alcătuit cu un prim modulator Sigma-Delta **MP**, de ordinul unu, format cu un prim sumator de intrare **1**, ieșirea căruia este conectată la intrarea unui prim etaj de integrare **E1** format dintr-un al doilea sumator **2**, cu ieșirea conectată la intrarea unui 45 47

RO 130285 B1

1 prim element de întârziere **3** cu funcția de transfer $\left(\frac{1}{z}\right)$, având ieșirea conectată la
3
5 cealaltă intrare a sumatorului **2**, secund, un prim sumator **4**, suplimentar, de reacție, având
7 o intrare conectată la ieșirea primului etaj de integrare **EI1**, și un prim cuantizor de un bit **5**
9 având intrarea conectată la ieșirea primului sumator **4**, suplimentar, de reacție ; o buclă de
11 reacție **BR** realizată cu un modulator Sigma-Delta, secund, de ordinul unu, format cu un al
13 treilea sumator **7**, de intrare, ieșirea căruia este conectată la intrarea unui al doilea etaj de
15 integrare **EI2** format dintr-un al patrulea sumator **8**, cu ieșirea conectată la intrarea unui al
17 doilea element de întârziere **9** cu funcția de transfer $\left(\frac{1}{z}\right)$, având ieșirea inversată

conectată la cealaltă intrare a celui de al patrulea sumator **8** și un doilea cuantizor de un bit
10 având intrarea conectată la ieșirea etajului de integrare **EI2**, secund, respectiv ieșirea
inversată conectată la cealaltă intrare a celui de al treilea sumator **7**; o buclă de compensare
BC formată din alte două elemente de întârziere **12** și **13**, respectiv, al treilea și un al
patrulea, ambele având funcția de transfer $\left(1 - \frac{1}{z}\right)$, legate în serie.

Semnalul util de intrare $x(n)$ se aplică la intrarea primului modulator Sigma-Delta **MP**,
iar semnalul de ieșire al acestuia se adună cu ajutorul unui al doilea sumator **14**, suplimentar,
cu ieșirea buclei de compensare **BC**, formând astfel semnalul de ieșire $y(n)$ al modulatorului.
La intrarea buclei de reacție **BR** se aplică eroarea de cuantizare e_1 , primului modulator
Sigma-Delta **MP**, obținută prin adunarea cu ajutorul unui al cincilea sumator **6** a semnalului
de la ieșirea primului modulator Sigma-Delta **MP**, cu semnalul inversat de la ieșirea primului
sumator **4**, suplimentar, de reacție, al primului modulatorului Sigma-Delta **MP**. La intrarea
buclei de compensare **BC** se aplică eroarea de cuantizare (e_2) a modulatorului secund
obținută prin adunarea cu ajutorul unui al șaselea sumator **11**, a semnalului de la ieșirea
buclei de reacție **BR**, cu semnalul inversat de la ieșirea celui de al doilea etaj de integrare
EI2 al modulatorului secund, de ordinul unu. Ieșirea inversată a buclei de reacție **BR** se
aplică la cealaltă intrare a primului sumator **4**, suplimentar, de reacție, al primului modulator
Sigma-Delta **MP**.

Ținând cont de caracteristica de transfer în domeniul z al modulatorului de ordinul
unu:

$$y = z^{-1} \cdot x + (1 - z^{-1}) \cdot e$$

obținută din relația (2), putem să scriem următoarele ecuații pentru semnalele modulatorului
prezentat în fig. 3:

$$w = z^{-1} \cdot e_1 + (1 - z^{-1}) \cdot e_2, \text{ obținută din relația (2) completată pentru modulatorul}$$

secund din bucla de reacție **BR**, și:

$$y_1 = z^{-1} \cdot x + (1 - z^{-1}) \cdot (e_1 - w) \text{ obținută din relația (2) completată pentru modulatorul}$$

prim **MP**,

deci:

$$y_1 = z^{-1} \cdot x + (1 - z^{-1}) \cdot [e_1 - z^{-1} \cdot e_1 - (1 - z^{-1}) \cdot e_2] = z^{-1} \cdot x + (1 - z^{-1})^2 \cdot e_1 - (1 - z^{-1})^2 \cdot e_2,$$

$$\text{respectiv } y_2 = e_2 \cdot \left(1 - \frac{1}{z}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{z}\right) = (1 - z^{-1})^2 \cdot e_2, \text{ obținută pentru bucla de compen-}$$

sare **BC**.

RO 130285 B1

Pe baza acestor relații, rezultă pentru semnalul de ieșire:

$$y = y_1 + y_2 = z^{-1} \cdot x + (1 - z^{-1})^2 \cdot e_1 \quad (4)$$

Relația remarcabilă (4) obținută, comparată cu relația (3), arată că, la ieșirea modulatorului se obține o funcție de transfer identică cu funcția de transfer a unui modulator Sigma-Delta de ordinul doi, deci caracteristica de transfer a semnalului util nu se modifică, în schimb funcția de transfer a zgomotului de cuantizare a devenit de ordinul doi, cu atenuarea mai accentuată a zgomotului de cuantizare.

Cu ajutorul invenției, se obține astfel, un modulator Sigma-Delta cu funcția de transfer a zgomotului de cuantizare redus, alcătuit din:

- (i) un prim modulator Sigma-Delta **MP**, de ordinul unu, format cu
 - un prim sumator **1** de intrare, ieșirea căruia este conectată la intrarea unui prim etaj de integrare **E11** format cu un al doilea sumator **2**, cu ieșirea conectată la intrarea unui prim element de întârziere **3** cu funcția de transfer $\left(\frac{1}{z}\right)$, având ieșirea conectată la cealaltă intrare a celui de al doilea sumator **2**; și
 - un prim cuantizor de un bit **5** având intrarea conectată la semnalul de ieșire al primului etaj de integrare **E11**, la care se adună semnalul de reacție inversat furnizat de ieșirea unei bucle de reacție **BR**, respectiv ieșirea inversată conectată la cealaltă intrare a primului sumator **1**, primul cuantizor de un bit **5** furnizând, la ieșire, un semnal care se regăsește într-un prim semnal de ieșire $y_1(n)$;
 - (ii) o buclă de reacție **BR** realizată cu un modulator Sigma-Delta, secund, de ordinul unu, formată cu:
 - un al treilea sumator **7**, de intrare, ieșirea căruia este conectată la intrarea următorului etajului;
 - un al doilea etaj de integrare **E12** format cu un al patrulea sumator **8**, cu ieșirea conectată la intrarea unui al doilea element de întârziere **9**, cu funcția de transfer $\left(\frac{1}{z}\right)$, având ieșirea inversată conectată la cealaltă intrare a celui de al patrulea sumator **8**; și
 - un al doilea cuantizor de un bit **10**, având intrarea conectată la ieșirea celui de al doilea etaj de integrare **E12**, respectiv, ieșirea inversată conectată la cealaltă intrare a celui de al treilea sumator **7**;
 - (iii) o buclă de compensare **BC** formată din alte două elemente de întârziere **12** și **13**, un al treilea și un al patrulea, legale în serie, având fiecare funcția de transfer $\left(1 - \frac{1}{z}\right)$, ieșirea buclei de compensare **BC** furnizând un semnal de ieșire $y_2(n)$;
- modulator cu funcție de transfer a zgomotului de cuantizare redus, în care:
- la intrarea buclei de reacție **BR** se aplică eroarea de cuantizare (e_1) a primului modulator Sigma-Delta **MP** obținută prin adunarea cu ajutorul unui al cincilea sumator (**6**), a semnalului de la ieșirea primului modulator Sigma-Delta **MP**, cu semnalul inversat de la intrarea primului cuantizor de un bit **5** al primului modulator Sigma-Delta **MP** și, în care:
 - la intrarea buclei de compensare **BC** se aplică eroarea de cuantizare (e_2) a modulatorului Sigma-Delta, secund, obținută prin adunarea, cu ajutorul unui al șaselea sumator (**11**), a semnalului de la ieșirea buclei de reacție **BR**, cu semnalul inversat de la ieșirea celui de al doilea etaj de integrare **E12** al modulatorului Sigma-Delta, secund; și, în care:
 - bucla de reacție **BR** cuprinde modulatorul Sigma-Delta, secund, de ordinul unu cu ieșirea $w(n)$, aplicată ca reacție inversă, la intrarea primului modulator Sigma-Delta **MP**, prin scădere din semnalul de ieșire al primului etaj de integrare **E11** al primului modulatorului Sigma-Delta **MP**; și, în care:

RO 130285 B1

- 1 - bucla de compensare **BC** realizează compensarea efectului erorii de cuantizare a modulatorului Sigma-Delta, secund, din bucla de reacție **BR**, cu obținerea, la ieșirea
- 3 modulatorului Sigma-Delta cu funcție de transfer a zgomotului de cuantizare redus, a unei funcții de transfer, de forma:
- 5 $y = y_1 + y_2 = z^{-1} \cdot x + (1 - z^{-1})^2 \cdot e^1$ similară funcției de transfer a unui modulator
- 7 Sigma-Delta de ordinul doi.

RO 130285 B1

Revendicare

1

Modulator Sigma-Delta cu funcția de transfer a zgomotului de cuantizare redus, caracterizat prin aceea că este alcătuit din:

3

(i) un prim modulator Sigma-Delta (**MP**), de ordinul unu, format cu

5

- un prim sumator (**1**) de intrare, ieșirea căruia este conectată la intrarea unui prim etaj de integrare (**EI1**) format cu un al doilea sumator (**2**), cu ieșirea conectată la intrarea unui prim element de întârziere (**3**) cu funcția de transfer $\left(\frac{1}{z}\right)$, având ieșirea conectată la cealaltă intrare a celui de al doilea sumator (**2**); și

7

9

- un prim cuantizor de un bit (**5**) având intrarea conectată la semnalul de ieșire al primului etaj de integrare (**EI1**), la care se adună semnalul de reacție inversat furnizat de ieșirea unei bucle de reacție (**BR**), respectiv ieșirea inversată conectată la cealaltă intrare a primului sumator (**1**), cuantizorul de un bit (**5**) furnizând la ieșire un semnal care se regăsește într-un prim semnal de ieșire $y_1(n)$;

11

13

(ii) o buclă de reacție (**BR**) realizată cu un modulator Sigma-Delta, secund, de ordinul unu, formată cu:

15

- un al treilea sumator (**7**), de intrare, ieșirea căruia este conectată la intrarea următorului etajului;

17

- un al doilea etaj de integrare (**EI2**) format cu un al patrulea sumator (**8**), cu ieșirea conectată la intrarea unui al doilea element de întârziere (**9**), cu funcția de transfer $(1/z)$, având ieșirea inversată conectată la cealaltă intrare a celui de al patrulea sumator (**8**); și

19

21

- un al doilea cuantizor de un bit (**10**), având intrarea conectată la ieșirea celui de al doilea etaj de integrare (**EI2**), respectiv, ieșirea inversată conectată la cealaltă intrare a celui de al treilea sumator (**7**);

23

(iii) o buclă de compensare (**BC**) formată din alte două elemente de întârziere (**12** și **13**), respectiv un al treilea și un al patrulea, legale în serie, având fiecare funcția de transfer $\left(1 - \frac{1}{z}\right)$, ieșirea buclei de compensare (**BC**) furnizând un semnal de ieșire $y_2(n)$;

25

27

modulator cu funcție de transfer a zgomotului de cuantizare redus, în care:

29

- la intrarea buclei de reacție (**BR**) se aplică eroarea de cuantizare (e_1) a primului modulator Sigma-Delta (**MP**) obținută prin adunarea cu ajutorul unui al cincilea sumator (**6**), a semnalului de la ieșirea primului modulator Sigma-Delta (**MP**), cu semnalul inversat de la intrarea primului cuantizor de un bit (**5**) al primului modulator Sigma-Delta (**MP**) și, în care:

31

33

- la intrarea buclei de compensare (**BC**) se aplică eroarea de cuantizare (e_2) a modulatorului Sigma-Delta, secund, obținută prin adunarea, cu ajutorul unui al șaselea sumator (**11**), a semnalului de la ieșirea buclei de reacție (**BR**), cu semnalul inversat de la ieșirea celui de al doilea etaj de integrare (**EI2**) al modulatorului Sigma-Delta, secund; și, în care:

35

37

- bucla de reacție (**BR**) cuprinde modulatorul Sigma-Delta, secund, de ordinul unu cu ieșirea $w(n)$, aplicată ca reacție inversă, la intrarea primului modulator Sigma-Delta (**MP**), prin scădere din semnalul de ieșire al primului etaj de integrare (**EI1**) al primului modulatorului Sigma-Delta (**MP**); și, în care:

41

- bucla de compensare (**BC**) realizează compensarea efectului erorii de cuantizare a modulatorului Sigma-Delta, secund, din bucla de reacție (**BR**), cu obținerea, la ieșirea modulatorului Sigma-Delta cu funcție de transfer a zgomotului de cuantizare redus, a unei funcții de transfer, de forma:

43

45

$$y = y_1 + y_2 = z^{-1} \cdot x + \left(1 - z^{-1}\right)^2 \cdot e_1$$

47

similară funcției de transfer a unui modulator Sigma-Delta de ordinul doi.

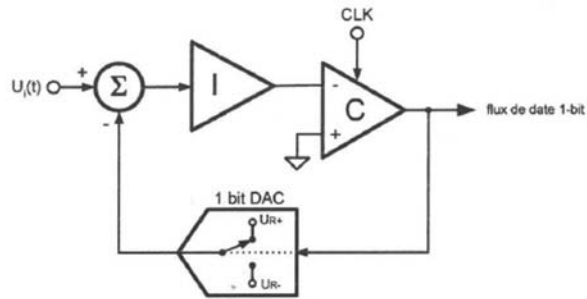


Fig. 1

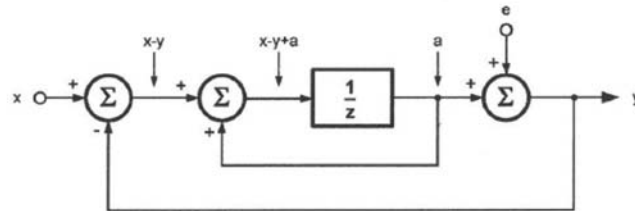


Fig. 2

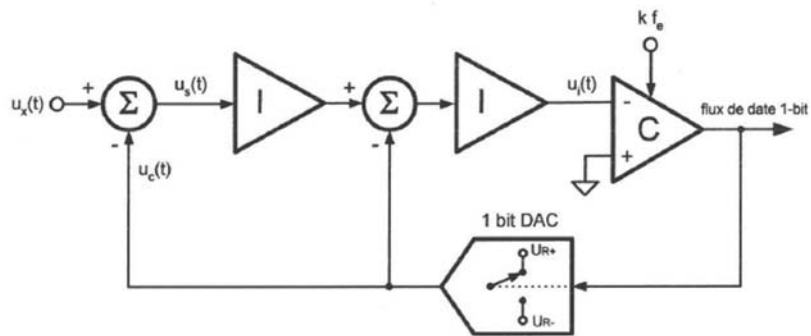


Fig. 3

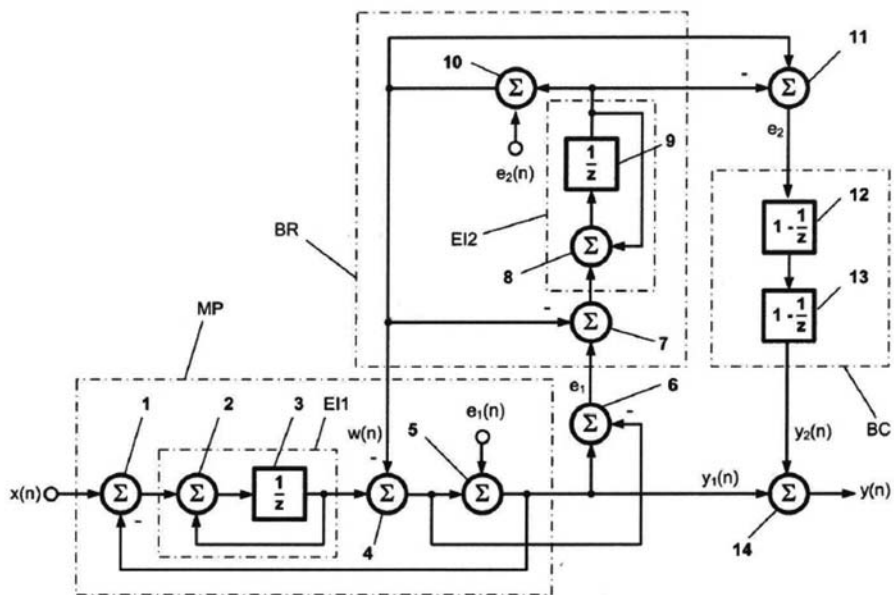


Fig. 4

