



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2017 00338

(22) Data de depozit: 06/06/2017

(41) Data publicării cererii:
29/11/2017 BOPI nr. 11/2017

(71) Solicitant:
• BANU VIOREL, STR.TURDA 127, BL.2,
SC.C, AP.113, SECTOR 1, BUCUREȘTI,
RO;
• BANU MELANIA ANA, STR.TURDA 127,
BL.2, SC.C, AP.113, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• BANU VIOREL, STR.TURDA 127, BL.2,
SC.C, AP.113, SECTOR 1, BUCUREȘTI,
RO;
• BANU MELANIA ANA, STR.TURDA 127,
BL.2, SC.C, AP.113, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO

Această publicație include și modificările descrierii,
revedicțiilor și desenelor depuse conform art. 35,
alin. (20), din HG nr. 547/2008

(54) GENERATOR DE TENSIUNE DE REFERINȚĂ DIFERENȚIALĂ
COMPENSATĂ LA VARIAȚIA TEMPERATURII

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un generator de tensiune de referință destinat a fi utilizat într-un circuit integrat analogic sau memorie digitală. Generatorul conform invenției este format dintr-o pereche de dispozitive semiconductoare active, din categoria tranzistoarelor bipolare de tip N sau P, diodelor bipolare de tip N sau P, diodelor Schottky de tip N sau P, sau a tranzistoarelor MOS cu canal N sau P, parcurse de curenți constanți de densități diferite, în care tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii este obținută prin realizarea a două caracteristici de tensiune-temperatură paralele, folosind procesarea unei perechi de caracteristici primare tensiune-temperatură neparalele între ele, având nivele de tensiune diferite, astfel încât, prin amplificarea sau divizarea uneia dintre caracteristicile perechii primare de caracteristici, să se obțină o caracteristică tensiune-temperatură paralelă cu cealaltă caracteristică a perechii primare, diferența de tensiune dintre cele două caracteristici paralele pe domeniul de temperatură utilizat fiind constantă.

Revedicări inițiale: 6
Revedicări amendate: 7
Figuri: 7

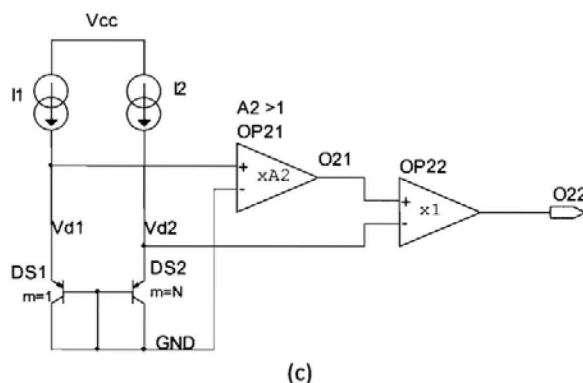


Fig. 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



GENERATOR DE TENSIUNE DE REFERINȚĂ DIFERENȚIALĂ COMPENSATĂ LA VARIAȚIA TEMPERATURII

Generatorul de tensiune de referință reprezintă unul dintre blocurile funcționale esențiale ale oricărui circuit integrat analogic sau memorie digitală. Generatoarele de tensiune de referință sunt folosite în toate circuitele care necesită măsurarea și compararea tensiunii, atât în circuitele analogice cât și în unele circuite digitale, cum ar fi memoriile DRAM, memoriile FLASH, convertoarele digital-analogice (DAC) sau convertoarele analog-digitale (ADC). De asemenea în electronica de putere sunt necesare generatoare de tensiune de referință stabile pe o gamă de temperatură cât mai largă. Generatorul de tensiune de referință trebuie să prezinte o mare stabilitate a tensiunii în raport cu variațiile de temperatură, măsurată în părți pe milion (ppm). Stabilitatea referinței de tensiune determină precizia oricărui circuit electronic analogic sau analog digital, atât în cazul circuitelor integrate cât și în cazul circuitelor realizate cu componente discrete. De exemplu, numărul maxim de biți al unui convertor analog-digital este limitat de precizia referinței de tensiune. Folosirea pe scară tot mai largă a aparatelor și dispozitivelor portabile sau a circuitelor alimentate de la tensiuni reduse sub 1V, conduce la necesitatea realizării unor generatoare de tensiune de referință de valoare tot mai redusă și alimentate de la tensiuni mai mici de 1 volt. Practic, generatoarele de tensiune de referință stabile cu temperatura sunt strict necesare în orice domeniu al electronicii în care se realizează procesarea semnalelor.

Cel mai răspândit procedeu de realizare a unei variații scăzute a tensiunii de referință în raport cu temperatura, este compensarea a două semnale care au sens de variație opus în raport cu variația temperaturii. Larg răspândite ca surse de tensiune de referință compensate cu temperatura sunt referințele de tip Bandgap urmate de referințele XFET. Arhitectura acestor referințe de tensiune este bazată pe procesarea unor semnale obținute din dispozitive semiconductoare cu comportare stabilă în raport cu temperatura. Există și referințe de tensiune realizate cu tranzistoare MOS cu poartă flotantă, care au drept tensiune de referință tensiunea la care este încărcat un capacitor MOS.

Procesarea semnalelor în dispozitive de tip Bandgap sau XFET este relativ complicată și necesită circuite speciale de pornire (numite circuite de start-up). Pentru ambele aceste arhitecturi este destul de dificilă obținerea unei tensiuni de referință diferențială. De asemenea este dificilă obținerea unei tensiuni de referință de nivel redus necesară în circuitele portabile.

Referințele de tensiune bazate pe tranzistoare MOS cu poartă flotantă se bazează pe încărcarea unui capacitor flotant situat sub poarta tranzistorului MOS. Această tensiune reprezintă tensiunea de referință și este citită prin circuite speciale cu consum de curent

extrem de redus, pentru a evita descărcarea capacitorului porții flotante MOS și implicit variația tensiunii de referință. Totuși, deși oferă o tensiune extrem de stabilă cu temperatura, domeniul de temperatură este limitat iar pe termen lung capacitorul porții flotante se descarcă în timp datorită pierderilor dielectrice inerente.

Dintre exemplele cuprinse în stadiul tehnicii, vom detalia în legătură cu Fig. 1a...c principiul de funcționare al referinței de tip Bandgap, care este cea mai răspândită arhitectură folosită în circuitele integrate, reprezentativă pentru stadiul tehnicii. În principiu, la generatoarele de tip Bandgap, pentru obținerea tensiunii de referință sunt însumate două tensiuni cu sensuri de variație complementară în raport cu temperatura, generate cu tranzistoare bipolare.

Pentru caracteristicile tensiune-temperatură (1) și (2) din Fig. 1a ale tranzistoarelor bipolare Q1, respectiv Q2 parcurse de curenții egali I1 și I2, dar cu tranzistoare de arii diferite în raport 1:N (Fig. 1c) putem scrie relațiile:

$$V_{d1} = kT/q \cdot \ln(I_1/I_0)$$

$$V_{d2} = kT/q \cdot \ln(I_2/I_0)$$

V_{d1} și V_{d2} reprezintă tensiunile de la bornele tranzistoarelor Q1 și Q2 iar variația lor cu temperatura este ilustrată de curbele (1) și (2) din Fig. 1a.

În graficul din Fig.1a se observă că tensiunile (1) și (2) de la bornele celor două dispozitive alimentate la densități de curent diferite datorită diferenței de arie dintre tranzistoare, scad odată cu creșterea temperaturii, dar diferența de tensiune dintre cele două dispozitive crește (caracteristicile sunt divergente). Această proprietate este folosită în generatoarele de tensiune de referință de tip Bandgap, pentru a genera o tensiune liniar crescătoare în funcție de temperatură V_3 , proporțională cu temperatura absolută și depinzând parametric doar de raportul densității curenților care parcurg cele două dispozitive reprezentată de curba (3) din Fig. 1a:

$$V_3 = V_{d1} - V_{d2} = kT/q \cdot \ln(I_1/I_2) = kT/q \cdot \ln(N)$$

unde K este constanta lui Bolzman, T este temperatura absolută iar N este raportul densităților de curenți I1 și I2 care parcurg cele două dispozitive semiconductoare Q1 și Q2.

Tensiunea V_3 este amplificată cu un factor $A_1 > 1$ obținându-se curba (4).

$$V_4 = A_1 \cdot V_3$$

Valoarea factorului de amplificare A_1 este aleasă astfel încât pantele curbelor (1) și (4) să fie egale în modul, astfel încât prin însumare să se compenseze reciproc.

Valoarea tensiunii de referință de tip Bandgap reprezentată de curba (5) din Fig. 1b este:

$$V_{ref1} = V_4 + V_{d1} = A_1 \cdot V_3 + V_{d1}$$

Se constată existența unei curburi de tip parabolic a tensiunii de referință de tip Bandgap (5) care este determinată de caracterul parabolic al curbei (1) a dispozitivului semiconductor Q1 (Fig. 1c). Curba (1) a tensiunii dispozitivului semiconductor Q1 (Fig.1c) este însumată cu tensiunea liniară (4) în raport cu temperatura rezultând curba (5) care păstrează caracterul parabolic al variației tensiunii dispozitivului Q1 în raport cu temperatura. Valoarea a coeficientului de temperatură al referinței de tip Bandgap este $TC_1 = 32 \text{ ppm/K}$.

Scopul invenției îl constituie un circuit destinat generării unei tensiuni de referință compensată la variația temperaturii atât diferențială cât și raportată la punctul de masă, realizabil atât cu componente discrete cât și prin integrare pe orice tip de semiconductor pentru care stadiul tehnologiei permite integrarea monolitică de circuite. Circuitul propus poate genera într-un mod simplu tensiuni de referință diferențiale într-o gamă cuprinsă de la valori sub 0,2V până la 1V, prezentând coeficienți de temperatură reduși și care permite compensarea efectului de ordinul doi al coeficientului de temperatură (TC).

Conform prezentei invenții, circuitul generează o pereche de curbe tensiune-temperatură de nivele de tensiune diferite și paralele, diferența de tensiune dintre cele două caracteristici reprezentând tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii. Pentru aceasta, conform invenției este folosită o pereche de dispozitive semiconductoare parcurse de curenți de densități diferite, care generează o pereche de curbe primare tensiune-temperatură de nivele diferite, dar neparalele. Urmează procesarea uneia dintre curbele primare tensiune-temperatură pentru a obține paralelizarea ei cu cealaltă curbă tensiune-temperatură a perechii. Paralelizarea se poate face prin amplificarea sau prin divizarea uneia dintre curbe, pentru a obține o curbă paralelă cu cealaltă curbă a perechii situată la alt nivel de tensiune. Astfel, circuitul generează la ieșire două caracteristici de tensiune-temperatură paralele, diferența de tensiune dintre cele două caracteristici reprezentând tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii.

Un avantaj al circuitului realizat conform invenției este că tensiunea diferențială de referință se obține într-un mod simplu și direct permițând obținerea unor valori ale tensiunii de referință mai mici de 1V, utile în special în cazul circuitelor portabile. Un avantaj al circuitului potrivit invenției față de circuitele de tip Bandgap la care pentru generarea semnalelor de temperatură se folosesc exclusiv perechi de tranzistoare bipolare, conform actualei invenții pentru obținerea semnalelor primare de tensiune dependente de temperatură se pot folosi perechi de dispozitive semiconductoare de diverse tipuri, cum ar fi de exemplu tranzistoare bipolare, tranzistoare MOS, diode bipolare, diode Schottky, tranzistoare JFET,

tranzistoare MESFET și chiar perechi de dispozitive mixte, ca de exemplu un tranzistor bipolar împreună cu un tranzistor MOS. Un alt avantaj major al prezentei invenției este că funcționalitatea schemei nu depinde de tipul de semiconductor din care sunt alcătuite elementele schemei, sau de tipul de semiconductor pe care se face integrarea schemei într-un circuit monolitic.

În continuare se face o scurtă prezentare a figurilor în legătură cu exemplele de implementare a invenției.

-Fig. 1a...c, procedeul de generare a referinței de tensiune compensate în temperatură de tip Bandgap conform stadiului tehnicii.

-Fig. 2 a...c procedeul de generare a tensiunii de referință diferențială compensată la variația temperaturii conform invenției, prin amplificare.

-Fig. 3 a...c procedeul de generare a tensiunii de referință diferențială compensată la variația temperaturii conform invenției, prin divizare.

-Fig. 4 a...c procedeul de generare a tensiunii de referință diferențială compensată la variația temperaturii conform invenției prin amplificare și compensarea efectului de ordinul doi.

-Fig. 5 a...b rezultatele experimentale ale aplicării procedurii de generare a tensiunii de referință diferențială compensată la variația temperaturii conform invenției, prin amplificare: a) fără compensarea efectului de ordinul doi; b) cu compensarea efectului de ordinul doi.

-Fig. 6 a...d rezultatele experimentale ale aplicării procedurii de generare a tensiunii de referință diferențială compensată la variația temperaturii conform invenției, prin amplificare și divizare folosind o pereche de tranzistoare MOS pentru generarea primară a semnalelor de tensiune-temperatură.

-Fig. 7 a...c rezultatele experimentale ale aplicării procedurii de generare a tensiunii de referință diferențială compensată la variația temperaturii conform invenției, prin amplificare, folosind pentru generarea primară a semnalelor de tensiune-temperatură o pereche mixtă de tranzistoare: un tranzistor bipolar și un tranzistor N-MOS.

Se dau în continuare mai multe exemple de realizare a invenției în legătura cu figurile de la 2 la 7.

Un prim exemplu de implementare a invenției este prezentat în legătura cu Fig. 2a...c.

Pentru generarea tensiunii de referință este folosită o pereche de dispozitive semiconductoare DS1 și DS2 (Fig. 2c) parcurse de curenți constanți. În cazul unor dispozitive similare, cele două dispozitive semiconductoare sunt alimentate la densități de curenți diferite

în scopul obținerii unor caracteristici tensiune-temperatură de nivele diferite. În Fig. 2a curbele (6) și (7) reprezintă tensiunile V_{d1} și V_{d2} ale dispozitivelor semiconductoare DS1 și DS2 în funcție de temperatură. În cazul particular prezentat, cele două dispozitive semiconductoare DS1 și DS2 sunt tranzistoare bipolare.

Considerând în Fig. 2c curenții $I_1=I_2$ și un factor de multiplicitate $m=N$ pentru DS2, raportul densităților de curent dintre DS1 și DS2 este $N:1$, asta însemnând că dispozitivul DS1 este parcurs de un curent cu densitatea de N ori mai mare decât dispozitivul DS2. Același efect se poate obține dacă avem ambele dispozitive egale ca suprafață (factori de multiplicitate egali) dar alimentate de curenți diferiți în raport de $N:1$, curentul mai ridicat trecând prin DS1.

Se observă că cele două curbe (6) și (7) din Fig.2a reprezentând tensiunile în funcție de temperatură ale dispozitivelor semiconductoare DS1 și DS2 sunt divergente, diferența de tensiune dintre ele crescând la creșterea temperaturii. La capetele intervalului de temperatură avut în vedere, curba (6) trece prin punctele $A(t_1, V_{61})$ și $B(t_2, V_{62})$ iar curba (7) prin punctele $C(t_1, V_{71})$ și $D(t_2, V_{72})$. Potrivit invenției, vom procesa cel puțin una dintre curbele perechii primare tensiune-temperatură pentru a obține două curbe paralele. Amplificând tensiunea V_{d1} reprezentată de curba (6) cu un factor $A_2 > 1$, obținem la ieșirea amplificatorului OP21 tensiunea O_{21} (Fig. 2C), reprezentată în Fig. 2b prin curba (8) care trece prin punctele $E(t_1, V_{81})$ și $F(t_2, V_{82})$. Curba (8) este paralelă cu curba (7). Diferența de tensiune dintre punctele E și C din diagrama din fig.2c este egală cu diferența de tensiune dintre punctele F și D. Diferența de tensiune dintre cele două curbe (7) și (8) reprezintă tensiunea diferențială constantă în raport cu variația temperaturii și este ilustrată de curba (9). Tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii apare între nodurile O_{21} și V_{d2} iar prin intermediul amplificatorului OP22 poate fi transformată într-o tensiune de referință compensată cu temperatura raportată la punctul de masă al circuitului, având ieșirea O_{22} (Fig. 2c). La fel ca și în cazul referinței de tip Bandgap, tensiunea de referință potrivit invenției prezintă o ușoară curbă de tip parabolic, datorată formei parabolice a caracteristicilor tensiune-temperatură (6) și (7) ale celor două tranzistoare bipolare DS1 și DS2. Valoarea coeficientului de temperatură este $TC_2=33$ ppm/K, similar cu referințele Bandgap.

Al doilea exemplu de realizare a invenției este prezentat în legătură cu Fig. 3 a...c.

Folosind aceleași dispozitive semiconductoare DS1 și DS2 de tip tranzistor bipolar (Fig.3c), se obțin perechea primara de caracteristici tensiune-temperatură (6) și (7) ilustrate în Fig.3a și Fig. 3b. La capetele intervalului de temperatură avut în vedere, curba (6) trece prin punctele $A(t_1, V_{61})$ și $B(t_2, V_{62})$ iar curba (7) prin punctele $C(t_1, V_{71})$ și $D(t_2, V_{72})$. Conform invenției, vom procesa una dintre cele două curbe pentru a obține două curbe paralele. Prin

divizarea tensiunii V_{d2} reprezentată de curba (7) cu un factor $A_3 < 1$, obținem la ieșirea Div_3 a divizorului format de rezistoarele R_1 și R_2 tensiunea Div_3 (Fig. 3C), reprezentată în Fig. 3b prin curba (10) care trece prin punctele $G(t_1, V_{101})$ și $H(t_2, V_{102})$. Curba (10) este paralelă cu curba (6). Diferența de tensiune dintre punctele A și G din Fig. 3c este egală cu diferența de tensiune dintre punctele B și H. Diferența de tensiune dintre cele două curbe (6) și (10) reprezintă tensiunea diferențială constantă în raport cu variația temperaturii și este ilustrată de curba (11). Tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii apare între nodurile V_{d1} și Div_3 iar prin intermediul amplificatorului OP_3 poate fi transformată într-o tensiune de referință compensată cu temperatura, raportată la punctul de masă al circuitului, având ieșirea O_3 (Fig. 3c). Și în cazul acestui exemplu, tensiunea de referință conform invenției prezintă o ușoară curbura de tip parabolic, datorată formei parabolice a caracteristicilor tensiune-temperatură (6) și (7) ale celor două tranzistoare bipolare DS_1 și DS_2 din Fig. 3c. Valoarea coeficientului de temperatură este $TC_3 = 33$ ppm/K, egală cu cel din exemplul de implementare precedent.

Al treilea exemplu de implementare conform cu invenția în legătură cu Fig. 4 a...c se referă la compensarea efectului de curbura de ordinul doi al caracteristicii generatorului de tensiune de referință compensată la variația temperaturii, având drept scop reducerea coeficientului de temperatură. Obținerea tensiunii de referință se face conform primului exemplu de implementare a prezentei invenții descris în legătură cu Fig. 2 a...c. Deosebirea constă în faptul că pentru generarea curbelor primare de tensiune-temperatură sunt folosite două dispozitive semiconductoare compuse DSC_1 și $DASC_2$ (fig. 4a), formate prin înserierea unor tranzistoare de tip JFET, DS_3 și DS_4 cu tranzistoarele bipolare DS_1 și DS_2 (Fig 4c). Tranzistoarele JFET prezintă o componenta de ordinul doi al variației cu temperatura opus celui al tranzistoarelor bipolare; tranzistoarele JFET au o componenta de ordinul doi pozitivă, comparativ cu tranzistoarele bipolare care au o componenta de ordinul doi negativă. DS_3 și DS_4 sunt astfel alese încât tensiunile V_{d3} și V_{d4} (Fig. 4c) în raport cu temperatura, reprezentate de curbele (12) și (13) să fie perfect liniare. La capetele intervalului de temperatură avut în vedere, curba (12) trece prin punctele $I(t_1, V_{121})$ și $J(t_2, V_{122})$ iar curba (13) prin punctele $K(t_1, V_{131})$ și $L(t_2, V_{132})$. Amplificând tensiunea V_{d4} reprezentată de curba (12) cu un factor $A_4 > 1$, obținem la ieșirea amplificatorului OP_4 tensiunea O_4 (Fig. 4C), reprezentată în Fig. 4a de curba (14) care trece prin punctele $M(t_1, V_{141})$ și $N(t_2, V_{142})$. Curba (14) este paralelă cu curba (13). Diferența de tensiune dintre punctele M și K din diagrama din fig. 4c este egală cu diferența de tensiune dintre punctele N și L. Diferența de tensiune dintre cele două curbe (14) și (13) reprezintă tensiunea diferențială constantă în

raport cu variația temperaturii și este ilustrată de curba (15) din Fig. 4b. Tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii apare între nodurile O41 și Vd4 iar prin intermediul amplificatorului OP42 este transformată într-o tensiune de referință compensată cu temperatura raportată la punctul de masă al circuitului, având ieșirea O42 (Fig. 4c). În cazul acestui exemplu, tensiunea de referință potrivit invenției prezintă o curbă de tip S, ceea ce demonstrează suprimarea efectului de ordinul doi al caracteristicilor tensiune-temperatură al celor două tranzistoare bipolare DS1 și DS2. Valoarea coeficientului de temperatură este $TC4=0.6$ ppm/K, ceea ce reprezintă o reducere drastică a dependenței de temperatură a generatorului de tensiune de referință diferențială.

Cele trei exemple de implementare a actualei invenții au fost calculate teoretic utilizând modele de precizie ale componentelor semiconductoare utilizate.

În Fig. 5a este prezentat rezultatul experimental al aplicării invenției folosind componente comerciale discrete, în legătura cu exemplul de implementare a invenției din Fig. 2 a...c. Tensiunea de referință obținută experimental $V_{ref2-exp}$ este ilustrată prin curba (16) și prezintă un coeficient de temperatură $TC5=15.86$ ppm/K.

În Fig. 5b este prezentat rezultatul experimental al aplicării invenției folosind componente comerciale discrete, în legătura cu exemplul de implementare a invenției din Fig. 4 a...c. Tensiunea de referință obținută experimental $V_{ref4-exp}$ este ilustrată prin curba (17) și prezintă un coeficient de temperatură $TC6=0.46$ ppm/K.

Al patrulea exemplu reprezintă rezultate experimentale ale aplicării invenției folosind componente comerciale discrete și este prezentat în legătură cu Fig. 6 a, b, c.

La fel ca și în primul exemplu de aplicare a invenției, folosind dispozitivele semiconductoare DS5 și DS6 de tip tranzistor N-MOS (Fig. 6c), se obține perechea primară de caracteristici tensiune-temperatură (18) și (19) ilustrate în Fig. 6 a. Conform invenției, cu ajutorul amplificatorului OP61 (Fig. 6c) se amplifică cu un factor $A6>1$ curba 18 obținând tensiunea O61 care este redată în funcție de temperatura de curba (20) din Fig. 6a. Curba (20) este paralelă cu curba (19), iar diferența dintre cele două curbe (20) și (19) la nodurile O61 și Vd6 (Fig 6a) reprezintă tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii $V_{ref7-exp}$. Aceasta se poate transforma în tensiune de referință raportată la punctul de masă al circuitului, la ieșirea O62 a amplificatorului OP62. Și în cazul acestui exemplu, tensiunea de referință conform invenției prezintă o ușoară curbă de tip parabolic, având un coeficient de ordinul doi pozitiv, datorată formei parabolice a caracteristicilor tensiune-temperatură (18) și (19) ale celor două tranzistoare N-MOS, DS5 și DS6. Valoarea coeficientului de temperatură este $TC7=91$ ppm/K.

Al cincilea exemplu reprezintă rezultate experimentale ale implementării invenției cu dispozitive discrete comerciale și este prezentat în Fig. 6 a, b, d. La fel ca în cel de al doilea exemplu, folosind dispozitivele semiconductoare DS5 și DS6 de tip tranzistor N-MOS (Fig. 6c), se obțin caracteristicile tensiune-temperatură (18) și (19) ilustrate în Fig. 6 a. Conform invenției, prin divizarea tensiunii V_{d6} reprezentată de curba (21) cu un factor $A_7 < 1$, obținem la ieșirea divizorului format de rezistoarele R3 și R4 tensiunea Div_7 (Fig. 6d), reprezentată în Fig. 6a prin curba (21). Curba (18) este paralela cu curba (21), iar diferența dintre cele două curbe (18) și (21) (Fig. 6a) la nodurile V_{d5} și Div_7 din Fig. 6d reprezintă tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii $V_{ref8-exp}$ care se poate transforma în tensiune de referință raportată la punctul de masă al circuitului, la ieșirea O3 a amplificatorului OP3. Și în cazul acestui exemplu, tensiunea de referință conform invenției prezintă o ușoară curbă de tip parabolic, având un coeficient de ordinul doi pozitiv, datorată formei parabolice a caracteristicilor tensiune-temperatură (18) și (19) ale celor două tranzistoare N-MOS DS5 și DS6. Valoarea coeficientului de temperatură este $TC_8 = 91$ ppm/K.

Al șaselea exemplu de realizare potrivit invenției în relație cu Fig. 7a...c se referă la folosirea unei perechi mixte de dispozitive semiconductoare pentru generarea curbelor primare de tensiune-temperatură. La fel ca în primul exemplu, dar folosind perechea mixta de dispozitive semiconductoare DS1 de tip tranzistor bipolar, respectiv DS7 tranzistor N-MOS (Fig. 7c), se obțin caracteristicile primare tensiune-temperatură (24) și (25) ilustrate în Fig. 7 a. Conform invenției, cu ajutorul amplificatorului OP71 (Fig. 7c) se amplifică cu un factor $A_7 > 1$ curba (24) obținând tensiunea O71 care este redată în funcție de temperatură de curba (26) din Fig. 7a. Curba (26) este paralela cu curba (25), iar diferența dintre cele două curbe (26) și (25) între nodurile O71 și V_{d7} (Fig. 7a) reprezintă tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii $V_{ref-mixt}$. Aceasta este transformată în tensiune de referință raportată la punctul de masă al circuitului, la ieșirea O72 a amplificatorului OP72. Și în cazul acestui exemplu, tensiunea de referință conform invenției prezintă o ușoară curbă de tip parabolic, având o componentă de ordinul doi a variației cu temperatura pozitivă, datorată formei parabolice a caracteristicilor tensiune-temperatură (18) și (19) ale celor două tranzistoare, DS1 tranzistor bipolar și DS7 tranzistor N-MOS. Valoarea coeficientului de temperatură este $TC_9 = 49$ ppm/K.

Rezultatele experimentale sunt în bună concordanță cu calculele teoretice efectuate utilizând modele de precizie ale componentelor semiconductoare și confirmă valabilitatea practică a prezentei invenții.

Revendicări

1. Un circuit electronic de generare a unei tensiuni de referință diferențială stabilă în raport cu variația temperaturii, caracterizat prin aceea că potrivit invenției, tensiunea de referință diferențială este obținută prin realizarea a două caracteristici de tensiune-temperatură paralele, folosind procesarea unei perechi de caracteristici primare tensiune-temperatură neparalele între ele, având nivele de tensiune diferite, generate de o pereche de dispozitive semiconductoare active parcurse de curenți constanți de densități diferite, astfel încât prin amplificarea sau divizarea uneia dintre caracteristicile perechii primare de caracteristici tensiune-temperatură să se obțină o caracteristică tensiune-temperatură paralelă cu cealaltă caracteristică tensiune-temperatură a perechii primare, diferența de tensiune dintre cele două caracteristici paralele pe domeniul de temperatură utilizat fiind constantă și definind tensiunea de referință diferențială compensată la variația temperaturii.

2. Un circuit electronic conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că perechea de dispozitive semiconductoare folosite pentru generarea caracteristicilor primare de tensiune-temperatură face parte din categoria tranzistoarelor bipolare de tip N sau P, diodelor bipolare de tip N sau P, diodelor Schottky de tip N sau P, sau a tranzistoarelor MOS cu canal N sau P.

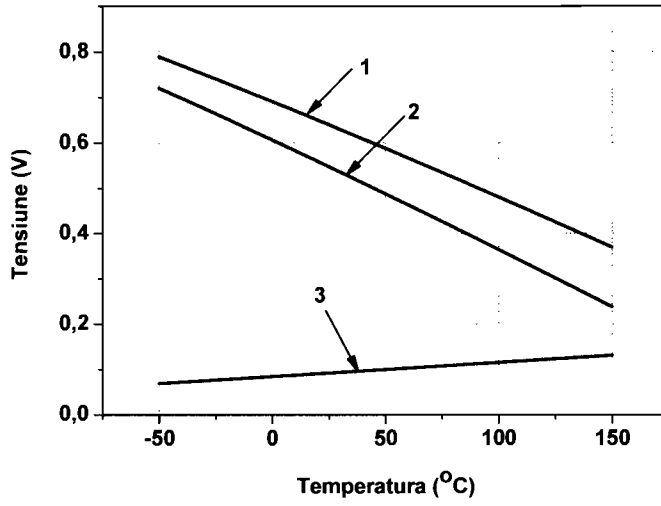
3. Un circuit electronic conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că pentru generarea caracteristicilor primare de tensiune-temperatură în scopul compensării efectului de curbură de ordinul doi al caracteristicii de tensiune-temperatură, sunt folosite perechi de dispozitive compuse formate prin înserierea unuia dintre dispozitivele semiconductoare alese din categoria tranzistoarelor bipolare de tip N sau P, a diodelor bipolare de tip N sau P, a diodelor Schottky de tip N sau P sau a tranzistoarelor MOS cu canal N sau P cu unul din dispozitivele din categoria tranzistoarelor JFET cu canal N sau P sau tranzistoarelor MESFET cu canal N sau P.

4. Un circuit electronic conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că generarea caracteristicilor primare de tensiune-temperatură se face folosind perechi mixte de dispozitive de tipuri diferite alese din categoria tranzistoarelor bipolare de tip N sau P, a diodelor bipolare de tip N sau P, a diodelor Schottky de tip N sau P, a tranzistoarelor MOS cu canal N sau P, a tranzistoarelor JFET cu canal N sau P, sau a tranzistoarelor

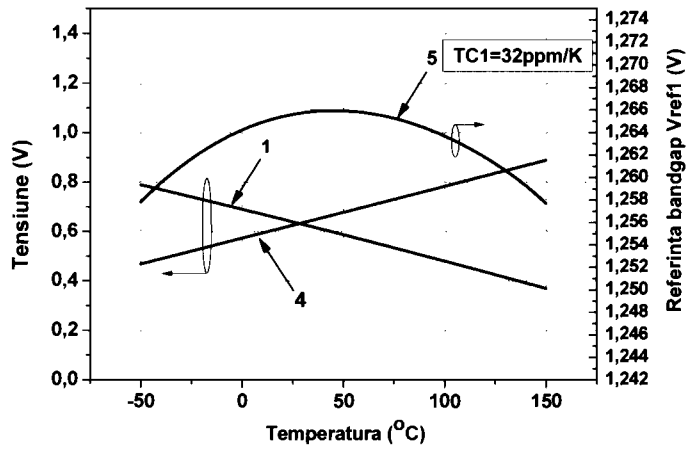
MESFET cu canal N sau P.

5. Un circuit electronic conform revendicărilor 1, 2, 3 și 4, caracterizat prin aceea că circuitul electronic de generare a tensiunii de referință diferențială compensată la variația temperaturii potrivit invenției, poate genera simultan o tensiune de referință compensată la variația temperaturii, raportată la punctul de masă al circuitului.

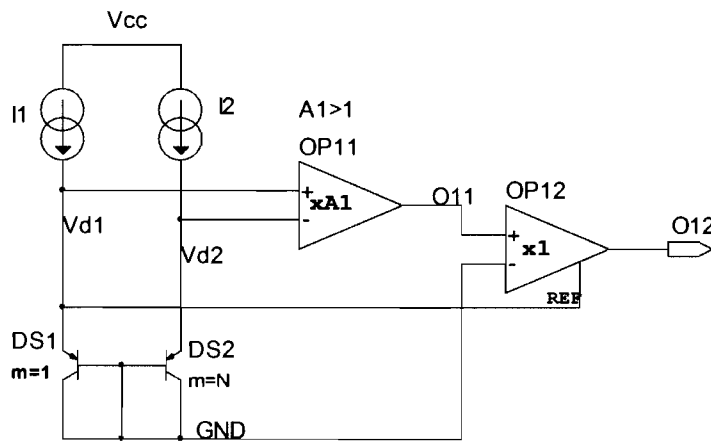
6. Un circuit electronic conform revendicărilor 1, 2, 3, 4 și 5, caracterizat prin aceea că circuitul electronic de generare a tensiunii de referință diferențială compensată la variația temperaturii potrivit invenției, poate fi realizat cu dispozitive discrete sau poate fi integrat monolitic pe orice fel de material semiconductor pentru care tehnologia permite realizarea unor circuite integrate.



(a)

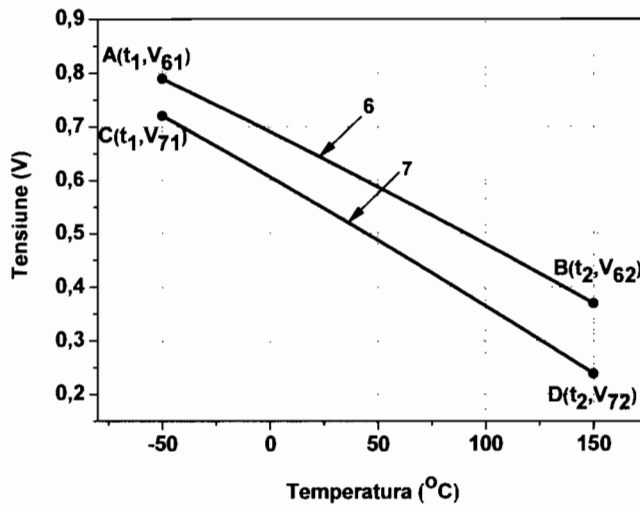


(b)

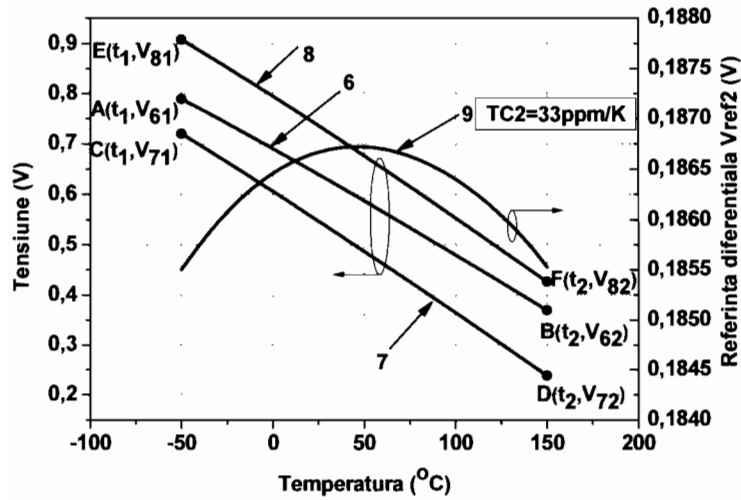


(c)

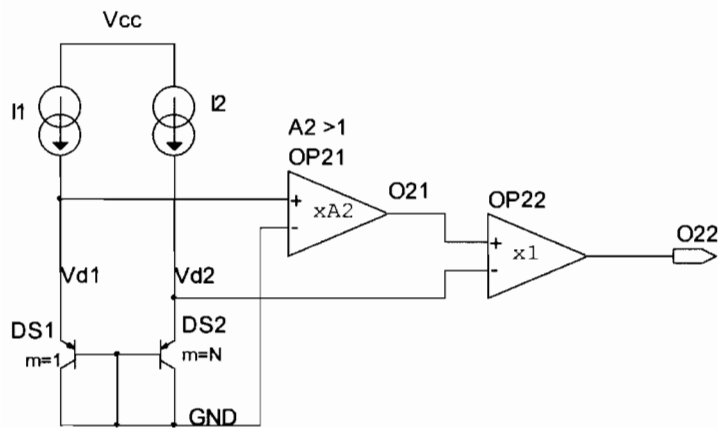
Fig.1 a...c



(a)

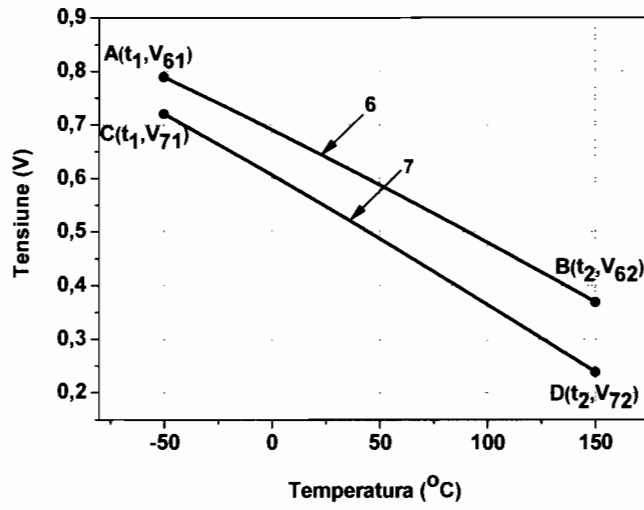


(b)

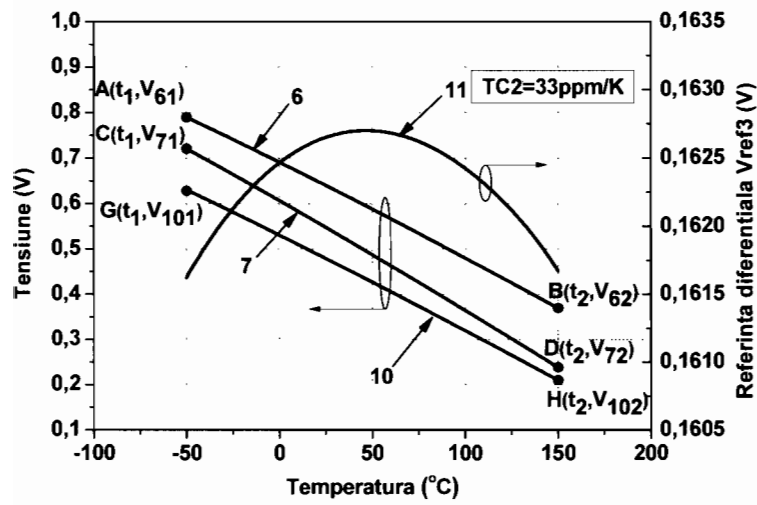


(c)

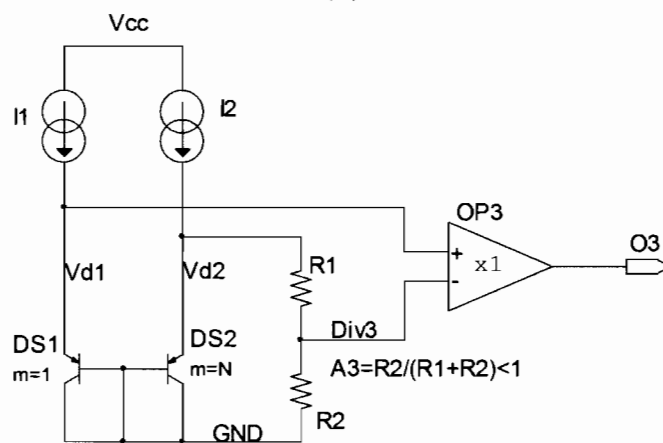
Fig. 2 a...c



(a)



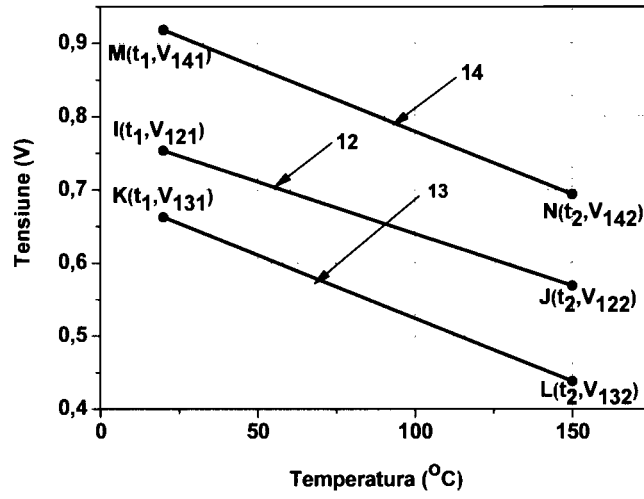
(b)



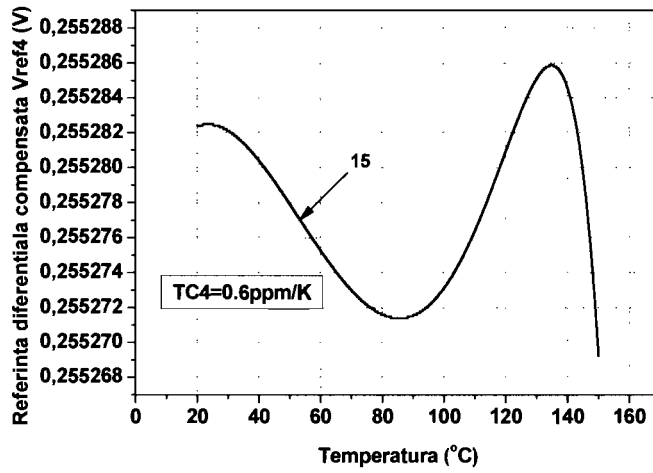
(c)

Fig.3 a...c

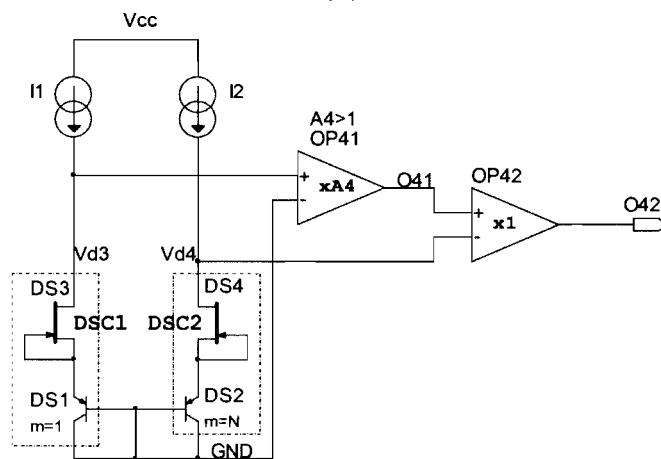
14



(a)

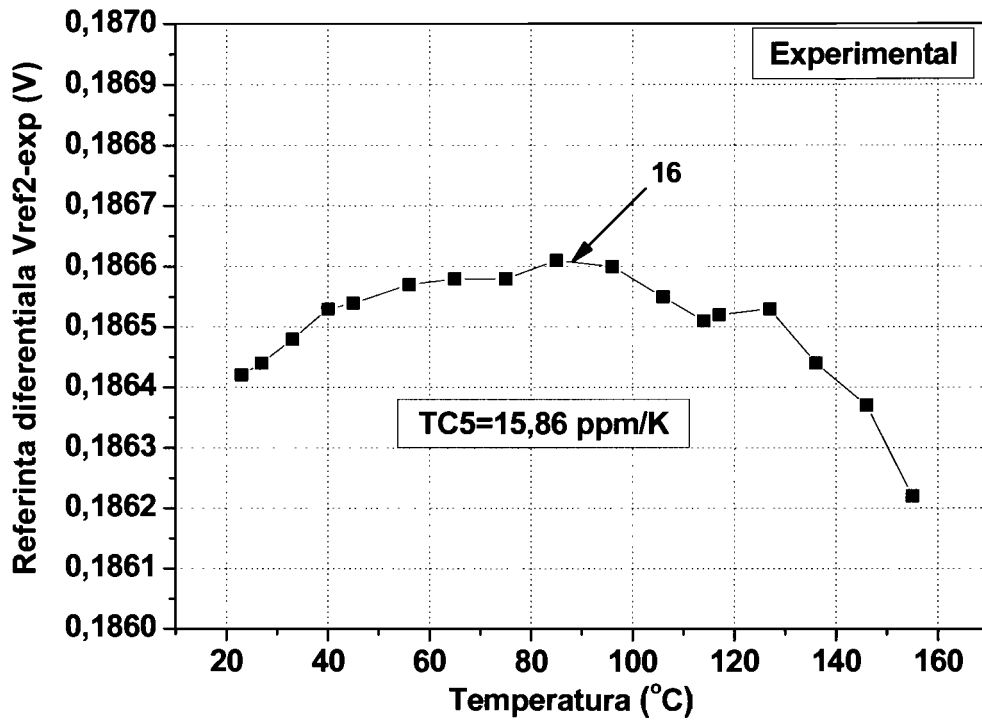


(b)

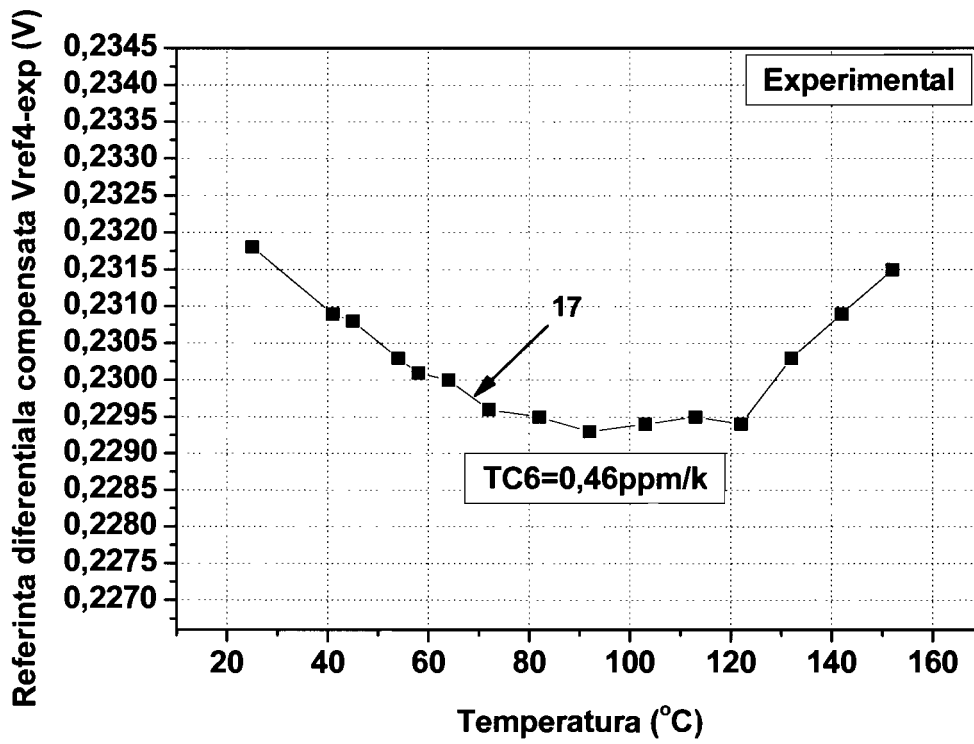


(c)

Fig. 4 a...c

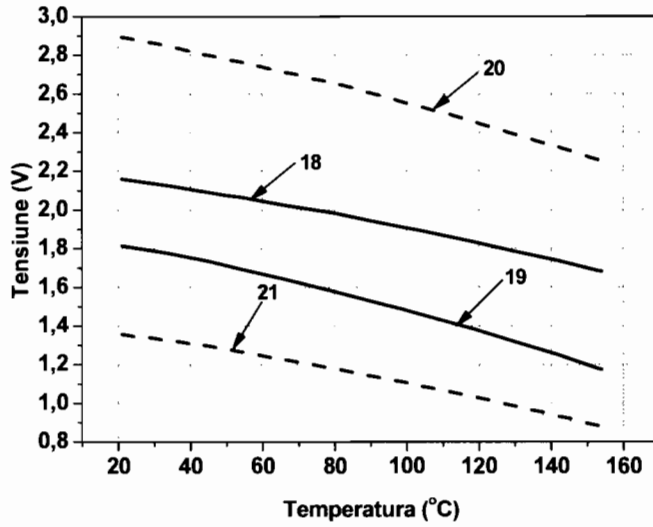


(a)

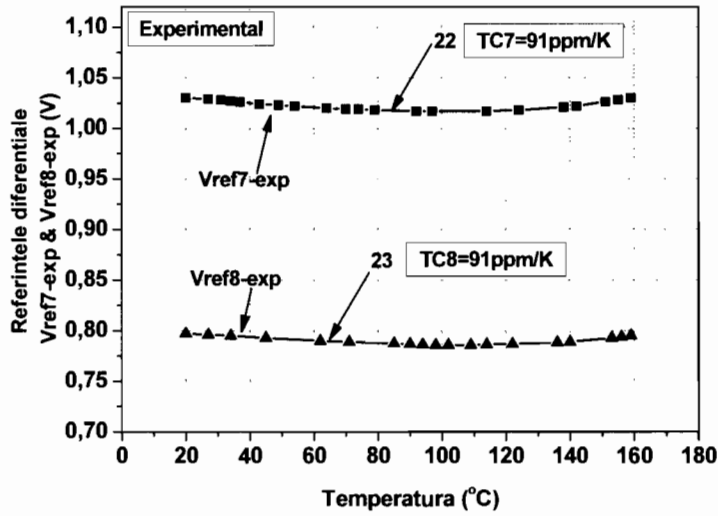


(b)

Fig. 5 a...b



(a)



(b)

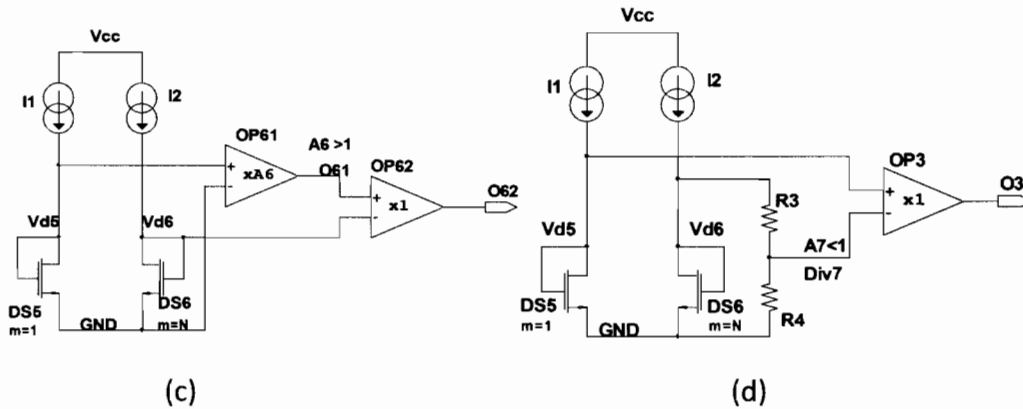
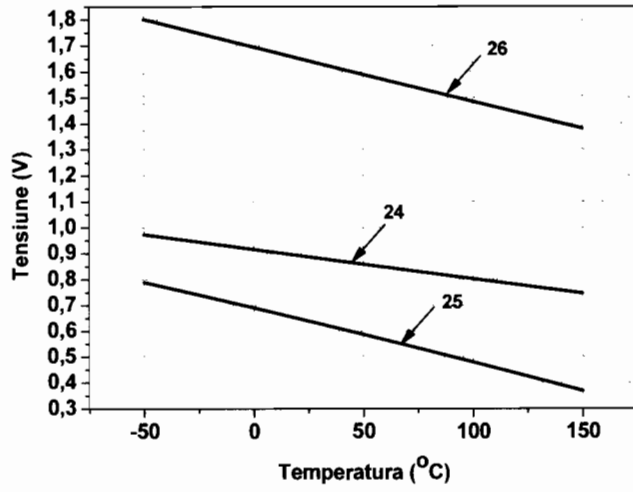
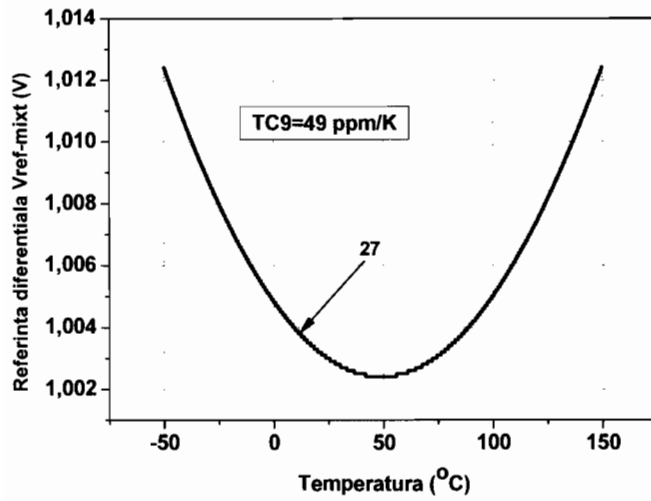


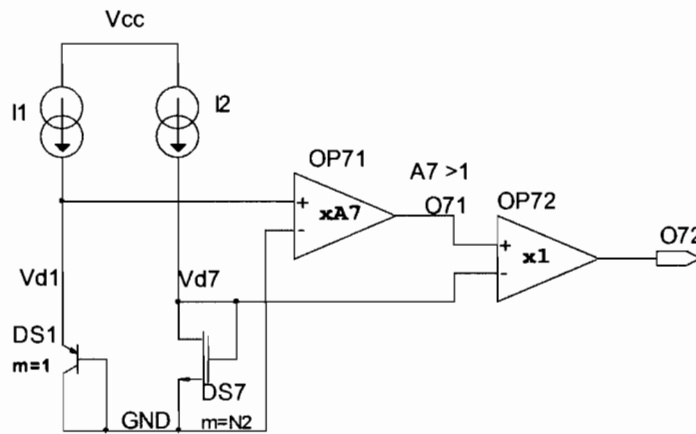
Fig. 6 a...d



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 a...c