

(19) OFICIUL DE STAT
PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
București

ROMÂNIA



(11) **RO 126249 B1**

(51) **Int.Cl.**

G06N 3/063 (2006.01);

G10L 15/16 (2006.01);

G06F 15/18 (2006.01);

G06G 7/60 (2006.01)

(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2009 00531**

(22) Data de depozit: **09/07/2009**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/11/2018** BOPI nr. **11/2018**

(41) Data publicării cererii:
29/04/2011 BOPI nr. **4/2011**

(73) Titular:
• **HULEA MIRCEA, STR. I.C.BRĂȚIANU**
NR.36, BL.B1, SC.B, AP.8, IAȘI, IS, RO

(72) Inventatori:
• **HULEA MIRCEA, STR.I.C.BRĂȚIANU**
NR.36, BL.B 1, SC.B, AP.8, IAȘI, IS, RO

(56) Documente din stadiul tehnicii:
EP 0768610 B1; EP 0349007 A2

(54)

CIRCUIT ELECTRONIC ANALOGIC PENTRU MODELAREA UNUI NEURON ARTIFICIAL

Examinator: **ing. ENEA FLORICA**



Orice persoană are dreptul să formuleze în scris și motivat, la OSIM, o cerere de revocare a brevetului de invenție, în termen de 6 luni de la publicarea mențiunii hotărârii de acordare a acesteia

RO 126249 B1

RO 126249 B1

1 Invenția se referă la un circuit electronic analogic pentru modelarea unui neuron
artificial, care modelează aspectele esențiale ale fiziologiei neuronului biologic, inclusiv
3 mecanismele învățării asociative sau Hebbiene.

 Este cunoscut un neuron artificial implementat în hardware analogic prezentat în
5 documentul **EP 0768 610 B1/1995**. Dezavantajele acestui neuron artificial reprezintă
posibilitatea stocării doar a unui număr limitat de valori ale ponderilor sinaptice, deoarece
7 ponderile sinapselor sunt stocate în celule de memorie programabile. Un alt dezavantaj
reprezintă plauzibilitatea biologică redusă a modului de ajustare a ponderii deoarece
9 mecanismele învățării asociative a sinapselor biologice nu sunt modelate.

 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția se referă la modelarea unui neuron
11 artificial utilizând componente electronice discrete integrabile microtehnologic în mod
plauzibil biologic a mecanismelor învățării asociative care sunt potențarea pe termen lung
13 și potențarea pe termen scurt a sinapselor.

 Circuitul electronic analogic pentru modelarea unui neuron artificial este caracterizat
15 prin aceea că include:

 - un modul care utilizează o capacitate pentru integrarea stimulilor de intrare, o sursă
17 de tensiune pentru generarea potențialului de echilibru, un tranzistor pentru detecția pragului
de activare a neuronului artificial, o diodă Schottky pentru reducerea potențialului de intrare
19 sub valoarea de echilibru a acestuia la începutul perioadei refractare și o ramură de circuit,
care asigură închiderea tranzistorului după deschiderea acestuia, făcând posibilă generarea
21 de impulsuri la ieșirea neuronului artificial;

 - un modul care utilizează un condensator pentru stocarea ponderii sinaptice, precum
23 și un condensator auxiliar și un tranzistor pentru modelarea plasticității sinaptice;

 - un modul care folosește un filtru pentru modelarea fatigabilității și niște tranzistoare
25 pentru generarea de impulsuri excitatoare sau inhibitoare.

 Circuitul electronic analogic pentru modelarea unui neuron artificial conform invenției
27 prezintă următoarele avantaje:

 - modelarea utilizând numai componente electronice discrete integrabile
29 microtehnologic în mod plauzibil biologic a etapelor variației potențialului de membrană a
neuronului biologic;

31 - posibilitatea stabilirii după implementarea circuitului electronic a tipului de impulsuri
pe care le generează sinapsa, excitatoare sau inhibitoare, prin includerea în schema
33 electrică a unui comutator.

 În cele ce urmează, se va face o descriere detaliată a obiectului invenției în legătură
35 și cu fig. 1...5, care reprezintă:

 - fig. 1, structura neuronului artificial;

37 - fig. 2, 3 și 4, scheme ale circuitului electronic de principiu pentru modulele **M1**, **M3** și,
respectiv, **M2** ale neuronului artificial, și exemple de semnale electrice înregistrate de către
39 autorul acestei invenții cu ajutorul osciloscopului în unele noduri de interes ale acestor
module;

41 - fig. 5, schema electrică de funcționare a neuronului artificial.

 Circuitul electronic analogic pentru modelarea neuronului artificial este implementat,
43 conform invenției, numai cu componente electronice discrete de tipul tranzistoarelor,
diodelor, rezistențelor și condensatoarelor, și modelează aspecte esențiale ale fiziologiei
45 neuronilor biologici, care sunt etapele variației potențialului de membrană și mecanismele
învățării asociative.

RO 126249 B1

Etapele variației potențialului de membrană sunt detecția pragului de activare a neuronului, repolarizarea rapidă, în care potențialul scade brusc sub valoarea de echilibru, și perioada refractară în care potențialul revine după o funcție logaritmică la valoarea de echilibru după repolarizarea rapidă. Mecanismele învățării asociative sunt potențarea pe termen scurt și pe termen lung a sinapselor care sunt inițiate în funcție de activitatea neuronilor presinaptic și, respectiv, postsinaptic. De asemenea, neuronul artificial modelează potențarea posttetanică, fatigabilitatea și generarea de impulsuri excitatoare și, respectiv, inhibitoare.

Circuitul neuronal artificial cu structura din fig. 1, conform invenției, reprezintă un produs compus din trei module funcționale **M1**, **M2** și **M3** cu schemele de principiu și semnalele prin care se realizează comunicația dintre acestea prezentate în fig. 2, 3 și, respectiv, 4. Un exemplu de realizare a circuitului neuronal artificial este prezentat prin schema electrică detaliată din fig. 5, unde părțile constitutive care sunt componente electronice discrete definite în mod exact prin cod pentru tranzistoare și diode sau prin valoare pentru rezistențe și condensatoare.

Astfel, fig. 1 prezintă structura neuronului artificial care include un modul **M1** conectat bidirecțional la intrarea neuronului artificial, un modul **M3** conectat unidirecțional la ieșirea neuronului, precum și un modul **M2** conectat bidirecțional cu modulul **M3** și unidirecțional cu ieșirea neuronului artificial.

Fig. 2 prezintă modulul **M1** care realizează integrarea stimulilor recepționați la intrarea neuronului artificial utilizând un condensator **C1** numit condensator de intrare conectat cu o armătură la masă și cu cealaltă la un potențial electric **V_MBR** ce reprezintă potențialul de intrare a neuronului artificial. Pentru păstrarea valorii de echilibru a potențialului **V_MBR** și pentru revenirea tensiunii **V_MBR** la valoarea de echilibru în timpul perioadei refractare circuitul neuronal artificial, utilizează rezistența **R2** conectată la o sursă de tensiune **V_R** și, respectiv, la potențialul **V_MBR**. Modulul **M1** utilizează pentru detecția pragului de activare al neuronului artificial un tranzistor npn **Q1** cu colectorul conectat printr-o rezistență **R6** la tensiunea de alimentare **VCC** și emitorul conectat la masă, precum și o rezistență **R1** conectată între nodul **V_MBR** al potențialului de intrare a neuronului artificial și baza tranzistorului npn **Q1**.

Colectorul tranzistorului npn **Q1** (nodul **MI_NPN**) este conectat printr-o rezistență **R7** la baza unui tranzistor pnp **Q2** care are emitorul conectat la sursa de alimentare (**VCC**) și colectorul conectat la anodul (pinul **3**) unei diode redresoare duble **D3** al cărei prim catod (pinul **2**) este conectat în filtrul compus dintr-un condensator **C2** și o rezistență **R4** conectate în paralel, nodul opus al filtrului fiind conectat printr-o rezistență **R3** la baza tranzistorului npn **Q1**. Ramura de circuit care include componentele **C2**, **R3**, și **R4** asigură închiderea tranzistorului npn **Q1** imediat după deschiderea acestuia, făcând posibilă generarea de impulsuri la ieșirea neuronului artificial. Colectorul tranzistorului npn **Q1** mai este conectat printr-o rezistență **R5** la catodul unei diode Shottky **D1**, al cărei anod este conectat la potențialul **V_MBR** cu rolul reducerii potențialului de intrare al neuronului artificial sub valoarea de echilibru.

Conform schemei de principiu a modulului **M2** din fig. 4, nodul **MI_PNP** este conectat la masă printr-o rezistență **R15** și la prima armătură a unui condensator **C4**, numit condensator de pondere, precum și printr-o grupare serie de două rezistențe **R9** și **R8** la anodul unei diode redresoare **D2**, al cărei catod este conectat în nodul **MI_NPN**, și la o rezistență **R19** care este conectată (nodul **CPS_VP**) la catodul unei diode redresoare **D5**, al cărei anod este conectat printr-o rezistență **R14** la condensatorul de pondere **C4** (nodul **E_0**).

RO 126249 B1

1 Nodul dintre cele două rezistențe a grupării serie de rezistențe **R9 - R8** este conectat la cea
de-a doua armătură a unui condensator **C3**. Prima armătură (**pin 1**) a condensatorului **C3**
3 este conectată direct în cel de-al doilea catod (**pin 1**) al diodei duble **D3** și printr-o rezistență
R11 în baza unui tranzistor npn **Q3** al cărui colector este conectat în catodul unei diode
5 redresoare **D4**. Anodul diodei redresoare **D4** este conectat printr-o grupare serie de
rezistențe, **R13** și **R12**, la condensatorul **C4** în nodul **E_0**. Nodul dintre rezistențele **R13** și
7 **R12** este conectat la prima armătură a unui condensator **C7** numit condensator auxiliar, cea
de-a doua armătură a condensatorului **C7** fiind conectată la masă.

9 Conform schemei electrice de principiu a modului **M3** din fig. 3, nodul **CPS_VP** este
conectat printr-o rezistență **R17** la baza unui tranzistor pnp **Q4** al cărui emitor este conectat
11 la sursa de alimentare **VCC** printr-un filtru compus dintr-o grupare paralelă care include o
rezistență **R16** și un condensator **C5**, precum și la nodul **CPS_VP** printr-un condensator **C6**.

13 Colectorul tranzistorului **PNP Q4** al cărui curent este limitat de o rezistență **R18** poate
fi conectat printr-un comutator **S1** fie la ieșirea neuronului artificial, fie în baza unui tranzistor
15 npn **Q5**. Emitorul tranzistorului npn **Q5** este conectat direct la masă și printr-o rezistență **R22**
la baza tranzistorului npn **Q5**. Colectorul tranzistorului npn **Q5** este conectat și la ieșirea
17 neuronului artificial printr-o rezistență **R21**. Rezistența **R18** limitează curentul de încărcare,
iar rezistența **R21** limitează curentul de descărcare a condensatorului de intrare **C1** inclus
19 în modulul **M1** al neuronului postsinaptic.

Funcțiile neuronului biologic pe care le modelează modulele **M1**, **M2** și **M3** sunt:

21 - modulul **M1** reprezintă modulul integrator ce modelează potențialul de membrană
prin tensiunea **V_MBR** corespunzătoare sarcinii din condensatorul **C1**, integrarea spațială
23 și temporală a stimulilor recepționați prin rezistența **R18** și condensatorul **C1**, detecția
pragului de activare prin rezistența **R1** și tranzistorul **Q1**, precum și repolarizarea rapidă și
25 perioada refractară prin rezistențele **R2** și **R6**, precum și prin dioda Schottky **D1**.

27 Activarea neuronului artificial este evidențiată prin impulsurile de pe semnalul **V_M**
prezentat în fig. 2, iar integrarea impulsurilor recepționate de către neuronul artificial este
evidențiată prin semnalul **V_MBR**. Modulul **M1** generează semnalele **MI_PNP** și **MI_NPN** cu
29 exemplul din fig. 2, unde activările neuronului determină impulsurile pozitive și, respectiv,
negative. Semnalele **MI_PNP** și **MI_NPN** sunt conectate și la intrarea modului **M2**.

31 - modulul **M2** reprezintă modulul de control al ponderilor sinaptice, remodelează
ponderea sinaptică prin sarcina stocată în condensatorul **C4**, potențarea postetanică a
33 sinapselor prin niște rezistențe **R14** și **R19**, potențarea pe termen scurt prin condensatorul
C7 și rezistența **R12**, potențarea pe termen lung prin rezistența **R13**, dioda **D4** și tranzistorul
35 **Q3**, precum și mecanismul depresiei sinaptice prin condensatorul **C4** și curentul de
polarizare inversă al diodei redresoare **D5**.

37 Semnalul **E_0** din fig. 4 reprezintă variația potențialului în nodul **E_0** care evidențiază
prin impulsuri activarea neuronului, iar prin variația descrescătoare a potențialului revenirea
39 sarcinii din **C7** în **C4** după potențarea pe termen scurt. Modulul **M2** generează la ieșire
semnalul **CPS_VP** conectat la intrarea modului **M3**.

41 - modulul **M3** reprezintă modulul generator de impulsuri excitatoare care se obțin prin
conectarea pinilor **2** și **3** ai comutatorului **S1** care conectează ieșirea tranzistorului **Q4** la
43 ieșirea neuronului, sau inhibitoare prin conectarea pinilor **2** și **1** ai comutatorului **S1** care
conectează prin rezistența **R18** baza tranzistorului **Q5** la colectorul tranzistorului **Q4**. Energia
45 impulsurilor excitatoare sau inhibitoare este variabilă și este determinată de sarcina stocată
în condensatorul **C4**. Modulul **M3** modelează și fatigabilitatea sinaptică prin condensatorul
47 **C5** și rezistența **R16**.

RO 126249 B1

Semnalul **CPS_VP** din fig. 3 reprezintă intrarea modului **M3**, unde impulsurile negative a căror amplitudine este dată de sarcina din condensatorul **C4** sunt generate în timpul activării neuronului ieșirea de tip excitator a modului **M3**, care este conectată la intrarea **M1** a neuronului postsinaptic este reprezentată de semnalul **V_Q4** a cărui variație evidențiază integrarea stimulilor generați de modulul **M3** și activarea neuronului postsinaptic.

Fig. 5 prezintă un exemplu de realizare a neuronului artificial prin schema electrică a acestuia, a cărei funcționare modelează proprietățile critice ale neuronului biologic. Schema electrică din fig. 5 prezintă valoarea sau codul pentru toate componentele electronice ce alcătuiesc modulele **M1**, **M2** și **M3** prezentate în fig. 1. Aceste valori care reprezintă parametrii schemei electrice a neuronului au fost ajustate pentru a obține o concordanță între caracteristicile funcționării neuronului artificial și principiile fiziologice ale neuronului biologic prezentate în lucrările publicate în domeniul neuroștiințelor și în cel medical. Potențialul de membrană a neuronului biologic este modelat de tensiunea de intrare **V_MBR** care, la echilibru, are valoarea de 400 mV, iar valoarea optimă din punct de vedere funcțional a tensiunii de alimentare a neuronului este $VCC = 1,6 \text{ V}$.

Comunicația sinaptică se realizează în mod bidirecțional în sensul că activarea neuronului presinaptic, anterior sinapsei, este semnalizată prin transmiterea unui impuls de energie variabilă prin deschiderea numai a tranzistorului **Q4** sau a tranzistoarelor **Q4** și **Q5** către neuronul postsinaptic, următor sinapsei, prin conexiunea **OUT - V_MBR**, iar neuronul postsinaptic prin ieșirea **MI_NPN** va semnaliza activarea sa neuronilor presinaptici prin intrarea **MI_LTP**. Semnalizarea activării neuronului postsinaptic prin conexiunea **MI_NPN - MI_LTP** se face prin conectarea la masă a emitorului tranzistorului **NPN Q3** ce determină descărcarea bruscă a capacității auxiliare **C7** ce implică fixarea la valoarea curentă a sarcinii din condensatorul de pondere **C4**, modelând astfel mecanismul potențării pe termen lung.

Intrarea neuronului poate fi stimulată de mai mulți neuroni excitatori sau inhibitori, în timp ce sinapsa electronică poate stimula doar un singur neuron postsinaptic, iar în cazuri stimulării mai multor neuroni postsinaptici de către un singur neuron, este necesară conectarea în punctul **MI_NPN** al neuronului presinaptic a mai multor sinapse cu activare simultană, fiecare sinapsă înglobând modulele **M2** și **M3**. Pondere sau eficiența sinaptică este stocată ca sarcină electrică de condensatorul de pondere **C4** care, pentru modelarea ponderii sinaptice minime, trebuie încărcat la tensiunea inițială $VPM = 1,6 \text{ V}$. Mecanismele învățării asociative, conform invenției, au fost modelate prin schimbul de sarcină dintre condensatorul de pondere **C4** și condensatorul auxiliar **C7**, în sensul că activarea neuronului presinaptic determină trecerea unei părți din energia stocată de condensatorul **C4** în condensatorul **C7**, ceea ce implică creșterea temporară a ponderii, modelând potențarea pe termen scurt, aceasta descărcându-se până la valoarea anterioară activării neuronului, fie brusc, în cazul potențialului de acțiune postsinaptic modelând potențarea pe termen lung, fie lent, în cazul inactivității neuronului postsinaptic, modelând depresia sinaptică.

Potențarea pe termen lung depinde de producerea în prealabil a potențării pe termen scurt, ceea ce face ca aceste două mecanisme să nu poată fi modelate în mod independent prin circuite separate.

Mecanismele învățării asociative sunt implementate pentru simplitate în modulul **M2** al neuronului presinaptic și nu în modulul **M1** al neuronului postsinaptic, ca în cazul biologic, unde ajustarea ponderilor se realizează în membrana de intrare a celulei neuronale. Din acest motiv, comunicația dintre doi neuroni artificiali care reprezintă obiectul acestei invenții este bidirecțională, în sensul că:

- modulul **M3** al neuronului presinaptic trimite stimuli excitatori sau inhibitori modulului **M1** al neuronului postsinaptic;

RO 126249 B1

1 - modulul **M1** al neuronului postsinaptic semnalizează modulul **M2** al neuronului
presinaptic activarea sa, ceea ce determină potențarea pe termen lung a sinapsei inclusă
3 în neuronul presinaptic.

5 Pentru setul de parametri ai neuronului din fig. 5, consumul de curent al neuronului
în stare inactivă este 300 nA la tensiunea optimă de alimentare $V_{cc} = 1,6$ V, iar în stare
7 activă, consumul de curent poate ajunge până la 500 μ A pentru o perioadă de activitate de
30 μ s. De asemenea, s-a testat experimental stabilitatea funcționării neuronului la variația
9 parametrilor în vederea integrării microtehnologice a rețelelor neuronale analogice ce au la
bază acest circuit neuronal analogic. Rezultatele au arătat o toleranță minimă de $\pm 20\%$
11 pentru valorile condensatoarelor și $\pm 30\%$ pentru valorile rezistențelor cu excepția a doi
divizori de tensiune pentru care este necesară folosirea materialului special rezistiv
„Thin Film Resistor”.

RO 126249 B1

Revendicări

1. Circuit electronic analogic pentru modelarea unui neuron artificial, **caracterizat prin aceea că** include: 3
- un modul (**M1**) care utilizează o capacitate (**C1**) pentru integrarea stimulilor de intrare, o sursă de tensiune (**V_R**) pentru generarea potențialului de echilibru, un tranzistor (**Q1**) pentru detecția pragului de activare a neuronului artificial, o diodă Schottky (**D1**) pentru reducerea potențialului de intrare (**V_{MBR}**) sub valoarea de echilibru a acestuia, la începutul perioadei refractare, și o ramură de circuit (**C2, R4, R3**), care asigură închiderea tranzistorului (**Q1**) după deschiderea acestuia, făcând posibilă generarea de impulsuri la ieșirea neuronului artificial; 11
 - un modul (**M2**) care utilizează un condensator (**C4**) pentru stocarea ponderii sinaptice, precum și un condensator auxiliar (**C7**) și un tranzistor (**Q3**) pentru modelarea plasticității sinaptice; 13
 - un modul (**M3**) care folosește un filtru pentru modelarea fatigabilității (**R16, C5**) și niște tranzistoare pentru generarea de impulsuri excitatoare (**Q4**) sau inhibitoare (**Q4, Q5**). 15
2. Circuit electronic analogic pentru modelarea unui neuron artificial, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** mecanismul de ajustare a ponderilor sinaptice ce modelează potențarea pe termen scurt și potențarea pe termen lung a sinapselor biologice este proiectat folosind numai componente discrete integrabile microtehnologic, iar ponderea sinaptică este ajustată în funcție de activitatea atât a neuronului presinaptic, cât și a neuronului postsinaptic, prin conectarea la condensatorul de pondere (**C4**) a capacității auxiliare (**C7**) ce asigură stocarea temporară, în momentul activării neuronului, a diferenței de sarcină electrică corespunzătoare creșterii ponderii sinaptice și revenirea sa în condensatorul de pondere (**C4**) în timpul perioadei de inactivitate a neuronului pentru modelarea potențării pe termen scurt, iar în momentul activării neuronului postsinaptic, această capacitate este descărcată brusc, fără ca sarcina rămasă în condensatorul auxiliar (**C7**) să revină în condensatorul de pondere (**C4**) determinând în acest mod fixarea ponderii sinaptice la valoarea curentă pentru modelarea potențării pe termen lung. 29
3. Circuit electronic analogic pentru modelarea unui neuron artificial, conform revendicărilor 1, 2, **caracterizat prin aceea că**, mecanismul de creștere a ponderilor sinaptice ce modelează potențarea posttetanică este implementat numai cu componente discrete integrabile microtehnologic, la fiecare activare a neuronului sarcina din condensatorul de pondere (**C4**) descărcându-se ireversibil printr-o rezistență determinată de (**R14**) și (**R19**). 33
4. Circuit electronic analogic pentru modelarea unui neuron artificial, conform revendicărilor 1...3, **caracterizat prin aceea că** mecanismul de depresie a sinapselor electronice este modelat prin faptul că sarcina din condensatorul de pondere (**C4**) crește continuu prin curentul de polarizare inversă a unei diode redresoare (**D5**) în timpul perioadei de inactivitate a neuronului, acest mecanism determinând descreșterea ponderilor sinaptice. 39
5. Circuit electronic analogic pentru modelarea unui neuron artificial conform revendicărilor 1...4, **caracterizat prin aceea că** detecția pragului de activare a neuronului este realizată cu ajutorul tranzistorului (**Q1**) pentru detecția pragului de activare a neuronului artificial, scăderea bruscă a potențialului de intrare (**V_{MBR}**) a neuronului artificial sub tensiunea bază-emitor (**V_{BE}**) a tranzistorului (**CU**) în timpul activării neuronului și începutul perioadei refractare realizându-se folosind dioda Schottky (**D1**) cu tensiunea de polarizare directă $V_F < V_{BE}$, durata de activare a neuronului fiind stabilită prin încărcarea capacității (**C2**) care este descărcată printr-o rezistență (**R4**) ce determină frecvența maximă de activare 47

RO 126249 B1

1 a neuronului, iar revenirea potențialului de intrare al neuronului (**V_MBR**), luând potențialul
de echilibru (**VE**), se realizează folosind rezistența (**R2**) ce realizează încărcarea
3 condensatorului de integrare a stimulării (**C1**) după o funcție logaritmică.

5 6. Circuit electronic analogic pentru modelarea unui neuron artificial, conform
6 revendicărilor 1...5, **caracterizat prin aceea că** mecanismul de stimulare a neuronului
7 postsinaptic a fost proiectat folosind numai componente de tip discret integrabile
8 microtehnologic, iar variația eficienței de transmitere a mesajului nervos biologic este
9 modelată prin variația energiei stimulului electric, excitator sau inhibitor, dată de variația
10 duratei impulsului în funcție de sarcina electrică stocată în condensatorul de pondere (**C4**),
11 iar fatigabilitatea este modelată prin încărcarea condensatorului (**C5**) ce determină
12 descreșterea tensiunii din emitorul tranzistorului (**Q4**) pentru generarea de impulsuri
excitatore și, prin urmare, și a energiei impulsurilor.

13 7. Circuit electronic analogic pentru modelarea unui neuron artificial conform
14 revendicărilor 1...6, **caracterizată prin aceea că** activarea neuronului artificial este
15 semnalizată neuronului postsinaptic prin generarea pe ieșirea neuronului (**OUT**) utilizând
16 tranzistorul npn (**Q4**) pentru generarea de impulsuri excitatoare sau tranzistorul pnp (**Q5**)
17 pentru generarea de impulsuri inhibitoare, a unui stimul electric excitator sau, respectiv,
18 inhibitor, ce modifică valoarea potențialului de intrare (**V_MBR**) stocat în capacitatea de
19 intrare (**C1**) a neuronului postsinaptic, activarea neuronului postsinaptic fiind semnalizată
20 neuronului artificial prin una dintre intrările neuronului (**MI_LTP**) prin conectarea la masă a
21 emitorului tranzistorului npn (**Q3**) pentru modelarea plasticității sinaptice, comunicația
neuronului artificial cu neuronul postsinaptic fiind bidirecțională.

RO 126249 B1

(51) Int.Cl.
G06N 3/063 (2006.01);
G10L 15/16 (2006.01);
G06F 15/18 (2006.01);
G06G 7/60 (2006.01)

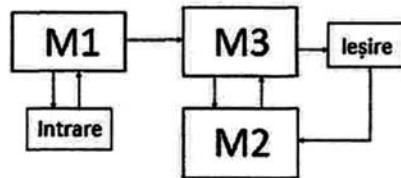


Fig. 1

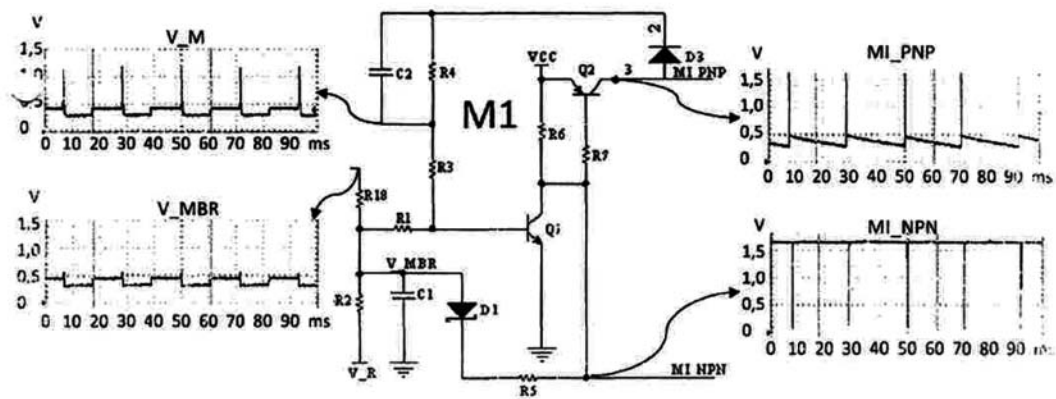


Fig. 2

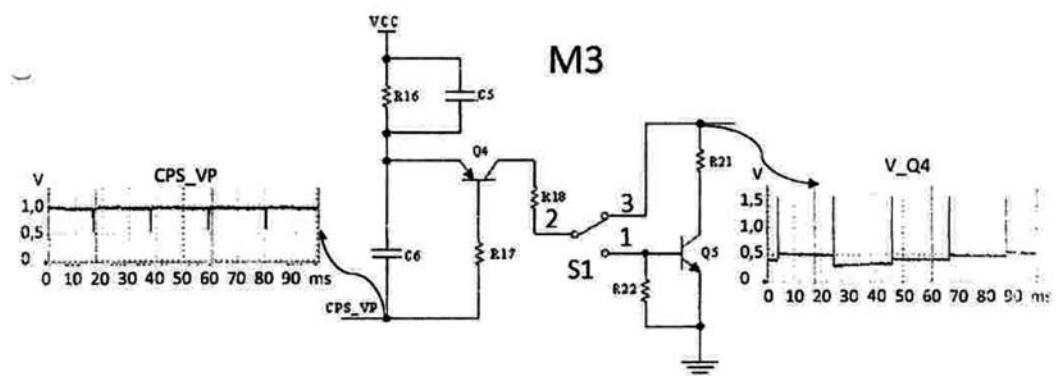


Fig. 3

RO 126249 B1

(51) Int.Cl.

G06N 3/063 (2006.01);

G10L 15/16 (2006.01);

G06F 15/18 (2006.01);

G06G 7/60 (2006.01)

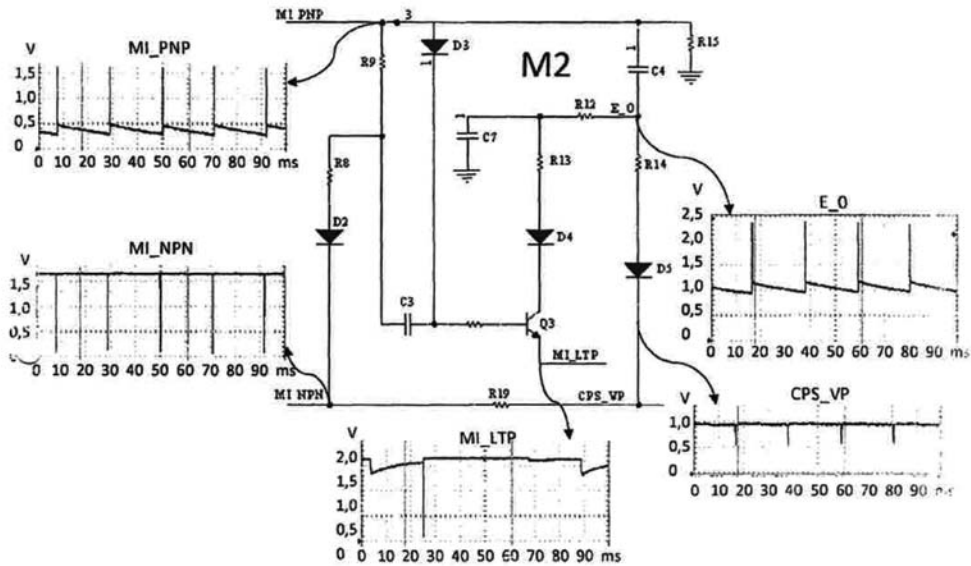


Fig. 4

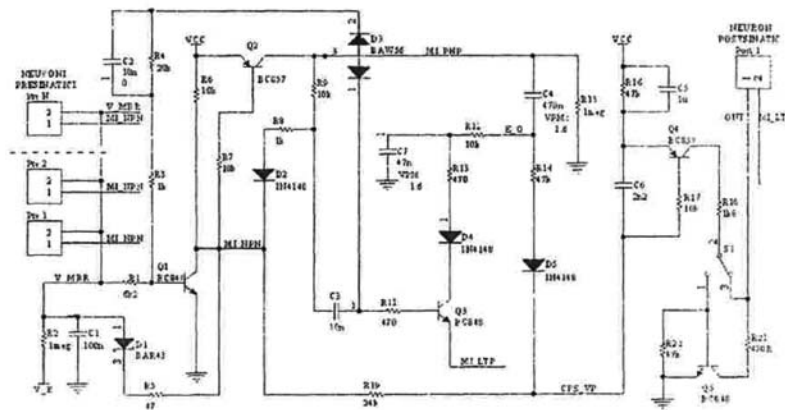


Fig. 5



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 521/2018