



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2015 00879**

(22) Data de depozit: **23/11/2015**

(41) Data publicării cererii:
30/05/2016 BOPI nr. **5/2016**

(71) Solicitant:
• **KUCZAPSKI ARTUR MIKLOS,**
STR. SERENA NR. 25, SAT MOȘNIȚA
NOUĂ, COMUNA MOȘNIȚA NOUĂ, TM, RO

(72) Inventatori:
• **KUCZAPSKI ARTUR MIKLOS,**
STR. SERENA NR. 25, SAT MOȘNIȚA
NOUĂ, COMUNA MOȘNIȚA NOUĂ, TM, RO

(74) Mandatar:
CABINET DE PROPRIETATE INDUSTRIALĂ
TUDOR ICLĂNZAN,
PIAȚA VICTORIEI NR.5, SC.D, AP.2,
TIMIȘOARA

(54) **METODĂ PENTRU AURALIZAREA SUNETELOR
PERCEPUTE PRIN INTERMEDIUL IMPLANTELOR
COHLEARE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă pentru auralizarea sunetelor percepute prin intermediul implanturilor cochleare utilizate pentru restaurarea auzului în cazul hipoacuziei neurosenzoriale. Metoda conform invenției constă din transmiterea unui semnal radio către un procesor al unui implant cochlear, înregistrarea impulsurilor electrice de stimulare, generate de către procesorul implantului cochlear, estimarea răspândirii curentului electric în țesuturile cochleei, estimarea răspunsului la stimulare electrică a fibrelor nervoase, estimarea componentelor sinusoidale și mixarea semnalelor sinusoidale generate conform percepției.

Revendicări: 12
Figuri: 18

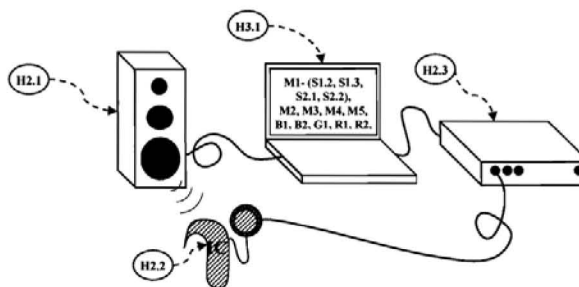
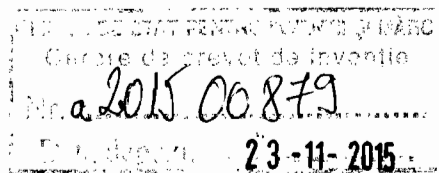


Fig. 10





METODĂ PENTRU AURALIZAREA SUNETELOR PERCEPUTE PRIN INTERMEDIUL IMPLANTELOR COHLEARE

Invenția se referă la o metodă pentru auralizarea sunetelor percepute prin intermediul implantelor cohleare, ce oferă posibilitatea de a aproxima și a sintetiza sunetele percepute de persoanele purtătoare de implant cohlear. Metoda pentru auralizarea sunetelor percepute prin intermediul implantelor cohleare se poate aplica atât în cercetarea și dezvoltarea noilor tipuri de implanturi cohleare, cât și în demonstrarea felului în care purtătorii de implanturi cohleare aud sunetele.

Implantul cohlear (figura 16) este un dispozitiv electronic semi implantabil, care se folosește în restaurarea auzului în cazul hipoacuziei neurosenzoriale. Acest dispozitiv redă pacienților auzul prin stimularea directă a terminațiilor nervilor auditivi din interiorul cohleei folosind impulsuri electrice generate în urma prelucrării sunetelor recepționate. Cu toate că implanturile cohleare sunt folosite de mai bine de 25 de ani, nivelul de recuperare a auzului în urma implantării variază foarte mult de la pacient la pacient, iar factorii de succes sunt puțin cunoscuți.

Auralizarea sunetului perceput prin intermediul implantului cohlear se referă la mulțimea metodelor de analiză și sinteză a sunetelor, semnalelor electrice și semnalelor nervoase prin care, pornind de la impulsurile electrice emise de electrozii implantului cohlear, se creează un material audio, care aproximează sunetul perceput de persoana purtătoare de implant cohlear.

În literatura de specialitate se cunoaște metoda de auralizare ce folosește anvelopa canalelor de filtrare (figura 17). Această primă metodă de auralizare utilizează un model simplificat de procesare a sunetului pentru imitarea implantului cohlear (CI *). Semnalele sonore de intrare sunt filtrate printr-un număr de filtre trece bandă egal cu numărul de electrozi folosit de implantul cohlear. Pentru fiecare canal semnalul filtrat trece printr-un modul de detecție al anvelopei a cărei ieșire este trecută printr-un filtru trece jos, ce limitează dinamica anvelopei. Fiecărui canal filtrat îi corespunde un semnal purtător cu frecvența centrală egală cu frecvența centrală a filtrului trece bandă corespunzătoare. Semnalul purtător poate fi un semnal sinusoidal sau poate fi obținut prin filtrarea zgomotului alb (WNG) printr-un filtru trece bandă (BPF) similar cu cel folosit pentru filtrarea canalului corespunzător. Pentru a sintetiza sunetul perceput, fiecare semnal purtător este modulat cu anvelopa canalului corespunzător, iar în final semnalele modulate sunt însumate pentru a forma sunetul de ieșire al modelului de auralizare. Deși sunetele sintetizate obținute cu semnal purtător de tip zgomot sau cu semnal purtător de tip sinusoidal sunt destul de diferite, inteligibilitatea vorbirii este similară în ambele cazuri. Acest lucru se datorează faptului că informația reală extrasă de creierul ascultătorului este în mare parte limitată la anvelopele folosite în sinteză, care oferă informații foarte limitate cu privire la componentele de frecvență. Lipsa informațiilor legate de frecvențele exacte elimină aproape în totalitate posibilitatea de a percepe muzica. Această metodă de auralizare apreciază corect informațiile transmise prin locația de stimulare a nervilor auditivi și aproximează bine numărul de electrozi necesari pentru a înțelege vorbirea în liniște. Pe de altă parte, aceasta nu reproduce corect efectul

ratei de stimulare a nervilor auditivi, și nu demonstrează capabilitățile de discriminare de frecvență observate în cazul utilizatorilor de implant cohlear bine recuperați.

Se mai cunoaște metoda de auralizare folosind anvelopa și frecvența dominantă a canalelor de filtrare (figura 18). Pentru a sintetiza cât mai fidel sunetul perceput, se ia în considerare și efectul ratei de stimulare a nervilor auditivi. Pentru a realiza acest lucru, se modifică sistemul mai sus prezentat, astfel încât frecvența centrală a semnalelor purtătoare să fie în mod continuu ajustată la frecvențele dominante ale semnalelor obținute prin canalele de filtrare. Totodată, se introduce un model de răspândire al curenților de stimulare prin țesuturile cohleei, și un model de percepție, ce estimează nivelul și rata de stimulare a nervilor auditivi. Rata de stimulare a nervilor auditivi este folosită pentru ajustarea frecvenței centrale a semnalelor purtătoare. Nivelul de stimulare a nervilor auditivi este în continuare estimat prin anvelopa curenților de stimulare, așa cum rezultă din modelul de răspândire a curenților, iar rata de stimulare se stabilește folosind oscilatoare PLL. Sinteza sunetului perceput, se realizează similar cu exemplul anterior, prin modularea semnalelor purtătoare cu valoarea estimată a stimulării nervilor auditivi și însumării acestora. Această metodă de auralizare aproximează mai corect sunetele percepute de către utilizatorul implantului cohlear, dar în continuare nu ia în considerare capacitatea de învățare și adaptare a creierului și a nervilor auditivi.

Se mai cunosc următoarele invenții cu referire la implanturi cohleare și metode de analize:

- US 2013/0079845 A1: Accelerated Fitting of Ear Implants
- US 2011/7953490 B1: Method and Apparatus for Cochlear Implant Signal Processing
- WO 2013/082185 A2: Methods and Systems for Lowering a Pitch Sensations as Perceived by a Cochlear Implant Patient
- WO 2013/078218 A1: Methods and Systems for Optimizing Speech and Music Perception by Bilateral Cochlear Implant Patient
- AU 2013/231136 B2: Synchronized Diagnostic Measurement for Cochlear Implants
- US 2014/8630964 B2 Using a Genetic Algorithm Employing an Expedited Convergence Mechanism to At Least Partially Fit a Medical Implant to a Patient Using Patient Feedback

Soluțiile existente, ce adresează problema analizei și evaluării calității auzului prin intermediul implantelor cohleare sunt limitate și din punct de vedere al percepției auditive nu tratează, sau tratează doar parțial: problema adaptării creierului și a capacității de învățare a noilor tipuri de stimuli; problema răspândirii câmpurilor de stimulare (curenților electrici, câmp magnetic, sau câmp luminos) în interiorul cohleei; problema poziționării surselor de stimulare artificială față de terminațiile nervoase.

Problema tehnică a invenției constă în realizarea unei metode care să aproximeze și să sintetizeze cât mai exact sunetele percepute de către utilizatorii de implant cohlear; care să permită determinarea cât mai facilă a performanțelor auditive oferite de noi implanturi cohleare, înainte ca acestea să fie experimentate pe pacienți reali pentru a reduce semnificativ timpul și resursele necesare îmbunătățirii și dezvoltării implantelor cohleare existente, permițând

persoanelor cu auz sănătos să înțeleagă felul în care aud persoanele utilizatoare de implant cohlear și ajutând specialiștii în logopedie, doctorii și apropiații.

Metoda pentru auralizarea sunetelor percepute prin intermediul implantelor cohleare, conform invenției, folosește un ansamblu funcțional constituit dintr-o metodă de transmitere al unui semnal audio către un procesor al unui implant cohlear, o metodă de înregistrare a impulsurilor electrice de stimulare generate de către procesorul implantului cohlear, un model de răspândire a curentului electric în țesuturile cohleei, un model de răspuns al fibrelor nervoase la stimularea electrică, o metodă de generare a unor semnale audio sinusoidale și o metodă pentru mixarea semnalelor sinusoidale generate, se realizează în ordine următoarele etape:

- 1) Se alege un semnal audio.
- 2) Se transmite semnalul audio ales către un procesor al unui implant cohlear care generează impulsuri electrice de stimulare corespunzătoare semnalului audio transmis.
- 3) Se eșantionează și înregistrează forma de undă a impulsurilor electrice de stimulare generate de către procesorul implantului cohlear ca urmare a procesării semnalului audio, rezultând câte un șir de eșantioane pentru fiecare electrod individual al implantului cohlear, cu o rată de eșantionare cuprinsă între 11khz și 96khz, cu valori între 0 și 1 cu mapare lineară între 0 volți și potențialul maxim al electrodului
- 4) Se estimează câmpul electric și curentul electric în vecinătatea terminațiilor nervoase a nervului auditiv folosind înregistrarea impulsurilor electrice de stimulare generată de procesorul implantului cohlear, și un model de răspândire a curentului electric în țesuturile cohleei.
- 5) Se estimează impulsurile nervoase din fibrele nervoase ale nervului auditiv ca răspuns la schimbările câmpului electric și curentului electric estimat din vecinătatea terminațiilor nervoase ale nervului auditiv, folosind un model de răspuns al fibrelor nervoase la stimularea electrică.
- 6) Se creează o matrice numerică a activității neuronale, unde fiecare rând al matricei corespunde unei grupări învecinate de fibre nervoase, fiecare coloană corespunde unei cuante de eșantionare iar valoarea elementelor din matrice reprezintă nivelul mediu de activitate al grupului fibrelor nervoase corespunzătoare rândului la cuanta de timp corespunzătoare coloanei, unde 0 reprezintă lipsa totală de activitate iar 1 reprezintă activitatea maximă al fibrelor nervoase.
- 7) Se împarte matricea în segmente suprapuse cu lungimea segmentelor fiind corespunzătoare unui interval de timp cuprins între 50ms și 500ms și luate cu un pas de la 1ms până la 50ms.
- 8) Pentru fiecare segment de matrice se calculează o auto-corelogramă cu deplasare pe axa timpului, adică deplasarea rândurilor la dreapta, rezultând un șir de auto-corelograme reprezentate în forma matricială, pe fiecare rând al auto-corelogramelor fiind reprezentați factorii de autocorelare ai rândului corespunzător segmentului de matrice.
- 9) Se înlocuiește cu 0 elementele negative din auto-corelograme.

- 10) Se încarcă dintr-o tabelă precalculată un dicționar al tonurilor pur învățate format din cvadrupeți alcătuiți din frecvența tonului învățat, masca de auto-corelograma exprimată în forma matricială, curba caracteristică amplitudinii și curba caracteristică frecvențelor.
- 11) Pentru fiecare matrice de auto-corelogramă obținută în urma prelucrării impulsurilor neuronale se calculează un sir de factori obținut prin calcularea factorului de corelare între matricea de auto-corelograma și fiecare dintre măștile de auto-corelograma încărcate din dicționar.
- 12) Considerând curbele caracteristice amplitudinilor și curbele caracteristice frecvențelor, pentru fiecare șir de factori de corelație se calculează amplitudinea componentelor de frecvențe.
- 13) Folosind amplitudinile calculate se sintetizează un semnal audio corespunzător.
- 14) Se iau toate semnalele audio sintetizate conform fiecărei auto-corelograme și se concatenează obținând un semnal audio continuu reprezentând sunetul perceput.

Metoda pentru auralizarea sunetelor percepute prin intermediul implantelor cohleare prezintă următoarele avantaje:

- Permite auralizarea sunetelor percepute de către persoanele purtătoare de implant cohlear.
- Realizează auralizarea sunetelor percepute, considerând modelul de învățare și adaptarea creierului și a nervilor auditivi.
- Metoda se poate folosi atât cu modele de simulare a implantelor cohleare cât și cu implanturi reale, conectate prin dispozitivele corespunzătoare.
- Aplicând mici adaptări, permite auralizarea sunetelor percepute de către persoane cu diferite afecțiuni ale aparatului auditiv.
- Ia în considerare numărul terminațiilor nervoase sănătoase a nervului auditiv.
- Ia în considerare poziția și distanța electrozilor față de terminațiile nervoase.
- Permite auralizarea sunetelor percepute în urma diferitelor tipuri de stimulare: stimulare electrică; stimulare magnetică; stimulare luminoasă.
- Permite auralizarea sunetelor percepute considerând situația de înainte și de după procesului de învățare și adaptare a purtătorului implantului cohlear.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile care reprezintă:

- Fig.1. Structura sistemului de auralizare și evaluare automată a calității sunetelor percepute prin intermediul implantelor cohleare.
- Fig.2. Schema de integrare a modelului de simulare a unui implant cohlear ce folosește metoda de stimulare electrică.
- Fig.3. Schema de integrare a unui implant cohlear realizat fizic.
- Fig.4. Schema de integrare a modelului de simulare corespunzător auzului natural.
- Fig.5. Schema modulului de etichetare compoziție sunet și de auralizare.
- Fig.6. Schema logică a învățării pattern-urilor de stimulare.

- Fig.7 Schema logică a analizei caracteristicilor de amplitudine.
 Fig.8 Schema logică a analizei caracteristicilor de frecvență.
 Fig.9 Schema logică a auralizării.
 Fig.10 Exemplu de realizare a unei instalări pentru analiza implanturilor existente.

Realizarea metodei pentru auralizarea sunetelor percepute prin intermediul implantelor cohleare conform invenției se bazează pe funcționarea unui sistem, prezentat în legătură cu Fig.10, care este alcătuit din

- Un calculator (H3.1) ce rulează niște module software (S1.2, S1.3, S2.1, S2.2, M2, M3, M4, M5, B1, B2, G1, R1, R2) prezentate în figura 3 unde:
 - o S1.2: Estimează răspândirea curentului electric în interiorul cohleei.
 - o S1.3: Estimează răspunsul neuronal la simulările electrice al terminațiilor nervoase.
 - o S2.1: Înregistrează comenzile de generare impulsuri transmise de către procesorul implantului cohlear.
 - o S2.2: Stochează temporal impulsurile conform comenzilor recepționate.
 - o M2: Coordonează metoda de învățare a pattern-urilor neuronale (figura 6).
 - o M3: Coordonează metoda de extragere a caracteristicilor de răspuns la frecvență și amplitudine (figura 7 și 8).
 - o M4: Identifică compoziția sunetului prelucrat, corelând măștile învățate a pattern-urilor neuronale, cu corelograma impulsurilor neuronale, aplicând caracteristicile de răspuns la frecvență și amplitudine.
 - o M5: Sintetizează sunetul perceput folosind componentele de frecvență și amplitudinile lor identificate de M4 (figura 9).
 - o B1: Stochează măștile corespunzătoare pattern-urilor neuronale generate de M2.
 - o B2: Stochează curbele caracteristicilor de răspuns la frecvența și amplitudinea generată de M3.
 - o G1: Generează tonuri și amestecuri de tonuri în timpul procesului de învățare (Figura 6, 7 și 8).
 - o R1: Transmite către difuzorul calculatorului sunetul rezultat din auralizare.
 - o R2: Generează raport de indici de calitate și performanțe auditive, conform caracteristicilor de răspuns.
- Un subsistem audio cu un amplificator și un difuzor (H2.1) cu puterea maximă calibrată la 120dB, reprezentând modulul de interfațare audio conform figurii 3.
- O parte externă al unui implant cohlear (procesor implant cohlear) (H2.2).
- Un dispozitiv de interfațare și achiziții date (H2.2) ce realizează legătura între calculatorul H3.1 și procesorul implantului cohlear H2.2.

Subsistemul audio (H2.1) este conectat la ieșirea audio al calculatorului (H3.1), iar volumul corespunzător ieșirii audio al calculatorului este ajustat la valoarea maximă.

Dispozitivul de conectare la procesorul implantului cohlear (H2.3) este conectat prin portul USB, sau alt port specific dispozitivului de conectare, la calculatorul (H3.1).

Metoda conform invenției se execută în 4 pași:

- Învățarea automată a pattern-urilor de stimulare în legătură cu Figura 6;
- Analiza caracteristicilor de amplitudine în legătură cu Figura 7;
- Analiza caracteristicilor de frecvență în legătură cu Figura 8;
- Auralizarea sunetului perceput în legătură cu Figura 9.

Învățarea automată al pattern-urilor de stimulare in legătură cu Figura 6.

Conform schemei logice din figura 6, modulul de învățare a pattern-urilor impulsurilor neuronale (M2) creează lista frecvențelor analizate împărțind banda de frecvență a implantului cohlear (tipic 200hz – 8Khz) în sub-benzi cu o scară logaritmică. Lățimea sub-benzilor folosite în exemplu fiind egală cu un sfert dintr-un semiton muzical, astfel raportul între doua frecvențe centrale consecutive fiind $2^{1/48}$. Pentru fiecare frecvență F aleasă, modulul (M2) creează o lista de amestecuri de tonuri sinusoidale, pentru fiecare amestec de tonuri alegându-se un număr arbitrar de frecvențe din lista de frecvențe generate și asociindu-se o amplitudine arbitrară între 0 și 1, cu precizarea că tonul corespunzător frecvenței F să fie prezent cu amplitudine 1 sau să fie absent în totalitate cu o distribuție de 50% - 50% în amestecurile generate.

Pentru fiecare amestec de ton, modulul (G1) sintetizează sunetul corespunzător cu o durată aproximativă de 0.1 secunde și transmite dispozitivului (H2.1), care emite sunetul către unitatea exterioară (procesorul) implantului cohlear (H2.2), care procesează sunetul și generează comenzile pentru impulsurile de stimulare, care la rândul lor sunt captate de dispozitivul (H2.3) și prelucrate de modulul software de interfațare (S2.1) și în final depozitate în bufferul de înregistrare (S2.2). După finalizarea înregistrării pentru un singur amestec de tonuri, modelul de răspândire al curentului electric în interiorul cohleei (S1.2) estimează intensitatea și distribuția curenților în interiorul cohleei, iar modelul de răspuns al terminațiilor nervoase (S1.3) estimează șirurile de impulsuri nervoase cauzate de curenții din interiorul cohleei, obținând o matrice bidimensională, în care fiecare rând reprezintă activitatea unui grup restrâns de nervi, iar coloanele reprezintă timpul discretizat. După estimarea impulsurilor nervoase, modulul de învățare (M2) calculează autocorelarea orizontală a matricei (autocorelarea fiecărui rând în parte) și astfel se obține corelograma activității nervoase conform amestecului de tonuri generat.

Se repetă procesul de mai sus pentru fiecare amestec de tonuri și cunoscând prezența frecvenței F, se extrage partea comună și caracteristică corelogramelor obținute. Extragerea părții se poate realiza prin însumarea corelogramelor, astfel încât dacă frecvența F nu a fost prezentă în amestecul de tonuri corespunzător corelogramei, matricea corelogramei se înmulțește cu -1. În final suma corelogramelor se normalizează, astfel încât cea mai mare valoare să fie +1, iar toate valorile negative se înlocuiesc cu 0.

Matricea astfel obținută se numește masca pattern-ului neuronal aferentă frecvenței F. Și se stochează în dicționarul de impulsuri B1.

Procedura se repetă pentru toate frecvențele selectate în pasul 1.

Analiza caracteristicilor de amplitudine în legătură cu Figura 7.

Conform schemei logice din figura 7, modulul de extragere al caracteristicilor de răspuns (M3) încarcă lista frecvențelor analizate și lista pattern-urilor obținute în urma învățării automate conform schemei logice din figura 6. Pentru fiecare frecvență F încărcată se generează o listă crescătoare de amplitudini pornind de la amplitudinea 0, avansând cu un pas de 0.01 până la amplitudinea 1. Pentru fiecare frecvență F și fiecare amplitudine A modulul G1 sintetizează un segment de sunet cu ton pur având frecvența F și amplitudinea A cu o durată aproximativă de 0.1 secunde și transmite dispozitivului (H2.1) care emite sunetul către unitatea exterioară (procesorul) implantului cohlear (H2.2) care procesează sunetul și generează comenzile pentru impulsurile de stimulare care la rândul lor sunt captate de dispozitivul (H2.3) și prelucrate de modulul software de interfațare (S2.1) și în final depozitate în bufferul de înregistrare (S2.2). După finalizarea înregistrării pentru o singură pereche de frecvență și amplitudine (F,A), modelul de răspândire al curentului electric în interiorul cohleei (S1.2) estimează intensitatea și distribuția curenților din interiorul cohleei, iar modelul de răspuns al terminațiilor nervoase (S1.3) estimează șirurile de impulsuri nervoase cauzate de curenții din interiorul cohleei, obținând o matrice bidimensională, în care fiecare rând reprezintă activitatea unui grup restrâns de nervi, iar coloanele reprezintă timpul discretizat. După estimarea impulsurilor nervoase modulul de extragere al caracteristicilor de răspuns (M3) calculează autocorelarea orizontală a matricei (autocorelarea fiecărui rând în parte) și se obține corelograma activității nervoase C conform frecvenței F și amplitudinii A . În continuare modulul (M3) calculează și stochează factorul de corelație FA între masca frecvenței analizate și corelograma activității nervoase C conform frecvenței analizate.

După ce s-a repetat procesul de mai sus pentru fiecare frecvență F și amplitudine A se compune curba caracteristică amplitudinilor pentru fiecare frecvență F descrisă și stocată printr-o serie de tupleți (A_0,FA_0) , $(A_{0.01},FA_{0.01})$, $(A_{0.02},FA_{0.02})$... (A_1,FA_1) . Curbele astfel generate pot fi folosite pentru estimarea performanțelor de discriminare în amplitudinea pacientului ipotetic purtător al unui implant cohlear similar cu cel analizat.

Analiza caracteristicilor de frecvență în legătură cu Figura 8.

Conform schemei logice din figura 8, modulul de extragere al caracteristicilor de răspuns (M3) încarcă lista frecvențelor analizate și lista pattern-urilor obținute în urma învățării automate conform schemei logice din figura 6. Pentru fiecare frecvență $F1$ încărcată se generează o listă crescătoare de amplitudini pornind de la amplitudinea 0, avansând cu un pas de 0.1 până la amplitudinea 1. În continuare, pentru fiecare frecvență $F1$ și fiecare amplitudine A modulul (M3) iterează prin lista de frecvențe încărcată astfel încât la fiecare iterație vom avea un triplet $(F1,A,F2)$.

Pentru fiecare triplet $(F1,A,F2)$ modulul G1 sintetizează un segment de sunet cu ton pur având frecvența $F2$ și amplitudinea A cu o durată aproximativă de 0.1 secunde și transmite

dispozitivului (H2.1) care emite sunetul către unitatea exterioară (procesorul) implantului cohlear (H2.2) care procesează sunetul și generează comenzile pentru impulsurile de stimulare care la rândul lor sunt captate de dispozitivul (H2.3) și prelucrate de modulul software de interfațare (S2.1) și în final depozitate în bufferul de înregistrare (S2.2). După finalizarea înregistrării pentru un singur triplet de (F1,A,F2) modelul de răspândire a curentului electric în interiorul cohleei (S1.2) estimează intensitatea și distribuția curenților din interiorul cohleei, iar modelul de răspuns al terminațiilor nervoase (S1.3) estimează șirurile de impulsuri nervoase cauzate de curenții din interiorul cohleei, obținând o matrice bidimensională, în care fiecare rând reprezintă activitatea unui grup restrâns de nervi, iar coloanele reprezintă timpul discretizat. După estimarea impulsurilor nervoase modulul de extragere al caracteristicilor de răspuns (M3) calculează autocorelarea orizontală a matricei (autocorelarea fiecărui rând în parte) și se obține corelograma activității nervoase C conform frecvenței F2 și amplitudinii A. În continuare modulul (M3) calculează și stochează factorul de corelație FF între masca frecvenței analizate și corelograma activității nervoase C conform frecvenței analizate.

După ce s-a repetat procesul de mai sus pentru fiecare frecvență F1, valorile amplitudinilor A și frecvențelor F2 compun curbele caracteristice frecvențelor aferente fiecărui frecvențe F1. Aceste curbe sunt descrise și stocate prin câte o serie de tupleți pentru fiecare frecvență analizată F1 și fiecare amplitudine analizată A în forma: Curba(F1,A) = (F1,FF1), (F2,FF2), (F3,FF3) (Fn,FFn), unde F_i reprezintă toate valorile lui F2 iar FF_i reprezintă factorii de corelație aferenți frecvențelor F1 și F_i și amplitudinii A. Astfel încât pentru fiecare frecvență F1 vom obține 11 curbe caracteristice aferente celor 11 amplitudini A analizate, fiecare curbă reprezentând caracteristica de selectivitate în frecvența pattern-ului neuronal aferent frecvenței F1 la nivelul de stimulare A.

Curbele astfel generate pot fi folosite pentru estimarea performanțelor de discriminare în frecvențele pacientului ipotetic purtător al unui implant cohlear similar cu cel analizat.

Auralizarea sunetului perceput în legătură cu Figura 9.

Conform schemei logice din figura 9, modulul de etichetare de compoziție sunet (M4) încarcă datele rezultate în urma proceselor automate de învățare, acestea fiind lista frecvențelor analizate, lista măștilor de pattern-uri neuronale aferente frecvențelor analizate, lista curbelor caracteristice de amplitudine și lista curbelor caracteristice de frecvențe. Se înregistrează sunetul ce se dorește de a fi auralizat folosind o rată de eșantionare de 44KHz folosind un singur canal de înregistrare (mono), și se împarte sunetul înregistrat în segmente scurte cu durata între 1ms – 10ms.

Segmentele de sunet sunt transmise prin dispozitivul (H2.1) către unitatea exterioară (procesorul) implantului cohlear (H2.2) care procesează sunetul și generează comenzile pentru impulsurile de stimulare care la rândul lor sunt captate de dispozitivul (H2.3) și prelucrate de modulul software de interfațare (S2.1) și în final depozitate în bufferul de înregistrare (S2.2). Modelul de răspândire al curentului electric în interiorul cohleei (S1.2) estimează intensitatea și distribuția curenților în interiorul cohleei, iar modelul de răspuns al terminațiilor nervoase (S1.3) estimează șirurile de impulsuri nervoase cauzate de curenții din interiorul cohleei, obținând o matrice

bidimensională, în care fiecare rând reprezintă activitatea unui grup restrâns de nervi, iar coloanele reprezintă timpul discretizat.

Pentru fiecare segment de sunet S_i obținut în urma împărțirii sunetului original în segmente de 1-10ms modulul de etichetare compoziție sunet (M4) calculează corelograma impulsurilor neuronale considerând impulsurile aferente segmentului de sunet curent S_i și impulsurile aferente segmentelor audio anterioare $S_{i-1}, S_{i-2}, S_{i-3} \dots S_{i-n}$ alese astfel încât să acopere o perioadă de aproximativ 100ms. Corelograma impulsurilor neuronale C se calculează pe matricea impulsurilor neuronale obținută prin concatenarea orizontală a matricelor de impulsuri neuronale $S_{i-n} \dots S_{i-3}, S_{i-2}, S_{i-1}, S_i$. În continuare modulul (M4) calculează factorii de corelare între toate pattern-urile neuronale, obținute în urma proceselor de învățare automate, și începutul corelogramei C obținând o listă de factori cu câte un element aferent fiecărui pattern neuronal și implicit fiecărei frecvențe învățate.

Cât timp lista factorilor conține cel puțin un număr pozitiv, modulul M4 alege frecvența F_{ij} ca fiind frecvența dominantă potrivit poziției celui mai mare factor R_{ij} din lista factorilor. Se calculează amplitudinea A_{ij} corespunzătoare factorului R_{ij} folosind curba caracteristică amplitudinilor conform frecvenței F_{ij} și se memorează într-o listă L_i de tupleți în forma (F_{ij}, A_{ij}) . Această listă conține componentele spectrale detectate în segmentul S_i . După obținerea frecvenței dominante F_{ij} și amplitudinii frecvenței dominante A_{ij} , pentru fiecare frecvență F_k învățată din tabela de măști se calculează factorul de interferare cu frecvența dominantă F_{ij} , folosind curbele de caracteristică de răspuns la frecvența aferentă frecvenței F_k , frecvența dominantă F_{ij} și amplitudinea frecvenței dominante A_{ij} . Valorile obținute se scad din factorii de corelare corespunzători din listă.

Factorul de interferare între F_k și componenta spectrală dat de tuplețul (F_{ij}, A_{ij}) se calculează folosind curba caracteristică de frecvență corespunzătoare amplitudinii A_x celei mai apropiate de A_{ij} și aleasă din lista curbelor F_k . Folosind curba caracteristică se ia valoarea curbei prin interpolare la punctul F_{ij} și se înmulțește cu raportul A_{ij}/A_x .

Dacă au fost eliminați toți factorii pozitivi din lista factorilor de corelare se sintetizează un segment de sunet cu conținut spectral conform listei L_i cu o durată egală cu durată segmentului S_i .

Sunetul astfel sintetizat se poate stoca sau se poate reda prin dispozitivul de redare sunet R1.

REVEDICĂRI

1. Metoda pentru auralizarea sunetelor percepute prin intermediul implantelor cohleare, care folosește un ansamblu funcțional constituit din, o metodă de transmitere al unui semnal audio către un procesor al unui implant cohlear, o metodă de înregistrare a impulsurilor electrice de stimulare generate de către procesorul implantului cohlear, un model de răspândire al curentului electric în țesuturile cohleei, un model de răspuns al fibrelor nervoase la stimulare electrica, o metodă de generare a unor semnale audio sinusoidale și o metodă pentru mixarea semnalelor sinusoidale generate, este **caracterizată prin aceea că se realizează în următoarea ordine:**
 - 1) Se alege un semnal audio.
 - 2) Se transmite semnalul audio ales către un procesor al unui implant cohlear care generează impulsuri electrice de stimulare corespunzătoare semnalului audio transmis.
 - 3) Se eșantionează și înregistrează forma de undă a impulsurilor electrice de stimulare generate de către procesorul implantul cohlear ca urmare a procesării semnalului audio, rezultând câte un șir de eșantioane pentru fiecare electrod individual al implantului cohlear, cu o rată de eșantionare cuprinsă între 11khz și 96khz, cu valori între 0 și 1 cu mapare lineară între 0 volți și potențialul maxim al electrodului.
 - 4) Se estimează câmpul electric și curentul electric în vecinătatea terminațiilor nervoase al nervului auditiv folosind înregistrarea impulsurilor electrice de stimulare generată de procesorul implantului cohlear, și un model de răspândire al curentului electric în țesuturile cohleei.
 - 5) Se estimează niște impulsuri nervoase din fibrele nervoase ale nervul auditiv ca răspuns la schimbările câmpului electric și curentului electric estimat din vecinătatea terminațiilor nervoase al nervului auditiv, folosind un model de răspuns al fibrelor nervoase la stimulare electrică.
 - 6) Se creează o matrice numerică a activității neuronale unde fiecare rând al matricei corespunde unei grupări învecinate de fibre nervoase, fiecare coloană corespunde unei cuante de eșantionare iar valoarea elementelor din matrice reprezintă nivelul mediu de activitate al grupului fibrelor nervoase corespunzătoare rândului la cuanta de timp corespunzătoare coloanei, valoarea 0 reprezentând lipsa totală de activitate iar 1 reprezentând activitatea maximă a fibrelor nervoase.
 - 7) Se împarte matricea în segmente suprapuse cu lungimea corespunzătoare unui interval de timp cuprins între 50ms și 500ms și luate cu un pas de la 1ms până la 50ms.
 - 8) Pentru fiecare segment de matrice se calculează o auto-corelogramă cu deplasare pe axa timpului, adică deplasarea rândurilor la dreapta, rezultând un șir de auto-corelograme reprezentate în forma matricială, pe fiecare rând al auto-corelogramelor fiind reprezentați factorii de autocorelare ai rândului corespunzător din segmentul de matrice.
 - 9) Se înlocuiește cu 0 elementele negative din auto-corelograme.

- 10) Se încarcă dintr-o tabelă precalculată un dicționar al tonurilor pur învățate format din cvadrupeți alcătuiți din frecvența tonului învățat, masca de auto-corelograma exprimată în forma matricială, curba caracteristică amplitudinii și curba caracteristică frecvențelor.
 - 11) Pentru fiecare matrice de auto-corelogramă obținută în urma prelucrării impulsurilor neuronale se calculează un șir de factori obținuți prin calcularea factorului de corelare între matricea de auto-corelograma și fiecare dintre măștile de auto-corelograma încărcate din dicționar
 - 12) Considerând curbele caracteristice amplitudinilor și curbele caracteristice frecvențelor, pentru fiecare șir de factori de corelație se calculează amplitudinea componentelor de frecvențe.
 - 13) Folosind amplitudinile calculate se sintetizează un semnal audio corespunzător
 - 14) Se iau toate semnalele audio sintetizate conform fiecărei auto-corelograme și se concatenează obținând un semnal audio continu reprezentând sunetul perceput.
2. Metoda conform revendicării 1 **caracterizată prin aceea că** auto-corelogramele impulsurilor nervoase se calculează prin următoarele etape:
- 1) Se compune o matrice numerică din impulsurile nervoase cu valorile celulelor cuprinse între 0 și 1 inclusiv, caracteristic fiind aceea că fiecare rând al matricei corespunde unei grupări învecinate de fibre nervoase, fiecare coloană corespunde unei cuante de timp de eșantionare iar valoarea numerică din celule reprezintă nivelul mediu de activitate a fibrelor nervoase corespunzătoare rândului la timpul corespunzător coloanei, astfel încât 0 să corespundă cu inactivitate totală, iar 1 corespunde cu activitate maximă.
 - 2) Se împarte matricea în linii.
 - 3) Se ia prima jumătate a fiecărei linii a matricei alcătuite.
 - 4) Se suprapun jumătățile de linii cu începuturile liniilor originale.
 - 5) Se calculează factorul de corelație între părțile suprapuse ale liniilor și jumătăților de linii prin înmulțirea valorilor din celulele suprapuse și însumarea produselor obținute.
 - 6) Se deplasează jumătățile de linii cu câte o celulă înspre dreapta.
 - 7) Se calculează din nou factorii de corelație.
 - 8) Se repetă deplasarea spre dreapta a jumătăților de linii și calcularea factorilor de corelare până când ajunge ultimul element din jumătățile de linii să fie poziționat peste ultimul element din liniile originale.
 - 9) Se creează auto-corelograma în formă de matrice astfel încât să aibă același număr de rânduri ca și matricea impulsurilor nervoase și același număr de coloane ca și lungimea unei jumătăți de rând, iar valorile matricei create să conțină factorii de corelare calculați astfel că numărul coloanei în care se află celula să reprezinte numărul de deplasări spre dreapta efectuată pentru care s-a

calculat factorul de corelare înscris în celulă, iar rândul să corespundă rândului de impulsuri neuronale pentru care s-au calculat factorii de corelare.

- 10) Se înlocuiesc cu 0 toate elementele din prima coloană a matricei de auto-corelogramă.
- 11) Se înlocuiesc cu 0 toate elementele negative ale matricei de auto-corelogramă.

3. Metoda conform revendicării 1 **caracterizată prin aceea că** măștile de auto-corelograme specifice frecvențelor se obțin printr-o metodă de învățare automată realizat în următoarele etape:

- 1) Se generează o lista de frecvențe cu o creștere exponențială, cu un număr de elemente cuprinse între 16 și 1024, frecvența cea mai mică având valoarea cuprinsă între 1 Hz și 300Hz iar frecvența cea mai mare având valoarea cuprinsă între 4KHz și 22Khz.
- 2) Pentru fiecare frecvență se repetă pașii de la pasul c.) până la pasul p.).
- 3) Se creează și se stochează într-o formă digitală un număr de la 100 până la 10000 de exemple de amestecuri de tonuri, cu un număr aleatoriu de componente de frecvențe cu frecvențele alese din lista de frecvențe generată, evitând frecvența din iterația curentă de la punctul b.), cu amplitudinile alese aleatorii între 0 și 1.
- 4) Se aleg aleatoriu jumătate din amestecurile generate, și se adaugă un ton pur cu frecvența corespunzătoare integrației curente de la punctul b.) cu amplitudinea 1.
- 5) Se transmit toate amestecurile de tonuri generate către procesorul implantului cohlear.
- 6) Se recepționează de la procesorul implantului cohlear impulsurile electrice generate în urma prelucrării fiecărui amestec de ton.
- 7) Pentru fiecare set de impulsurilor electrice recepționat se estimează impulsurile nervoase ale nervului auditiv folosind un model de simulare.
- 8) Se calculează auto-corelograma impulsurilor nervoase estimate.
- 9) Se înmulțesc cu -1 elementele auto-corelogramelor corespunzătoare amestecurilor de tonuri unde nu a fost adăugat tonul cu frecvența corespunzătoare iterației de la punctul b.).
- 10) Se obține o matrice de numere prin însumarea tuturor auto-corelogramele obținute.
- 11) Se caută cea mai mare valoare pozitivă din matricea rezultată.
- 12) Se împart toate celulele matricei cu valoarea obținută astfel obținând o matrice normalizată cu valoarea maxima egală cu 1.
- 13) Se scade din elementele matricei o constantă aleasă din intervalul [0, 0.9].
- 14) Din nou se normalizează matricea prin împărțirea elementelor cu valoarea celui mai mare element găsit.
- 15) Se înlocuiesc cu 0 toate elementele negative ale matricei.

- 16) Matricea rezultată, conținând elemente cu valori între 0 și 1, se stochează ca masca de auto-corelogramă aferentă frecvenței iterației corespunzătoare punctului b.).
 - 17) Se creează și se stochează tabela măștilor de auto-corelogramă.
4. Metoda conform revendicării 1 **caracterizată prin aceea că** curbele caracteristice amplitudinilor se obțin printr-o metodă de învățare automată realizată în următoarele etape:
- 1) Se ia lista frecvențelor din tabela măștilor de auto-corelogramă.
 - 2) Pentru fiecare frecvență se repetă pașii de la pasul c.) până la pasul g.).
 - 3) Se generează și se stochează în formă digitală între 10 și 100 de semnale cu ton pur sinusoidal cu frecvența corespunzătoare iterației de la punctul b.) cu amplitudinea exponențial crescătoare astfel încât primul semnal să aibă amplitudinea 0 iar ultimul semnal să aibă amplitudinea 1.
 - 4) Se obține auto-corelogramele impulsurilor nervoase conform semnalelor generate aplicând metodele conform revendicărilor 1 și 2.
 - 5) Pentru fiecare auto-corelogramă obținută se calculează factorul de corelare cu masca de auto-corelogramă corespunzătoare frecvenței, prin înmulțirea celulelor corespunzătoare și adunarea produselor.
 - 6) Se creează curba caracteristică amplitudinilor prin împerecherea valorilor de amplitudine cu factorii de corelare aferenți.
 - 7) Se stochează curba caracteristică amplitudinilor.
5. Metoda conform revendicării 1 **caracterizată prin aceea că** curbele caracteristice frecvențelor se obțin printr-o metodă de învățare automată realizată în următoarele etape:
- 1) Se ia lista frecvențelor din tabela măștilor de auto-corelogramă.
 - 2) Pentru fiecare frecvență se repetă pașii de la pasul c.) până la pasul g.).
 - 3) Se generează și se stochează în formă digitală câte un semnal de ton pur pentru fiecare frecvență din tabela măștilor de auto-corelogramă, cu amplitudinea 1.
 - 4) Se obțin auto-corelogramele impulsurilor nervoase conform semnalelor generate aplicând metodele conform revendicărilor 1 și 2.
 - 5) Pentru fiecare auto-corelogramă obținută se calculează factorul de corelare cu masca de auto-corelogramă corespunzătoare frecvenței, prin înmulțirea celulelor corespunzătoare și adunarea produselor.
 - 6) Se creează curba caracteristică frecvențelor prin împerecherea valorilor de frecvență a tonului cu factorii de corelare aferenți.
 - 7) Se stochează curba caracteristică a frecvențelor.

6. Metoda conform revendicării I **caracterizată prin aceea că** sintetizarea sunetelor conform factorilor de corelație între auto-corelogramele impulsurilor nervoase și măștile de auto-corelograme specifice frecvențelor învățate se realizează următoarele etape:
- 1) Dacă este primul set de factori de corelație din procesul de auralizarea curentă, se creează câte un generator de ton pur cu amplitudine reglabilă pentru fiecare dintre frecvențele din tabela măștilor de auto-corelogramă.
 - 2) Se creează o lista de valori cu factorii de corelație și se stochează pentru fiecare poziție din listă, care este frecvența corespunzătoare măștii de auto-corelogramă cu care s-a calculat factorul de corelare.
 - 3) Până există o valoare strict pozitivă în lista factoriilor de corelație se repetă pașii de la pasul d.) până la pasul j.).
 - 4) Se alege elementul cu valoarea maximă din lista de valori.
 - 5) Se desemnează frecvența aferentă poziției valorii ca frecvență dominantă.
 - 6) Se încarcă curba caracteristică amplitudinilor conform frecvenței dominante corespunzătoare.
 - 7) Se calculează prin interpolare amplitudinea corespunzătoare factorului de corelare.
 - 8) Se ajustează amplitudinea generatorului de ton pur corespunzător frecvenței dominante conform amplitudinii obținute prin interpolare.
 - 9) Pentru fiecare element din lista valorilor se încarcă curba de caracteristică a frecvențelor
 - 10) Se scade din valoarea fiecărui element din lista valorilor produsul dintre amplitudinea rezultată în urma interpolării și valoarea de pe curba caracteristică amplitudinii la poziția aferentă frecvenței dominante.
 - 11) Pentru toate elementele din lista valorilor, care nu au fost selectate ca frecvență dominantă, se setează amplitudinea generatoarelor de ton pur la 0.
 - 12) Se mixează ieșirea generatoarelor de ton pur pentru a obține sunetul sintetizat.
7. Metoda conform revendicării I **caracterizată prin aceea că** impulsurile electrice de stimulare sunt obținute prin aplicarea unui model de simulare care replică metoda de prelucrare a semnalelor unui procesor al unui implant cohlear real.
8. Metoda conform revendicării I **caracterizată prin aceea că** impulsurile electrice generate de un implant cohlear sunt obținute prin transmiterea sunetului către un procesor de implant cohlear real care după procesarea semnalului audio generează impulsuri electrice de stimulare ce sunt înregistrate folosind un dispozitiv de interfațare specifică modelului procesorului implantului cohlear.

9. Metoda conform revendicării 8 **caracterizată prin aceea că** semnalul audio este transmis către procesorul implantului cohlear prin intermediul unui difuzor audio.
10. Metoda conform revendicării 8 **caracterizată prin aceea că** semnalul audio este transmis către procesorul implantului cohlear folosind conexiune de tip Telecoil.
11. Metoda conform revendicării 8 **caracterizată prin aceea că** semnalul audio este transmis către procesorul implantului cohlear prin intermediul unui modulul de emisie recepție FM dedicat implanturilor cohleare sau aparatelor auditive.
12. Metoda conform revendicării 8 **caracterizată prin aceea că** semnalul audio este transmis către procesorul implantului cohlear prin intermediul receptorului Bluetooth încorporat în procesorul implantului cohlear.

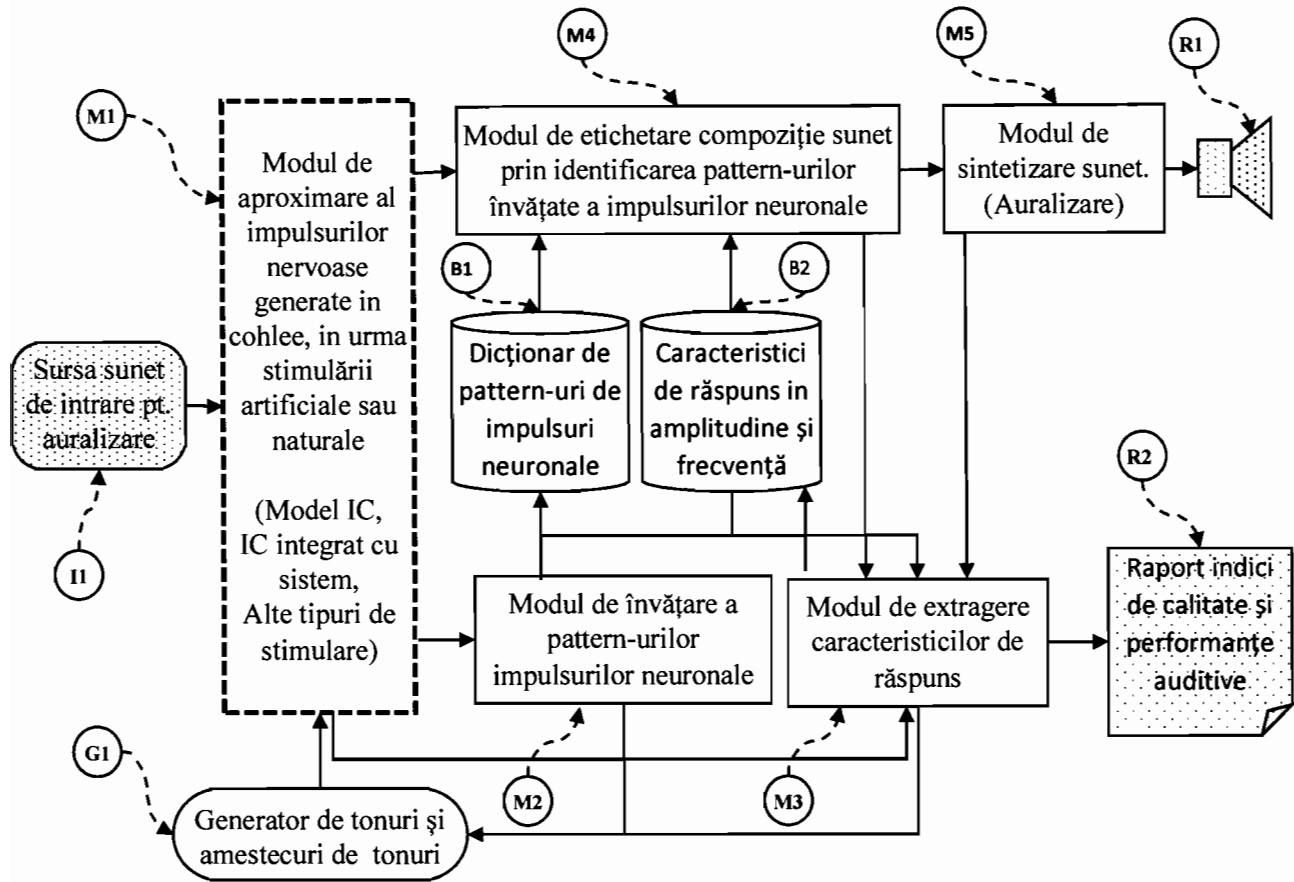


Fig. 1.

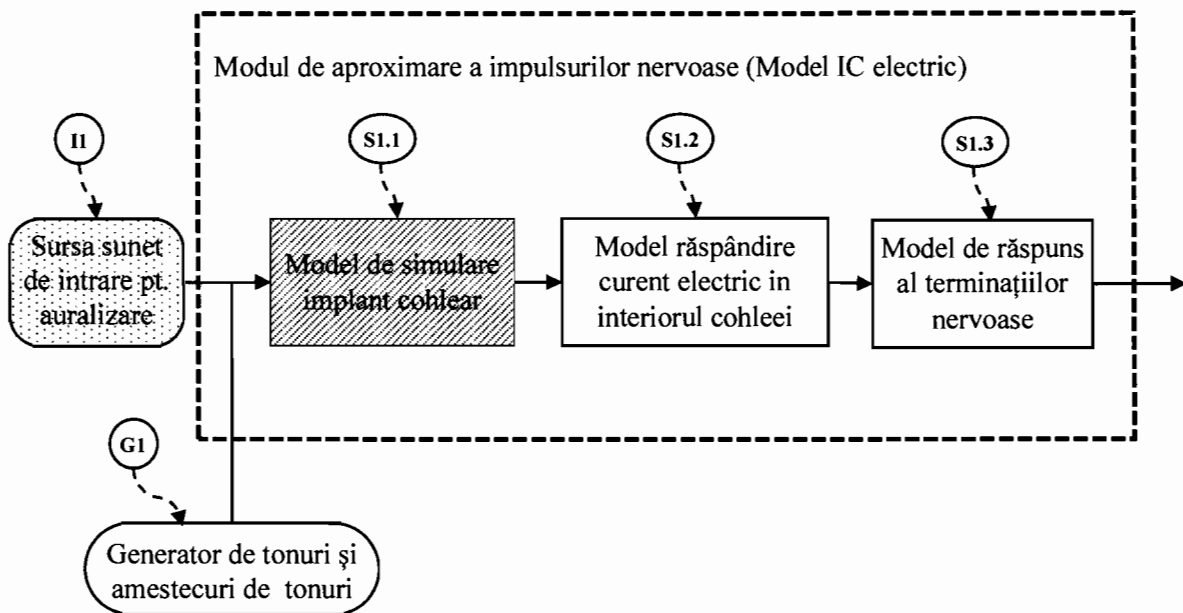


Fig. 2.

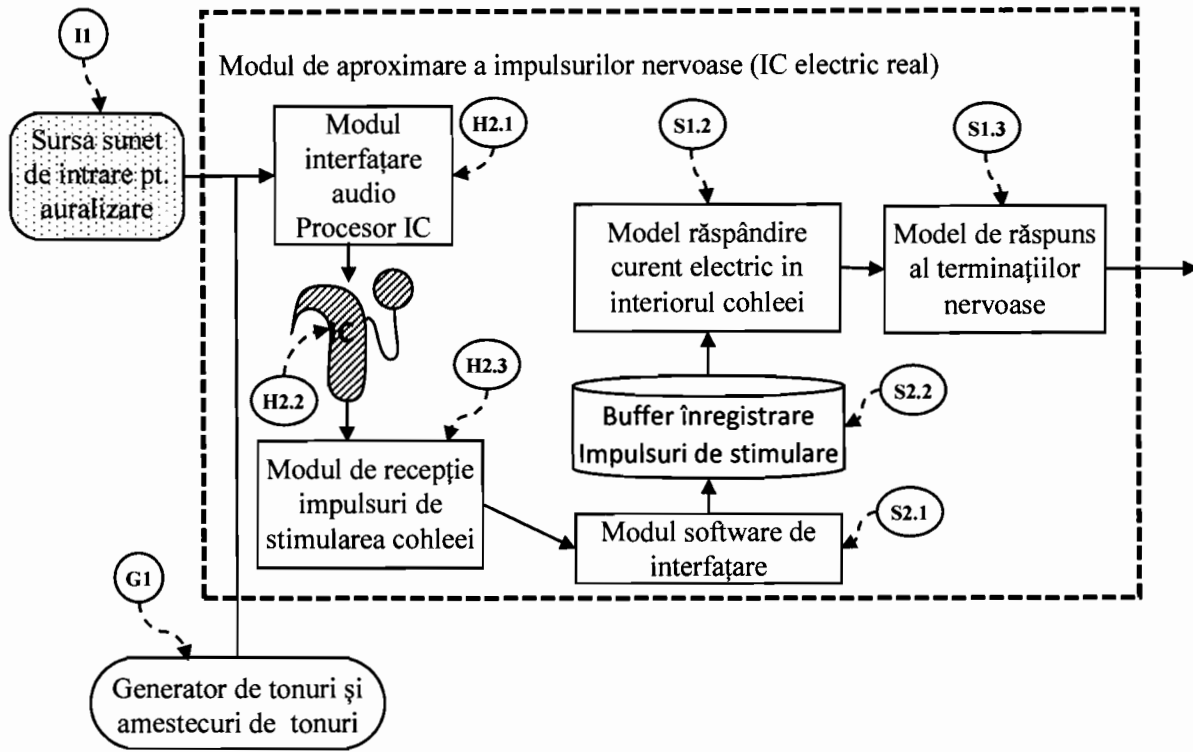


Fig. 3

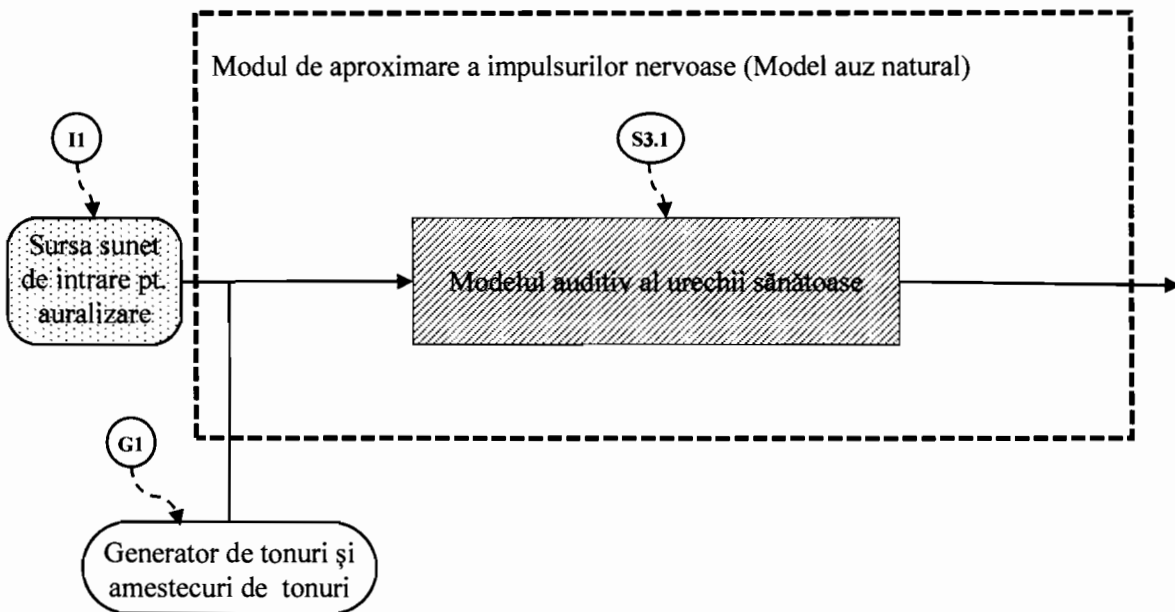


Fig.4

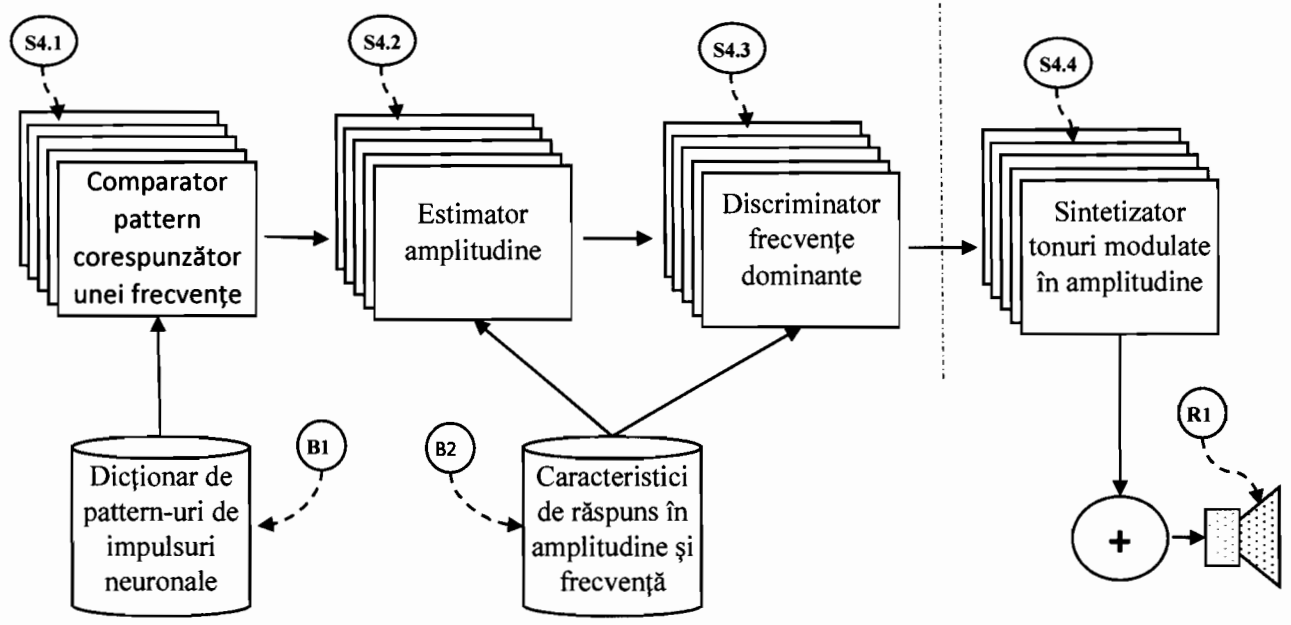


Fig.5

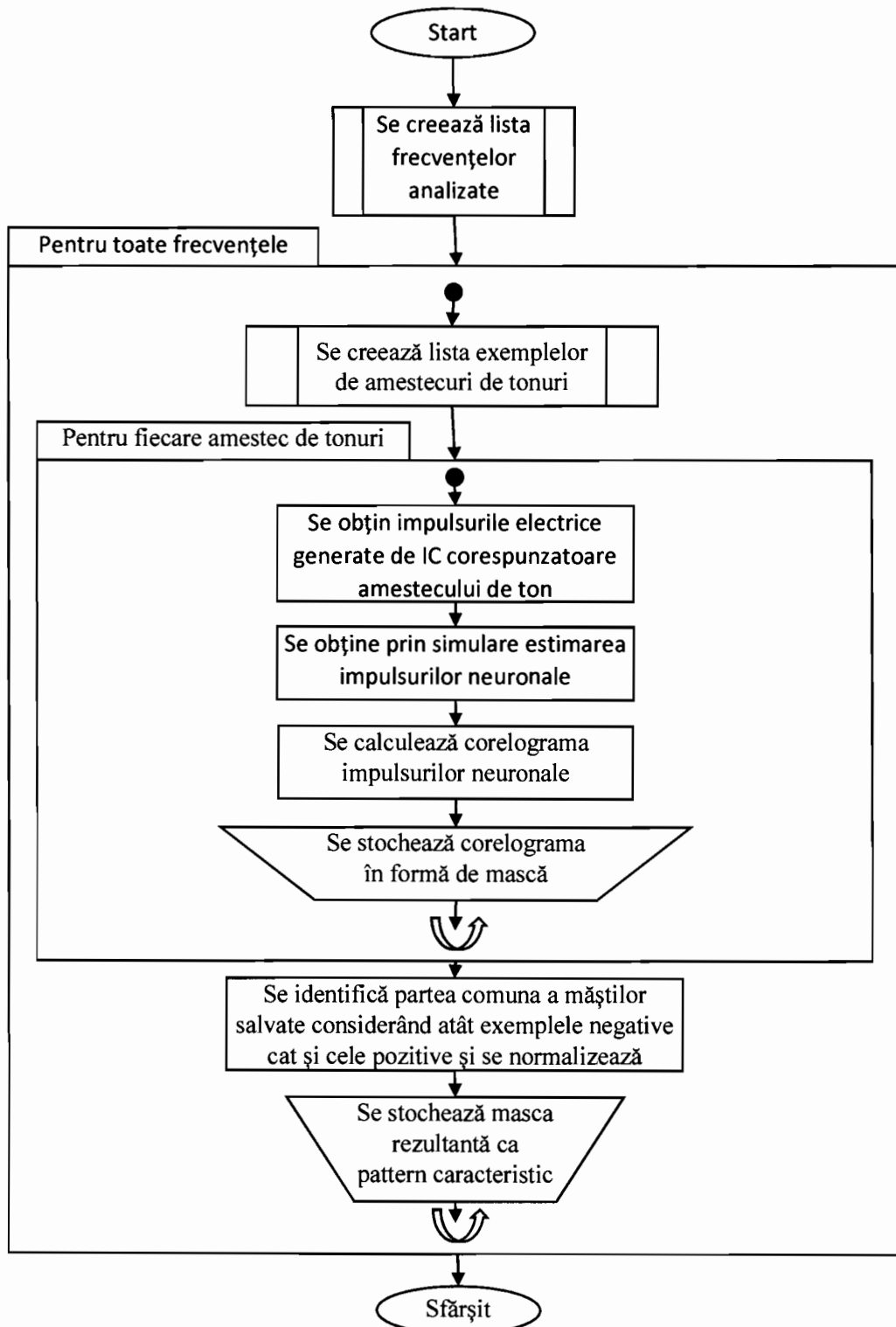


Fig.6

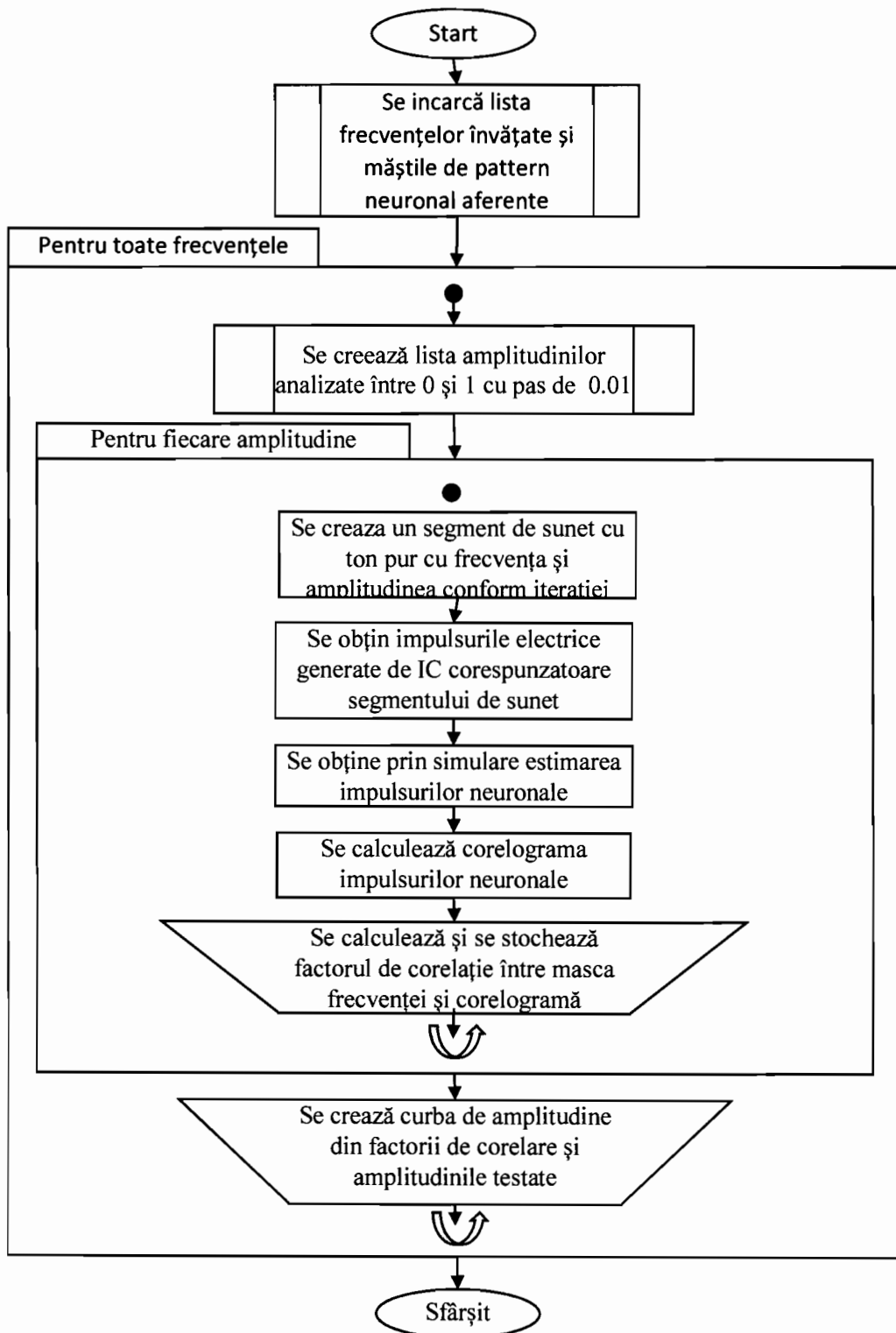


Fig.7

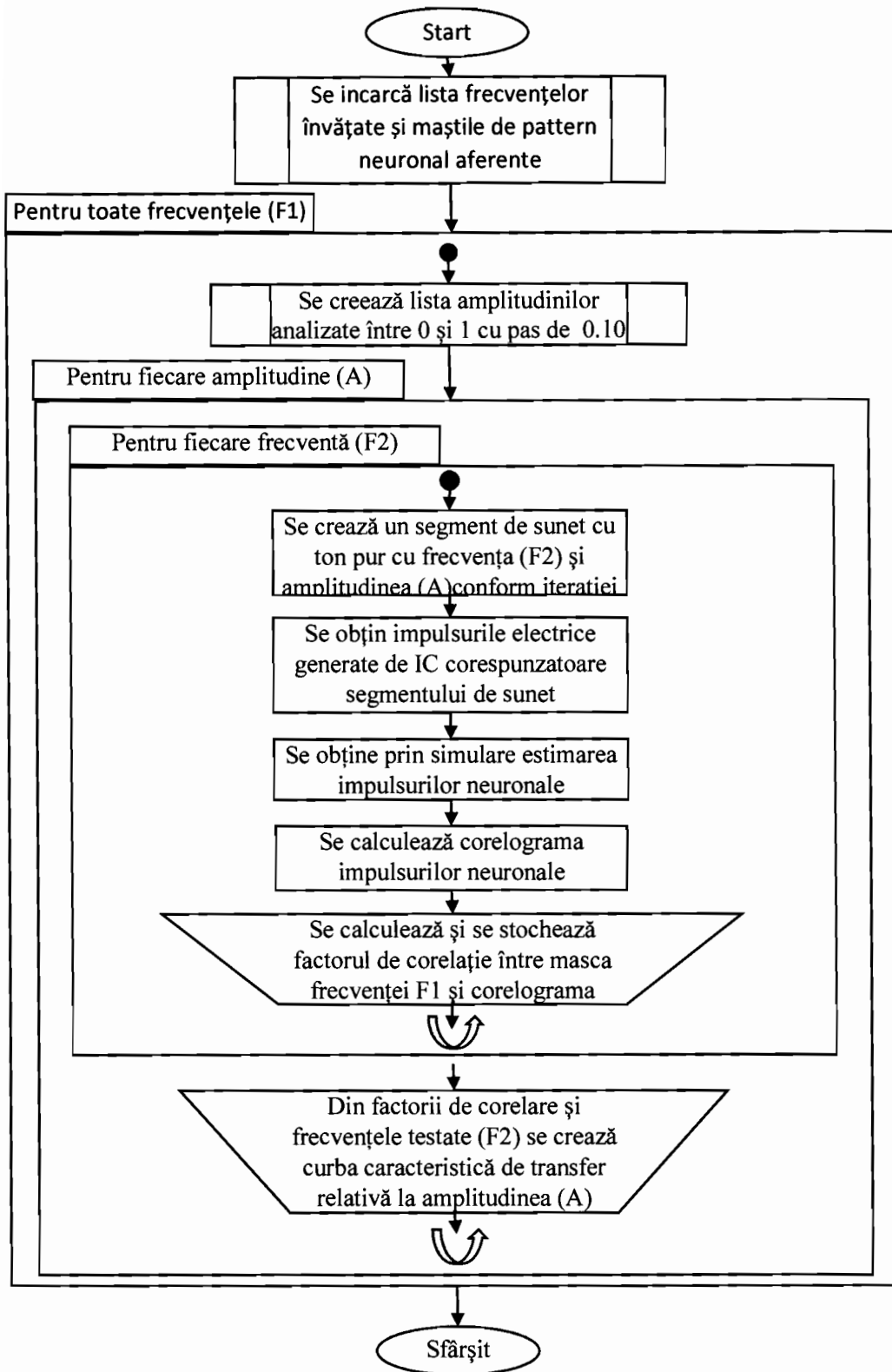


Fig.8

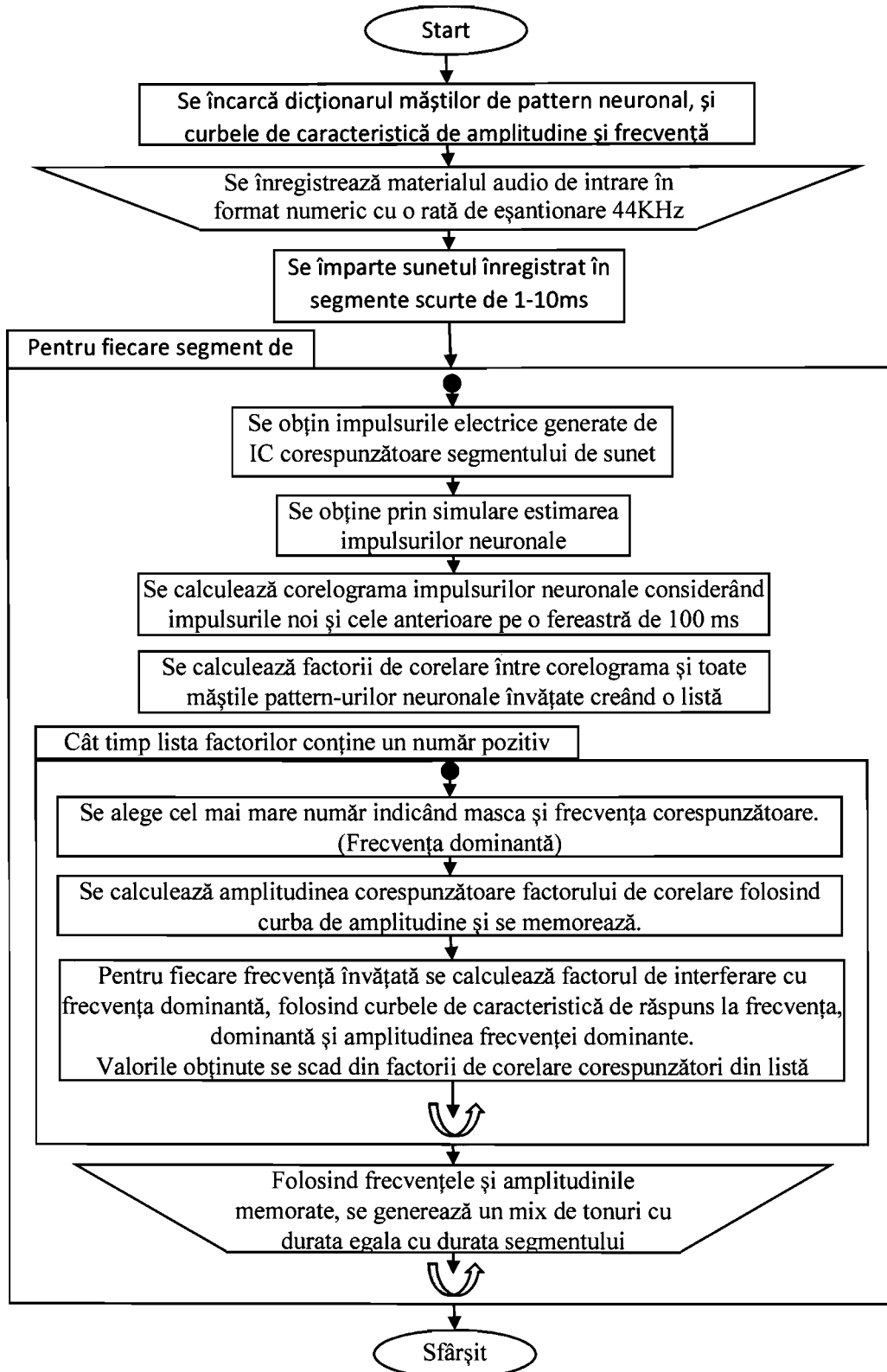


Fig.9

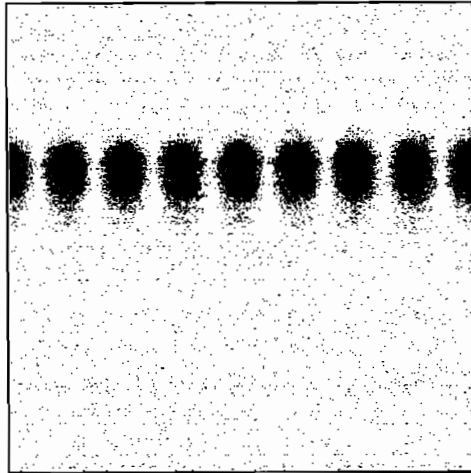


Figura 12

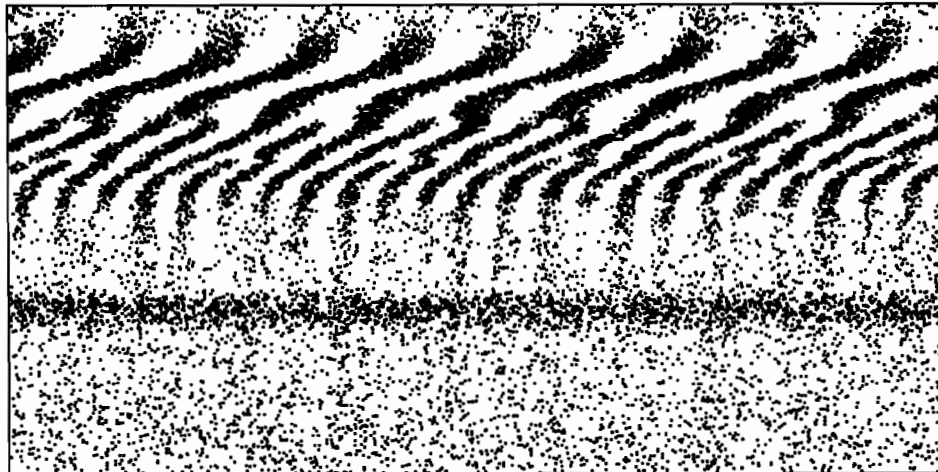


Figura 13

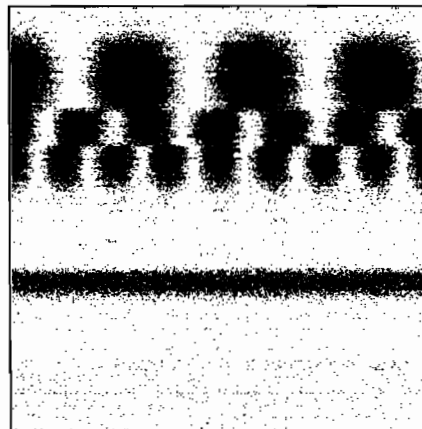


Figura 14

JF

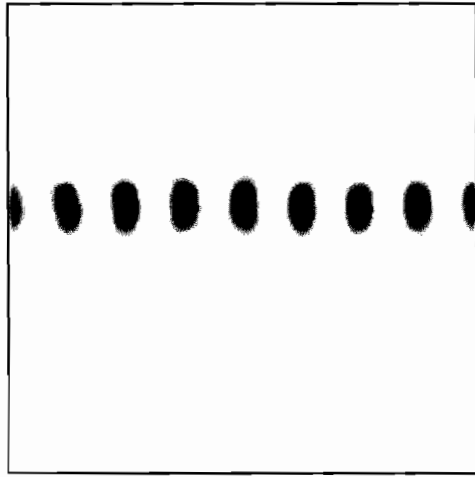


Figura 15

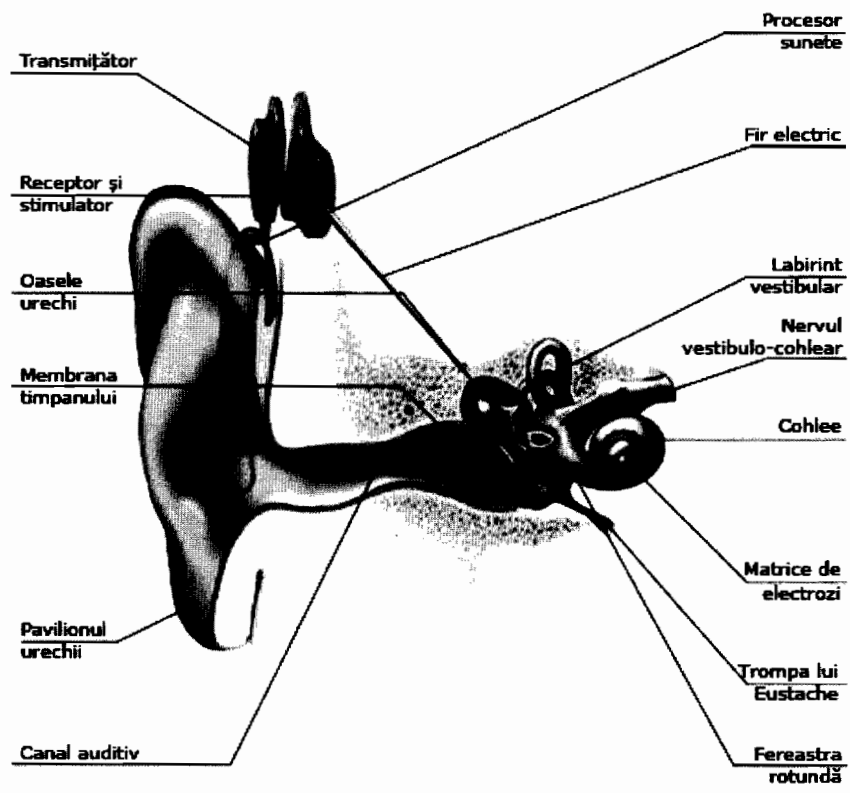


Figura 16

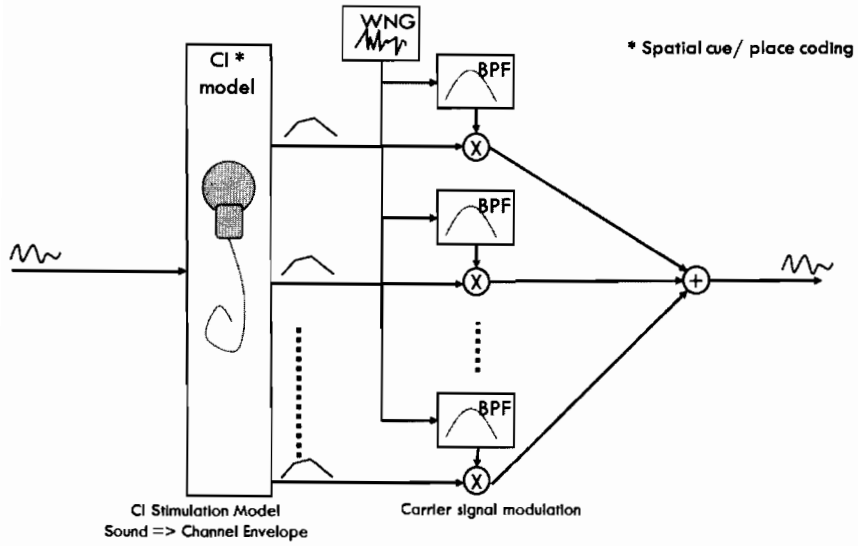


Figura 17

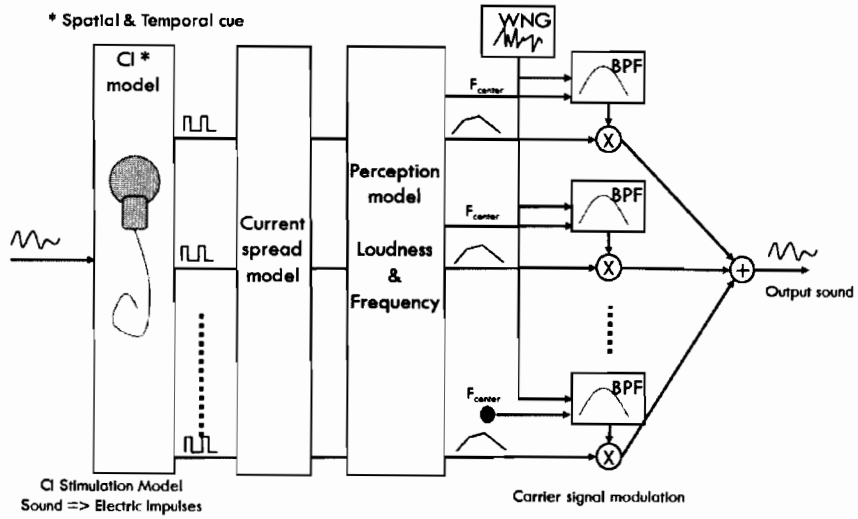


Figura 18

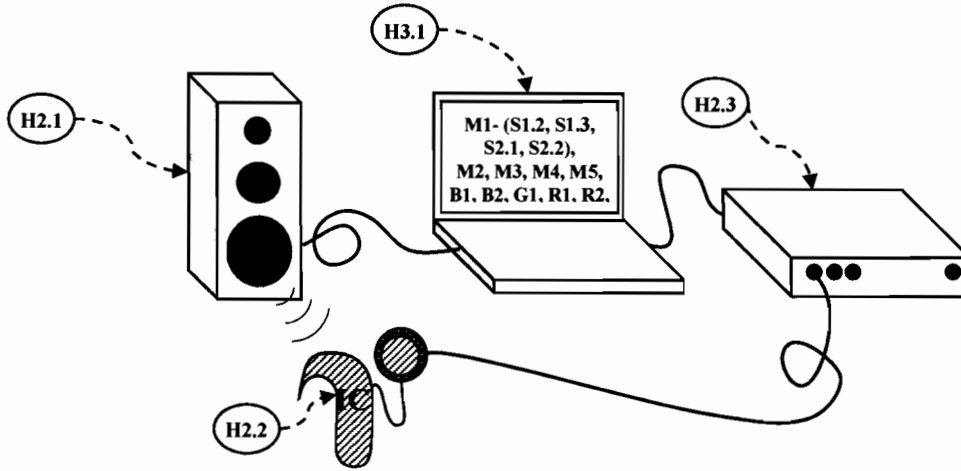


Fig. 10

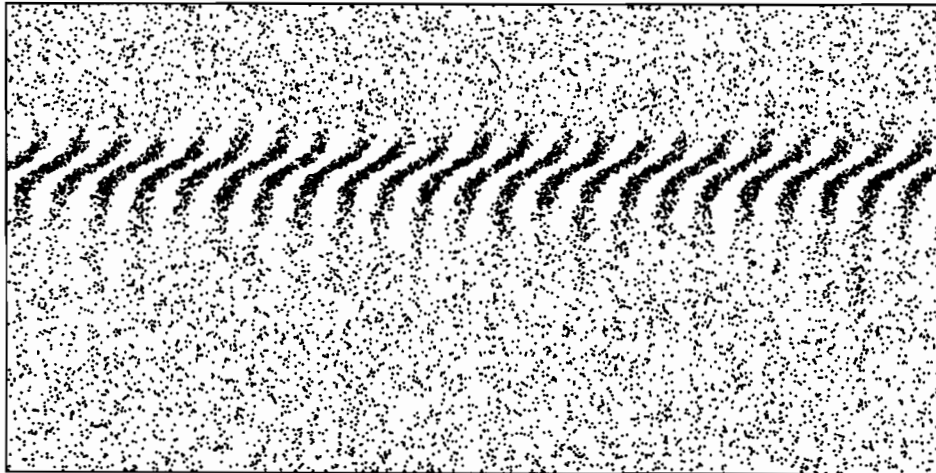


Figura 11