



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2009 00130**

(22) Data de depozit: **06.02.2009**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30.01.2015** BOPI nr. 1/2015

(41) Data publicării cererii:
30.10.2013 BOPI nr. 10/2013

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
DEZVOLTARE PENTRU TEHNOLOGII
IZOTOPICE ȘI MOLECULARE,
STR.DONATH NR.65-103, CLUJ-NAPOCA,
CJ, RO**

(72) Inventatori:
• **SURDUCAN VASILE, STR.NUCULUI
NR.8, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;**
• **SURDUCAN EMANOIL,
STR.GHEORGHE DIMA NR.10, AP.19,
CLUJ-NAPOCA, CJ, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**US 6060857; US 6150789; RO 103966;
US 4740737**

(54) **SISTEM ELECTRONIC DE COMANDĂ A UNUI MOTOR PAS
CU PAS UNIPOLAR**



RO 128962 B1

1 Invenția se referă la un sistem electronic de comandă a unui motor pas cu pas, unipolar.

2 Motorul pas cu pas este folosit într-un domeniu tehnic larg, de la aparatura de larg con-
3 sum (imprimante, faxuri, scanere, plotere), până la echipamente industriale cu control numeric
4 prin calculator (freze, mașini de găurit în coordonate, strunguri, mașini de tăiat și debitat cu laser
5 sau plasmă, roboți).

6 Soluțiile actuale de comandă a motoarelor pas cu pas se bazează fie pe un sistem cu
7 microprocesor, ce stochează, într-un tabel aflat în memoria sistemului, valoarea stabilită, pe
8 bază experimentală, a cuplului necesar la arborele motorului, în funcție de aplicație, și comandă
9 apoi motorul, pe baza semnalelor primite de la senzori, într-o buclă închisă (**US 7345447 B2**),
10 fie calculează cuplul în timpul funcționării motorului, pe baza semnalelor furnizate din bucla
11 de reacție, printr-un convertor analogic-digital (**US 6903531 B2**), fie măsoară tensiunea de
12 alimentare și calculează curentul necesar înfășurării (**US 6441579 B1**). Alte soluții fie comandă
13 acceleerația motorului pe baza unui tabel de accelerație stocat în memorie (**US 7327116 B2**),
14 fie realizează comanda motorului în funcție de modul în care sarcina încarcă arborele motorului
15 (**US 7301300 B2**), fie utilizează aceeași înfășurare de excitație, ca traductor de măsură al
16 câmpului electromagnetic, în perioada când aceasta nu este alimentată, pentru a determina
17 exact poziția motorului (**US 7170254 B2**). Controlul cuplului (al puterii) la arborele motorului se
18 poate face prin modificarea factorului de umplere a semnalului de comandă (Puls Width
19 Modulation), semnal care poate fi modulat cu o sinusoidă, citit dintr-un tabel de memorie, nece-
20 sară comenzii în micropași, pentru obținerea unei rezoluții mai ridicate decât cea pentru care
21 a fost realizat motorul (**US 6903531 B2**). O metodă de comandă a motorului pas cu pas, ce
22 reduce zgomotul creat de motor (**US 6208107 B1**), se obține prin utilizarea unui modulator de
23 timp comandat dintr-un generator de rampă de tensiune. În situația în care se cere controlul pre-
24 cis al unei mișcări unghiulare a axului motorului, una dintre soluțiile adoptate (**US 6850027 B2**)
25 constă în comanda cu micropași și controlul în buclă închisă de reacție, utilizând un encoder,
26 pentru generarea reacției necesare sistemului de comandă. În situația în care sarcina la axul
27 motorului pas cu pas este prea mare, apare fenomenul de pierdere de pași, deși semnalele
28 (curent, tensiune) aplicate bobinelor motorului sunt corecte. Pentru a împiedica apariția acestei
29 erori, se poate monitoriza în permanență curentul absorbit de bobine, care apoi se compară cu
30 un profil de funcționare corectă, stocat în memoria sistemului, ce conține variația limită a
31 curentului pentru un tip de motor (**US 6815923 B2**). O altă posibilă soluție este modificarea ten-
32 sionii de alimentare a motorului, pentru a obține puterea variabilă necesară la arbore, pe baza
33 unui amplificator de eroare, ce compară o tensiune de referință cu o tensiune proporțională cu
34 curentul absorbit de înfășurarea motorului (**US 6150789**). Printre soluțiile simple, brevetată, se
35 numără și aceea în care semnalul dreptunghiular, ce comandă motorul, este mixat cu un
36 semnal PWM, apoi semnalul rezultat (având formă trapezoidală) este aplicat bobinelor moto-
37 rului, în vederea micșorării zgomotului și a creșterii preciziei de acționare (**US 6060857**). În
38 situația în care sarcina la axul motorului este alternant variabilă, este necesară existența reacției
39 negative, pentru controlul curentului prin bobine. Variația rapidă a curentului necesită o inte-
40 grare, înainte de a fi convertită în mărime digitală de control, altfel sistemul poate intra în osci-
41 lație (**US 5838132**).

42 Problema tehnică, pe care o rezolvă invenția, constă în reglarea digitală a puterii injec-
43 tate unui motor pas cu pas, unipolar.

44 Sistemul electronic de comandă a unui motor pas cu pas, unipolar, conform invenției,
45 înlătură dezavantajele de mai sus, prin aceea că este alcătuit din următoarele componente:

46 - un generator de curent constant, programabil, care alimentează două înfășurări
47 comune ale motorului pas cu pas, unipolar, sub curent constant, de la o sursă de tensiune
redresată și filtrată de la o rețea electrică de 220 V/50 Hz sau de 120 V/60 Hz;

RO 128962 B1

- un modul de putere, ce conține și logica aferentă generării semnalelor de comandă cu factor de umplere variabil, ce comandă înfășurările de comandă ale motorului și care modul de putere primește o comandă analogică prin intermediul unui convertor digital analogic și o comandă digitală, pe patru linii de comandă, de la un microcontroler dotat cu convertor analogic digital, inclus;
 - o conexiune conectată la microcontroler, utilizată pentru măsurarea căderii de tensiune proporționale cu valoarea curentului absorbit de motor prin intermediul unor rezistențe;
 - o interfață RS 485, conectată la un convertor RS 485 sau RS 232, o interfață USB, o interfață CNC, un potențiomtru de control manual, o tastatură și un afișaj LCD, toate utilizate pentru introducerea comenzilor și interfațate cu microcontrolerul, și
 - un stabilizator în comutație, utilizat pentru alimentarea microcontrolerului, a convertorului și a afișajului LCD.
- Avantajele invenției sunt următoarele:
- se realizează comanda în putere prin comutarea cu modulație de lărgime de puls și compensarea cuplului în funcție de puterea comandată și/sau turație prin modificarea curentului programabil ce parcurge înfășurările comune motorului;
 - se utilizează, ca impulsuri de comandă, semnale dreptunghiulare ce comandă un motor pas cu pas, unipolar, aflat într-un circuit de alimentare cu impedanță mare de ieșire (generator de curent constant, programabil digital), perfect indicat obținerii unor turații mari;
 - motorul pas cu pas, unipolar, se alimentează sub curent constant, programabil, iar înfășurările motorului pas cu pas, unipolar, sunt comutate cu frecvența și puterea dorite;
 - se realizează o monitorizare exactă a curentului prin intermediul unui microcontroler, dar aceasta nu este neapărat necesară, deoarece curentul este limitat, la o valoare optimă, de către generatorul de curent programabil ce alimentează motorul;
 - se realizează compensarea căderii de cuplu la turații mari, în limita constructivă a motorului pas cu pas.
- Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...6, care reprezintă:
- fig. 1, schema bloc a sistemului electronic de comandă a unui motor pas cu pas, unipolar, conform invenției;
 - fig. 2 prezintă formele de undă în modul half-step, existente pe liniile 17 de comandă din fig. 1, respectiv, formele de undă existente pe liniile 9 de comandă din fig. 1, pentru o putere de comandă de 1% din puterea nominală a motorului;
 - fig. 3 prezintă formele de undă în modul half-step, existente pe liniile 17 de comandă din fig. 1, respectiv, formele de undă existente pe liniile 9 de comandă din fig. 1, pentru o putere de comandă de 25% din puterea nominală a motorului;
 - fig. 4 prezintă formele de undă în modul half-step, existente pe liniile 17 de comandă din fig. 1, respectiv, formele de undă existente pe liniile 9 de comandă din fig. 1, pentru o putere de comandă de 75% din puterea nominală a motorului;
 - fig. 5, detaliu al modulului 2 de logică și comandă din fig. 1;
 - fig. 6 prezintă graficul 6a teoretic al dependenței amplitudinii relative a cuplului motorului pas cu pas, unipolar, de viteza relativă de rotație a motorului, pentru o comandă în putere a motorului pas cu pas, unipolar, mai mare de 10% din puterea nominală, respectiv, graficul 6b al dependenței cuplului motorului pas cu pas, unipolar, de viteza relativă de rotație a motorului, pentru o comandă în putere a motorului sub 10% din puterea nominală care necesită o compensare în controlul curentului programat, conform curbei 6c.

RO 128962 B1

1 Sistemul electronic de comandă a unui motor pas cu pas, unipolar, numit generic driver,
conform invenției, aduce, ca element de noutate, posibilitatea reglajului digital al puterii injectate
3 motorului pas cu pas, unipolar, astfel încât, de la aceeași sursă de tensiune, se pot alimenta
motoare pas cu pas cu tensiuni diferite, prin intermediul acestui driver, raportul dintre tensiunea
5 de alimentare a driverului și tensiunea motorului putând fi modificat până la un raport de 5:1.

Din punct de vedere constructiv, driverul este un ansamblu de sine stătător, la care se
7 conectează tensiunea de alimentare a motorului, înfășurările motorului pas cu pas și semnalul
conținând mărimea de comandă. Există două mari clase de motoare pas cu pas, definite după
9 modul în care curentul, care parcurge bobinele motorului, își schimbă sensul sau nu: bipolare
și unipolare (Motor Pas cu Pas, Unipolar). Prezenta invenție se referă la controlul unui motor
11 pas cu pas, unipolar (MPPU). Principalele caracteristici tehnice ale unui motor pas cu pas sunt:
tensiunea și curentul de alimentare, turația (viteza de rotație) maximă, puterea dezvoltată la axul
13 motorului și rezoluția de acționare a motorului (constând în unghiul de rotație al rotorului la
fiecare pas sau numărul de pași în care rotorul realizează o rotație completă de 360 de grade).

15 Din punct de vedere constructiv, sistemul electronic de comandă este modular, astfel
încât anumite interfețe spre semnalele de comandă pot fi adăugate sau scoase, după cum
17 aplicația o cere.

Sistemul electronic de comandă, prezentat în această invenție, poate realiza comanda
19 oricărui motor pas cu pas, unipolar, indiferent de tensiunea de alimentare, numărul de pași și
puterea acestuia, în modurile full-step și half-step, fie pe baza unor informații furnizate
21 sistemului electronic de către operatorul uman, fie pe baza unor măsurători pe care sistemul
electronic le realizează în funcționare. Sistemul electronic asigură comanda motorului pas cu
23 pas (turație variabilă, cuplu variabil la axul motorului și sens de învârtire), cu ajutorul unor
semnale de intrare analogice și/sau digitale. Semnalele analogice pot fi: o tensiune unificată de
25 0...10 V sau orice altă tensiune, curent unificat de 2...10 mA sau de 4...20 mA sau orice alt
curent, variație rezistivă a unui potențiomtru de comandă sau orice altă mărime analogică,
27 convertibilă în semnal electric. Semnalele digitale pot fi generate de acționarea unei tastaturi
(direcție, viteză, timp de acționare etc.), corelată cu informația afișată pe un LCD, de un string
29 ASCII, trimis de către un calculator pe interfața serială RS 232, USB 2.0/USB 1.1 sau RS 485,
la care sistemul electric se poate conecta, sau de o comandă standardizată pe trei biți,
31 conținând direcția, numărul de pași de executat și un semnal de validare (standardizare utilizată
la driverele pentru comanda mașinilor CNC). Sistemul electronic de comandă poate realiza
33 controlul motorului atât în buclă deschisă (fără feedback din circuitul comandat sau din sistemul
mecanic, acționat de motor), cât și în buclă închisă (prin măsurarea curentului din circuitul de
35 putere al motorului).

Prin intermediul invenției de față, este revendicată soluția de realizare a sistemului
37 electronic de comandă, realizat cu microcontroler, ce permite controlul precis al puterii la axul
motorului, pentru o gamă largă de turații, faptul că sistemul electronic permite comanda precisă
39 a motorului (fără pierdere de pași) la turații mai mari decât turația nominală, cu compensarea
pierderii de cuplu, în funcție de turație, faptul că sistemul electronic poate alimenta orice motor
41 pas cu pas, unipolar, indiferent de tensiunea de alimentare a acestuia, fără a modifica tensiunea
de alimentare a sistemului, faptul că sistemul electronic poate fi comandat cu semnale
43 analogice sau semnale digitale, faptul că semnalele analogice de control ale acestui sistem
electronic sunt mărimi electrice de tip tensiune, curent sau rezistență, faptul că semnalele
45 digitale ale acestui sistem pot fi preluate prin interfețe externe și faptul că sistemul prezentat
este modular, iar modulele ce interfațează semnalele analogice sau digitale pot fi configurate
47 în funcție de aplicație (adică sistemul funcționează identic și în lipsa totală a unor module de
interfațare care nu sunt utilizate în aplicația respectivă).

RO 128962 B1

Sistemul electronic de comandă, conform invenției, prezentat în detaliu în fig. 1, are ca scop comanda unui motor 3 pas cu pas, unipolar, de putere variabilă, menținând cuplul maxim posibil la axul motorului, pentru puteri mici de comandă, respectiv, permițând atingerea unei turații maxime a rotorului, fără pierdere de pași.

Cele două înfășurări 3a și 3b comune, ale motorului 3 pas cu pas, unipolar, sunt alimentate sub curent constant, prin intermediul unui generator 4 de curent constant, de la o sursă 6 de tensiune redresată și filtrată, care se alimentează din rețeaua 12 electrică de 220 V/50 Hz sau de 120 V/60 Hz. Înfășurările 9 de comandă ale motorului pas cu pas sunt comandate de către un modul 2 de putere, ce conține și logica aferentă generării semnalelor de comandă cu factor de umplere variabil, modul 2 ce este prezentat în detaliu în fig. 5. Modulul de putere primește o comandă analogică, prin intermediul convertorului 16 digital analogic, și o comandă digitală pe patru linii 17 de comandă, de la același microcontroler 1. Microcontrolerul 1 este dotat cu convertor analogic digital, inclus și poate măsura, prin intermediul conexiunii 11, căderea de tensiune proporțională cu valoarea curentului absorbit, de motorul 3, pe rezistențele 10a, respectiv, 10b. Microcontrolerul 1 este interfațat cu o tastatură și cu un afișaj 19 LCD și cu un convertor 7 RS 485 sau RS 232. Alimentarea microcontrolerului 1, a convertorului 16 și a afișajului 19 se realizează prin intermediul unui stabilizator 5 în comutație. Microcontrolerul 1 interpretează comenzile care vin fie prin interfața 13 RS 485, fie prin interfața 14 USB, fie prin interfața 15 CNC, fie prin potențiometrul 8 de control manual sau prin tastatura și afișajul 19 LCD.

Formele de undă standardizate, pentru comanda motorului 3 pas cu pas, unipolar, în modul half-step, sunt prezentate în fig. 2, 3 și 4, succesiunea acestora fiind dată de semnalele 17a, 17b, 17c și 17d.

Pentru comanda motorului 3 pas cu pas, unipolar, în modul full-step (formele de undă pentru modul full-step nu sunt prezentate, pentru că nu sunt relevante), se modifică doar modul de generare a semnalelor 17 de comandă din fig. 1. Modificarea frecvenței de succesiune a impulsurilor 17a, 17b, 17c și 17d duce la modificarea turației rotorului. Invenția permite obținerea unor semnale 9a, 9b, 9c și 9d de comandă cu modulație de lărgime de puls (PWM), așa cum este descris în fig. 2, 3 și 4, prin intermediul modulului 2 de logică și putere. Acest modul este prezentat detaliat în fig. 5 și constă din două subansambluri X și Y, identice, fiecare având două tranzistoare S1 și S2 de putere, ce lucrează în regim de comutație, un circuit R3 și D1 de protecție, un circuit U1 comparator și elemente R1, R2 și C1, care determină numărul de impulsuri 9a, 9b, 9c și 9d modulate, ce apar pe durata fiecărui semnal 17a, 17b, 17c și 17d de comandă, factorul de umplere al acestora fiind controlat prin intermediul tensiunii 16a de control, ce provine dintr-un convertor 16 digital analogic, reprezentat în fig. 1.

Pentru simplificarea înțelegerii fenomenului, în fig. 2, 3 și 4, sunt prezentate doar patru astfel de impulsuri, reprezentând: comanda motorului pas cu pas cu putere de 1% în fig. 2, comanda motorului pas cu pas cu putere de 25% în fig. 3 și, respectiv, comanda motorului pas cu pas cu putere de 75% în fig. 4. Amplitudinea acestor impulsuri, măsurată pe fiecare dintre cele patru bobine ale motorului, este variabilă și dependentă de valoarea curentului programabil, stabilit la ieșirile generatorului 4 de curent constant din fig. 1, curent injectat în înfășurările 4a și 4b comune ale motorului 3 pas cu pas, unipolar. Acest curent este programat astfel încât să compenseze scăderea neliniară de cuplu la puteri de comandă mici sau turații de rotație mari ale motorului pas cu pas, unipolar, așa cum este indicat în graficul din fig. 6. Starea de blocare mecanică a rotorului motorului pas cu pas sau încărcarea mecanică excesivă la axul motorului este sesizată prin măsurarea căderii de tensiune, pe rezistențele 10a și 10b de măsură, de către convertorul analog-digital intern microcontrolerului 1 din fig. 1. O cădere de tensiune mai mare, pe rezistența 10a, respectiv, 10b, decât cea prescrisă prin program, indică o situație de

RO 128962 B1

1 funcționare eronată a sistemului electronic de comandă și este semnalizată de către blocul **19**
de afișare, având loc micșorarea curentului prin motor, până la întreruperea acestuia, prin bucla
3 de reglaj software, implementată în microcontrolerul **1**, ce primește informația prin circuitul **11**
și acționează prin circuitele **17** din fig. 1. Modulul **2** de logică și putere, prezentat în fig. 5,
5 dublează bucla software, realizată de microcontrolerul **1**, prin micșorarea la minimum a duratei
impulsurilor **9a**, **9b**, **9c** și **9d** de comandă, în situația de defect sau motor blocat, reducând astfel
7 puterea de comandă a motorului pas cu pas, unipolar și protejând astfel bobinele motorului.

Sistemul electronic de comandă, conform invenției, este realizabil modular, blocurile **7**
9 de interfațare la RS 232 sau RS 485, interfața **14** USB, interfața **15** CNC, interfața **8** analogică
sau tastatura și afișajul **19** putând fi adăugate sau scoase după cum aplicația o cere.

11 Noutatea invenției de față constă în posibilitatea corelării între factorul de umplere al
modulației cu lărgime de puls (fig. 2, formele de undă **1-9a**, **1-9b**, **1-9c** și **1-9d**), aplicat bobinei
13 de comandă și valoarea curentului programat prin generatorul **4** de curent din fig. 1, aplicat înfă-
șurărilor comune ale motorului pas cu pas, unipolar, astfel încât sistemul electronic de comandă
15 obținut permite comanda oricărui motor pas cu pas, unipolar, indiferent de tensiunea de
alimentare a acestuia.

17 Aplicațiile practice, realizate cu acest sistem electronic de comandă, ne indică raportul
optim între tensiunea de alimentare a sistemului și tensiunea de alimentare a motorului, de
19 maximum 5:1. Curba **6a** teoretică din fig. 6 reprezintă variația relativă a cuplului la axul moto-
rului pas cu pas, unipolar (reprezentat pe axa Oy, în domeniul 0...100%), în funcție de variația
21 relativă a vitezei de rotație, raportată la viteza nominală (reprezentată pe axa Oy, în domeniul
0...150%, unde 100% reprezintă viteza nominală), pentru situația unei comenzi electrice în
23 putere mai mare de 10% (cazul prezentat în fig. 3 și 4, prin semnalele electrice **9a**, **9b**, **9c** și
9d). Dacă comanda electrică a puterii motorului scade sub 10% (situație prezentată în fig. 2,
25 prin semnalele electrice **1-9a**, **1-9b**, **1-9c** și **1-9d**), apare o cădere de cuplu evidențiată prin
curba **6b** din fig. 6, care necesită o compensare a curentului prin circuitele **4a** și **4b** din fig. 1,
27 conform curbei **6c** de compensare din fig. 6. Această compensare poate avea loc și pentru o
comandă electrică a puterii motorului mai mare de 10%, în situația în care se dorește creșterea
29 vitezei maxime a motorului peste viteza nominală, situație ce poate apărea în cazul accelerării
în vederea scurtării timpului de deplasare a ansamblului comandat de motorul pas cu pas,
31 unipolar.

RO 128962 B1

Revendicări

1. Sistem electronic de comandă a unui motor (3) pas cu pas, unipolar, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit din următoarele componente: 3
- un generator (4) de curent constant, programabil, care alimentează două înfășurări (3a și 3b) comune ale motorului (3) pas cu pas, unipolar, sub curent constant, de la o sursă (6) de tensiune redresată și filtrată de la o rețea (12) electrică de 220 V/50 Hz sau de 120 V/60 Hz; 5
 - un modul (2) de putere, ce conține și logica aferentă generării semnalelor de comandă cu factor de umplere variabil, ce comandă înfășurările (9) de comandă ale motorului (3) și care modul (2) de putere primește o comandă analogică, prin intermediul unui convertor (16) digital analogic, și o comandă digitală, pe patru linii (17) de comandă, de la un microcontroler (1) dotat cu convertor analogic digital, inclus; 9
 - o conexiune (11) conectată la microcontroler (1), utilizată pentru măsurarea căderii de tensiune proporționale cu valoarea curentului absorbit de motor (3), prin intermediul unor rezistențe (10a și 10b); 11
 - o interfață (13) RS 485, conectată la un convertor (7) RS 485 sau RS 232, o interfață (14) USB, o interfață (15) CNC, un potențiomtru (8) de control manual, o tastatură și un afișaj (19) LCD, toate utilizate pentru introducerea comenzilor și interfațate cu microcontrolerul (1), și 13
 - un stabilizator (5) în comutație, utilizat pentru alimentarea microcontrolerului (1), a convertorului (16) și a afișajului (19) LCD. 15
2. Sistem conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** motorul (3) pas cu pas este interschimbabil, în limita unui raport între tensiunea de alimentare furnizată de blocul (6) de alimentare și tensiunea nominală a motorului, de maximum 5:1. 17
3. Sistem conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că** realizează controlul turației și al puterii motorului prin tehnica de modulație a pulsurilor în lățime prin intermediul generatorului (4) de curent constant, programat în funcție de regimul de turație al motorului (3) pas cu pas și prin convertorul (16) analog-digital, programat în funcție de puterea necesară la axul motorului (3) pas cu pas. 19
4. Sistem conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** permite compensarea neliniarității cuplului la axul motorului (3) pas cu pas în funcție de turația motorului și sarcina în limitele de 0...150% din turația nominală a motorului, 100% reprezentând turația nominală a motorului. 21

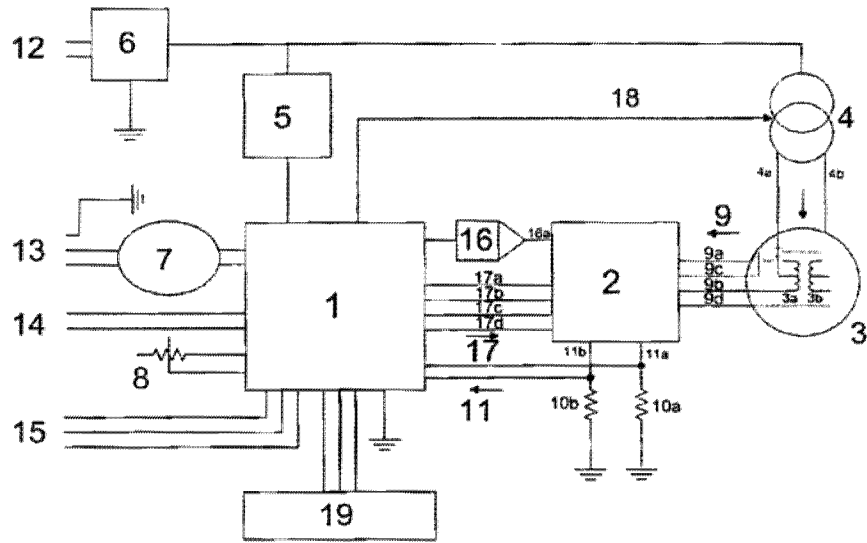


Fig. 1

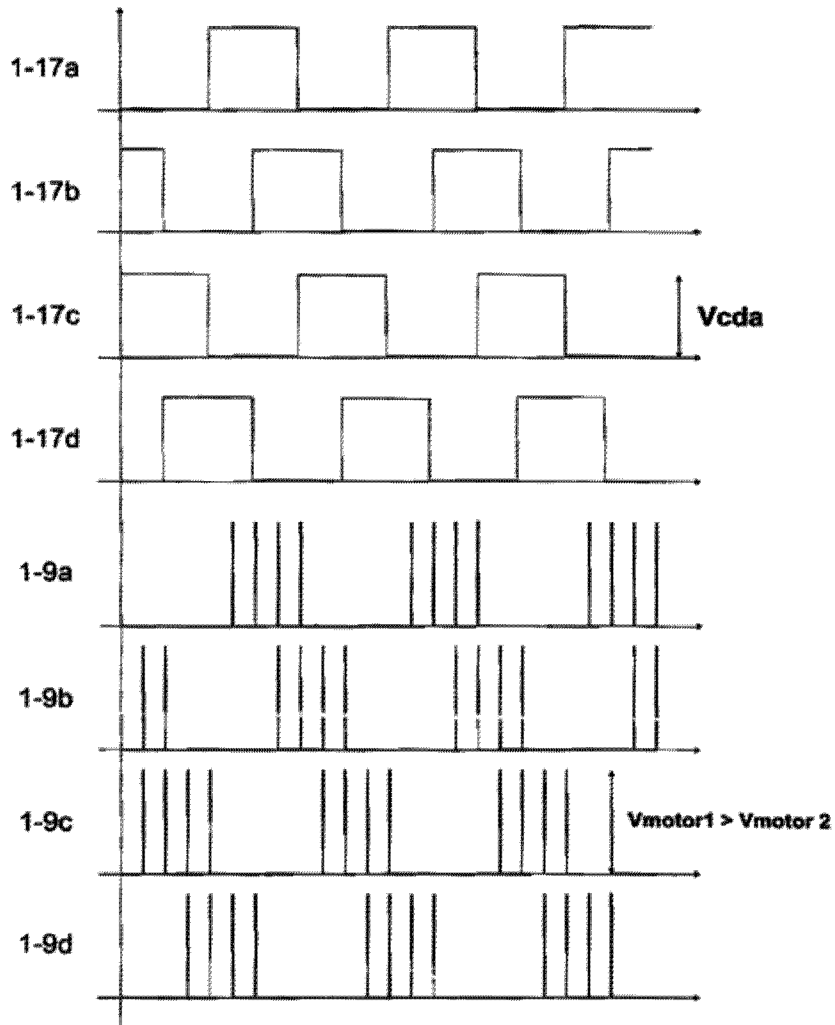


Fig. 2

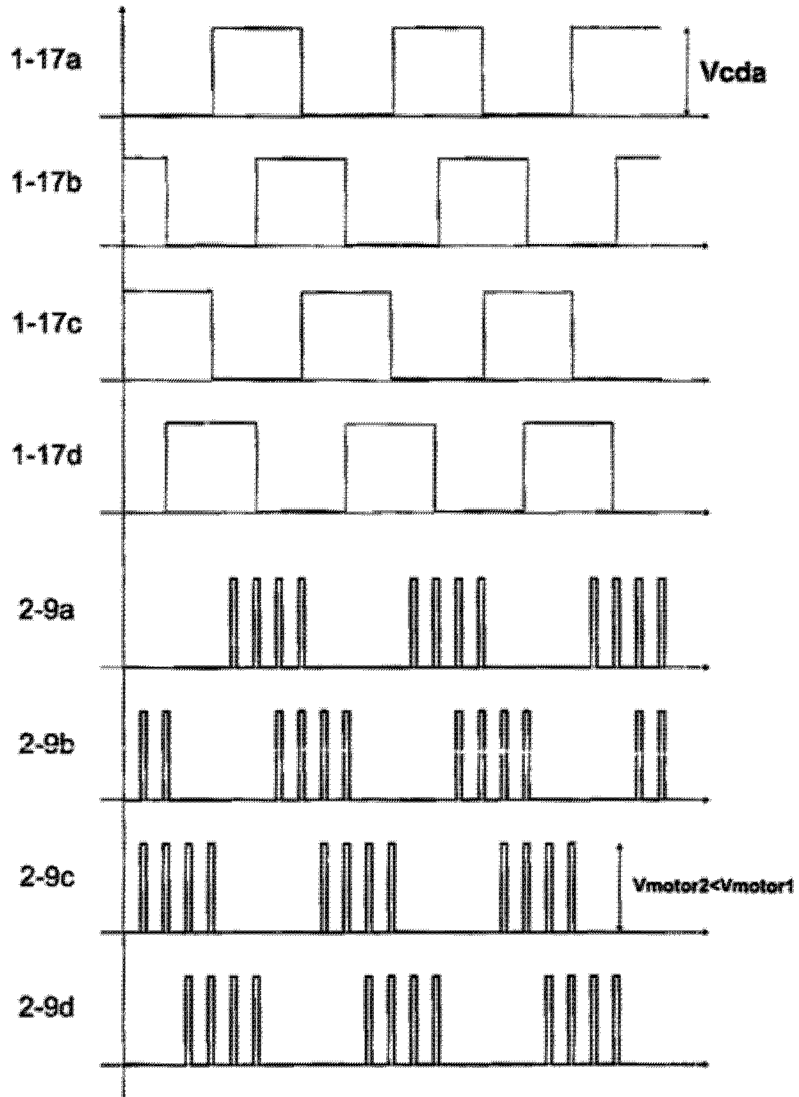


Fig. 3

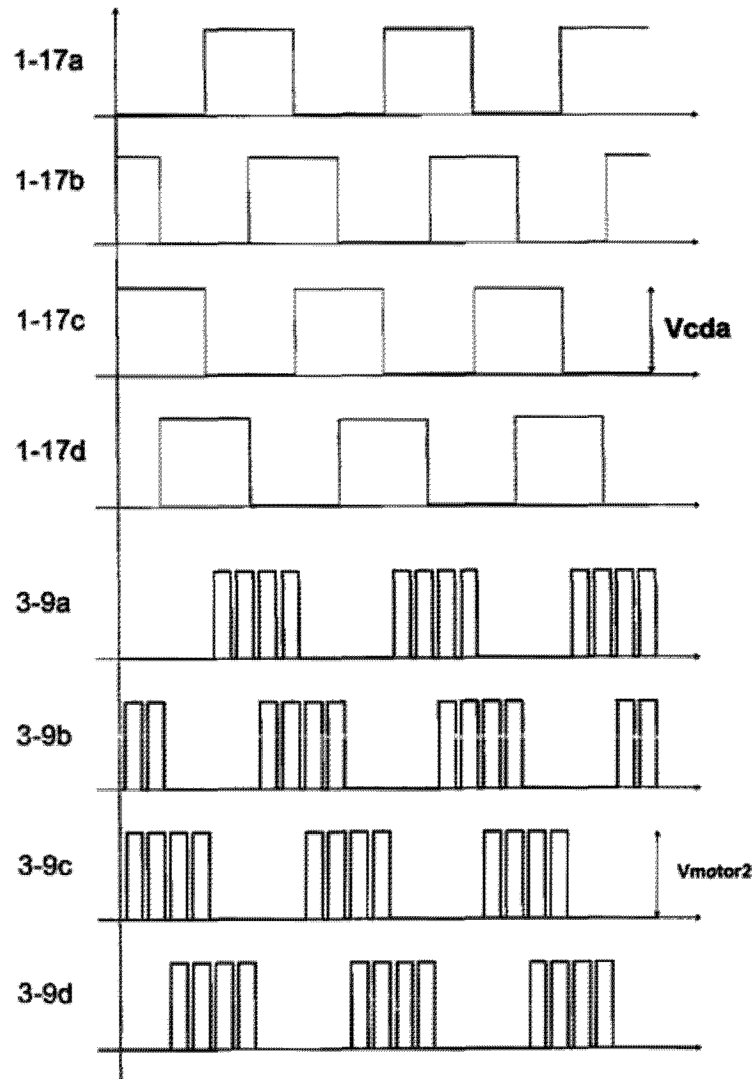


Fig. 4

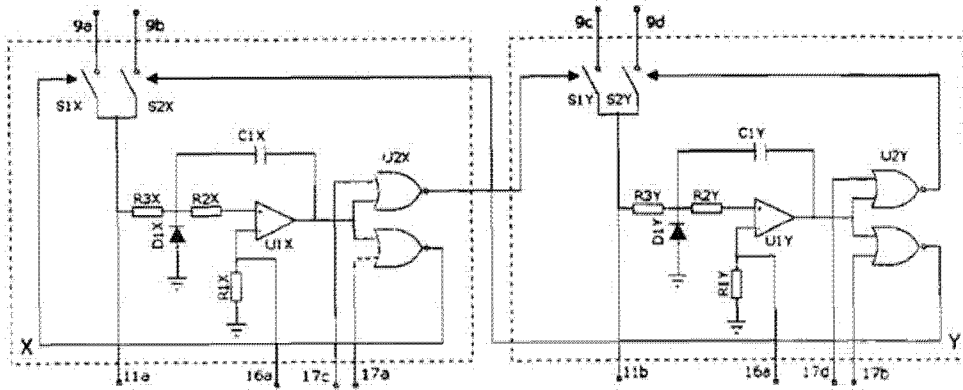


Fig. 5

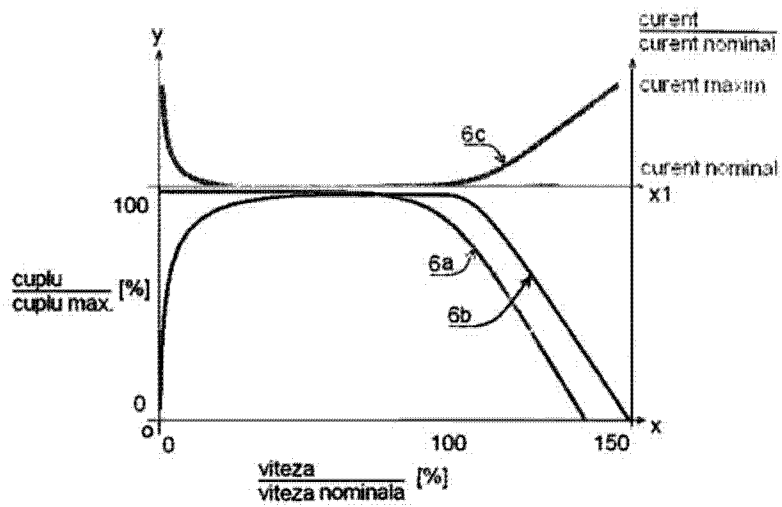


Fig. 6



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
 Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
 sub comanda nr. 20/2015