



(12) **BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2009 00124**

(22) Data de depozit: **05/02/2009**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/01/2017** BOPI nr. **1/2017**

(66) Prioritate internă:

31/07/2008 RO a 2008 00599

(41) Data publicării cererii:

30/11/2010 BOPI nr. **11/2010**

(73) Titular:

• **INOE 2000 - FILIALA INSTITUTUL DE
CERCETĂRI PENTRU HIDRAULICĂ ȘI
PNEUMATICĂ, STR. CUȚITUL DE ARGINT
NR. 14, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:

• **BLEJAN MARIAN,
BD. CONSTANTIN BRÂNCOVEANU NR. 114,
BL. M 1/1, SC. 6, ET. 11, AP. 254, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **ILIE IOANA, ȘOS. BERCEI NR. 35,
BL. 104, SC. 1, ET. 2, AP. 5, BUCUREȘTI, B,
RO;**
• **COMES MIRCEA, ALEEA DUMBRĂVIȚA
NR. 1, BL. M4, AP. 48, SECTOR 6, O.P. 66,
BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:

**WO 03/100355 A2; US 7248994 B1;
US 5477473 A; US 4591795**

(54) **AMPLIFICATOR ȘI METODĂ DE MĂSURĂ PENTRU SENZORI
DE TIPUL LVDT ȘI RVDT**



RO 125871 B1

1 Invenția se referă la un amplificator și la o metodă de măsură destinate interfațării
senzorilor de tip LVDT (linear variable differential transformer) și RVDT (rotational variable
3 differential transformer) cu sistemele cu microcontroler.

5 Sunt cunoscute soluții analogice de amplificatoare de măsură pentru senzorii LVDT
și RVDT, bazate pe alimentarea sensorului cu semnale sinusoidale în tensiune, și detecția
7 valorii mărimii măsurate din semnalul de ieșire, cea mai folosită metodă fiind demodularea
în cuadratură a semnalului util furnizat de senzor.

9 Folosirea amplificatoarelor de măsură analogice pentru interfațarea senzorilor cu
sistemele cu microcontrolere presupune un efort de proiectare hardware semnificativ, atât
11 în ceea ce privește proiectarea părții analogice a schemei electrice, cât și în ceea ce privește
sursele de alimentare utilizate, deoarece sistemele cu microcontrolere au nevoie de o
13 singură sursă de alimentare stabilizată (tipic 5 Vcc), în timp ce amplificatorul de măsură
analogic necesită două surse de alimentare stabilizate, având valori tipice de ± 15 Vcc; de
15 asemenea, reglajele de calibrare ale sensorului sunt analogice, fiind destul de dificil de
realizat o adaptare care să permită calibrarea sensorului sub controlul programului de aplicație
ce rulează pe sistemul cu microcontroler.

17 Pentru înțelegerea modului de funcționare a amplificatorului de măsură pentru
senzori LVDT și RVDT, este necesară înțelegerea principiului de funcționare a acestui tip de
19 senzori, precum și prezentarea principalelor variante constructive existente.

21 Sensorul LVDT este alcătuit din trei bobine amplasate pe o carcasă comună, și un
miez cu proprietăți magnetice care se deplasează în interiorul acestora; bobina primară este
23 amplasată central, iar bobinele secundare sunt poziționate pe extremitățile carcasei, simetric
față de bobina primară, și sunt conectate electric în serie și în antifază. Bobina primară este
25 alimentată cu tensiune electrică alternativă, fluxul magnetic ce apare datorită excitației
electrice a bobinei primare se închide prin cele două bobine secundare. Variația fluxului mag-
netic induce tensiuni electromotoare în bobinele secundare, diferența valorilor acestora fiind
27 proporțională cu deplasarea miezului magnetic. Poziționarea centrală a miezului magnetic
generează tensiuni electromotoare identice în bobinele secundare, în timp ce deplasarea
29 miezului produce un dezechilibru al tensiunilor alternative induse.

31 Principiile de funcționare pentru senzorii LVDT și RVDT sunt similare, aceștia diferă
doar din punct de vedere constructiv: la senzorul LVDT, miezul magnetic efectuează o
33 deplasare liniară față de bobine, în timp ce la senzorul RVDT, miezul magnetic efectuează
o deplasare unghiulară, semnalul de ieșire fiind, după caz, proporțional cu deplasarea liniară
sau cu deplasarea unghiulară a miezului.

35 O variantă constructivă des utilizată a senzorilor LVDT și RDVT folosește numai cele
două bobine secundare, conectate electric în serie și antifază, obținându-se astfel montajul
37 în semipunte inductivă. Capetele libere ale bobinelor sunt excitate cu tensiuni alternative
defazate cu 180° , semnalul de ieșire al sensorului fiind tensiunea electrică pe capătul comun
39 ale cărei valori sunt proporționale cu poziția miezului.

41 Problema tehnică propusă spre rezolvare este interfațarea senzorilor de tip LVDT
și RVDT cu sistemele cu microcontroler, pentru îmbunătățirea sensibilității/preciziei acestor
dispozitive.

43 Amplificatorul de măsură ce face obiectul invenției înlătură dezavantajele prezentate
anterior prin faptul că alimentarea sensorului se face folosind ieșirile digitale standard ale
45 microcontrolerului, care, prin programul ce rulează pe microcontroler, generează o secvență
simplă de semnale dreptunghiulare cu nivel TTL, prin care se asigură alimentarea sensorului.
47 Circuitele analogice necesare implementării sunt blocuri analogice standard, incluse în
majoritatea microcontrolerelor de uz general existente pe piață, și anume: un amplificator de

RO 125871 B1

tensiune de uz general, un circuit de eșantionare/memorare și un circuit de conversie analog-digital. Acestea sunt alimentate din tensiunea de alimentare a microcontrolerului, nefiind necesare surse suplimentare de alimentare stabilizată. Calibrarea senzorului se poate efectua sub controlul programului ce rulează pe microcontroler, deoarece prelucrarea semnalului util furnizat de senzor este realizată în microcontroler, acesta fiind convertit în valori numerice. Amplificatorul de măsură destinat senzorilor de tip LVDT și RVDT, conform invenției, rezolvă dezavantajele soluției analogice clasice prin implementarea funcționalității amplificatorului de măsură cu ajutorul unui microcontroler de uz general, ceea ce a necesitat o metodă originală de alimentare a senzorului și de măsurare a semnalului util furnizat de senzor. 1

Metoda de măsură pentru senzori LVDT și RVDT în care etapele de generare a semnalelor de alimentare și de prelucrare a semnalului de ieșire al senzorului sunt sincronizate temporal cu întreruperile hardware generate la un interval de timp fix, egal cu un sfert din valoarea perioadei de alimentare a senzorului, constă în generarea a două semnale de alimentare digitale, având polaritatea pozitivă, respectiv, o valoare de +5 V pe terminalul de excitație pozitiv al senzorului, și un semnal cu valoarea de 0 V pe terminalul de excitație negativ al senzorului, eșantionarea semnalului de ieșire al senzorului și lansarea conversiei analog-digitale a valorii pozitive a acestuia, generarea a două semnale de alimentare digitale, având polaritatea negativă, respectiv, o valoare de 0 V pe terminalul de excitație pozitiv al senzorului, și un semnal cu valoarea de +5 V pe terminalul de excitație negativ al senzorului, eșantionarea semnalului de ieșire al senzorului și lansarea conversiei analog-digitale a valorii negative a acestuia, și calcularea poziției tijei senzorului ca diferență între valoarea măsurată pozitivă și valoarea măsurată negativă. 3

Avantajele invenției sunt următoarele: efortul de proiectare hardware este redus semnificativ, este utilizată o singură sursă de alimentare stabilizată cu valoarea standard de 5 Vcc, reglajele de calibrare sunt realizate sub controlul programului ce rulează pe microcontroler, interfațarea amplificatorului de măsură cu magistralele de comunicație de date este „naturală”, deoarece microcontrolerul conține interfețe de comunicație de date. 13

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu fig. 1...3. 15

În fig. 1a este prezentat circuitul de intrare și excitație pentru senzorii LVDT și RVDT, realizați cu două bobine, în montaj semipunte inductivă, iar în fig. 1b este prezentat circuitul de intrare și excitație al senzorilor LVDT și RVDT cu bobina de excitație. 17

Fig. 2 prezintă formele de undă în diverse puncte de măsură din circuitul de intrare și excitație a senzorului. 19

Fig. 3 prezintă schema electrică a amplificatorului de măsură, implementat cu un microcontroler de uz general, de tipul PIC16F88, realizat și experimentat în scopul confirmării experimentale a performanțelor proiectate ale amplificatorului de măsură ce face obiectul invenției. 21

Invenția prezintă o soluție originală pentru realizarea amplificatorului de măsură, folosind o metodă de măsură inovativă, destinat senzorilor de tip LVDT și RVDT; de asemenea, amplificatorul de măsură poate fi folosit și pentru senzori rezistivi montați în semipunte, și excitați cu tensiune alternativă (semipunte rezistivă). 23

Amplificatorul de măsură pentru senzori LVDT și RVDT este realizat folosind un microcontroler de opt biți de uz general, și un circuit amplificator de tensiune, și asigură alimentarea senzorului cu două semnale digitale, prin intermediul a două ieșiri digitale ale microcontrolerului, în timp ce semnalul de ieșire al senzorului este amplificat în tensiune de amplificatorul de tensiune, și aplicat unei intrări analogice a microcontrolerului, fiind transformat în valori numerice cu ajutorul unui circuit de eșantionare-memorare și al unui 25

RO 125871 B1

1 convertor analog-digital cu aproximații succesive integrate în microcontroler, microcontro-
lerul conținând și un timer utilizat pentru generarea unor întreruperi hardware la intervale de
3 timp precise, egale cu un sfert din valoarea perioadei semnalului de alimentare al senzorului,
întreruperi care activează secvențele de alimentare și prelucrare a semnalelor de alimentare,
5 și de ieșire ale senzorului.

Alimentarea senzorului este realizată cu două semnale dreptunghiulare (Ex+, Ex-)
7 cu factor de umplere $\frac{1}{2}$, defazate cu 180° și având nivelurile de tensiune 0 V și 5 V. Folosirea
acestei scheme permite alimentarea amplificatorului de măsură dintr-o singură sursă de
9 alimentare stabilizată având valoarea de 5 Vcc, precum și dublarea valorii semnalului de
ieșire al senzorului (IN), deoarece senzorul este alimentat cu un semnal dreptunghiular,
11 având nivelurile de tensiune de -5 V și +5 V. Semnalele de alimentare sunt generate de un
microcontroler ce asigură obținerea unei rezoluții excelente în timp a formelor de undă; de
13 exemplu, senzorul TIC100 (fabricat de IAUC, București) necesită o frecvență de alimentare
cu valoarea de 5 kHz, perioada de 200 μ s, în timp ce un microcontroler de uz general, de
15 tipul PIC16F88 (fabricat de MicroChip), permite o rezoluție în timp de 200 μ s (timpul de
execuție al unei instrucțiuni folosind un ceas de 20 MHz).

17 Informația de deplasare este conținută de semnalul în tensiune IN (fig. 1) având
valoarea V.

$$19 \quad V = V_{90} - V_{270}, \quad (1)$$

unde valoarea V_{90} este valoarea tensiunii semnalului de ieșire al senzorului (IN), măsurată
21 fie la un defazaj de 90° față de semnalul de alimentare Ex+, fie după timpul T/4 de la tranziția
0 V \rightarrow 5 V a semnalului Ex+, unde T este perioada semnalului de alimentare dreptunghiular;
23 similar V_{270} este valoarea măsurată la un defazaj de 270° (respectiv, după $\frac{3}{4}$) față de
semnalul Ex+.

25 Metoda de măsură asigură eliminarea erorilor de regim static, fiind o metodă de
măsură diferențială.

27 Semnalul IN este amplificat de modulul amplificator, și aplicat unui circuit de eșan-
ționare/memorare inclus în microcontroler. Comanda de eșantionare a valorilor V_{90} și V_{270}
29 este dată de microcontroler conform metodei de măsură descrise anterior. Valoarea în
tensiune a semnalului memorat de capacitorul din circuitul de eșantionare/memorare este
31 convertită în valoare numerică apoi cu ajutorul circuitului convertor analog-digital, deplasarea
fiind calculată conform formulei (1). Urmează prelucrarea numerică a semnalului de depla-
33 sare (filtrare digitală, scalare, limitare, conversie analog-digitală etc.).

O implementare a invenției realizată cu un microcontroler de uz general, de tipul
35 PIC16F88, este prezentată în fig. 3. Cuplarea senzorului la amplificatorul de măsură este
realizată prin intermediul conectorului **J6**; semnalele de alimentare a senzorului sunt E+ și
37 E-, iar semnalul util furnizat de senzor este IN+ în cazul cuplării senzorului în semipunte
(fig. 1a), sau IN+ și IN- în cazul cuplării senzorul în punte completă (fig. 1b, semnalul IN- este
39 Vcc/2). Semnalele de excitare a senzorului, E+ și E- sunt obținute de la pinii de ieșire ai
microcontrolerului programați să furnizeze un semnal de ieșire TTL. În scopul protejării ieșirilor
41 TTL sunt intercalate pe circuitul de excitare două rezistoare **R10** și **R13**, având valoarea de
220 Ω ; în cazul unui scurtcircuit la masă, valoarea curentului este de 5 V / 220 Ω = 22,7 mA,
43 nedepășind valoarea maximă de 25 mA, specificată în foaia de catalog a microcontrolerului.
În scopul reducerii tensiunii electromotoare induse, ce apare în bobina senzorului la
45 schimbarea stării ieșirilor TTL, a fost necesară introducerea unui capacitor **C5** cu valoarea
de 10 nF. Semnalul util IN+ este aplicat unui amplificator liniar, realizat cu circuitul IC 2A; rolul
47 acestui amplificator este de a adapta domeniul de variație al semnalului furnizat de senzor
la domeniul de măsură 0...+5 V al convertorului **AD**, inclus în microcontroler, în scopul obținerii

RO 125871 B1

unei rezoluții cât mai bune a mărimii măsurate. Astfel, rezistorul ce determină amplificarea se cuplează pe conectorul **J1** având valori corespunzătoare sensorului RVDT sau LVDT utilizat. Astfel, în cazul traductorului TIC100 a fost nevoie de un rezistor cu valoarea de 1 M Ω . Semnalul util astfel prelucrat este aplicat unei intrări analogice a microcontrolerului, ce este convertită în valori numerice cu ajutorul convertorului AD de 10 biți intern. Calibrarea amplificatorului de măsură se realizează cu ajutorul a două intrări digitale ale microcontrolerului, activate de push-butoane (butoane fără reținere) conectate la conectorii **J3** și **J4**: **J3** calibrează valoarea maximă a domeniului de măsură, iar **J4** - valoarea domeniului minim. Calibrarea se poate face și prin comenzi transmise amplificatorului prin intermediul magistralei seriale de comunicație cuplată la conectorul **J6 (RS232)**. Amplificatorul dispune de o ieșire analogică **J2** în tensiune în domeniul 0,8...4 V, corespunzător valorilor calibrate prin butoanele **J3** și **J4**; ieșirea analogică este obținută prin aplicarea unui semnal TTL, codat PWM (Pulse Width Modulation), unui filtru trece-jos, realizat cu circuitul format din **IC2B**, **R7** și **C4**. Schema conține și un conector **J5** care permite programarea „in-circuit” a microcontrolerului, și o magistrală de comunicație sincronă, de tipul **I2C**, conectorul **J8**.

Programul de funcționare, înscris în memoria microcontrolerului, este implementat folosind limbajul de programare standard ANSI C. Programul de funcționare conține o secvență de inițializare a microcontrolerului și a perifericelor incluse; astfel, sunt inițializate intrările digitale folosite pentru calibrare **RB6**, **RB7** (fig. 3), ieșirile digitale de alimentare a sensorului **RA2**, **RA3**, ieșirea digitală CCP1 și modulul PWM, intrarea analogică AN0 și modulul convertor AD de 10 biți. De asemenea, sunt inițializate și celelalte intrări/ieșiri necesare comunicației seriale și semnalizării stării amplificatorului prin LED-ul **D1**. Este inițializat și modulul de comunicație serială inclus în microcontroler, timerele, precum și sursele de întrerupere ce pot activa execuția rutinei de întrerupere: întreruperea de 50 μ s și întreruperea ce semnalizează terminarea conversiei analog-digitale. În continuare, programul execută o buclă infinită, prin care semnalizează starea modulului, citește intrările digitale și efectuează calibrarea, dacă acest lucru este solicitat, filtrează, calculează și scalează semnalul furnizat de convertorul AD conform metodei de măsură prezentate anterior, actualizează ieșirea PWM și interpretează și execută comenzile transmise amplificatorului pe linia de comunicație de date serială. Secvența de program care prelucrează semnalul furnizat de senzor este prezentată în listingul următor:

```
//calcul LVDT
if (OKad) {
    lvdttmp=ad90-ad270;//-1024..1023
    suma+=lvdttmp;
    nresant++;
    if (nresant>nrfiltr) {
        dlvdt=(float) suma*32/nrfiltr;//-32768..32767
        lvdttcal=(15*(float) lvdttcal+dlvdt)/16;//filtru trece-jos
        lvdttcal=lvdttcal;
        l v d t = 9 9 9 9 * ( f l o a t ) ( d l v d t - o f f ) / ( f s -
off); //0(off) ..99.99% (fs)
        if (lvdtt<-999) lvdtt=-999;//limitare -9 . 99%
        if (lvdtt>10999) lvdtt=10999;//limitare 109.99%
        //scoate pe PWM
        pwm= (float) (hi-lo)*lvdtt/9999+lo;
        pwml (pwm);
```

RO 125871 B1

```
1          //scoate pe seriala
          vit=lvdt-lvdta;
3          strcpy(tx,"          ");
sprintf(tx,"%4d#%6d#\xd\xa", (lvdt+5)/10,vit);
5          itx=0;
          lvdta=lvdt;
7          suma=0;
          nresant=0;
9          }
          OKad=0;
11         }
```

O parte importantă a programului este rutina de întrerupere, ce realizează alimentarea senzorului și citirea convertorului AD, precum și sincronizarea secvenței „calcul LVDT” cu convertorul AD, prin intermediul semaforului OKad. Listingul rutinei de întrerupere este prezentat în continuare:

```
void interrupt intr(void)
17 {
    unsigned char port;
19    //intrerupere 50us, timer0
    if(TMR0IF){//ra2,ra3 - excitație LVDT
21        ck50u++;
        switch(faza){
23            case 0://0 grade
                port=PORTA;
25                bitset(port,2);
                bitclr(port,3);
27                PORTA=port;
                faza++;
29                TMR0=43;
                break;
31            case 1://90 grade
                ADGO=1;//start conversie AD
33                faza++;
                TMR0=50;
35                break;
                case 2://180 grade
37                    port=PORTA;
                    bitclr(port,2);
39                    bitset(port,3);
                    PORTA=port;
41                    faza++;
                    TMR0=50;
43                    break;
                    case 3://270 grade
45                        ADGO=1;//start conversie AD
                        faza=0;
47                        TMR0=43;
```

RO 125871 B1

```
                break;                                1
                default:faza=0;                       3
            }
TMR0IF=0;
                return;                                5
    }
if(ADIF){//intrerupere AD                            7
    if ( (faza= =3) | | (faza= =2) )
        ad90= ( (ADRESH) <<8) +ADRESL;              9
    else{
        ad270= ( (ADRESH) <<8) +ADRESL;            11
        OKad=1;
    }
    ADIF=0//clear interrupt                          13
    return;                                          15
}
}
```

Întreruperea implementează funcționalitatea descrisă prin formele de undă din fig. 2, respectiv, generarea semnalelor de alimentare a senzorului, eșantionarea și conversia analog-digitală a semnalului util furnizat de senzor. 19

RO 125871 B1

Revendicări

1

3

1. Amplificator de măsură pentru senzori LVDT și RVDT, realizat folosind un microcontroler de opt biți de uz general, și un circuit amplificator de tensiune, **caracterizat prin aceea că** asigură alimentarea senzorului cu două semnale digitale, prin intermediul a două ieșiri digitale ale microcontrolerului, în timp ce semnalul de ieșire al senzorului este amplificat în tensiune de amplificatorul de tensiune, și aplicat unei intrări analogice a microcontrolerului, fiind transformat în valori numerice cu ajutorul unui circuit de eșantionare-memorare, și al unui convertor analog-digital cu aproximații succesive integrate în microcontroler, microcontrolerul conținând și un timer utilizat pentru generarea unor întreruperi hardware la intervale de timp precise, egale cu un sfert din valoarea perioadei semnalului de alimentare al senzorului, întreruperi care activează secvențele de alimentare și prelucrare a semnalelor de alimentare și de ieșire ale senzorului.

13

15

2. Metodă de măsură pentru senzori LVDT și RVDT, **caracterizată prin aceea că** etapele de generare a semnalelor de alimentare și de prelucrare a semnalului de ieșire al senzorului sunt sincronizate temporal cu întreruperile hardware generate la un interval de timp fix, egal cu un sfert din valoarea perioadei de alimentare a senzorului, și constau în:

17

19

- generarea a două semnale de alimentare digitale, având polaritatea pozitivă, respectiv, o valoare de +5 V pe terminalul de excitație pozitiv al senzorului, și un semnal cu valoarea de 0 V pe terminalul de excitație negativ al senzorului;

21

- eșantionarea semnalului de ieșire al senzorului, și lansarea conversiei analog-digitale a valorii pozitive a acestuia;

23

- generarea a două semnale de alimentare digitale, având polaritatea negativă, respectiv, o valoare de 0 V pe terminalul de excitație pozitiv al senzorului, și un semnal cu valoarea de +5 V pe terminalul de excitație negativ al senzorului;

25

- eșantionarea semnalului de ieșire al senzorului, și lansarea conversiei analog-digitale a valorii negative a acestuia;

27

- memorarea valorii pozitive și a valorii negative a semnalului de ieșire al senzorului;

29

- calcularea poziției tijei senzorului ca diferență între valoarea măsurată pozitivă și valoarea măsurată negativă.

(51) Int.Cl.
H03F 99/00 (2009.01),
G01D 5/22 (2006.01),
G01B 7/14 (2006.01)

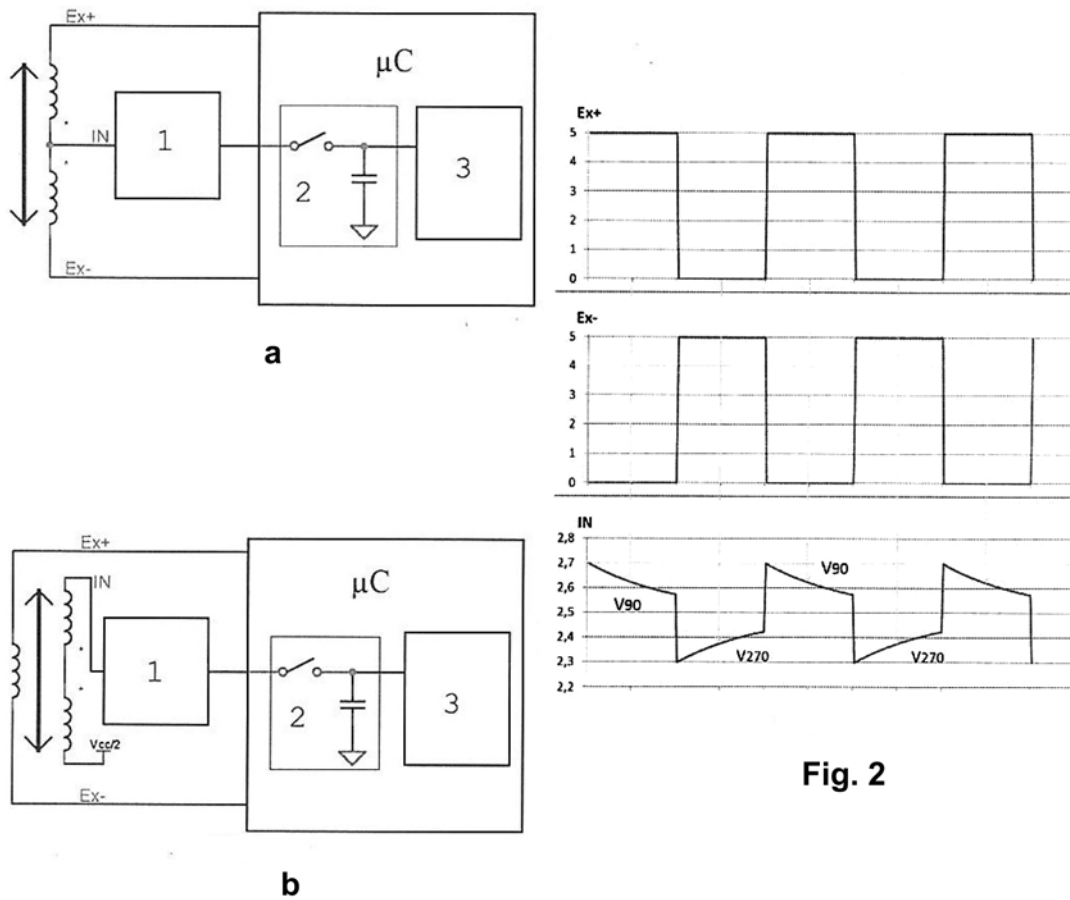


Fig. 1

Fig. 2

RO 125871 B1

(51) Int.Cl.
H03F 99/00 (2009.01),
G01D 5/22 (2006.01),
G01B 7/14 (2006.01)

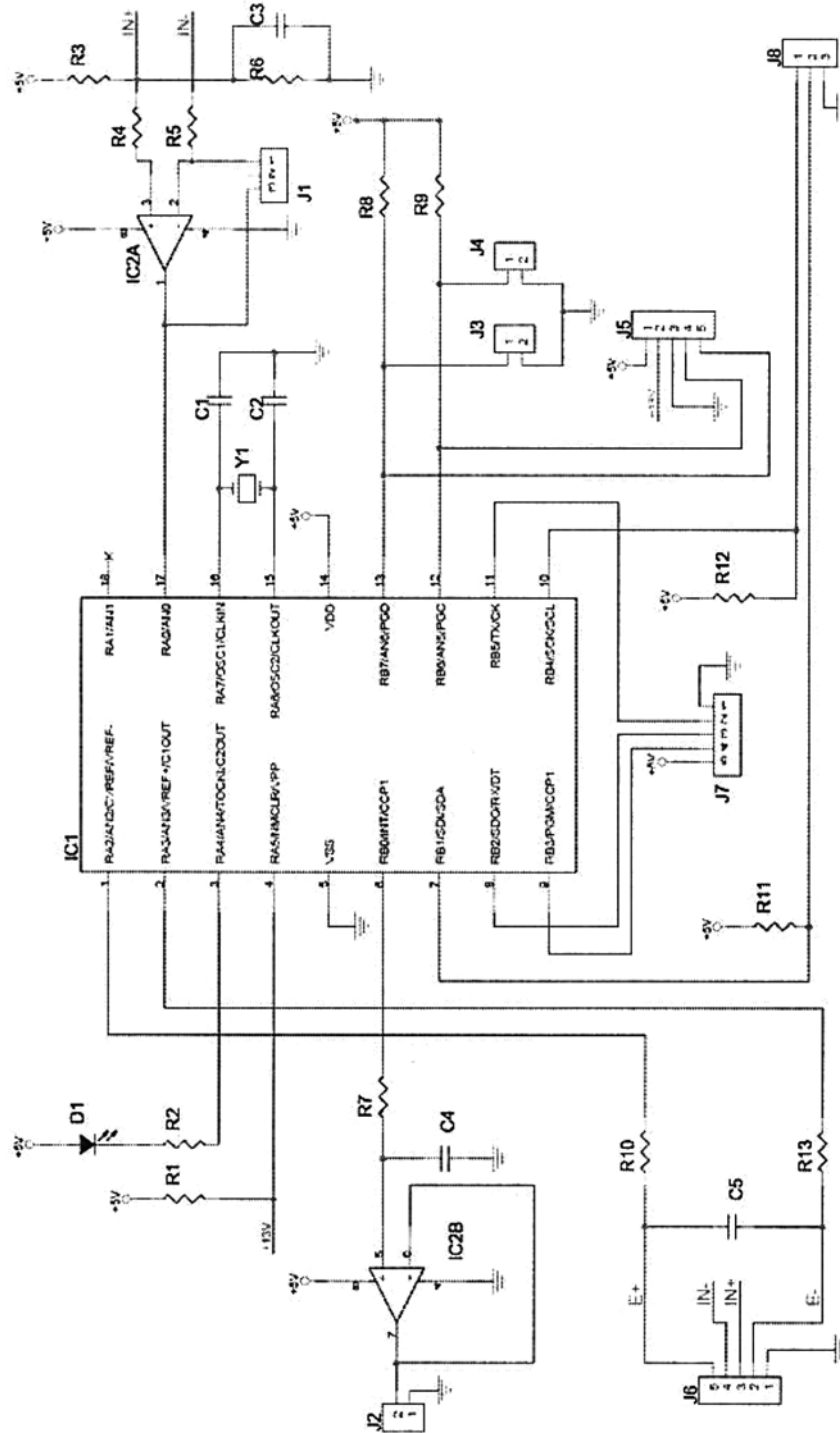


Fig. 3



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
 Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
 sub comanda nr. 1/2017