



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2018 00591

(22) Data de depozit: 14/08/2018

(41) Data publicării cererii:
30/07/2019 BOPi nr. 7/2019

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
TEHNOLOGII IZOTOPICE ȘI
MOLECULARE, STR.DONAT NR.67-103,
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;
• GUTT ROBERT, STR.BUCEGI NR.34,
SIBIU, SB, RO

(54) DISPOZITIV MICROCONVERTOR RIDICĂTOR DE TENSIUNE,
ȘI METODĂ DE REALIZARE A ACESTUIA

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un dispozitiv microconvertor ridicător de tensiune, destinat conversiei energiei electrice pulsatorii de mică putere, de ordinul microwați-miliwați, și tensiune de intrare redusă, 20 mV...1, 5 V, obținută prin recoltare de energie la valori de ieșire de 2...5 V. Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-un oscilator (1) autorezonant asimetric, ce conține un transformator (101) ridicător de tensiune, cu o bobină primară (101a) și o bobină secundară (101b), și un număr de tranzistoare FET (102) cuplate în paralel și conectate astfel încât să asigure o reacție pozitivă între primarul și secundarul transformatorului, oscilatorul (1) fiind alimentat printr-un generator de curent constant, ce conține un condensator de acumulare (201), o bobină (202) și un condensator de netezire (203), și având tensiuni de ieșire care sunt redresate cu o diodă (110) care încarcă un acumulator de back-up (3), și cu alte diode (108, 109) care încarcă un acumulator de sarcină (4), limitarea curentului de încărcare a celor două acumulatori (3, 4) realizându-se prin ajustarea oscilației autorezonante prin modulație cu lățime de puls PWM, datorită unor rezistențe (112, 113) și unui condensator (114) ce polarizează grilele tranzistoarelor FET (102) din tensiunea redresată obținută din secundarul transformatorului.

Revendicări: 5
Figuri: 5

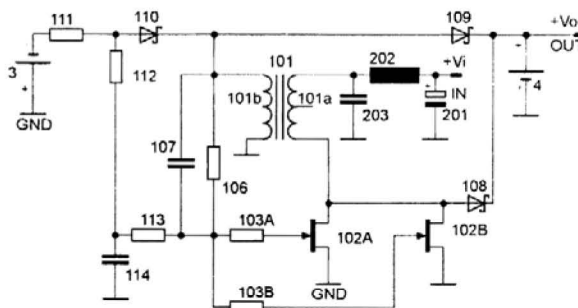
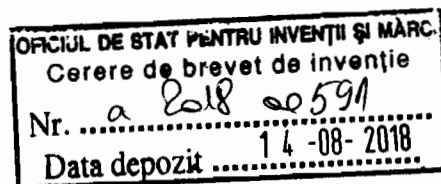


Fig. 4

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





Titlu:

Dispozitiv microconvertoare ridicător de tensiune și metodă de realizare a acestuia

Precizarea domeniului tehnic în care poate fi folosită invenția;

Dispozitivul microconvertoare ridicător de tensiune este destinat conversiei energiei pulsatorii cu nivele de tensiune continuă cuprinse între 20mV-1.5V, și foarte mică putere (microwați-miliwați) rezultate prin recoltare de energie (harvesting) la valori de ieșire de 2V până la 5V. Tensiunea de alimentare a microconvertoareului provine din antene redresoare de bandă largă, dispozitive termoelectrice, celule solare umbrite sau alte generatoare electromagnetice de tensiune și putere redusă, având ca scop alimentarea dispozitivelor electronice cu consum redus (puteri de ordinul microwați-miliwați) și tensiuni de alimentare cuprinse între 2V-5V.

Indicarea stadiului anterior al tehnicii și indicarea documentelor care stau la baza acestuia;

La ora actuală există mai multe configurații cunoscute de oscilatoare rezonante autooscilante ce utilizează un transformator rezonant ridicător de tensiune și unul sau mai multe tranzistoare FET și/sau MOSFET/bipolare fiecare având anumite dezavantaje pe care invenția de față le corectează, după cum urmează:

Față de brevetul [1] **US 3681674**, și de articolul [8], în care se utilizează condensatori de ajustare a frecvenței de oscilație montați în paralel cu primarul sau secundarul transformatorului ridicător de tensiune al oscilatorului, în invenția de față frecvența oscilației este dictată doar de parametrii intrinseci ai transformatorului (inductanță primară și secundară, factor de cuplaj, capacitate parazită primar-secundar, adică de modul constructiv de bobinare al acestuia) respectiv de inductanța serie a unui generator de curent constant prin care se alimentează. Practic, în invenția de față oscilatorul poate funcționa la frecvențe mai mari sau mai mici decât frecvența proprie de rezonanță a transformatorului încorporat fără a scădea semnificativ randamentul de funcționare.

Pentru a obține o tensiune de pornire foarte mică a oscilatorului, autorii articolului [7] au utilizat un circuit autooscilant format dintr-un transformator ridicător de tensiune și un tranzistor FET, cuplat cu un dublor de tensiune. Spre deosebire de această soluție în

invenția de față se asigură polarizarea negativă a tranzistorilor JFET dintr-un acumulator de back-up, aceasta asigurând demararea oscilației de la tensiuni de alimentare de ordinul a 20mV fără a fi nevoie de tranzistori speciali cu tensiune de prag grila-sursă nulă sau dubloare de tensiune.

Față de brevetul [2] **US 4015609**, în care se tranzistoarele FET sunt conectate în serie și se utilizează un stabilizator de tensiune auxiliar situat la ieșirea oscilatorului după circuitul de redresare, în invenția de față tranzistoarele JFET fie (i) sunt conectate în paralel pentru a scădea rezistența drenă-sursă în stare de conducție la tensiuni de alimentare scăzute a drenei, fie (ii) se utilizează o structură simetrică de oscilator ce lucrează în antifază, grilele tranzistorilor JFET fiind negativate în ambele situații dintr-un acumulator de back-up iar stabilizarea este asigurată direct în circuitul oscilatorului de un circuit PWM (modulație cu lățime de puls).

Față de brevetul [3] **US 4322724**, în care sunt utilizați doi tranzistori în circuitul oscilator, un JFET care pornește oscilația la tensiuni foarte reduse și unul sau mai mulți tranzistori bipolari care asigură un curent ridicat prin transformator după ce oscilația a demarat, respectiv față de brevetul [5] **US 7170762B2** care utilizează un tranzistor JFET pentru declanșarea oscilației după care aceasta este întreținută de un MOSFET conectat în paralel cu tranzistorul JFET, crescând astfel randamentul de conversie odată cu creșterea tensiunii de alimentare, invenția de față asigură obținerea unui randament superior la tensiuni mici de alimentare prin conectarea unui număr de tranzistoare JFET în paralel ce sunt prepolarizate cu tensiune negativă dintr-un acumulator de back-up.

Față de soluția constructivă din articolul [6] care folosește pe lângă un JFET conectat între primarul și secundarul transformatorului cu rol de oscilator, un tranzistor MOSFET ce izolează descărcarea condensatorului de filtraj din ieșire la tensiuni mici generate de oscilator și un comparator necesar pentru stabilizarea tensiunii de ieșire ce acționează asupra unui al doilea tranzistor MOSFET conectat cu primarul transformatorului, în invenția de față se folosesc mai multe tranzistoare FET conectate în paralel pentru reducerea rezistenței drenă-sursă aflate în serie cu primarul transformatorului iar stabilizarea este asigurată direct în circuitul oscilatorului de un

circuit PWM (modulație cu lățime de puls) fără alte elemente active de circuit suplimentare.

Față de brevetul [4] **US 4734658**, sau față de soluția tehnică prezentată în articolul [9] care utilizează tranzistorul JFET încorporat în circuitul integrat LTC3108/3109 ambele citări prezintă un oscilator similar cu cel prezentat în invenția de față dar care nu dispune de circuitul de prepolarizare (negativare) a grilei tranzistorului JFET alcătuit dintr-un acumulator de back-up, două rezistențe de limitare a curentului și un condensator de filtraj, așa cum este descris în invenția de față. Lipsa circuitului de prepolarizare nu permite demararea oscilației de la tensiuni de alimentare apropiate de zero (20-100mV).

Un element de noutate absolut în invenția de față este ~~este~~ existența unui generator de curent constant format dintr-un condensator de acumulare, o bobină de netezire a curentului și un condensator de netezire a tensiunii, cu rol de creștere a eficienței microconvertorului cu 15%, astfel încât randamentul circuitului ajunge peste 50%, depășind eficiențele determinate în [5] **US 7170762B2** de 43%, [8] de 25%, [9] de 40%. În brevetele de invenție [5] **US 7170762B2**, [2] **US 4015609** și articolele [8], [9] se utilizează doar un condensator de acumulare pentru alimentarea oscilatorului.

Prezentarea pe scurt a desenelor explicative

Fig.1 reprezintă schema bloc a dispozitivului

Fig.2 reprezintă schema electronică minimală a oscilatorului autorezonant asimetric

Fig.3 reprezintă formele de undă reale (sus) și simulate (jos) ale oscilatorului minimal asimetric

Fig.4 reprezintă schema electronică detaliată a microconvertorului cu oscilator autorezonant asimetric

Fig.5 reprezintă schema electronică detaliată a microconvertorului cu oscilator autorezonant simetric

31/08/2018

Expunerea detaliată a invenției pentru care se solicită protecția.

Invenția se referă la un dispozitiv pentru microconversia energiei alcătuit conform schemei bloc (fig.1) dintr-un oscilator (1) autorezonant asimetric (fig.4) sau simetric (fig.5), alimentat printr-un generator de curent constat (2), oscilator ce încarcă cu energie prin dioda redresare (110) un acumulator de back-up (3) și prin dioda redresoare (108,109) un acumulator de sarcină (4).

Generatorul de curent constat (2) este realizat (fig.4, fig.5) dintr-un condensator electrolitic (201) cu rol de acumulare de energie, o bobină (202, 202a, 202b) și un condensator de netezire (203, 203a, 203b).

Oscilatorul autorezonant în forma **asimetrică** este alcătuit (fig.4) dintr-un transformator (101) ridicător de tensiune ($k=1:10...1:30$) cu două înfășurări, a cărui primar (101a) este alimentat la un terminal din ieșirea generatorului de curent constant (203) iar la celălalt terminal prin drena unui număr de tranzistoare FET (102) conectate în paralel (pentru simplificare au fost reprezentate doar două), a căror surse se conectează la circuitul de masă. Grilele tranzistoarelor FET (102) sunt conectate împreună prin rezistențe (103a, 103b) de echilibrare și sunt polarizate din acumulatorul de back-up prin rezistențe de limitare a curentului (112,113) respectiv printr-un condensator de filtraj (114). Oscilația autorezonantă este întreținută datorită unei reacții pozitive asigurate din secundarul (101b) transformatorului printr-un grup rezistență (106) – condensator (107) ce alimentează cu tensiune oscilantă grilele tranzistoarelor FET (102), respectiv prin cuplajul defazat dintre primarul (101a) și secundarul (101b) al transformatorului (101). Tensiunea oscilatorie rezultată în secundarul (101b) transformatorului, respectiv în drena tranzistorilor FET (102) este redresată prin diode (108, 109) și încarcă un acumulator de sarcină (4) respectiv este redresată prin dioda (110) și încarcă acumulatorul de back-up (3) printr-o rezistență de limitare a curentului (111). Circuitul de polarizare al tranzistorului FET (102) din acumulatorul de back-up (3), prin rezistențele (112, 113) și condensatorul (114) realizează funcția de control PWM a oscilației ce demarează odată ce tensiunea de alimentare depășește pragul tensiunii de polarizare al grilei tranzistorului FET (102).

Oscilatorul autorezonant în forma **simetrică** (fig.5) reproduce în mod simetric structura oscilatorului autorezonant asimetric (fig.4) fiind alcătuit dintr-un transformator

ridicător de tensiune ($k=1:10...1:30$) cu două înfășurări primare (**101a1**, **101a2**) respectiv o înfășurare secundară (**101b**) cu priză mediană. Cele două înfășurări primare (**101a1**, **101a2**) sunt conectate fiecare cu ieșirile unui generator de curent constant (**203a**, **203b**) respectiv la drena unor tranzistoare FET (**102a**, **102b**) a căror surse sunt legate la circuitul de masă. Grilele tranzistoarelor FET sunt conectate între ele prin rezistențe (**103-a**, **103-b**) iar punctul comun rezultat este polarizat din acumulatorul de back-up (**3**) prin rezistențe de limitare a curentului (**112a**, **112b**, **113a**, **113b**), respectiv prin condensatoare de filtraj (**114a**, **114b**). Oscilația autorezonantă este întreținută datorită unei reacții pozitive duble asigurate din secundarele (**101b-1**, **101b-2**) transformatorului prin două grupuri rezistență (**106a**, **106b**) – condensator (**107a**, **107b**) ce alimentează cu tensiune oscilatorie grilele tranzistoarelor FET (**102a**, **102b**), respectiv prin cuplajul defazat dintre primarele (**101a-1**, **101a-2**) și secundarele (**101b-1**, **101b-2**) ale transformatorului (**101**). Tensiunea oscilatorie rezultată în secundarele (**101b-1**, **101b-2**) transformatorului (**101**), respectiv în drena tranzistorilor FET (**102a**, **102b**) este redresată prin diodele (**108a**, **108b**, **109a**, **109b**) și încarcă un acumulator de sarcină (**4**) respectiv este redresată prin diodele (**110a**, **110b**) și încarcă acumulatorul de back-up (**3**) prin rezistențe de limitare a curentului (**111a**, **111b**). Circuitele de polarizare ale tranzistoarelor FET (**102a**, **102b**) din acumulatorul de back-up (**3**), prin rezistențele (**112a**, **112b**, **113a**, **113b**) realizează funcția de control PWM a oscilației ce demarează odată ce tensiunea de alimentare a oscilatorului (**1**) depășește valoarea tensiunii de polarizare a grilei tranzistoarelor FET (**102a**, **102b**).

Invenția se referă deasemenea la metoda de obținere a schemei electronice de principiu a microconvertorului autooscilant rezonant, prin experimentare și simulare simultană, ce constă din următoarea secvență:

- a) se realizează oscilatorul autorezonant în forma sa minimală conform fig.2 (conține transformatorul (**101**), un tranzistor FET (**102**) și circuitele de polarizare ale acestuia, rezistența (**106**) și condensatorul (**107**), precum și punctele de test **TP1** respectiv **TP2**.
- b) se vizualizează și se măsoară formele de undă în drena tranzistorului FET (**102**) – **TP2** și la ieșirea secundarului (**101b**) transformatorului (**101**) – **TP1** cu oscilatorul (**1**)

alimentat la tensiunea de exploatare și apoi se măsoară curba de eficiență a oscilatorului pentru întregul domeniu de tensiuni de alimentare cuprins între 25mV-2V.

- c) se simulează pe calculator circuitul oscilatorului autorezonant **(1)** cu ajutorul unui software tip SPICE, respectând exact structura și valorile componentelor utilizate în dispozitivul realizat în mod real la pc.1 (fig.2),
- d) se ajustează parametrii simulării (inductanța primară **(101a)** și secundară **(101b)** a transformatorului **(101)**, capacitatea parazită a cuplajului primar-secundar al transformatorului **(101)**, factorul de cuplaj al transformatorului **(101)**, rezistența drenă-sursă a tranzistorului FET **(102)** calculată la tensiunea de exploatare) astfel încât între formele de undă simulate respectiv formele de undă măsurate în mod real cu osciloscopul să fie o marjă de eroare de maxim 5%, ca urmare diferența dintre eficiența simulată și eficiența măsurată să se încadreze aproximativ în aceeași marjă de eroare,
- e) se determină expresia coeficienților de proporționalitate între parametrii simulării și valorile reale măsurate experimental și se grupează într-o „matrice de asemănare”,
- f) pe baza „matricii de asemănare” se simulează circuitul final al microconvertorului ce include: oscilatorul autorezonant **(1)** generatorul de curent constant **(201, 202, 203)** circuitele de redresare **(108, 109, 110)** și acumulatele de back-up **(3)** și de sarcină **(4)** prezicându-se cu o bună aproximație eficiența acestuia,
- g) se realizează practic circuitul electronic rezultat în urma simulării și se determină prin măsurători experimentale eroarea rezultată dintre eficiența simulată și eficiența obținută prin măsurători experimentale,
- h) dacă eroarea rezultată la punctul 7 este mai mică de 5%, se consideră simularea validă pentru tipul de microconvertor simulat, dacă eroarea depășește 5% se repetă pașii 4-7 și se reajustează parametrii simulării până la obținerea unei erori simulate mai mici de 5%.

Metoda de realizare a schemei electronice se aplică în mod identic oscilatorului autorezonant **asimetric, simetric sau oricărei alte structuri electronice de oscilator autorezonant sau rezonant** chiar dacă nu a fost descrisă explicit în secvența de mai

sus. Persoana care simulează circuitul și persoana care realizează practic și testează circuitul electronic trebuie să fie diferite pentru a nu altera rezultatul final datorită erorilor sistematice introduse de același operator.

Bibliografie

- [1]. US 3681674, Aug. 1, 1972, Cordis Corporation, *D.C. TO D.C. CONVERTER*.
- [2]. US 4015609, Apr. 5, 1977, Vitatron Medical B.V., *CIRCUIT FOR LOW POWER-LOW ENERGY SOURCE*.
- [3]. US 4322724, Mar. 30, 1982, Jocelyne Payot, *LOW VOLTAGE OPERATED ELECTRIC CIRCUITS*.
- [4]. US 4734658, Mar. 29, 1988, Honeywell Inc., *LOW VOLTAGE DRIVEN OSCILLATOR CIRCUIT*.
- [5]. US 7170762B2, Jan. 30, 2007, Honeywell International Inc., *LOW VOLTAGE DC-DC CONVERTER*.
- [6]. J. Williams, *JFET based DC/DC converter operates from 300 mV supply*, Electronic Design News, 2006.
- [7]. D. Grgić, T. Ungan, M. Kostić and L. M. Reindl, *Ultra-low input voltage dc-dc converter for micro energy harvesting*, Proceedings of Power MeMs, 2009.
- [8]. S.-E. Adami, V. Marian, N. Degrenne, Ch. Voltaire, B. Allard, *Self-Powered Ultra-low Power DC-DC Converter for RF Energy Harvesting*, Faible Tension Faible Consommation (FTFC), 2012.
- [9]. P. Hawliczek, D. V. Tien, R. Gono, *Creating and Measuring Unipolar and Bipolar Ultra-Low Voltage Step-Up Converters*, 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), 2017.

Revendicări

1. Dispozitiv microconvertor ridicător de tensiune **caracterizat prin aceea că**: este alcătuit dintr-un oscilator **(1)** autorezonant **asimetric** (fig.4) ce conține un transformator **(101)** ridicător de tensiune cu o bobină primară **(101a)** și o bobină secundară **(101b)** și un număr de tranzistoare FET **(102)** cuplate în paralel și conectate astfel încât să asigure o reacție pozitivă între primarul **(101a)** și secundarul **(101b)** al transformatorului **(101)**, oscilator **(1)** alimentat printr-un generator de curent constant ce conține un condensator de acumulare **(201)**, o bobină **(202)** și un condensator de netezire **(203)**, oscilator **(1)** a cărui tensiuni de ieșire sunt redresate cu dioda **(110)** ce încarcă un acumulator de back-up **(3)** respectiv cu diodele **(108, 109)** ce încarcă un acumulator de sarcină **(4)**, limitarea curentului de încărcare a ambelor acumulatori realizându-se prin ajustarea oscilației autorezonante prin PWM (modulație cu lățime de puls) datorită rezistențelor **(112, 113)** și condensatorului **(114)** ce polarizează grilele tranzistoarelor FET **(102)** din tensiunea redresată obținută din secundarul **(101b)** transformatorului

2. Dispozitiv microconvertor ridicător de tensiune **caracterizat prin aceea că**: este alcătuit dintr-un oscilator **(1)** autorezonant **simetric** (fig.5) ce conține un transformator **(101)** ridicător de tensiune având două bobine primare separate **(101a-1, 101a-2)**, o bobină secundară cu punct median **(101b-1, 101b-2)** și cel puțin două tranzistoare FET **(102a, 102b)** conectate astfel încât să asigure o reacție pozitivă între primarul **(101a-1)** și secundarul **(101b-1)**, respectiv între primarul **(101a-2)** și secundarul **(101b-2)** al transformatorului **(101)**, oscilator **(1)** alimentat prin două generatoare de curent constant realizate fiecare dintr-un condensator de acumulare **(201)**, o bobină **(202a, 202b)** și un condensator de netezire **(203a, 203b)**, oscilator **(1)** a cărui tensiuni de ieșire sunt redresate cu diodele **(110a, 110b)** ce încarcă un acumulator de back-up **(3)** respectiv cu diodele **(108a, 108b, 109a, 109b)** ce încarcă un acumulator de sarcină **(4)**, încărcarea ambelor acumulatori realizându-se prin ajustarea oscilației autorezonante în mod PWM (modulație cu lățime de puls) prin rezistențele **(112a, 112b, 113a, 113b)** și prin condensatoarele **(114a, 114b)** ce polarizează grilele tranzistoarelor FET **(102a, 102b)** cu tensiune redresată obținută din secundarul **(101b)** transformatorului.

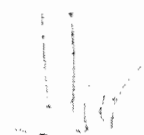
3. Dispozitiv microconvertor ridicător de tensiune și metodă de realizare a acestuia **caracterizat prin aceea că:** realizarea dispozitivului are la bază experimentarea practică a circuitului electronic (fig.2) și simularea circuitului electronic (fig.3) al oscilatorului autorezonant prin următoarea secvență: **(a)** realizarea oscilatorului autorezonant în forma sa minimală asimetrică (sau simetrică): transformator **(101)**, tranzistor FET **(102, 102a, 102b)** cu circuitele de polarizare corespunzătoare, **(b)** măsurarea formelor de undă (fig.3) și a eficienței de funcționare a oscilatorului rezultat pe întreg domeniul tensiunilor de alimentare, **(c)** simularea funcționării oscilatorului rezultat cu un software de tip SPICE respectând structura și valorile componentelor ale dispozitivului realizat practic la punctul a), **(d)** ajustarea parametrilor simulării pentru obținerea unei marje de eroare de max. 5% între valorile simulate și cele experimentale, **(e)** determinarea coeficienților de proporționalitate între parametrii simulării și valorile reale măsurate, **(f)** pe baza coeficienților determinați la punctul e) se simulează structura finală a microconvertorului cu toate circuitele sale, **(g)** se realizează practic circuitul electronic rezultat în urma simulării și se determină eroarea rezultată între simulare și măsurătorile experimentale, **(h)** pentru o eroare rezultată la punctul g) mai mică de 5% se consideră simularea corectă, o eroare mai mare implică repetarea pașilor de la punctele d) - e) și ajustarea corespunzătoare a parametrilor simulării până când eroarea devine mai mică de 5%.

4. Dispozitiv microconvertor ridicător de tensiune conform cu revendicările 1, 2 și 3 **caracterizat prin aceea că:** intrarea în funcțiune a oscilatorului **(1)** autorezonant începe de la tensiuni de alimentare de 20mV, datorită polarizării grilelor tranzistorilor FET **(102, 102a, 102b)** din acumulatorul **(3)** de back-up, cu tensiunea necesară oscilației acestora, la o tensiune de alimentare a microconvertorului apropiată de zero.

5. Dispozitiv microconvertor ridicător de tensiune conform cu revendicările 1, 2, 3 și 4, **caracterizat prin aceea că** un generator de curent constant alcătuit (fig.4, fig.5) dintr-un condensator **(201)** cu rol de acumulare de energie, o bobină **(202, 202a, 202b)** având inductanța minimă egală cu cea a primarului **(101a, 101a-1, 101a-2)** transformatorului **(101)** și un condensator de netezire **(203, 203a, 203b)**, alimentează oscilatorul



autorezonant asimetric sau simetric asigurând o creștere a randamentului de funcționare al microconvertorului cu până la 15% în plus față de situația când acesta lipsește.



Desene explicative

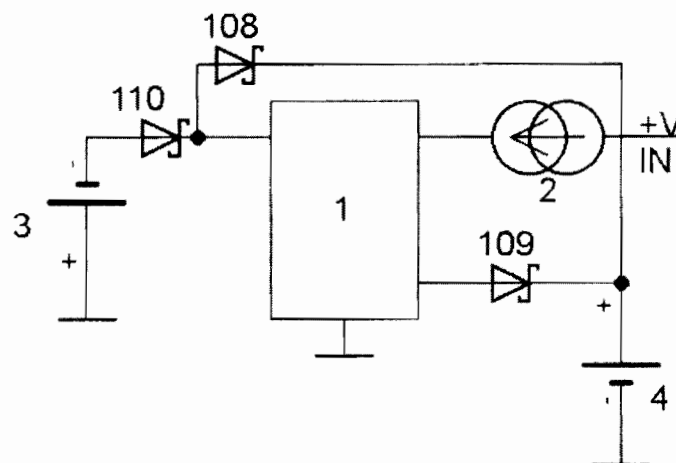


Fig.1

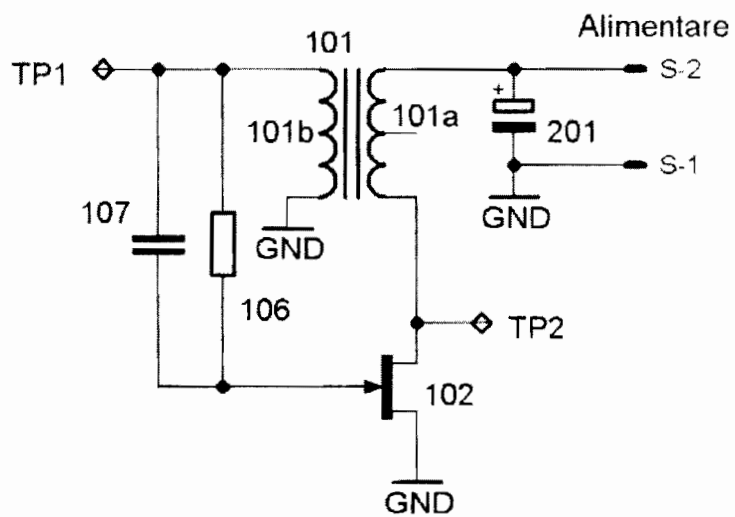


Fig.2

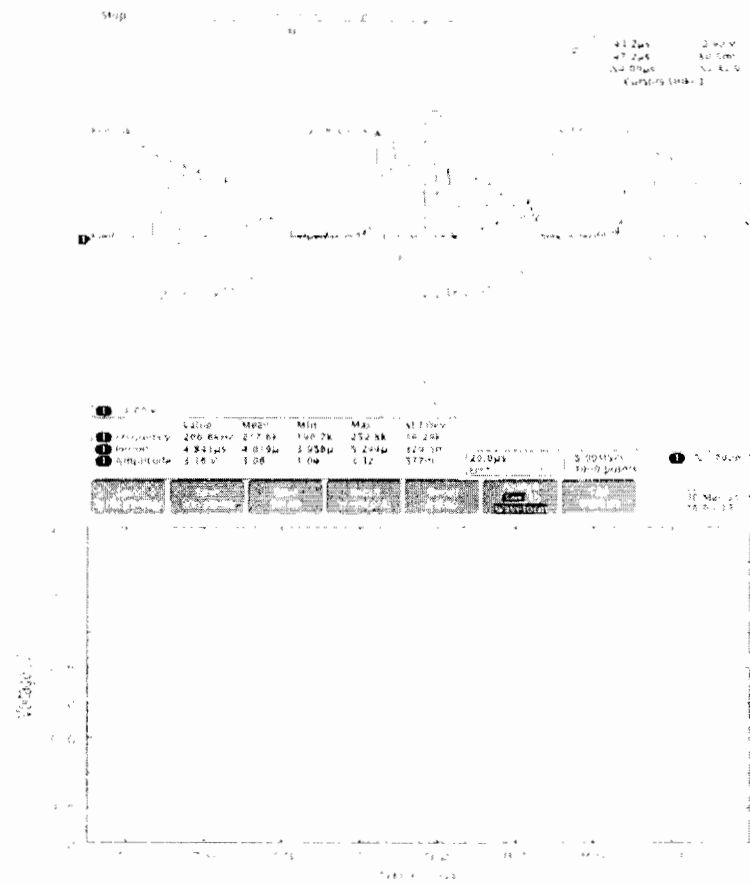


Fig.3

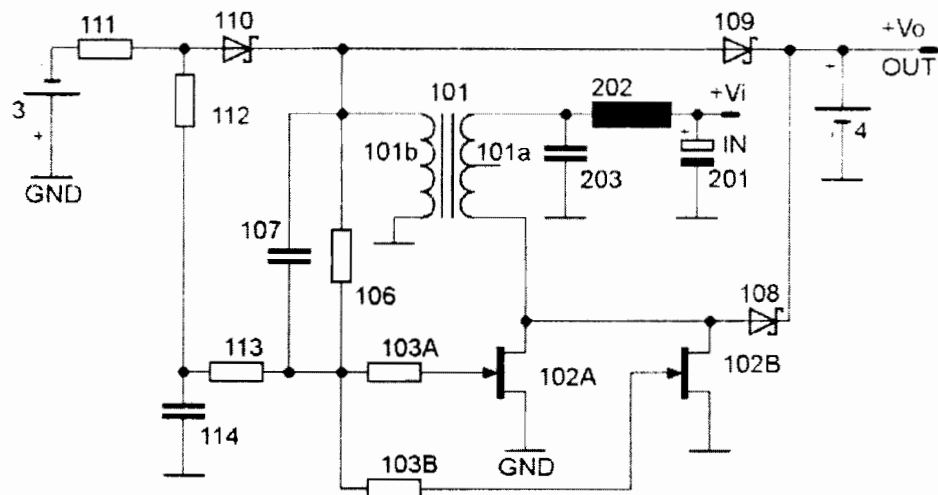


Fig.4

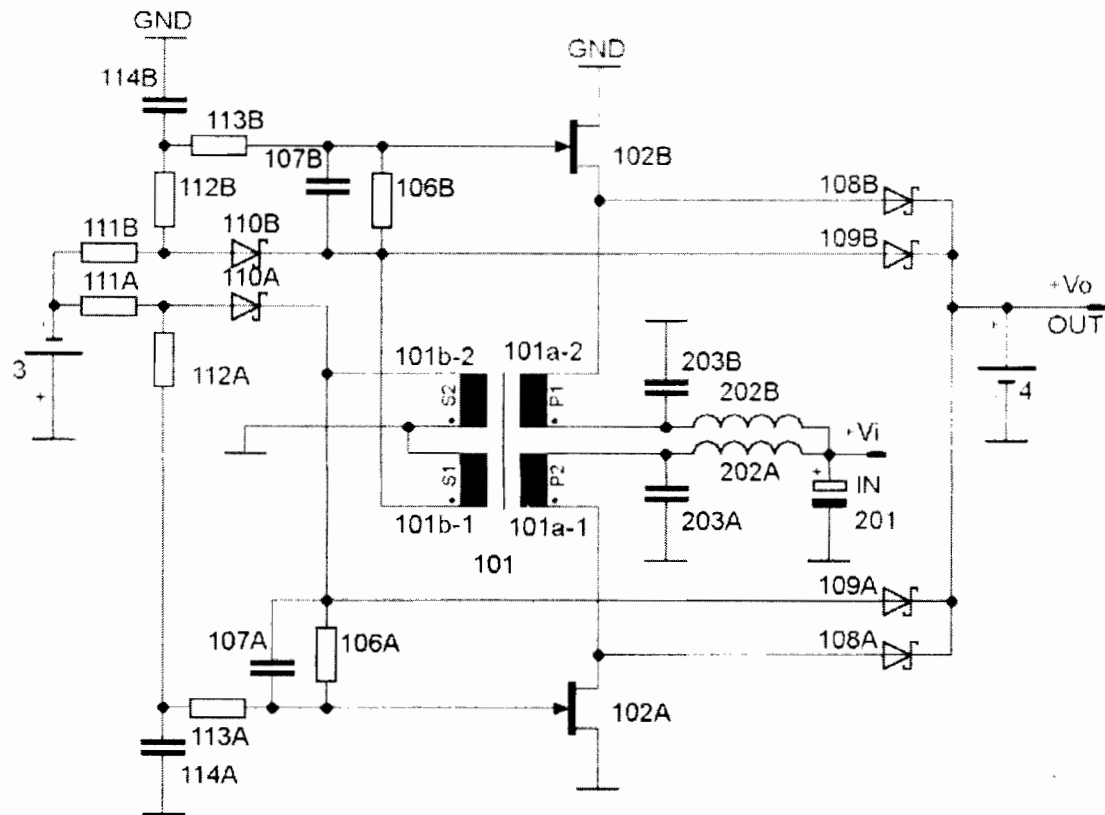


Fig.5