

Montaj experimental pentru studiul convertoarelor c.c. – c.c. de tip ridicător (boost) și coborâtor (buck)

Călin Raluca, asist. Silviu Epure

I. INTRODUCERE

Convertoarele de c.c. – c.c. sunt circuite electronice care transformă valoarea tensiunii primite la intrare, furnizând la ieșire un alt nivel de tensiune; se urmărește transformarea energiei cu randament maxim.

Circuitele de conversie c.c. – c.c. se bazează pe comutatoare cu siliciu (tranzistoare bipolare de putere sau tranzistoare MOSFET), aceste convertoare fiind denumite surse de alimentare în comutație.

Convertorul de tensiune coborâtor produce la ieșire o tensiune mai mică decât tensiunea de intrare.

Convertorul de tensiune ridicător produce la ieșire o tensiune mai mare decât tensiunea de intrare.

Convertorul de tensiune inversor produce la ieșire o tensiune de polaritate inversă tensiunii de intrare.

S-a dorit realizarea unui convertor, cu o eficiență mai bună decât a surselor de tensiune liniare, care poate fi folosit atât în configurație de ridicător cât și în configurație de coborâtor de tensiune.

Pentru a putea testa rapid diferiți algoritmi de funcționare/reglare ai convertorului, este necesară implementarea părții de control cu ajutorul unui microcontroller reprogramabil.

II. PREZENTAREA CIRCUITULUI

Pornind de la cerințele impuse s-a decis realizarea circuitului din două cablaje, o parte de putere și o parte de control.

Partea de putere conține comutatoare de putere, partea de comanda pentru comutatoare și o sursă izolată de tensiune folosită pentru alimentarea driverului. Pentru disiparea eficientă a căldurii, componentele electronice de putere vor fi montate pe un radiator (ales ca "suficient de mare"). Cablajul circuitului de putere s-a proiectat astfel încât să se potrivească radiatorului ales.

Cel de-al doilea cablaj are la bază un microcontroller 18F2620, un afișor digital de tip Nokia 3410 și butoane.

Legătura dintre cele două plăcuțe a fost realizată prin fire de legătură și conectori.

Figura 1 prezintă partea de putere:

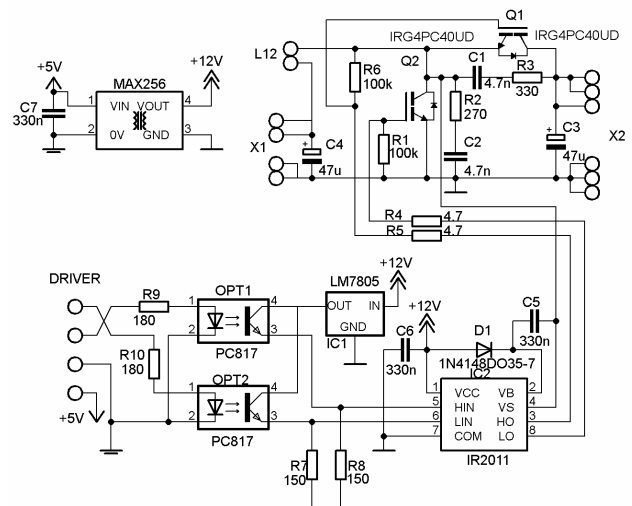


Fig. 1 Schema electrică a părții de putere

S-au folosit 2 tranzistoare IGBT de tipul IRG4PC40UD (40 A curent maxim de colector și cu tensiune colector emitor de 600V), cu diodă antiparalel inclusă în capsulă. În configurația de coborâtor Q1 este utilizat ca tranzistor, iar Q2 ca diodă (se folosește dioda inclusă în capsula tranzistorului, între colector și emitor); în configurația de ridicător Q2 este "tranzistor" și Q1 "diodă".

Între colector și emitor s-au conectat circuite RC (snubbere) pentru limitarea vârfulurilor de tensiune apărute la comutația tranzistoarelor.

În configurația de scăzător partea de putere este alimentată prin conectorul X1, iar ieșirea este la conectorul X2; în configurația de ridicător alimentarea este prin conectorul X2, iar ieșirea este la conectorul X1.

Atât configurația de ridicător, boost, cât și cea de coborâtor de tensiune, buck, necesită utilizarea unei bobine. S-a realizat manual o bobină cu 30 spire cu fir conductor de 1 mm pe un miez de ferită E+E, pentru a minimiza atât pierderile în rezistența electrică a conductorului, cât și în miez.

O filtrare preliminară a tensiunii de intrare și a tensiunii de ieșire s-a realizat utilizând condensatoare electrolitice de 400V și 47uF. S-au montat conectori pe placă pentru conectarea de condensatori suplimentari (penru cazul în care este necesar).

Rezistențele R1 și R6 asigură tensiunea de 0V între grilă și emitor în situația în care circuitul de comandă nu este alimentat.

Pentru comanda tranzistoarelor s-a folosit circuitul

specializat IR2011, care poate comanda o jumătate de punte H (tranzistorul de jos și tranzistorul de sus) și folosește puține componente exterioare (D1, C5) pentru comanda tranzistorului flotant (de sus).

S-au utilizat optocuploare PC817 pentru izolarea galvanică a semnalului de comandă (de la microcontroller) de circuitul de putere.

Alimentare circuitului IR2011 și a optocuploarelor s-a realizat cu o sursă izolată galvanic bazată pe circuitul MAX256; s-a utilizat schema recomandată în foaia de catalog.

Figura 2 prezintă partea de control:

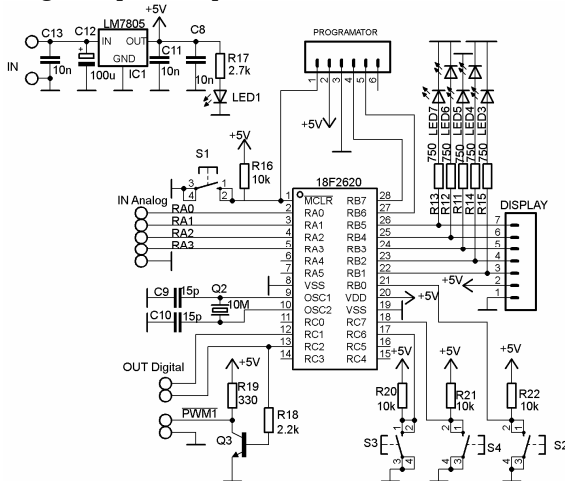


Fig. 2 Schema electrică a părții de control

S-a folosit microcontrollerul 18F2620 pentru obținerea semnalului de comandă pentru tranzistoare, pentru a facilita interfața cu utilizatorul, pentru afișajul pe ecran și pentru utilizarea ledurilor. Modulul ADC al microcontrollerului permite conversia analog – numerică a 4 semnale analogice (conectorul "IN Analog") în vederea prelucrării software.

Prezența afișorului este opțională; acesta poate afișa valoarea PWM, valorile mărimilor analogice achiziționate, dar poate fi utilizat și pentru afișarea altor informații. În lipsa acestuia se pot utiliza cele 5 leduri pentru semnalizarea diferitelor evenimente. Ledurile au fost conectate în paralel cu liniile de comunicație ale afișorului.

Semnalul PWM generat de microcontroller este disponibil la conectorul "OUT Digital". Tranzistorul BC237 inversează semnalul PWM de comandă.

Butoanele se pot folosi pentru introducerea diferitelor setări în algoritmul scris în microcontroller.

Stabilizatorul de tensiune LM7805 asigură alimentarea microcontrollerului și a componentelor adiacente cu tensiune stabilizată.

III. REZULTATE EXPERIMENTALE

FUNCȚIONARE ÎN REGIM DE COBORĂTOR DE TENSIUNE

Funcționarea în buclă deschisă

S-a verificat funcționarea în buclă deschisă pentru configurația de coborător de tensiune.

Figura 3 prezintă configurația de coborător de tensiune:

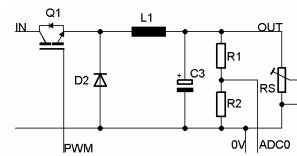


Fig. 3 Configurația de scăzător de tensiune

În figurile 4, și 5 sunt reprezentate semnalul PWM (~30%), tensiunea din grila tranzistorului Q1 și tensiunea din emitor. Forma de undă de pe canalul 2 (figura 4) reprezintă suma tensiunilor emitor - masă și grilă - emitor. Figura 6 prezintă un detaliu al tensiunii de ieșire.

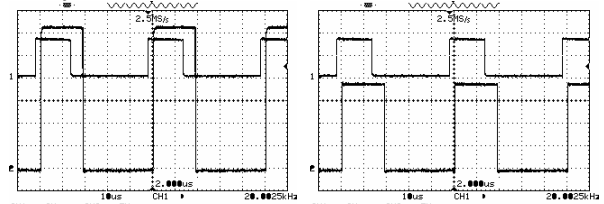


Fig. 4 PWM, tensiune grilă Q1 Fig. 5 PWM, tensiune emitor Q1

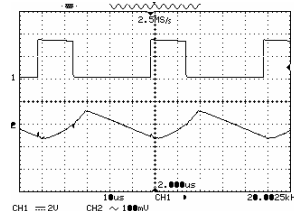


Fig. 6 PWM, tensiune de ieșire

S-a analizat variația tensiunii de ieșire în funcție de factorul de umplere al PWM. Pentru alimentarea montajului s-a utilizat o sursă stabilizată, reglabilă de 5A, 20 V. S-a determinat caracteristica $U_{ies}=f(\text{PWM})$ pentru circuitul în buclă deschisă, cu rezistența de sarcină $R_s=40\Omega$.

$$U_{ies}=20 \cdot \text{PWM}+1$$

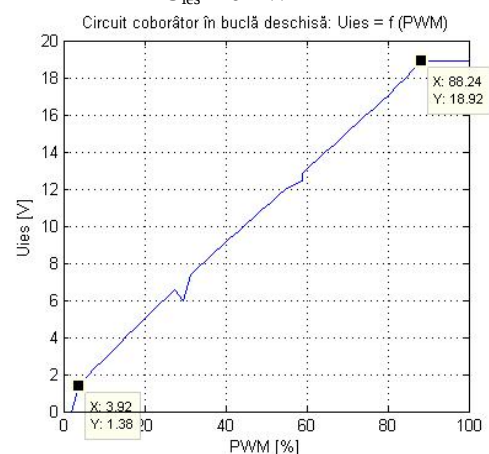


Fig. 7 Variația tensiunii de ieșire în funcție de PWM

Caracteristica s-a obținut prin incrementarea manuală a factorului de umplere și măsurarea tensiunii de ieșire (s-a folosit aplicația MicroPascal):

```
if portb.0=0 then
begin
j:=j+1;
PWM1_Set_Duty(j);
delay_ms(500);
```

end;

Funcționarea în buclă închisă

Pentru a determina eficiența circuitului de putere în funcție de curentul de sarcină și tensiunea de la intrare, s-a configurat circuitul ca sursă de tensiune continuă cu $U_{ieș}=10V$ și buclă de control realizată software:

```

WHILE 1 DO
begin
    temp:=ADC_Read(1);
    if temp<590 then
        j:=j+1;
    if temp>590 then
        j:=j-1;
    PWM1_Set_Duty(j);
    delay_ms(100); end;
    
```

unde "590" reprezintă valoarea numerică de la ieșirea convertorului analog – numeric al microcontrollerului pentru 10V la ieșirea sursei de tensiune.

S-a ales un divizor de tensiune care să coboare nivelul nominal (10V) al tensiunii de ieșire până la o valoare de 2,9V ($R_1=7,5\text{ k}\Omega$; $R_2=2,7\text{ k}\Omega$).

S-a modificat apoi manual valoarea rezistenței de sarcină, R_s , între $1,5\Omega$ și 300Ω pentru a măsura curentul de sarcină și s-a trasat caracteristica :

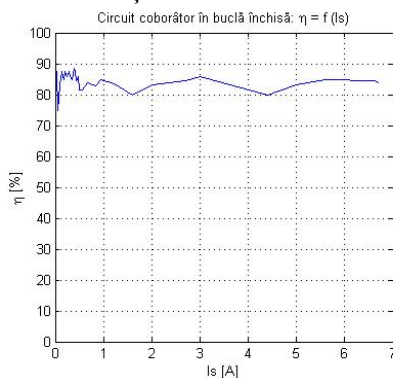


Fig. 8 Variația randamentului în funcție de curentul de sarcină

Din caracteristica $\eta=f(I_s)$ se poate observa că randamentul are valori mai mari decât 80% pentru întreg domeniul de curenți de sarcină.

S-a analizat și legătura dintre eficiență și valoarea tensiunii de intrare ($U_{ieș}=10V$, $I_{ieș}=1A$, $R_s=10\Omega$) prin modificarea tensiunii de intrare între 20V și 11V și măsurarea curentului de intrare.

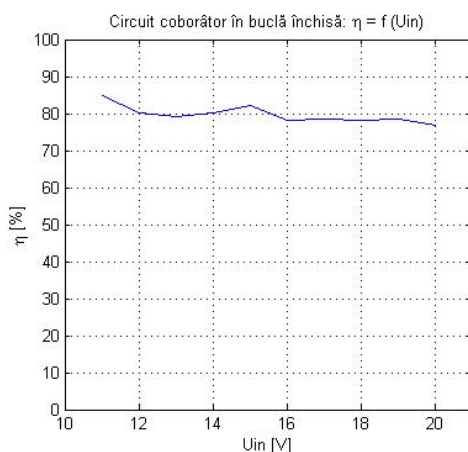


Fig. 9 Variația randamentului în funcție de tensiunea de intrare

Din graficul $\eta=f(U_{in})$ rezultă o eficiență mai mare de 75% pentru tensiuni de intrare mai mari decât 10V.

FUNCTIONARE ÎN REGIM DE RIDICĂTOR DE TENSIUNE

Funcționarea în buclă deschisă

Figura 10 prezintă configurația de ridicător de tensiune:

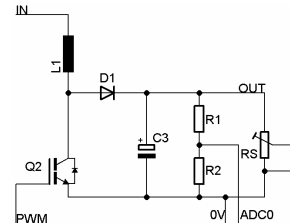


Fig. 10 Configurația de ridicător de tensiune

În figura 11 sunt reprezentate semnalul PWM și tensiunea din grila tranzistorului, iar tensiunea din colector este reprezentată în figura 12. Figura 13 prezintă un detaliu al tensiunii de ieșire.

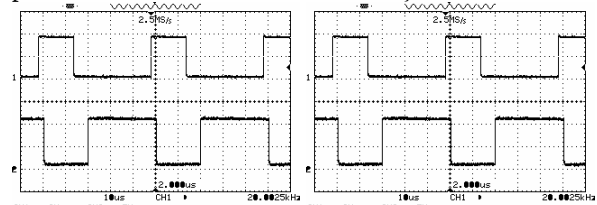


Fig. 11 PWM, tensiune grilă Q2 Fig. 12 PWM, tensiune colector Q2

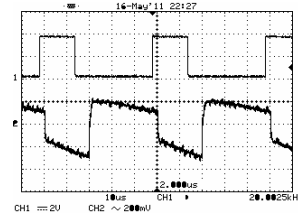


Fig. 13 PWM, tensiune de ieșire

S-a studiat variația tensiunii de ieșire în funcție de semnalul PWM. Pentru alimentarea montajului s-a utilizat o sursă stabilizată, reglabilă de 5A, 20 V. S-a determinat caracteristica $U_{ieș}=f(\text{PWM})$ pentru circuitul în buclă deschisă. Aceasta s-a obținut prin incrementarea manuală a factorului de umplere și măsurarea tensiunii de ieșire.

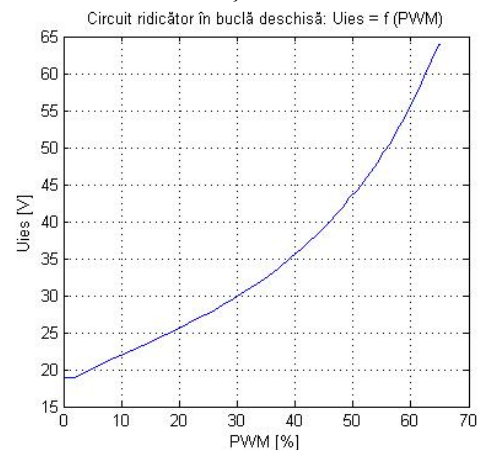


Fig. 14 Variația tensiunii de ieșire în funcție de PWM

Se observă o variație neliniară (parabolă) între

tensiunea de ieșire și semnalul PWM.

Codul implementat pentru măsurători este:

```
if portb.0=0 then
    begin
        j:=j+1;
        PWM1_Set_Duty(j);
        delay_ms(500);
    end;
```

unde portb.0=0 reprezintă condiția de incrementare a PWM-ului (factorul de umplere se incrementează la fiecare apăsare a butonului B1).

Funcționarea în buclă închisă

Bucloa de reacție s-a închis prin divizorul de tensiune R1, R2 și microcontroller.

S-a dorit obținerea unei tensiuni de ieșire de 40V și s-au ales $R1=30k\Omega$, $R2=18k\Omega$ astfel încât la intrarea ADC nivelul maxim al tensiunii de ieșire să coboare până la valoarea de 3,6V.

Codul sursă utilizat în microcontroller pentru bucla de reglare este:

```
WHILE 1 DO
    begin
        temp:=ADC_Read(1);
        if temp<745 then
            j:=j+1;
        if temp>745 then
            j:=j-1;
        PWM1_Set_Duty(j);
    end;
```

unde "745" $\equiv$ 3,6V la intrarea ADC $\equiv$ 40V ieșire.

Analiza randamentului s-a realizat prin varierea rezistenței de sarcină între 20 Ω și 600 Ω , măsurarea curentului de sarcină și a curentului de intrare.

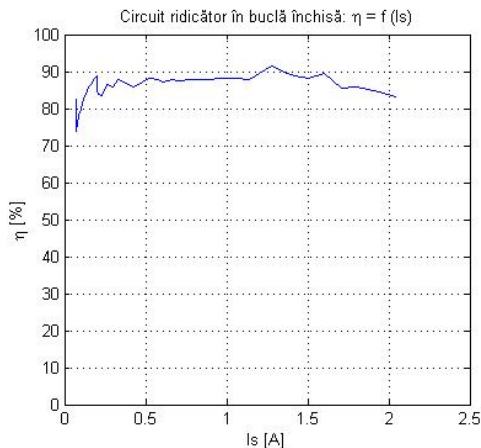


Fig. 15 Variația randamentului în funcție de curentul de sarcină

Din caracteristica $\eta=f(I_s)$ se poate observa că randamentul are valori cuprinse între 80% și 90%.

S-a studiat și $\eta=f(U_{in})$ pentru $U_{ieș}=40\text{ V}$ și $I_{ieș}=0,4\text{A}$. Graficul a fost realizat prin modificarea tensiunii de intrare între 20V și 6,5V, măsurarea curentului de intrare și calcularea puterilor.

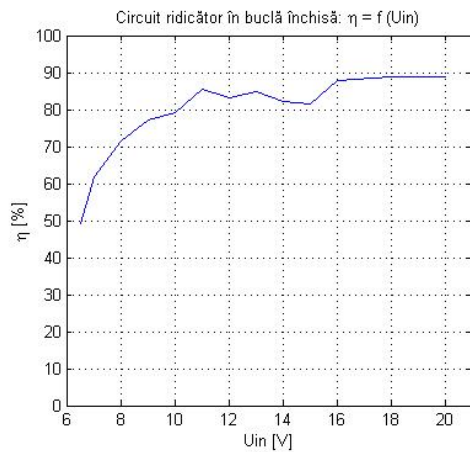


Fig. 16 Variația randamentului în funcție de tensiunea de intrare

Din grafic se poate observa că circuitul funcționează cu randament mai mare decât 80% pentru tensiuni de alimentare mai mari decât 6V.

IV. REALIZARE PRACTICĂ

Pentru a desena schemele electrice și pentru a proiecta cablajele imprimate s-a folosit aplicația Eagle.

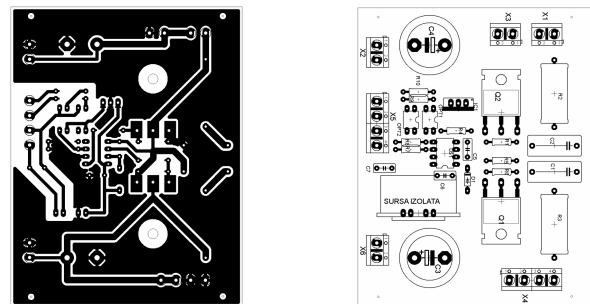


Fig. 17 Cablaj pentru circuitul de putere

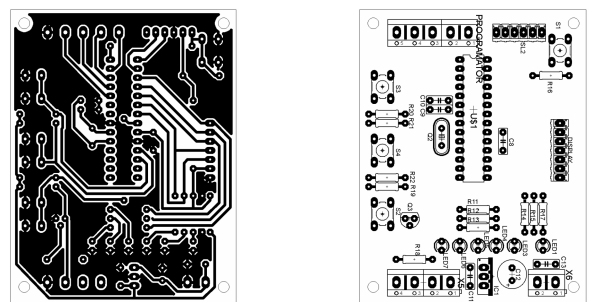


Fig. 18 Cablaj pentru circuitul de control

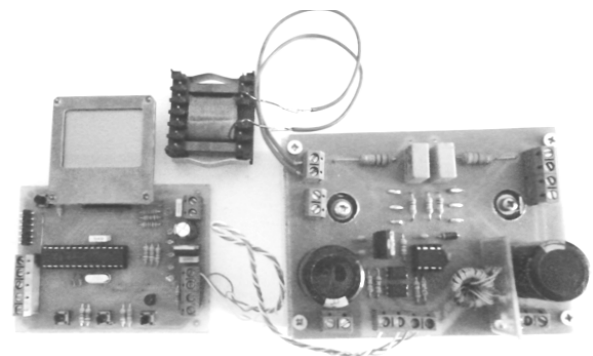


Fig. 19 Montaj practic

V. CONCLUZII

S-a proiectat un circuit electric, format din două plăcuțe, una pentru partea de putere și una pentru partea de control. Acesta (un convertor c.c. - c.c.) poate fi utilizat în configurație de scăzător de tensiune (buck) sau în configurație de ridicător de tensiune (boost), folosind componente ce permit curenți și tensiuni mari de ieșire.

Partea de control a fost realizată cu microcontrollerul 18F2620; acesta facilitează implementarea diversilor algoritmi pentru comanda tranzistoarelor și pentru controlul funcționării convertorului c.c. – c.c. în cele două configurații.

Pentru o interfață accesibilă utilizatorului au fost folosite afișorul și butoanele, astfel este posibilă incrementarea semnalului de comandă și vizualizarea acestuia.

Funcționarea circuitului a fost verificată atât cu circuitul în buclă deschisă, cât și în buclă închisă, ca stabilizator de tensiune.

Eficiența montajului a fost analizată în funcție de curentul de sarcină și în funcție de tensiunea de intrare. Valorile determinate arată un randament mai mare decât 80% în toate cazurile studiate.

VI. BIBLIOGRAFIE

- [1] *Curs Circuite Electronice Fundamentale – prof. L. Frangu, 2010*
www.etc.ugal.ro/lfrangu/CEF
- [2] *curs PAC*
<http://www.etc.ugal.ro/ccraciun/PacCurs.zip>
- [3] *Curs Programare în Asamblare și Microcontrolere – S.I. C. Chiculiță*
- [4] *curs Electronică de Putere*
www.studentie.ro/Cursuri/Electronica-industriala
- [5] *Foaia de catalog a tranzistoarelor de putere*
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/irg4pc40ud.pdf>
- [6] *Foaia de catalog a circuitului IR2011*
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/ir2011.pdf>
- [7] *Foaia de catalog a microcontrollerului*
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/d/0j1scipt8ektr10e9szi820j36cy.pdf>
- [8] *Foaia de catalog a optocuploarelor*
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/Sharp/mXqyrss.pdf>
- [9] *Foaia de catalog a circuitului MAX256*
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/221672/MAXIM/MAX256.html>