

UTILIZAREA MICROCONTROLLERULUI ÎN SISTEMELE DE COMANDĂ CU STABILIZATORUL DE TENSIUNE ÎN COMUTAȚIE STEP-DOWN

Florentin DÎRZU, Ion BRUNCHI

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În această lucrare se cercetează posibilitatea utilizării a unui microcontroler uzual în calitate de modul de comandă a unui stabilizator în comutație de tensiune step-down. Se prezintă o variantă posibilă de realizare a modului de comandă, și se măsoară caracteristicile stabilizatorului în comutație de tensiune. Tot o dată în această lucrare se analizează raționalitatea utilizării microcontrolerului ca modul de comandă.

Cuvintele cheie: stabilizator de tensiune în comutație, sistem de dirijare, microcontroler, randament, tranzistor MOSFET, parametri.

Introducere

Stabilizatoarele de tensiune pe larg se utilizează în diferite echipamente electronice pentru a le alimenta cu tensiune sau tensiuni continue. Stabilizatoarele de tensiune în comutație oferă aceleași capacități de stabilizare ca și cele liniare, însă în condițiile unor pierderi de energie electrică mult mai mici. Acest avantaj impune utilizarea unor scheme electronice mai complexe. Construcția și utilizarea stabilizatoarelor de tensiune în comutație este mult mai ieftină decât utilizarea stabilizatoare de tensiune liniare clasice. Acesta este motivul pentru care astăzi producția de aparatură electronică tinde pe cât posibil să renunțe la stabilizatoarele de tensiune liniare în favoarea celor în comutație [2].

În cazul stabilizatorului de tensiune liniar curentul electric curge continuu între intrare și ieșire. În cazul stabilizatorului în comutație tensiunea de ieșire se formează din impulsuri din tensiunea de intrare. Impulsurile se formează utilizând o cheie electronică. Pentru ca aceste impulsuri să redevină tensiuni continue și constante, înainte de ieșirea din stabilizator, sunt integrate cu ajutorul unui filtru LC format dintr-o bobină de șoc și un condensator. Este bine cunoscut că valoarea tensiunii de ieșire depinde de valoarea tensiunii de intrare și de duratele de timpi în care cheia electronică este închisă și deschisă. Decizia despre durata acestor timpi trebuie să o facă modulul de control, care trebuie să ia în considerație valorile momentane a tensiunilor de intrare și ieșire, deseori și de curentul în sarcină.

Actualmente pe larg se produc microcircuite specializate care permit realizarea a diferitor tipuri de stabilizatoare de tensiune în comutație: step-down, step-up, step-up/down. În lucrarea de față se propune de a studia posibilitatea utilizării a unui microcontroler uzual ATMEGA8 [4] în modulul de comandă [1] cu tranzistorul MOSFET, utilizat în calitate de cheie electronică, a unui stabilizator step-down.

I. Modulului de control

În figura 1 este prezentată schema funcțională a unui stabilizator step-down [2] pentru care se va analiza posibilitatea de creare a modului de control bazat pe microcontroler. Stabilizatorul în comutație este după schemă clasică în care se utilizează tranzistorul de putere MOSFET pentru a transmite trecerea intermitentă a tensiunii de alimentare creând astfel la ieșirea lui un semnal format din impulsuri de tensiune. Integratorul constituit din bobina de șoc L și condensatorul C (filtru LC) are rolul de a transforma impulsurile de tensiune în semnal de ieșire continuu.

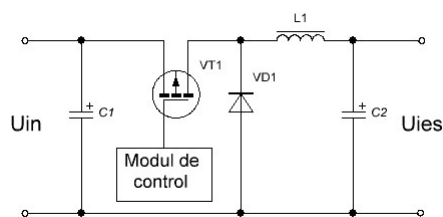


Figura 1. Schema funcțională a unui stabilizator step-down

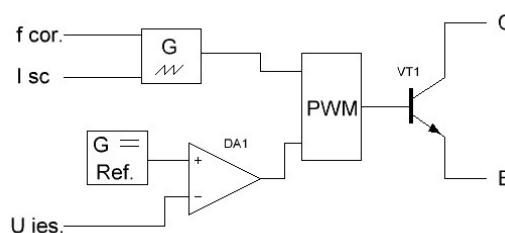


Figura 2. Schema funcțională a modului de control a unui stabilizator în comutație

Modulul de control generează impulsuri de frecvență constantă, semnal de comandă pentru elementul de comutare, durata cărora se modifică astfel încât să se obțină o tensiune constantă la ieșirea stabilizatorului.

De regulă, frecvența de lucru a acestuia este între 20 și 300 kHz. Schema funcțională a modului de control este prezentată în figura 2 și este compusă din generatorul de frecvență reglabil G, sursa de tensiune de referință G_{ref} , comparatorul DA, modulul de generare a impulsurilor PWM (pulse width modulation) și un tranzistor VT pentru a obține puterea necesară a semnalului PWM. Frecvența generatorului de impulsuri depinde de valoarea capacității a condensatorului conectat la intrarea f_{cor} . Când la intrarea generatorului I_{sc} se aplică un semnal activ, care indică că curentul prin sarcină depășește valoarea maximă, se stopează generarea impulsurilor, ca urmare și generarea semnalului PWM. În momentul, de timp când tensiunea de ieșire devine mai mare de cât tensiunea de referință, comparatorul înștiințează modulul PWM pentru a modifica corespunzător semnalul PWM.

Analizând arhitectura a microcontrolerului ATmega8 din descrierea tehnică [4] se observă că el conține toate elementele necesare pentru realizarea a unui modul de control. Realizarea modului de control pe microcontroler va permite de a schimba algoritmul de funcționare după necesitate. Modificarea algoritmului de funcționare se va efectua prin introducerea schimbărilor în softul executat de microcontroler. În urma cercetărilor efectuate a fost alcătuită arhitectura a modului de control prezentată în figura 3.

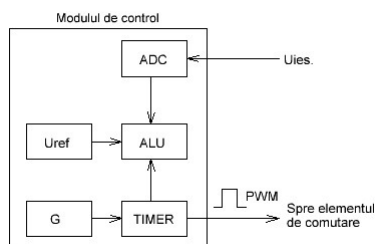


Figura 3. Arhitectura a modului de control realizată pe microcontroler

Generarea semnalului PWM se va realiza cu timer-ul T1 de 16 biți din componența microcontrolerului ATmega8, care va funcționa în regim de generare a semnalului PWM. Utilizarea timer-ului de 16 biți în comparație de cel de 8 biți permite de a genera impulsuri de durată mai precisă, ceea ce va permite de a îmbunătăți caracteristicile de ieșire a stabilizatorului. Timer-ul și toate elementele microcontrolerului se vor sincroniza de la generatorul intern G care va funcționa la frecvența maximă de 16MHz. Convertorul analog – digital ADC de 10 biți va transforma tensiunea de ieșire în cod digital care se aplică la unitate aritmetico-logică ALU. La unitatea aritmetico logică se aplică și codul de la generatorul tensiunii de referință. Tensiunea de referință este de 2,5V. Unitatea aritmetico logică compara aceste două coduri și calculează valoarea Δ cu care trebuie de mărit/micșorat durata semnalului PWM.

Utilizarea generatorului tensiunii de referință intern de 2,5V impune condiția ca tensiunea de intrare maximă la intrarea convertorului ADC să nu depășească 2,5V (se obține prin setarea inițială a regimului de funcționare a microcontrolerului). Aceasta necesită utilizarea unui divizor de tensiune rezistiv pentru a putea măsura tensiunii de ieșire de valori mai mare de 2,5V. Microcontrolerul poate efectua conversia semnalului analogic în cod de la 6 intrări (în cazul microcontrolerului cu corpul DIP24). Acesta permite de a efectua măsurări în mai multe puncte, cum este tensiunea de intrare, curentul de ieșire, sau tensiunile de ieșire în cazul când stabilizatorul are mai multe tensiuni de ieșire.

Experimental s-a determinat ca pentru microcontrolerul ATmega8, care funcționează la frecvența maximă 16MHz, optimal este ca frecvența semnalului PWM să fie de 20 kHz. Majorarea frecvenței semnalului PWM este limitată de capacitatea de calcul a microcontrolerului, iar micșorarea ei conduce la reducerea eficienței stabilizatorului.

Convertorul ADC intern de 10 biți va efectua conversia semnalului analogic a tensiunii de ieșire a stabilizatorului în cod cu pasul de $2,56V/1023=2,44mV$. Ca urmare precizia tensiunii de ieșire va fi $2,44 \cdot K$, unde K este coeficientul de divizare a divizorului de tensiune conectat la intrarea ADC. Pentru cazul când $K=10$ amplitudinea pulsațiilor va fi de 24,4mV.

II. Schema stabilizatorului și rezultatele cercetării

În figura 4 este prezentată schema funcțională a stabilizatorului de tensiune în comutație comandat de microcontroler. Modulul de comandă este construit pe microcontrolerul ATmega8, unde se efectuează măsurarea tensiunii de ieșire de pe divizorul de tensiune alcătuit din rezistoarele R4, R5, R6. Semnalul analogic măsurat se convertește de către convertorul ADC în cod digital și se aplică la unitatea aritmetico-logică ALU pentru a fi comparat cu tensiunea de referință U_{ref} . Ca rezultat se generează un cod digital ce semnifică o fantă de timp de corecție a duratei impulsului a semnalului PWM generat de TIMER. Semnalul PWM de la ieșirea

TIMER-ului se aplică la un etaj de amplificare pe tranzistorul VT1 și amplificat la grila tranzistorului MOSFET VT3, poziția comutatorului SA1 opusa celei indicate în schema din figura 4, sau la un etaj driver pe tranzistorul VT2, poziția comutatorului SA1 indicată în schemă. Microcontrolerul este alimentat cu tensiunea de +5V de la stabilizatorul de tensiune liniar DA1. Elementele L1, C5, VD2 prezintă partea tipică a stabilizatorului de tensiune în comutație.

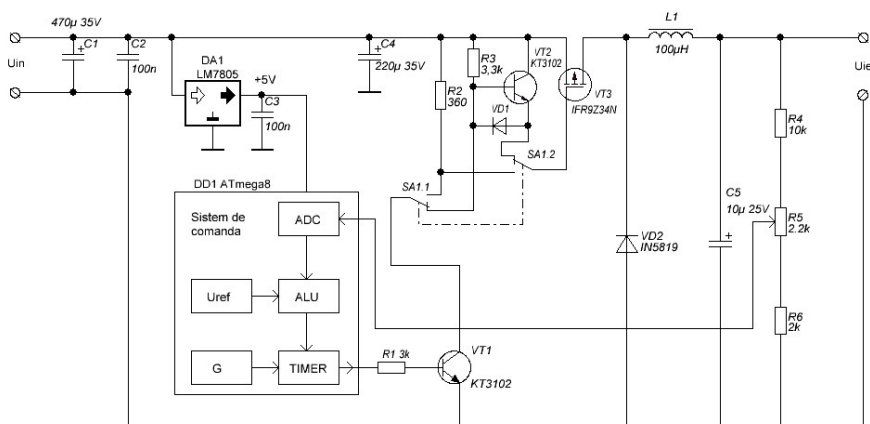
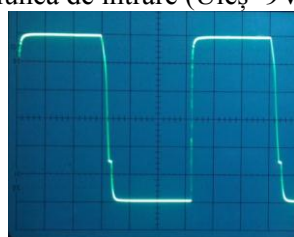


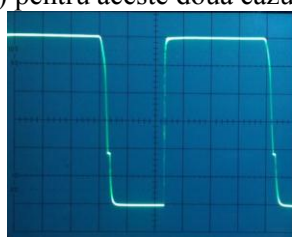
Figura 4. Schema funcțională a stabilizatorului de tensiune în comutație comandat de microcontroler

La aplicarea tensiunii la intrarea stabilizatorului modulul de control forțat generează impulsuri PWM cu durata impulsului minimală. Aceasta permite ca la ieșirea stabilizatorului sa apară o tensiune de anumită valoare. Acesta tensiune prin divizorul de tensiune R4, R5, R6 se aplică la intrarea convertorului ADC a modulului de control. Modulul de control calculează care trebuie să fie durata impulsului semnalului PWM pentru a obține la ieșirea stabilizatorului pentru cazul nostru 9V. Procesul dat se repetă în continuu asigurând o tensiune constantă la ieșirea stabilizatorului.

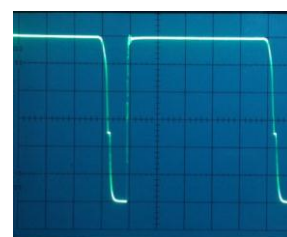
Fiind faptul că VT3 este un tranzistor cu efect de câmp MOSFET capacitatea grilei are valori considerabile, încât varierea tensiunii pe grilă depinde de rezistența și capacitatea grilei. În figura 5 sunt prezentate oscilogrammele impulsului PWM pe grilă față de sursă a tranzistorului VT3 când la grilă este conectat numai rezistorul R2. Se observă ca tensiunea pe grila tranzistorului se schimbă rapid când tranzistorul se deschide, tranzistorul VT1 este deschis și grila are potențialul aproape zero. În cazul când tranzistorul VT1 se închide grila tranzistorului rămâne în „aer”, tensiunea acumulata pe capacitatea grilei se descarcă prin rezistorul R2 - se observă clar pe oscilogramme. Capacitatea grilei în acest caz se descarcă încet. Micșorând valoarea rezistenței R2 se poate de micșorat timpul de descărcare a capacității grilei, dar aceasta conduce la mărirea curentului prin rezistorul R1 ceea ce necesită de utilizat un tranzistor VT1 mai puternic ce va micșora în final randamentul stabilizatorului. Pentru a elimina acest neajuns se introduce în circuit, un etaj driver, pe VT2, VD1, R3, comutatorul SA1 este în poziția indicată pe schemă. Când tranzistorul VT1 este deschis grila a tranzistorului VT3 prin dioda VD1 este comutată la potențialul zero. Când tranzistorul VT1 este închis se deschide tranzistorul VT2 scurtcircuitând capacitatea grilei a tranzistorului VT3. Capacitatea se descarcă rapid prin tranzistorul VT2 deschis. Acest lucru se observă clar în figura 6. Ca urmare timpul de închidere a tranzistorului VT3 se micșorează, ca rezultat se micșorează degajarea de energie termică a tranzistorului și crește randamentul stabilizatorului. În figura 7 sunt prezentate dependențele randamentului stabilizatorului de tensiunea de intrare ($U_{ieș}=9V$, $I_{ieș}=0,3A$) pentru aceste două cazuri.



$U_{in}=18V$



$U_{in}=14V$



$U_{in}=10.5V$

Figura 5. Oscilogrammele impulsurilor pe grila tranzistorului MOSFET fara driver

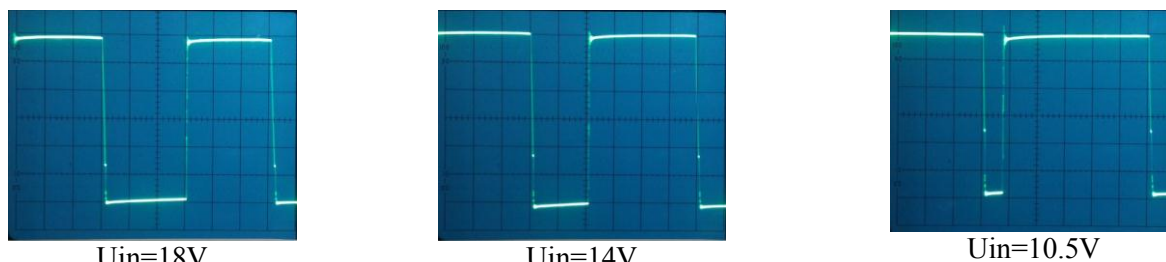


Figura 6. Oscilogrammele impulsurilor pe grila tranzistorului MOSFET cu driver

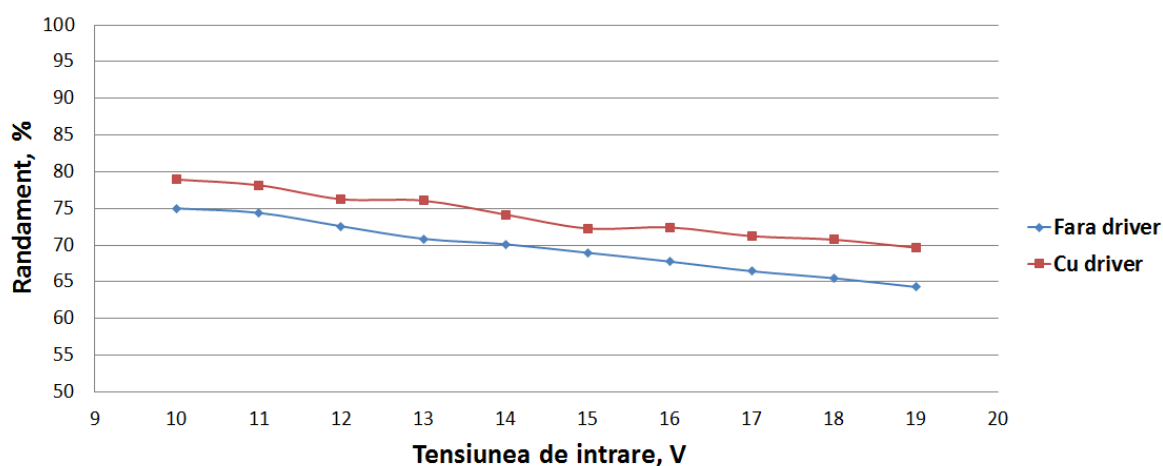


Figura 7. Dependențele randamentului stabilizatorului de tensiunea de intrare

Concluzie

Cercetarea efectuată arată că este posibil de a utiliza un microcontroler ca modul de comandă a unui stabilizator de tensiune în comutație. Parametrii stabilizatorului sunt limitați de posibilitățile tehnice a microcontrolerului. Utilizarea microcontrolerelor mai performante va spori acești parametri. În echipamentul electronic unde se pune cerințe aspre către parametrii dinamici a sursei de alimentare este preferabil de a utiliza stabilizatoare cu circuite integrate specializate. Soluția utilizării microcontrolerului în modulul de comutare este rațional de utilizat în cazul când este necesar de implementat unele funcții specifice care nu le asigura stabilizatoarele cu circuite integrate specializate.

Bibliografie

1. Титовская Н.И., Титовский С.Н. Применение контроллера АТхмега в устройстве управления импульсным стабилизатором напряжения. //Вестник КрасГАУ. -2015. -№7.
2. "Buck-Converter Design Demystified" by Donald Schelle and Jorge Castorena, Technical Staff, Maxim Integrated Products, Sunnyvale, Calif.
3. Popescu V., Stabilizatoare de tensiune în comutație. -Editura de Vest, Timișoara, 1992. -221p.
4. https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf