

Convertorul coborâtor (buck converter)

1. Introducere

Circuitele de conversie c.c. - c.c. (eng. dc – dc) au fost redenumite chopper odată cu apariția comutatoarelor pe siliciu (tiristoare, triace), în engleza – SRC (Silicon Controlled Rectifiers). În prezent, tiristoarele sunt rareori folosite în convertoarele c.c. – c.c., dar se folosesc pe scară largă tranzistoarele bipolare de putere, tranzistoarele MOSFET, și aceste convertoare sunt numite surse de putere în comutație. Sursele în comutație pot fi de unul din următoarele tipuri:

- surse în comutație de tip coborâtor. Tensiunea nestabilizată de la intrare este micșorată pentru a produce o tensiune continuă stabilizată la ieșire. Cunoscută cu numele Buck Converter sau Step-Down SMPS.
- chopper ridicător. Tensiunea nestabilizată de la intrare este crescută pentru a produce o tensiune continuă stabilizată la ieșire. Cunoscută cu numele de BOOST Converter sau Step-Up SMPS.
- convertorul fly-back.
- convertorul mixt. Tensiunea nestabilizată de la intrare este crescută sau micșorată pentru a produce o tensiune continuă stabilizată la ieșire.
- convertoare rezonante.

Aplicații tipice în care se folosesc surse de putere în comutație, chopper-ele, sunt:

- motoare în c.c.
- încărcătoare pentru baterie.
- surse de putere Vcc.

La convertoarele c.c. – c.c. în comutație există câteva particularități pentru inductanțele utilizate, care vor conduce un curent mare la frecvențe înalte. Vor fi utilizate fire lițate în locul celor răsucite la frecvențe mai mari de 50 KHz, cu miezuri magnetice de calitate pentru reducerea pierderilor în miez. De asemenea și condensatoarele sunt solicitate. Acestea lucrează la frecvențe înalte, cu supracurenți periodici. Trebuie verificate limitele de curent ale acestora înainte de a fi utilizate. Deci se va atrage o atenție mare asupra parametrilor de lucru ale inductanțelor și capacităților utilizate.

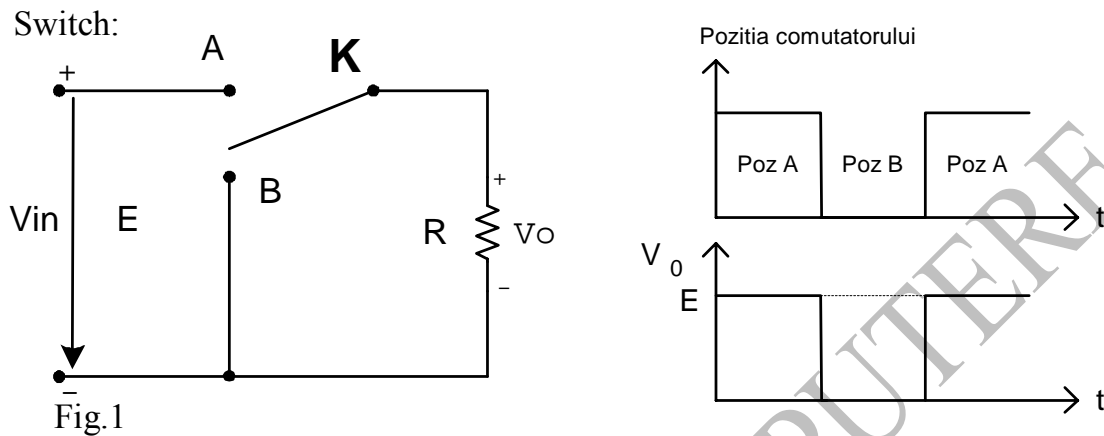
În majoritatea circuitelor de putere, diodele joacă un rol crucial. O dioda de putere normală este proiectată pentru a lucra la 400 de Hz sau mai puțin. În majoritatea invertoarelor și convertoarelor c.c. – c.c. lucrează la frecvențe mult mai înalte și deci aceste circuite necesită diode care să comute închis și deschis rapid. În plus, este de dorit ca diodele să nu introducă efect de regim transient la comutație. De aceea este foarte importantă alegerea corectă a diodelor.

2. Convertorul Buck(coborâtor) – descrierea funcționării

Este un circuit electronic care are rolul să furnizeze la ieșire o tensiune constantă și de valoare mai mică decât tensiunea de alimentare (V_{alim}). Regulatorul în comutație este utilizat în locul reguletoarelor liniare de tensiune la puteri mari ale sarcinii (la curenți mari). Odată ce

dispozitivele de putere care lucrează în reglatoarele liniare disipă o parte mare din puterea sursei, acestea au nevoie de o răcire adecvată și duc la scăderea randamentului regulatorului.

Să considerăm circuitul din Fig. 1, care conține un comutator cu două poziții:



Pentru circuitul de mai sus, tensiunea de ieșire este egală cu cea de la intrare când comutatorul este pe poziția **A** și este zero când comutatorul este pe poziția **B**. La varierea duratei pentru care cheia este pe poziția **A** sau **B**, se va modifica tensiunea medie pe rezistență. Dar tensiunea de ieșire nu este chiar continuă. Tensiunea de ieșire este compusă dintr-o tensiune continuă și o formă de undă dreptunghiulară cu tensiunea medie nulă, ca în Fig. 2. Deci, printr-o filtrare adecvată, se va obține o tensiune continuă pe sarcină, cu un riplu cât mai mic.

La creșterea factorului de umplere, D , tensiunea medie (componenta continuă) va crește, și invers. Astfel, tensiunea continuă de pe sarcina va putea fi reglată prin setarea factorului de umplere corect.

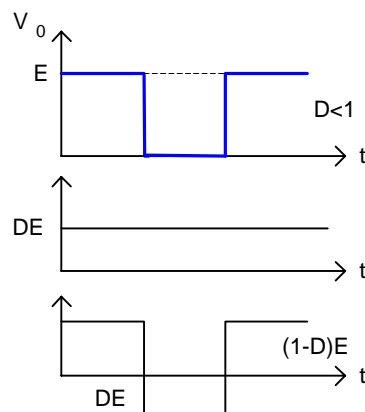


Fig. 2 Descompunerea formei de unda a tensiunii de ieșire

Circuitul din Fig. 1 poate fi modificat după cum se vede în Fig. 3 prin adăugarea unui inductor în serie cu rezistența de sarcină. Inductorul va reduce riplul de curent care trece prin el, care va fi egal cu cel de pe rezistența de sarcină. Când comutatorul este pe poziția **A**, curentul prin inductor crește, astfel crește energia stocată în inductanță. Când comutatorul este pe poziția **B**, inductorul lucrează ca o sursă și menține curentul pe rezistența de sarcină. Pe durata acestui interval, energia stocată în inductanța descrește și curentul prin ea scade. Este

important de menționat că în acest circuit avem o conducție continuă pe rezistența de sarcina, adică curentul este în același sens pe toată durata de funcționare.

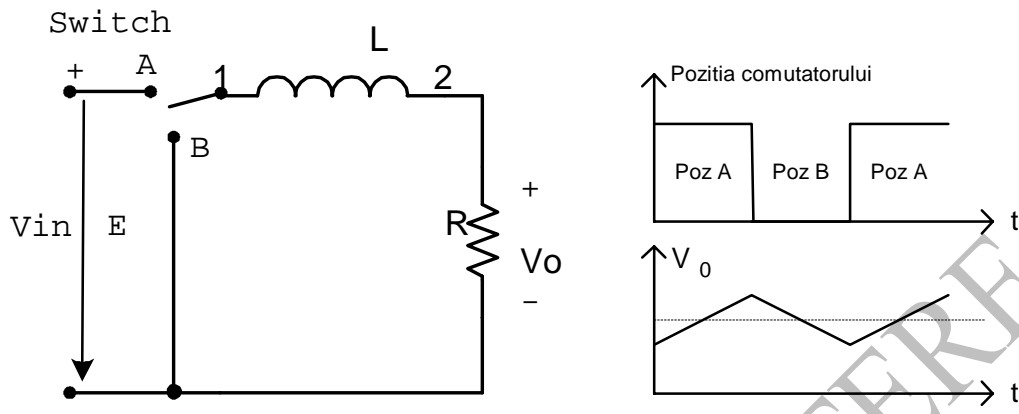


Fig.3: Efectul adus de o inductanță

Următorul pas în evoluția proiectării convertorului Buck este adăugarea unui capacitor peste rezistența de sarcina, cum se vede în Fig. 4. capacitatea reduce mărimea riplului de tensiune, în timp ce inductorul netezește curentul prin el. Acțiunea combinată a filtrului LC reduce foarte mult riplul tensiunii pe sarcină.

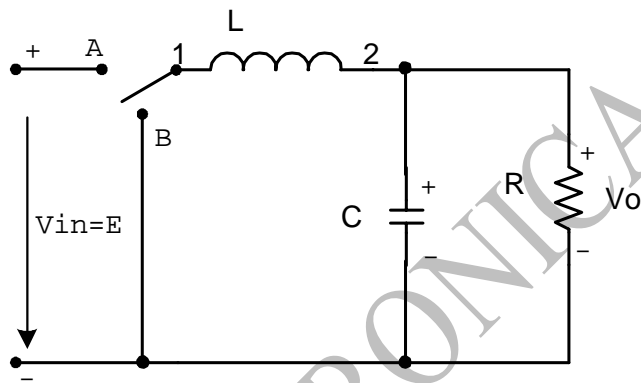


Fig.4:Circuit cu filtru LC

Când comutatorul este pe poziția A, curentul circulă prin inductor și scade când comutatorul este pe poziția B. Se poate folosi ca și comutator închis – deschis pentru poziția A un comutator semiconductor. Când comutatorul este pe poziția B, curentul prin inductor circula liber prin acesta (fără o sursă de curent sau tensiune), regim numit *free wheeling* în engleza. Deci, pentru aceasta se poate folosi o dioda cu rol de comutator liber (necomandat). Astfel, doar comutatorul pe poziția A trebuie să fie comandat. Se obține circuitul din figura 5.

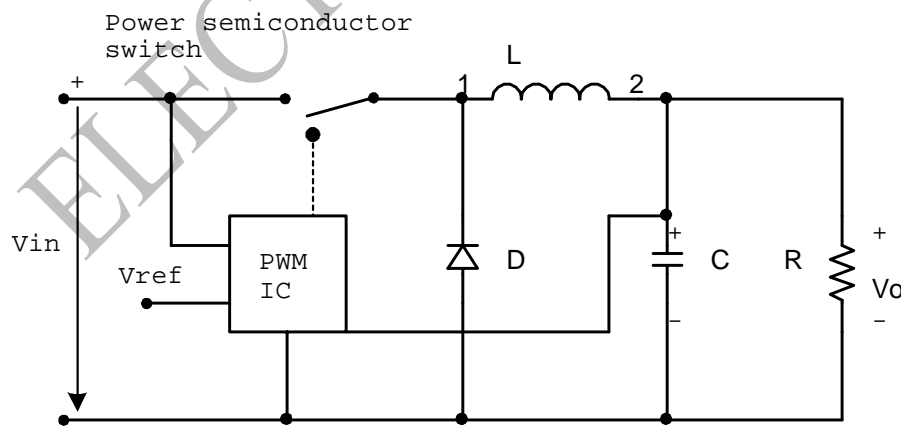


Fig.5:Sursa in comutatie Dstep - down

În general, o sursa de putere în comutație constă din cinci componente de bază:

- a) Un circuit de control cu modulația impulsurilor în durată (PWM Controller);

- b) Un tranzistor cu rol de comutator;
- c) O inductanță;
- d) O capacitate;
- e) O dioda;

Controlul cu modulația impulsurilor în durată, de obicei un circuit integrat, este necesar pentru reglarea tensiunii de ieșire. Tranzistorul comutator este inima convertorului și controlează puterea transmisă sarcinii. Tranzistoarele MOS sunt mai convenabile decât cele bipolare la puteri de ieșire mai mari de 50W. Acestea trebuie alese cu timpi de comutație cât mai mici și să reziste la pulsurile de tensiune provocate de inductor.

Inductorul este utilizat cu rol de filtru pentru a reduce riplul de curent. Aceasta reducere este datorată faptului că curentul prin inductor nu poate fi schimbat instantaneu. Când curentul prin inductor tinde să scadă, inductorul tinde să-l mențină, având rolul de sursă de energie. Inductoarele utilizate în aceste convertoare sunt înfășurate de obicei pe miezuri toroidale, din ferita sau fier așchiat cu pierderi reduse la frecvențe înalte.

Capacitatea este utilizată cu rol de filtru pentru a reduce riplul de tensiune. Aceasta trebuie aleasă cu pierderi minime. Pierderile din capacitate sunt datorate rezistenței serie și inductanței proprii. Tipul capacității este ales după rezistența serie efectivă(ESR). Cele mai indicate capacități sunt cele din tantal. Uneori, pentru creșterea performanței regulatorului, se leagă în paralel câteva capacități de valoare mai mica pentru a micșora rezistența serie efectivă.

Dioda folosită este de circulație liberă (free-wheeling). Aceasta nu are rol de redresor, ci are funcția de a **direcționa** corect calea de curent prin inductanță. Este important ca dioda să comute în starea de blocat foarte rapid, de aceea se vor folosi diode rapide de recuperare sau diode schottky, care sunt cele mai indicate.

Controlul convertorului buck poate fi făcut în două moduri:

1. Funcționarea la frecvență constantă, sau controlul prin modularea impulsurilor în durată(PWM) (cazul lucrării noastre de laborator),
2. Funcționarea la frecvențe variabile, sau controlul prin modularea în frecvență.

La prima metodă, reglarea tensiunii de ieșire este făcută prin modificarea într-o direcție sau alta, a factorului de umplere a tensiunii de comandă a comutatorului, cu păstrarea constantă a frecvenței. Factorul de umplere se referă la raportul dintre durata cât comutatorul este închis și perioada semnalului de comandă. Acest mod de control este adeseori preferabil.

3.Controlul convertorului buck prin modularea impulsurilor in durata(MID = PWM)

Modulatorul PWM comanda comutatorul semiconductor și este o parte complexă a regulatorului. În prezent majoritatea reglatoarelor PWM sunt realizate pe un singur circuit integrat. Principiul de control prin PWM este prezentat în figura 6, iar formele de undă explică funcționarea circuitului.

Modulatorul PWM constă dintr-un generator în dinți de ferăstrău (saw-tooth generator), un amplificator de eroare și un comparator. Frecvența generatorului poate fi setată prin alegerea corespunzătoare a valorilor pentru o rețea RC, care este constantă. Amplificatorul de eroare compară tensiunea de referință și semnalul de reacție. Semnalul de reacție este obținut printr-o divizare a tensiunii de ieșire, pe sarcină. De exemplu, dacă V_f este semnalul de reacție și V_{ref} este tensiunea de referință, și $V_f = \beta V_o$, deoarece $V_f = V_{ref}$,
 $V_o = V_{ref} / \beta$.

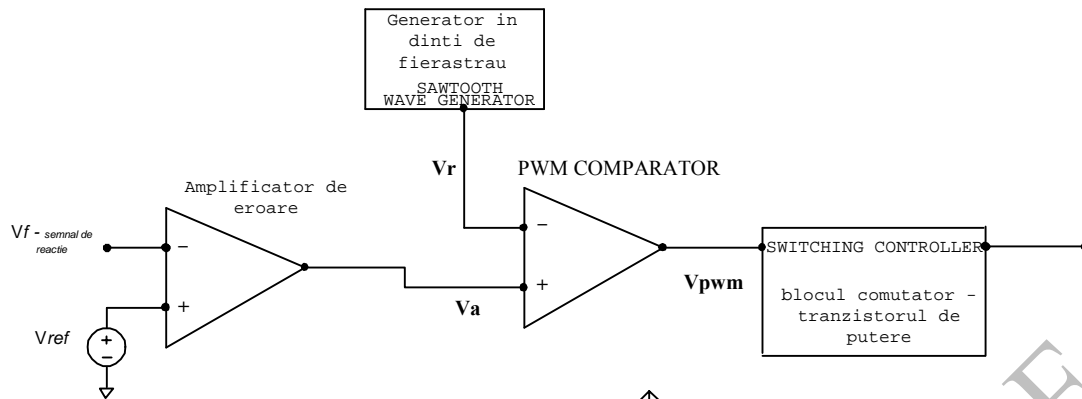
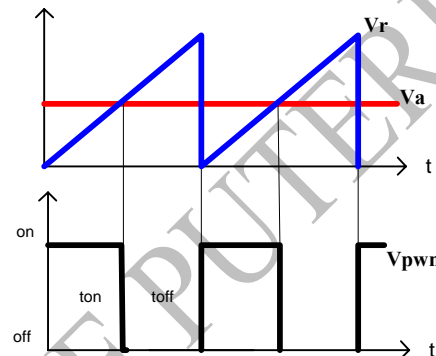


Diagrama funcțională:

Fig. 6 Circuitul simplificat pentru realizarea semnalului de comandă pentru tranzistorul comutator din convertorul BUCK



Modulatorul PWM constă dintr-un generator în dinți de ferăstrău (saw-tooth generator), un amplificator de eroare și un comparator. Frecvența generatorului poate fi setată prin alegerea corespunzătoare a valorilor pentru o rețea RC, care este constantă. Amplificatorul de eroare compară tensiunea de referință și semnalul de reacție. Semnalul de reacție este obținut printr-o divizare a tensiunii de ieșire, pe sarcină. De exemplu, dacă V_f este semnalul de reacție și V_{ref} este tensiunea de referință, și $V_f = \beta V_o$, deoarece $V_f = V_{ref}$, $V_o = V_{ref} / \beta$.

Ieșirea amplificatorului de eroare este comparată cu formă de undă în dinți de ferăstrău și când aceasta este mai mare decât valoarea dintelui de ferăstrău, ieșirea comparatorului este în "1" logic, și comutatorul este comandat în poziția ON (poziția A din Fig. 4). Iar când comparatorul este în starea "0" logic, comutatorul este deschis (OFF state).

Dacă tensiunea de ieșire tinde să crească, tensiunea de reacție va crește peste tensiunea de referință, tensiunea de ieșire a amplificatorului de eroare va scădea și astfel durata de timp pentru care comparatorul rămâne în "1" logic va scădea. Se reduce factorul de umplere a comenzii comutatorului, iar tensiunea de ieșire va scădea. Astfel, tensiunea de ieșire va apărea constantă, menținută de reacția negativă la valoarea dorită.

Lucrarea Practică

Lucrarea de laborator folosește circuitul integrat MC34063 produs de compania ON Semiconductor, având următorii parametri:

- tensiune de alimentare: 3V – 40V
- curent de standby redus
- limitare de curent
- curent de ieșire până la 1.5A
- tensiune de ieșire reglabilă
- referință de tensiune internă cu precizie de 2% (1,25V)

În Fig. 7 se dă schema internă a circuitului integrat MC34063, iar în Fig. 8 se dă schema electronică a lucrării de laborator.

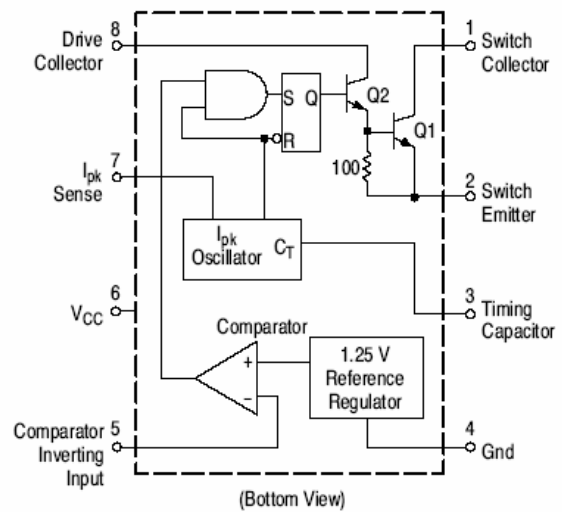


Fig. 7 Schema internă a circuitului integrat MC34063

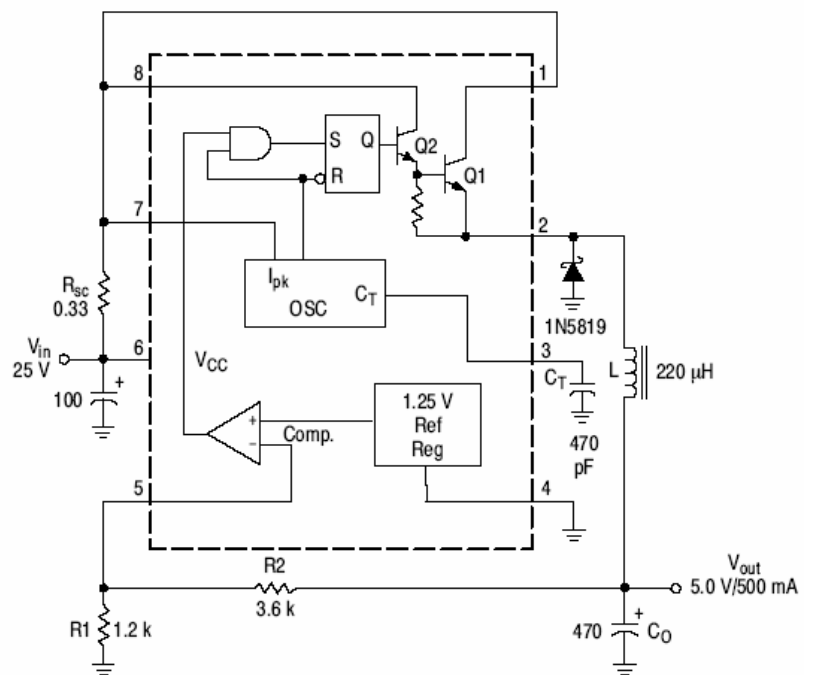


Fig. 8 Schema electronică a lucrării de laborator

5. Desfășurarea lucrării:

- 1) Se conectează circuitul la tensiunea de alimentare variabilă; se conectează o rezistență de sarcină variabilă.
- 2) După alimentare se vizualizează cu ajutorul unui voltmetru valoarea tensiunii de la ieșire pentru mai multe valori ale tensiunii de alimentare.
- 3) Se trasează caracteristica de reglaj a convertorului precizând frecvența de funcționare și valorile de extrem ale caracteristicii obținute.
- 4) Se determină riplul de tensiunii de la ieșirea convertorului, riplul curentului prin inductanța L și randamentul acestuia.
- 5) Observații privind modificarea valorii rezistenței de sarcină.