

Ăceastă operă creată de [ECOSIGN Sector Skills Alliance](#) este pusă la dispoziție prin Licența [Creative Commons Atribuire-Necomercial-FărăDerivate 4.0 Internațional](#)

# Ecodesign-ul dispozitivelor electronice

## UNIT 10: Energie electrica

Author: Andrej Sarjaš

10.1. Energia electrică.....	2
10.2. Funcționarea modului de comutare.....	4
10.3. Elementele convertor comutator.....	11
10.4. Convertoare de comutare.....	19

Rezumatul capitolului:

- Principiile de conversie a puterii
- Elemente de comutare în domeniul energetic
- Convertoare

## 10.1. Energia electrică

Energia electrică face parte din ingineria electrică care acoperă conversia și economisirea energiei electrice. Toate aparatele electronice sunt alimentate din surse diferite. Aceste surse pot fi autonome și portabile sau staționare. Surse autonome sunt toate sistemele de acumulatori și dispozitivele care pornesc dispozitive portabile și autonome. În general, sistemele de baterii reprezintă doar o metodă de economisire a energiei pe care o furnizăm de la sistemele staționare, cum ar fi rețeaua electrică. Sursele de energie complet autonome sunt sisteme care nu depind de energia din rețelele electrice și transformă energia neelectrică în electricitate. Astfel de surse sunt diferitele celule solare, centrale eoliene etc.

În acest punct, ne putem întreba ce este convertirea și controlul energiei electrice? Energia este necesară pentru toate eforturile umane. Capacitatea și flexibilitatea electronicii moderne trebuie să fie acceptate ca noi provocări pentru utilizarea eficientă a energiei. Este important să ne gândim cum pot fi utilizate circuitele și sistemele electronice pentru conversie și pentru gestionarea energiei. Ingeria electrică include studiarea circuitelor electronice destinate controlului și curentului electric. Aceste circuite gestionează puteri care sunt semnificativ mai mari decât prețul fiecărui dispozitiv. Redresoarele sunt probabil cele mai cunoscute exemple de circuite care se încadrează în această definiție. Convertorul este un termen folosit pentru un anumit tip de circuite și sisteme care convertesc energia. Convertoarele sunt clasificate în funcție de tipul de energie electrică de intrare și ieșire. Știm convertoarele AC-DC, DC-DC, DC-AC și acestea sunt cele mai des folosite ca surse de alimentare a dispozitivelor electronice. După cum se vede în imaginea 1, energia electrică prezintă punctul de mijloc în care sistemele energetice, electronica clasică și servodirecția sunt unite. Acest lucru este susținut și de faptul că toate sistemele de microcontrolere, circuitele logice digitale sau direcționarea simplă a funcționării lor necesită energie electrică. Această energie este generată de energia electrică, care este domeniul cheie al energiei electrice. Fiecare circuit de transmisie și conversie a energiei trebuie să ia în considerare aceste aspecte atât din perspectivă, cât și din punct de vedere al controlului și al transformării energiei. Temele principale ale ingineriei electrice sunt cercetarea elementelor semiconductoare, utilizarea dispozitivelor magnetice pentru economisirea energiei, metodele de management care fac parte din sistemele energetice moderne. În fiecare studiu de inginerie electrică, importanța electronicii trebuie prezentată din perspectiva electronicii digitale, analogice și radio care reflectă metode caracteristice și provocări unice.

Aplicațiile de energie electrică se răspândesc exponențial. Nu este posibilă construirea de calculatoare, telefoane mobile, automobile, avioane, procese industriale și multe alte produse de zi cu zi fără energie electrică. Sistemele alternative de energie, cum ar fi generatoarele de energie eoliană, energia solară, celulele de combustie și altele, au nevoie de energie electrică pentru funcționarea lor. Tehnologia avansează,



cum ar fi vehiculele electrice și hibride, laptopurile, cuptoarele cu microunde, panourile cu ecran plat, iluminatul cu LED-uri și sute de alte inovații care nu au putut fi executate până când progresele în domeniul energiei electrice au permis producția lor. Deși nimeni nu poate prezice viitorul, este clar că energia electrică va fi în centrul inovațiilor energetice de bază.

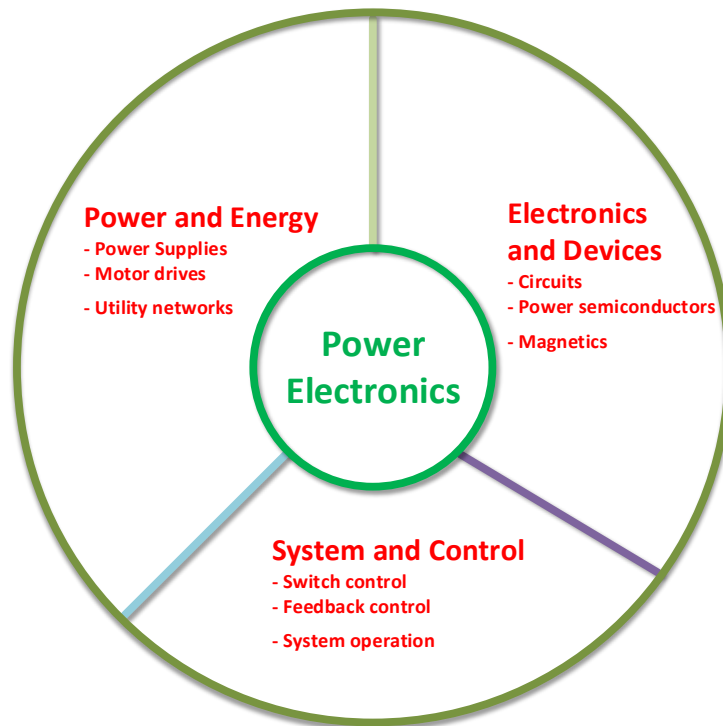


IMAGE 1: ELECTRICAL POWER ENGINEERING TOPICS

Istoria electricității electrice este strâns legată de îmbunătățirea componentelor electronice care asigură funcționarea cu puteri mai mari. Din 1990, componentele și dispozitivele au devenit atât de sofisticate încât a început trecerea de la dispozitive fizice la aplicații programate. Această tranziție s-a bazat pe doi factori cheie:

- Pentru aproape fiecare aplicație există semiconductori avansați cu puteri adecvate care sunt accesibile pe scară largă.
- Tendința principală de miniaturizare a componentelor crește odată cu numărul de dispozitive și produse electrice.

Deși dispozitivele se îmbunătățesc, dezvoltarea lor urmează aplicații și dispozitive inovatoare.

Toate circuitele electronice reglează curentul electric între sursa electrică și sarcină. Componentele din circuit trebuie să direcționeze curentul electric și să nu interfereze cu acestea. Sistemul de conversie a puterii generale este prezentat în imaginea 2. Funcția convertorului de putere, văzută în centrul imaginii 2, este controlul



curentului de energie dintre sursă și sarcină. În cazul nostru, conversia de putere va fi executată cu circuitul electronic.

Deoarece există un convertor de putere între sursa de energie și sarcină, toată energia folosită de convertor este distribuită tuturor componentelor din interiorul convertorului. Iată provocarea cheie. Pentru a construi un convertor, este necesar să utilizați componente fără pierderi sau cu pierderi reduse. Este avantajos ca eficiența convertorului să fie aproape de 100%.



IMAGE 2: ELECTRICAL ENERGY CONVERSION

Un convertor de putere care este conectat la sursă și sarcină influențează de asemenea fiabilitatea sistemului. Dacă sursa de energie este complet fiabilă, convertorul nefiabil poate influența sarcina. Convertorul nefiabil este considerat o sursă de energie incorectă. Convertorul de putere fiabil determină, de asemenea, lipsa de fiabilitate a sistemului complet. Dacă aruncăm o privire la acest aspect din perspectiva sursei, putem spune că populația medie a unei familii din Europa se confruntă cu eșecul rețelei electrice doar câteva minute pe an. Energia este disponibilă în 99,9% din timp. Convertorul de energie trebuie să fie fiabil, deoarece numai acest lucru poate împiedica degradarea sistemului. Convertirea ideală a convertorului nu trebuie să cauzeze probleme în durata de viață a dispozitivului. Fiabilitatea ridicată poate fi o provocare inginerescă mai dificilă decât eficiența ridicată a convertorului. Din perspectiva designului ecologic al dispozitivelor electrice, convertoarele de energie sunt una dintre fundamentele funcționării fiabile și eficienței dispozitivului. Eficiența convertorului influențează ciclul de viață al dispozitivului, care reprezintă o metodologie importantă pentru evaluarea eficienței ecologice a dispozitivului.

## 10.2. Funcționarea modului de comutare

Funcționarea convertizoarelor de comutatoare se bazează pe comutatoare cu pierderi reduse, care sunt cerințe extreme pentru ingineria electrică. În cazul ideal, atunci când comutatorul este pornit, acesta are o scădere zero a tensiunii și va transmite energia completă la sarcină fără pierderi suplimentare. Dacă întrerupătorul este oprit, acesta are o rezistență nelimitată, ceea ce înseamnă că nici un curent nu va trece prin comutator. Puterea comutatorului este un produs de tensiune și curent, ceea ce înseamnă că produsul dorit de ambele valori este egal cu zero. Dacă puterea este egală cu zero, nu avem niciun consum de energie pe elementul de comutare în timpul dat. Prin urmare, comutatorul reglează curentul de energie fără pierdere, unde fiabilitatea comutatorului este importantă. Întrerupătoarele mecanice de uz casnic execută mai



mult de 100.000 de întreruperi într-o decadă de utilizare. Din nefericire, întrerupătoarele mecanice nu se potrivesc cu toate nevoile practice. Comutatoarele electronice care fac parte din comutatorul circuitului de alimentare chiar mai mult de 100.000 de ori într-o secundă. Chiar și cele mai bune comutatoare mecanice nu vor rezista la mai mult de un milion de cicluri. Din acest motiv, folosim întrerupătoarele semiconductoare ale puterilor selectate în convertoare.

Conceptul de sistem de conversie este prezentat în imaginea 3. Sistemul de conversie este alcătuit din patru unități separate, care sunt:

- Sursa de energie
- Circuitul de putere al convertorului
- Unitatea pentru gestionarea convertorului
- Sarcina

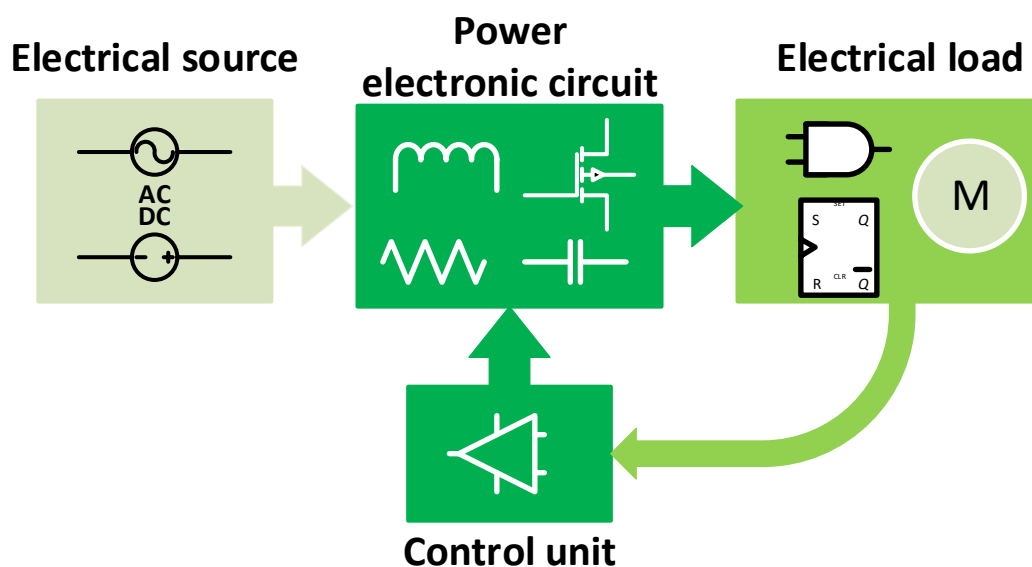


IMAGE 3: CONVERSION SYSTEMS

Una dintre sursele de energie din dispozitivul electronic poate fi tensiunea de rețea, bateria sau alte surse alternative. Circuitele de putere diferă de tipul convertizorului, care este diferențiat în funcție de tensiunea de intrare și ieșire, așa cum se vede în imaginea 4.

Stim convertoarele care convertesc curentul alternativ într-o singură direcție (AC-DC - curent alternativ la curent continuu). Convertorul tip AD-DC este adesea utilizat în circuitele electronice care sunt alimentate de rețeaua electrică și necesită un curent unic pentru funcționare (circuite logice, circuite analogice într-o direcție, microcontrolere-sisteme informatice etc.). Convertorul AC-DC este, de asemenea, cunoscut ca un redresor.



Un alt tip sunt convertoarele DC-DC (curent continuu la curent continuu). Acestea sunt utilizate pentru creșterea sau scăderea curentului unidirecțional. Circuitele electronice și elementele încorporate pentru funcționarea lor au nevoie de potențiale diferite de tensiune. Prin utilizarea convertizoarelor DC-DC, integrăm potențialele de tensiune în circuitele electronice (cele mai comune potențiale de tensiune sunt 12V, 3.3V, 5V).

Ultimul tip de convertizor sunt convertoarele DC-AC (curent continuu în curent alternativ). Acestea sunt, de asemenea, cunoscute ca invertoare de putere și sunt folosite pentru conversia curentului unidirecțional la curent alternativ. Acestea sunt adesea folosite în motoare electrice alternante cu viteză reglabilă și conversie a energiei din surse alternative, cum ar fi centralele solare.

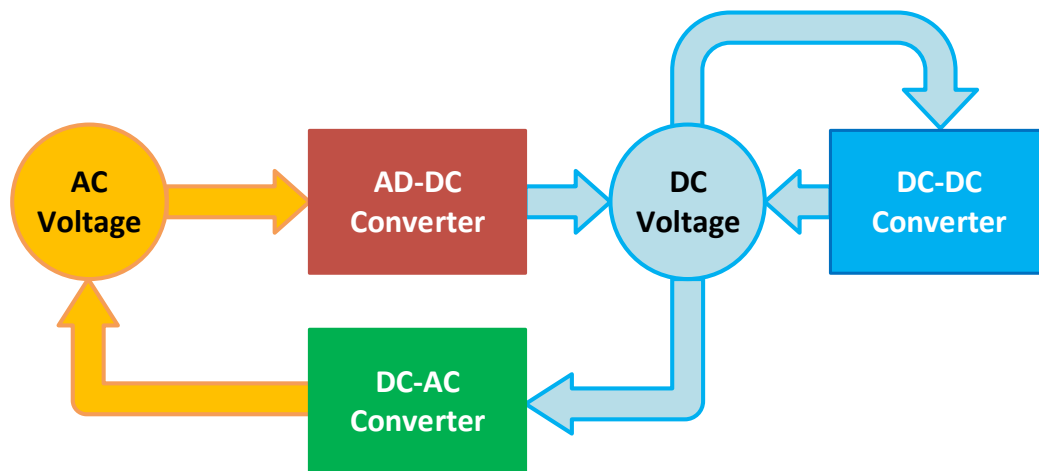


IMAGE 4: CONVERSION SYSTEM TYPES

Unitatea de control a convertorului poate fi sub forma unui circuit analogic sau cu un microcontroler. Unitatea de comandă este responsabilă de controlul comutatoarelor cu semiconductoare, în funcție de ieșirea convertizorului. Acesta poate fi nivelul de tensiune, schimbarea de fază sau frecvența semnalului periodic. Tipul de încărcare condiționează funcționarea convertizorului și controlul acestuia. De exemplu, cunoaștem sarcina inductivă sau capacitivă care provoacă margini de tensiune sau curent și sarcini simple ohm care nu au un aspect tranzitoriu distinct. Adesea vedem sarcini mixte care au rezistență, inductivitate, dar și capacitate. Sarcinile inductive cunoscute sunt motoare, relee și contactori de putere. Toate elementele convertoare sunt proiectate pentru a avea pierderi de energie cât mai mici posibil.

Dispozitivele de comutare sunt alese de capacitățile lor și de transferul de energie dorit, care este declarat ca produs al curentului și al tensiunii. Acest lucru este în contradicție cu alte aplicații electronice la care de obicei declarăm pierderi de putere. De exemplu, receptorul stereo tipic execută conversia tensiunii de intrare alternante la ieșirea audio. Majoritatea amplificatoarelor audio nu utilizează tehnici de energie electrică în care componentele semiconductoare ar servi ca întrerupătoare. Amplificatorul comercial de 100 W este în general proiectat cu tranzistori care sunt



suficient de mari pentru a transfera 100 W. Dispozitivele semiconductoare sunt utilizate în principal pentru reconstrucția semnalului audio, dar nu pentru manipularea curenților de energie care cauzează pierderi semnificative. Amplificatorul pentru home theater funcționează cu o eficiență mai mică de 10%. Spre deosebire de acest tip de amplificatoare, există și alți utilizatori care folosesc tehnici de energie electrică pentru conversia puterii. Aceste tehnici oferă o eficiență ridicată. Sistemul home theater care utilizează amplificatoare de comutare poate atinge chiar și 90% eficiență energetică și are dimensiuni reduse. Adesea, acest tip de amplificatoare nu necesită elemente suplimentare de răcire și sunt integrate într-un singur cip. Amplificatoarele pot fi chiar integrate direct în difuzoare.

Convertizoarele de comutare pot ajunge la o putere mare și sunt relativ mici din punct de vedere mecanic. Să aruncăm o privire la două exemple:

Comutatorul NTP30N20 este un tranzistor de metal-oxid cu curenț permis 30A și tensiune 200V. Puterea maximă permisă de disipare a comutatorului este de 200 W cu sistemul de răcire adecvat (nervură de răcire sau ventilator) sau 2,5 W fără răcire. În teoria energiei electrice, puterea nominală este de  $30 \text{ A} \times 200 \text{ V} = 6 \text{ kW}$  de energie de la sursă la consumator. NTP30N20 funcționează în modul de comutare, adică este complet deschis sau închis. Disiparea de putere este relativ scăzută și apare în principal în timpul de comutare.

Mulți producători utilizează NTP30N20 pentru gestionarea diferitelor aparate de uz casnic, cum ar fi frigider, aparate de aer condiționat și alte instrumente industriale. După cum s-a menționat anterior, energia transferată prin comutator este semnificativ mai mare decât nivelul nominal de putere de pe comutatorul propriu-zis. Comutatorul este potrivit pentru transferul de energie de până la 6kW și propria energie de maxim 200W. Raportul de putere este de 30: 1, ceea ce este relativ ridicat, dar nu este neobișnuit în contextul energiei electrice. Dacă comparăm exemplul dat al unui amplificator audio care nu funcționează în modul de comutare, trebuie să se garanteze că energia transferată este aproape egală sau chiar mai mare decât puterea disipării tranzistorului propriu.

Un alt exemplu; IRG6S60B120KD este un tranzistor bipolar cu porți izolate (tranzistor bipolar cu izolație IGBT), dezvoltat special pentru inginerie electrică și care funcționează în modul de comutare. Valorile sale nominale sunt 1200V și 120A. Puterea sa transferată este egală cu 144 kW, ceea ce este suficient pentru controlul unei mașini electrice sau hibride. Este interesant de remarcat faptul că disiparea proprie este de numai 500W, adică raportul său la puterea transferată este de 288: 1.

Aplicațiile electrice ne conduc la întrebări și provocări interesante. În convertoarele în care partea principală sunt întrerupătoarele cu semiconductoare cu pierderi reduse, acestea manipulează adesea capacități de putere de disipare de 30 de ori. Aceasta înseamnă că avem doar o pierdere de aproximativ 3%. O mică eroare în proiectare poate provoca pierderi neașteptate de căldură sau o mică schimbare în



aranjamentul elementelor poate reduce drastic eficiența convertorului. De exemplu, în cazul în care pierderea este de 4% în loc de 3%, tensiunea din dispozitiv este cu 33% mai mare, ceea ce duce, în consecință, la defectarea aparatului sau la eroare. Proiectarea convertizoarelor de putere poate fi rezumată cu trei provocări principale:

- Prima provocare este fiabilitatea circuitelor electronice de putere. Trebuie să respectăm cu strictețe tensiunea nominală, curenții și puterea livrată de dispozitiv. Puterea trebuie întotdeauna să fie în limite. Acest lucru este deosebit de important atunci când se administrează puteri înalte.
- A doua provocare este simplitatea circuitului. În circuitele electronice, se știe că cu cât conțin mai multe elemente, cu atât mai mare este șansa de eroare sau de defectare a sistemului complet. Circuitele electrice de energie electrică au de obicei multe componente, în special ramurile principale de energie. Pentru a obține eficiența convertorului, este foarte important să alegem în mod rezonabil componentele principale. Aceasta înseamnă că strategiile sofisticate de management sunt implementate cu circuite electronice simple.
- A treia provocare este integrarea. Una dintre modalitățile de a evita compromisul între fiabilitate și complexitate este integrarea componentelor și funcțiilor mai mari într-un singur substrat. De exemplu, microprocesorul poate conține milioane de porți. Toate interconexiunile și semnalele funcționează în interiorul chip-ului, iar fiabilitatea depinde de o singură componentă. O tendință importantă în domeniul energiei electrice este dezvoltarea modulelor integrate. Producătorii caută modalități de integrare a cât mai multor componente importante într-un singur modul. Miniaturizarea componentelor creează și noi provocări. Multe elemente semiconductoare conțin fire mici care pot fi sensibile la căderi de căldură sau vibrații. Geometriile mai mici pot, de asemenea, să crească perturbațiile electromagnetice dintre componentele interne.

Două tendințe principale sunt accelerarea dezvoltării energiei electrice. Pe de o parte, avem un microprocesor de mare capacitate, cipuri de memorie și alte circuite digitale avansate care măresc capacitățile convertorului la tensiuni foarte scăzute. Aici putem evidenția alimentarea cu energie a procesoarelor puternice, în cazul în care cerințele curenți sunt de 100A la numai 1V. În astfel de sisteme, avem, de asemenea, cerințe variabile de sarcină și timp în micro sau nanosecunde. În mod contrar, avem multe dispozitive portabile care sunt alimentate de diferite tipuri de baterii reîncărcabile. Sursele de alimentare pentru aceste dispozitive trebuie să fie eficiente și cu costuri reduse. În prezent, sursele de alimentare și încărcătoarele din aceste dispozitive au pierderi relativ mari și eficiență scăzută. Din această cauză, cerințele și eforturile de astăzi sunt orientate spre îmbunătățirea eficienței și consumul redus de energie. Standardele de eficiență, cum ar fi programul EnergyStar, stabilesc cerințe riguroase pentru un spectru larg de surse de alimentare de joasă tensiune.





În trecut, furnizorii de energie electrică liniară au fost realizați cu transformatoare și redresoare care au convertit tensiunea de curent alternativ la DC. La sfârșitul anilor 1960, utilizarea surselor dintr-o direcție în industria aerospațială și spațială a condus la dezvoltarea convertoarelor de energie electrică de comutare. Într-un convertizor de comutator bine conceput, sursa de tensiune alternativă din rețea este rectificată fără transformare directă, ca în cazul convertizoarelor liniare. A da înaltă tensiune într-un sens înseamnă a converti cu un convertor DC-DC la nivelul tensiunii prescrise. Calculatorul personal necesită adesea mai multe niveluri de alimentare (3.3V, 5V, 12V) și 1V pentru procesor. Numai convertizoarele de comutare pot furniza mai multe nivele de tensiune.

Foarte interesant este o comparație a convertoarelor analogice și a comutatoarelor. Convertoarele de conversie sunt considerate dispozitive cu eficiență ridicată, dimensiuni mai mici și putere mare în comparație cu convertoarele liniare. De asemenea, nu au nevoie de un sistem complex de răcire. Dar aceste dispozitive sunt mai complexe decât cele liniare și produc tensiunea de ieșire ondulată, ceea ce împiedică utilizarea anumitor aplicații precise. Convertoarele liniare sunt utilizate cel mai adesea pentru puterile mai mici ca stabilizatori ai diferitelor componente electronice. Iată câteva caracteristici ale ambelor grupuri.

- **Alimentare liniară de curent continuu:** au fost utilizate pe scară largă până la sfârșitul anilor 1970. Odată cu avansarea tehnologică a alimentării cu energie electrică, sursele de alimentare liniară sunt astăzi mai puțin populare, dar sunt încă folosite în aplicații care necesită o tensiune de ieșire non-ondulată și stabilă. Conducătoarele de alimentare liniare utilizează un transformator mare pentru transformarea tensiunii înalte de curent alternativ la tensiunea joasă de curent alternativ. Următorii pași după transformare sunt circuitele de redresor și diferitele filtre care creează tensiune DC cu unde joase. Tensiunea joasă în sens unic este apoi reglată la nivelul dat cu stabilizatori de tensiune. Aplicațiile tipice ale sistemelor de alimentare cu energie electrică liniară sunt:

- a) Tehnologie audio, mixere de studio.
- b) Amplificatoare cu zgomot redus.
- c) Procesarea semnalelor.
- d) Colectarea de date cu convertoare ADC.
- e) Gestiunea circuitului închis.
- f) Echipamente de laborator precise.

- **Comutarea surselor de alimentare cu curent continuu:** Acestea au fost introduse pentru prima dată la sfârșitul anilor 1970, iar astăzi cele mai populare tipuri de surse de alimentare de curent continuu pe piață datorită eficienței energetice excepționale. Comutatorul de redresor reglează tensiunea de ieșire cu modulul PWM de modulare a lungimii pulsului. Tehnica PWM creează perturbații de înaltă frecvență, dar permite ca tensiunea electrică să fie produsă cu o eficiență energetică foarte mare. Cu



un design bun, tensiunea de comutare are o reglare foarte mare a perturbațiilor și o încărcare de linie. Aplicațiile tipice pentru alimentarea DC sunt:

- a) Aplicații de înaltă tensiune și curent.
- b) Dispozitive mobile și de comunicații.
- c) Încărcarea bateriilor pentru diferite dispozitive și vehicule.
- d) Motoare cu sens unic.

Imaginea 5 prezintă convertorul de tensiune liniar 5V DC-DC.

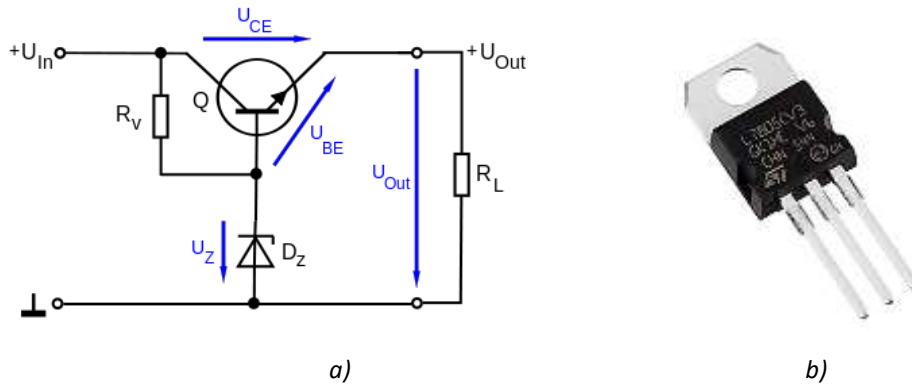


IMAGE 5: A) LINEAR VOLTAGE CONVERTER SCHEME, B) PRODUCING 5V CONVERTER IN TO-220 HOUSING.

După cum se vede în imaginea 5, dioda Zener stabilizează tensiunea de ieșire, adică excedentul de tensiune este folosit pentru rezistența  $R_v$ .

Acesta este motivul principal pentru supraîncălzirea convertizorului, care adesea are nevoie de o răcire corespunzătoare pentru o funcționare fiabilă la curenți mai mari și o tensiune de intrare mai mare. De exemplu, dacă vrem să stabilizăm alimentarea cu energie 5V la alimentarea cu baterii 12V, diferența de tensiune 7V va fi folosită pentru rezistența  $R_v$ . Schema electrică a regulatorului de tensiune este prezentată în imaginea 6.

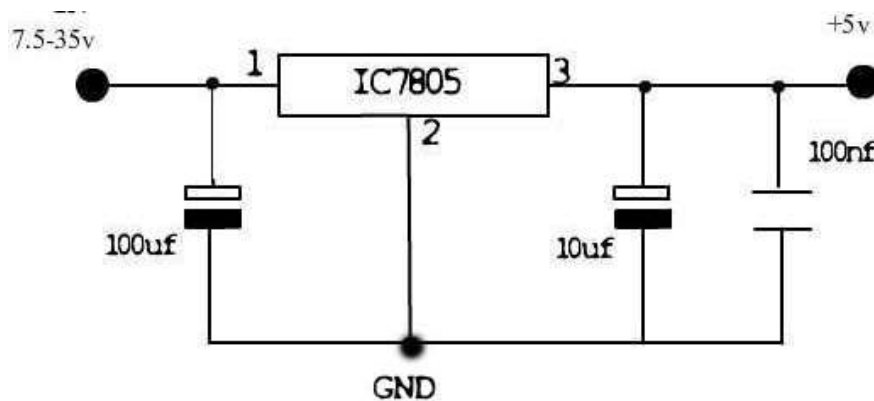


IMAGE 6: WIRING DIAGRAM OF THE VOLTAGE REGULATOR.

Imaginea 7 prezintă un convertor DC-DC.



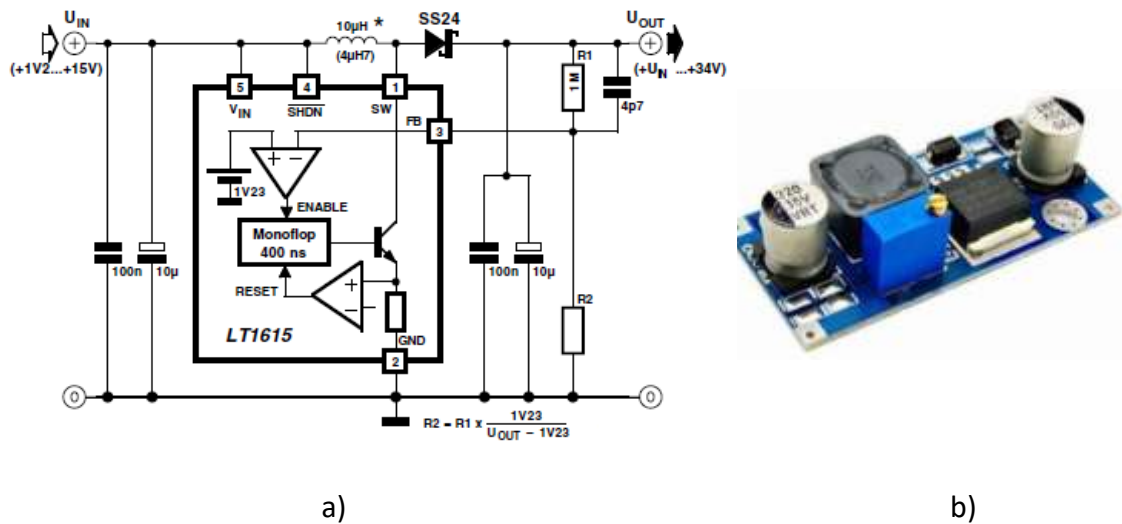


IMAGE 7: A) SWITCHING DC-DC CONVERTER SCHEME, B) PHYSICAL APPEARANCE OF DC-DC CONVERTER.

### 10.3. Elementele convertor comutator

Comutatoarele electronice care sunt capabile să gestioneze tensiuni înalte și curenți în domeniul de înaltă frecvență sunt cele mai importante elemente în proiectarea sistemelor de conversie a energiei. Deci, care comutator este ideal? Comutatorul electronic ideal poate fi un dispozitiv cu trei conectori, așa cum se vede în imaginea 8.

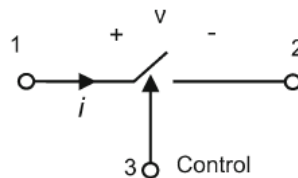


IMAGE 8: IDEAL SWITCH.

Putem vedea clema de intrare, ieșire și de control. Conectorul de control controlează comutatorul în modurile deschis/ închis (ON / OFF). Comutatorul ideal înseamnă că în modul deschis nu există rezistență și în modul închis există rezistență infinită. Acest comutator schimbă starea instantaneu, astfel încât timpul necesar pentru a trece de la ON la OFF sau OFF la ON este zero. Comutatoarele actuale au limitări în toate caracteristicile care au fost menționate la comutatorul ideal. De exemplu, când comutatorul este pornit, avem o scădere de tensiune, ceea ce înseamnă că are o anumită rezistență. Când este oprit, un anumit curent poate fi scurs, ceea ce înseamnă că nu are rezistență infinită. De asemenea, timpul de comutare nu este infinit de rapid. Ca o consecință a unor caracteristici de comutatoare non-ideale, tensiunea și curentul sunt întotdeauna prezente în comutator și, prin urmare, există două tipuri de pierderi. Primul tip de pierderi se produce între modurile ON și OFF și sunt cunoscute ca pierderi de comutare. Al doilea tip sunt consecințele proprii rezistenței a comutatorului care are



loc în timpul deschiderii sau închiderii. Aceste pierderi sunt pierderi de transfer și scurgeri.

Conceptul de comutator ideal este important pentru evaluarea circuitelor. Ipotezele privind scăderea tensiunii de curent, apariția scurgerilor de curent și a comutărilor ușurează simularea și modelarea pe comportamentul schimbătorului de conversie diferit. În funcție de caracteristicile comutatorului ideal există trei clase de întrerupătoare de alimentare:

**Comutator necontrolat:** Comutatorul nu are conector de control. Modul de comutare este determinat de o condiție externă a circuitului de tensiune sau de curent în care se află comutatorul. Un exemplu de comutator este o diodă.

**Comutator semi-controlat:** în acest caz, proiectantul circuitului are un control limitat asupra comutatorului. De exemplu, comutatorul poate fi pornit cu conector de control, dar atunci când acesta este închis, acesta nu poate fi deblocat cu semnalul de comandă. Întrerupătorul poate fi oprit în funcție de starea curentă a circuitului sau cu ajutorul electronicii de comandă suplimentare care forțează întreruperea comutării. Un exemplu al acestui comutator este tiristorul.

**Comutator complet controlat:** comutatorul poate fi pornit sau oprit prin conectorul de comandă. Exemple de acest comutator sunt tranzistorul bipolar BJT, tranzistorul MOSFET și tranzistorul IGBT.

### 10.3.1 Comutator necontrolat

Dioda este, de asemenea, cunoscută ca un redresor și este un comutator necontrolat. Este un element cu doi conectori, văzut în imaginea 9. Conectorii sunt anod (A) și catod (K). În cazul ideal, curentul de diodă ( $i_d$ ) are un sens, ceea ce înseamnă că merge doar de la anod la catod.



IMAGE 9: SYMBOL OF SEMICONDUCTOR DIODE AND SEMICONDUCTOR STRUCTURE.

Tensiunea diodei  $V_d$  este măsurată ca tensiunea dintre anod și catod. Caracteristicile diodei U-I sunt prezentate în imaginea 10. În primul cvadrant, dioda este în modul deschis, adică conduce. La diodă, avem o mică cădere de tensiune care depinde de tipul de semiconductor care este utilizat în diodă. Căderea de tensiune pe diodă de siliciu este de 0,7V și în diodă de germaniu de aproximativ 0,3V. Curentul diodic se schimbă exponențial cu tensiunea de diodă. În al treilea cvadrant, dioda este închisă, ceea ce înseamnă că nu există niciun minim de curent sau o scurgere curentă. Caracteristicile ideale ale diodelor sunt prezentate în imaginea 10 b).



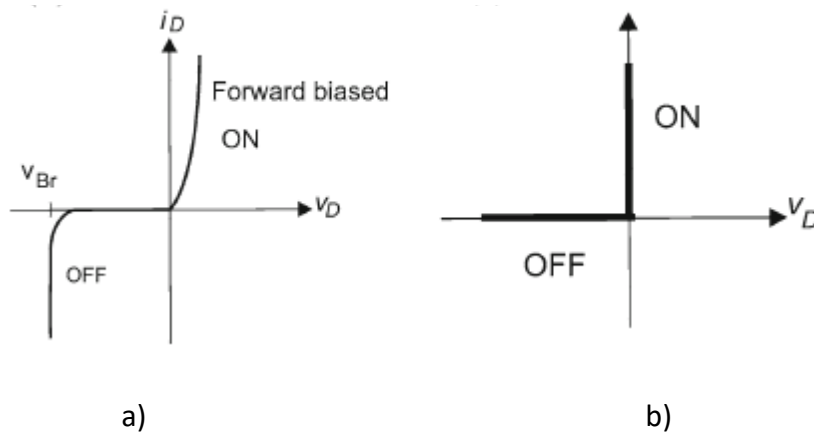


IMAGE 10: U-I CHARACTERISTIC OF DIODE: A) REAL, B) IDEAL.

### 10.3.2 Comutator semi-controlat

Tiristorul sau SCR este un comutator cu semiconductor care poate fi deschis cu clema de control. Când comutatorul este pornit, acesta nu poate fi oprit prin clema de control și tiristorul funcționează similar cu o diodă. Acest lucru înseamnă că tiristorul este clasificat ca un comutator jumătate controlat. Imaginea 11 prezintă un simbol al tiristorului. Chiar dacă există anumite similitudini între tiristor și diodă, tiristorul funcționează diferit. Curentul tiristor rulează de la anod la catod, iar tensiunea tiristor  $V_{AK}$  este pozitivă, care este prezentată în caracteristica U-I din imaginea 12 a).

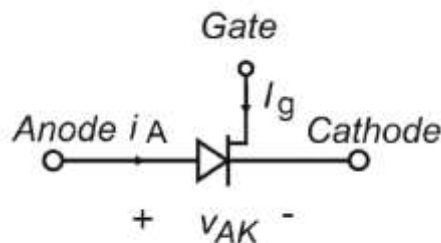


IMAGE 11: THYRISTOR SYMBOL.

În cadranul unu este vizibil faptul cum conectorul de control al tiristorului nu conduce fără curent. În cazul în care curentul trece prin conectorul de comandă, tiristorul începe să conducă și are o caracteristică foarte asemănătoare cu cea a unei diode obișnuite. În cadranul trei, tiristorul nu conduce, ceea ce înseamnă că este închis. Tiristorul are aici o caracteristică similară cu cea a unei diode. Deși caracteristica tiristorului este similară, putem observa la caracteristicile comutatoarelor că tiristorul transferă tensiune mai mare atunci când este închis. Tensiunea ridicată închisă este importantă pentru diferite sisteme de alimentare, cum ar fi convertizoarele AC-AC.



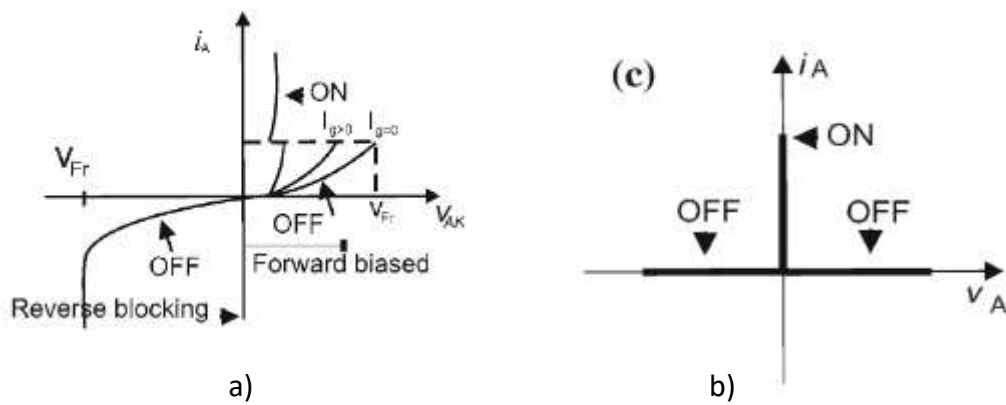


IMAGE 12: U-I CHARACTERISTIC OF THYRISTOR: A) REAL, B) IDEAL.

Din caracteristica tiristorului din imaginea 12 putem vedea cum curentul merge doar într-o singură direcție. De asemenea, cunoaștem un element similar care este și un comutator cu semiconductor, cu diferența că curentul merge în ambele direcții. Acest element este triac, văzut în imaginea 13. Este alcătuit din două tiristoare care sunt conectate în sens invers. Caracteristica U-I a triacului este prezentată în imaginea 14. Cu conectorul de control, putem controla comutarea simetrică în jumătatea perioadei pozitive și negative a semnalului de intrare. Triacul este utilizat în principal pentru transferul de puteri inferioare, cum ar fi controlul motorului monofazat, sistemului de reglare a intensității luminoase etc.

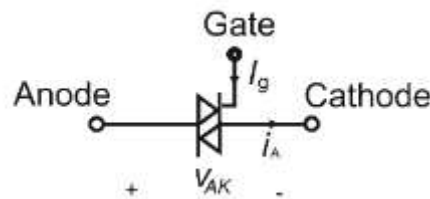


IMAGE 13: TRIAC SYMBOL.

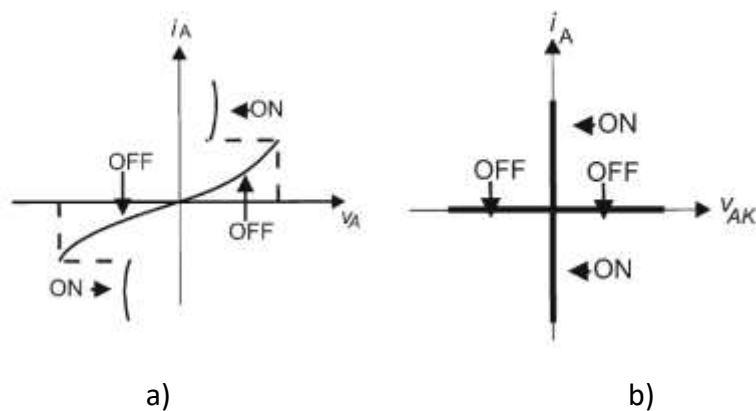


IMAGE 14: U-I CHARACTERISTICS OF TRIAC: A) REAL, B) IDEAL.



### 10.3.3 Comutatoare complet controlate

La comutatoarele complet controlate, modurile de deschidere / închidere pot fi activate prin conectorul de comandă. Descrierea scurtă a fiecărui dispozitiv este dată în următoarele puncte.

**Transistor bipolar**-BJT (tranzistor de joncțiune bipolară) este un comutator complet controlat, unde folosim baza (B) pentru a deschide comutatorul, așa cum se vede în imaginea 14 a). În tranzistorul NPN, folosim tensiunea de bază pozitivă pentru a deschide tranzistorul. Curentul din acesta trece de la colector (C) la emițător (E) și în direcția inversă, tranzistorul este neconductiv. În tipul PNP, deschiderea tranzistorului este controlată cu tensiune de bază negativă, unde curentul trece de la emițător la colector.

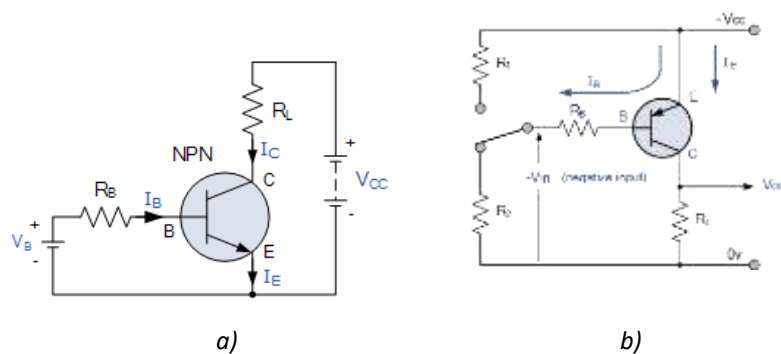


IMAGE 14: TRANSISTOR SYMBOL: A) NPN TYPE, B) PNP TYPE.

Structura internă a tranzistorului este prezentată în imaginea 15.

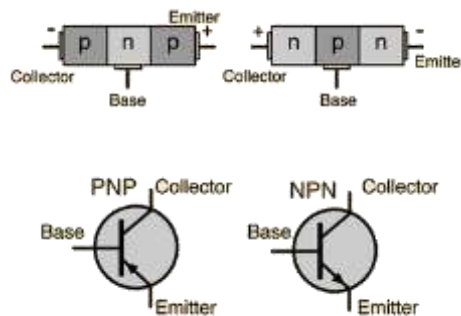


IMAGE 15: TRANSISTOR STRUCTURE.

Din caracteristica statică a tranzistorului NPN din imaginea 16 a) este vizibil faptul că elementul are trei câmpuri de funcționare. În două lucrări ca un comutator și în a treia lucrare ca un amplificator linear. Întrerupătorul este închis când valoarea curentului de bază  $I_B = 0$  și se deschide atunci când tensiunea dintre colector și emițător  $V_{CE}$  este mai mică decât  $V_{CEsat}$ . Dacă privim caracteristica ideală în imaginea 15 b), înseamnă că în modul deschis tranzistorul dintre C și E scurge curentul  $I_C > 0$  la  $V_{CE} = 0$ . Pentru transferul de puteri mari, tranzistorul IGBT este utilizat în general în loc de tranzistor.



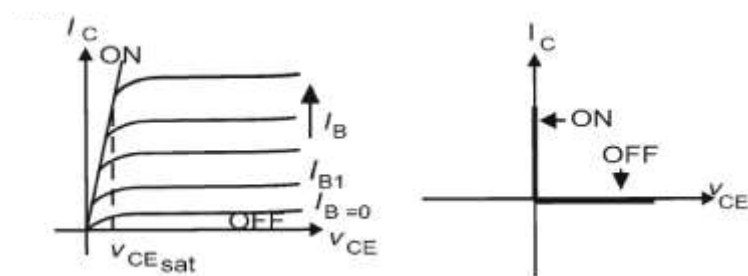


IMAGE 16: STATIC CHARACTERISTIC OF TRANSISTOR: A) REAL, B) IDEAL.

**Tranzistor MOSFET.** MOSFET (tranzistorul cu efect de câmp de semiconductor cu oxid metalic) a fost denumit după principiul de funcționare, așa cum se vede în imaginea 17. La fel ca un tranzistor, are trei conectori (G), (D) și (S).

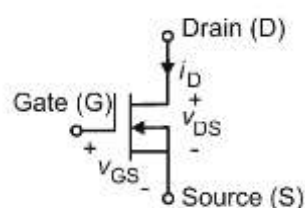


IMAGE 17: MOSFET TRANSISTOR SYMBOL.

Deschiderea canalului este controlată printr-un conector (G), care utilizează câmpul electric între substratul invers polarizat pentru funcționarea acestuia. Câmpul electric poate fi gestionat cu tensiune VGS, ceea ce determină deschiderea canalului între conectorul (D) și (S). Datorită unui strat subțire de dioxid de siliciu SiO<sub>2</sub> între canal și porți, are o rezistență mare la intrare. Datorită acestei rezistențe RDS foarte scăzute în timpul conducerii, este un element potrivit pentru operarea electrică și comutare. Deschiderea canalului de conducție cu câmp electric permite transferul de curenți mari. De asemenea, este important de menționat că tranzistorul bipolar este un element controlat de curent cu curentul IB. Tranzistoarele MESFET sunt elemente controlate de tensiune cu tensiune VGD. MOSFET caracteristic static este foarte similar cu un tranzistor bipolar, așa cum se vede în imaginea 18.

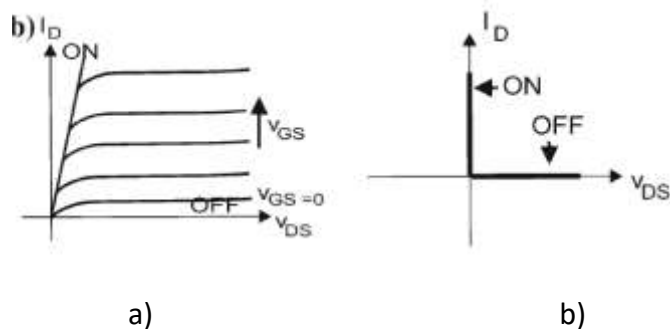




IMAGE 18: STATIC CHARACTERISTIC OF MOSFET: A) REAL, B) IDEAL.

Mai jos este prezentată structura tranzistorului MOSFET.

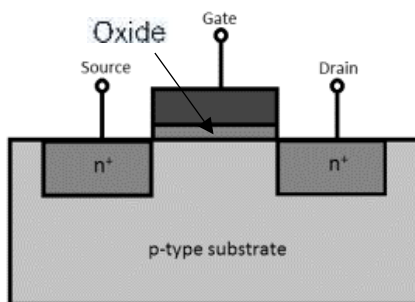


IMAGE 19: MOSFET TRANSISTOR STRUCTURE.

Dacă vom compara imaginile 15 și 16, putem vedea că structura MOSFET este semnificativ diferită de tranzistorul BJT. În MOSFET se creează un canal de conducere prin alimentarea tensiunii VGD între (G) și (D). VGD de tensiune creează un câmp electric care creează canal conductor n + între două substraturi n + încorporate în substratul p. Cu cât este mai mare tensiunea, cu atât este mai mare canalul, ceea ce înseamnă că rezistența canalului este mai mică. În funcționarea statică, folosim modurile complet deschise sau închise.

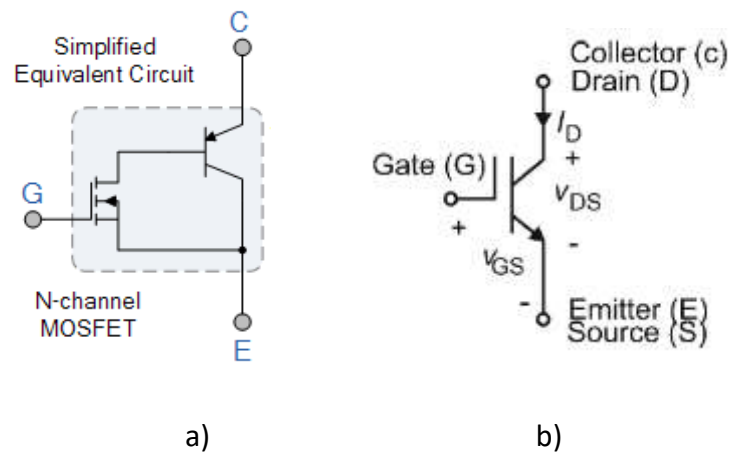
Dezavantajul MOSFET-ului este sensibilitatea ridicată la tensiunea de intrare (G), care este rezultatul unei rezistențe mari la intrare. Din acest motiv, este important să aveți grijă la mărimea tensiunii VGD. Din acest motiv unele MOSFET-uri au încorporate diode de siguranță. Dezavantajul MOSFET este de asemenea o capacitate relativ mare, ceea ce limitează utilizarea la frecvențe înalte. Din acest motiv, au existat alte versiuni care folosesc doi conectori (G). În acest fel, reducem mecanic suprafața compusă. Caracteristicile bune ale MOSFET sunt dimensiuni foarte mici pentru puterea mare, viteza mare de comutare, rezistența la sarcinile termice. Tabelul 1 prezintă diferența dintre tranzistorul bipolar și MOSFET.

Proprietate	BJT	MOSFET
Rezistența la intrare	scăzut	înalt
Control	Curent (necesitatea de alimentare)	Tensiune (fără putere)
Trecerea timpului "ON"	50-500ns	5-500ns
Trecerea timpului "OFF"	400-2400ns	5-500ns
Frecvență	80MHz	1.5GHz
Conductoare rezistență	0.3Ω	0.01-1Ω
Sensibilitate la suprasarcină	rău	bun
Stabilitate termică	Este nevoie	Nu este nevoie



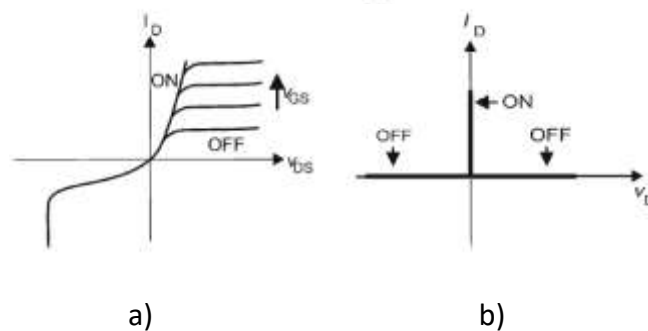
**TABLE 1: COMPARISON BETWEEN BIPOLAR AND MOSFET TRANSISTOR.**

Tranzistorul IGBT este un hibrid între tranzistorul BJT și tranzistorul MOSFET. IGBT conține caracteristici bune ale MOSFET, cum ar fi comutarea rapidă și rezistența redusă la conducție a tranzistorului BJT. IGBT este conexiunea Darlington, realizată din tranzistor MOSFET și BJT, așa cum se vede în imaginea 20 a). MOSFET controlează curentul de bază în tranzistorul BJT.



**IMAGE 20: IGBT TRANSISTOR.**

Simbolul tranzistorului IGBT constă din tranzistorul MOSFET și BJT. Conectorul de control (G) și canalul de conducere (marcate cu (C) și (D) pot fi văzute în imaginea 20 b). Caracteristica statică este prezentată în imaginea 21.



**IMAGE 21: STATIC CHARACTERISTIC OF IGBT TRANSISTOR: A) REAL, B) IDEAL.**

IGBT tranzistor este potrivit pentru comutarea la puteri mai mari. În comparație cu MOSFET, tensiunea de control  $V_{GS}$  este ceva mai mare, dar capacitățile curente sunt semnificativ mai mari ca în MOSFET. Tabelul 2 prezintă o comparație între tranzistoarele de putere.



Proprietate	BJT	MOSFET	IGBT
<b>Voltaaj</b>	High <1kV	High <1kV	Very High >1kV
<b>Ratingul curent</b>	High <500A	Low <200A	High >500A
<b>Unitate de intrare</b>	$h_{FE}$ 20-200	3-10V	4-8V
<b>Impedanta de intrare</b>	Low	High	High
<b>Impedanta de ieșire</b>	Low	Medium	Low
<b>Viteza de comutare</b>	Slow	Fast	Medium
<b>Costul</b>	Low	Medium	High

TABLE 2: COMPARISON OF BJT, MOSFET AND IGBT TRANSISTORS.

Din datele de mai sus, putem vedea că tranzistorul BJT este rar folosit pentru convertoare de putere deoarece puterea este ușor de înlocuit cu tranzistorul MOSFET. La curenți și tensiuni foarte mari, este posibilă utilizarea tranzistorului IGBT.

## 10.4. Convertoare de comutare

În acest capitol, vom prezenta doar convertoare de comutatoare. Acestea asigură o eficiență ridicată și, prin urmare, sunt adecvate pentru a fi construite în cele mai moderne dispozitive electronice din punctul de vedere al proiectării ecologice

### 10.4.1 AC-DC switch converters – rectifiers

Convertoarele AC-DC sunt circuite de putere care transformă tensiunea alternativă într-o singură direcție. Convertoarele AD-DC fac parte din majoritatea dispozitivelor electronice. Motivul pentru aceasta este eficiența și randamentul lor, care sunt foarte importante. Există mai multe principii și alte abordări ale convertoarelor AC-DC. Avantajul redresorului AC-DC în comparație cu cel obișnuit este eficiența mai mare și dimensiunile mai mici cu aceleași puteri. În scopul proiectării ecologice, vom prezenta principiul de comutare a convertorului care este utilizat pe scară largă datorită randamentului ridicat în diferite dispozitive electronice, cum ar fi receptoare de televiziune, computere personale, dispozitive audio etc. Imaginea 22 prezintă schema de redresare a comutatorului.

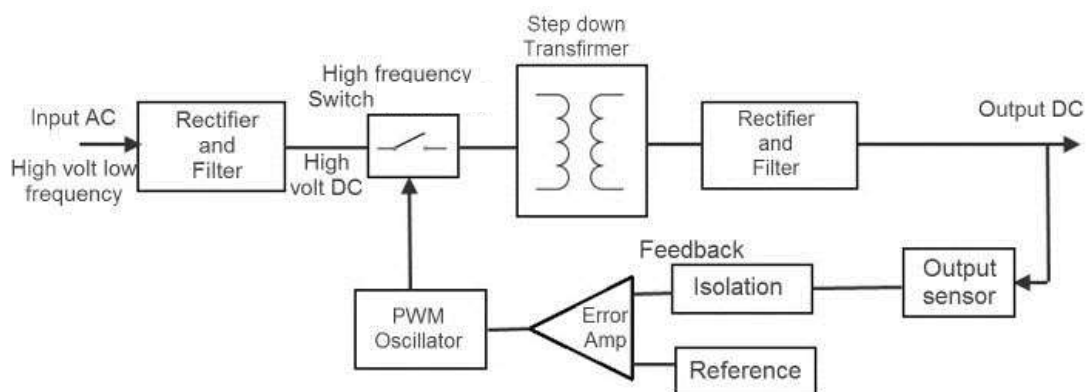


IMAGE 22: AC-DC SWITCH CONVERTER.



Comutarea convertorului AC-DC în primul bloc direcționează instantaneu tensiunea de intrare alternativă cu redresor cu diodă de undă pe jumătate sau cu undă completă. Mulți convertori AC-DC conțin în prima fază filtre diferite pentru eliminarea zgomotului și marginilor din rețea. În cea de-a doua fază, tensiunea este adusă prin comutator de frecvență înaltă, care este controlat în funcție de tensiunea de ieșire dorită. Frecvența de comutare este de obicei între 10 și 100 kHz, în funcție de tipul convertorului. De la comutator, obținem un șir de impulsuri care au aceeași frecvență ca și comutatorul. Șirul de impulsuri este adus la transformator, unde tensiunea este coborâtă. Transformatorul utilizat conține mai puține straturi pe nivel primar și secundar, ceea ce reduce drastic dimensiunea și cantitatea transformatoare utilizate. La ieșirea transformatorului, putem folosi un filtru cu permeabilitate scăzută pentru a uniformiza tensiunea sau un convertor de comutatoare DC-DC. În funcție de tensiunea dorită de ieșire unidirecțională, controlăm viteza de comutare.

Imaginea 23 prezintă convertorul clasic AC-DC cu transformator de intrare. Dimensiunea transformatorului este dependentă de raportul de transformare a puterii și de alternanță. În comparație cu transformatorul din comutatorul AC-DC, raportul de dimensiuni poate fi chiar 1:10 în favoarea convertizorului AC-DC.

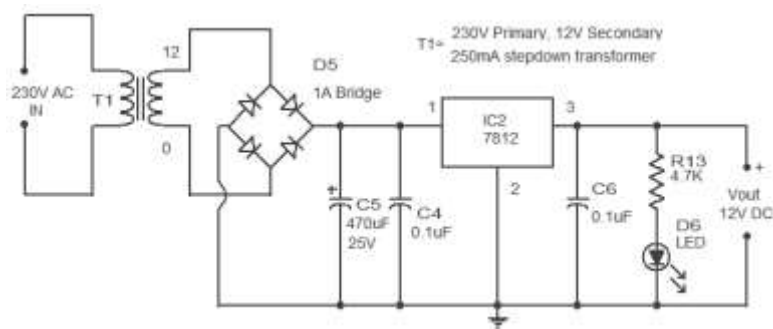


IMAGE 23: CLASSICAL AC-DC CONVERTER

#### 10.4.2 Convertizoare de comutatoare DC-DC

Convertoarele DC-DC sunt utilizate pentru alimentarea consumatorilor și se găsesc în multe dispozitive electronice. Convertoarele asigură reglarea tensiunilor unidirecționale pentru anumiți consumatori. Ele sunt de asemenea folosite pentru separarea galvanică a unui anumit circuit. Se știu patru tipuri de convertoare DC-DC:

- **Convertor de reducere (convertor buck)**
- **Convertor de amplificare (convertor boost)**
- **Convertor de reducere și de amplificare (convertor Buck-Boost)**
- **Convertor Ćuk**



**Convertorul de reducere**, așa cum sugerează și numele, scade tensiunea de intrare DC. Schema convertorului de reducere este prezentată în imaginea 24.

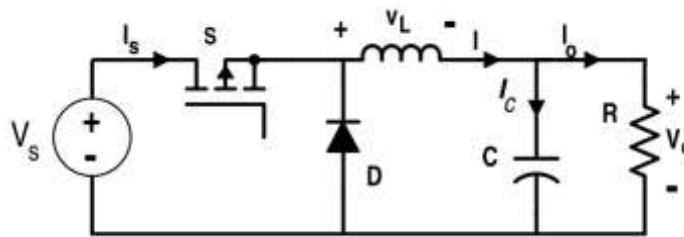


IMAGE 24: STEP-DOWN CONVERTER.

Principiul de funcționare al convertorului este simplu; controlăm comutatorul prin tensiunea de intrare în circuitul LC. Când comutatorul este închis, curentul trece în circuitul LC și acționează sarcina. În cazul în care întrerupătorul nu este închis, dioda înșăși închide circuitul secundar care este consecința inducției proprii în bobină. Întrerupătorul este de obicei controlat de semnalul PWM. Circuitul LC este o sită cu frecvență joasă care netezește ondulara tensiunii de ieșire din cauza comutării. Pentru comutatorul comandat în funcție de putere, putem folosi tranzistor BJT, MOSFET sau IGBT. În funcție de deschiderea sau închiderea comutatorului, obținem o valoare medie la ieșirea convertorului care este mai mică decât  $V_{IN}$ . Cu un design adecvat și o alegere a elementelor, putem proiecta un convertor DC-DC extrem de eficient și fiabil. Mulți producători oferă convertor DC-DC într-un circuit integrat. Forma integrată înseamnă că elementele cheie ale convertorului sunt toate pe un singur cip. În funcție de nevoile proprii, trebuie să alegem bobina, tensiunea de ieșire de referință și condensatorul.

**Convertorul de amplificare** este utilizat pentru consumatorii care au nevoie de o tensiune mai mare decât cea conectată. Schema de convertor de amplificare este prezentată în imaginea 25.

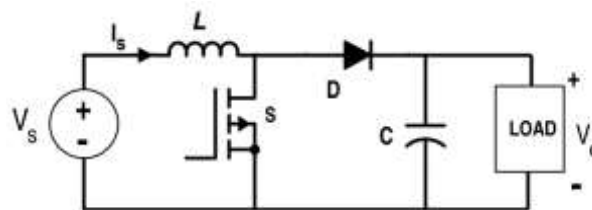


IMAGE 25: STEP-UP CONVERTER.

Principiul de funcționare se bazează pe inducerea proprie a bobinei de intrare. Cu comutarea rapidă, întrerupătoarele produc limite de tensiune în bobina L. În cazul în care comutatorul este închis, curentul trece prin bobină înapoi în sursa de alimentare. În această fază, provocăm inducția propriu-zisă a bobinei, ceea ce înseamnă că economisim energie în L. Când comutatorul nu este închis din cauza inducției proprii,



bobina redirecționează energia salvată prin diodă într-un condensator care acționează ca rezervă de energie în cercul secundar și scade tensiunea de ieșire. Dimensiunea limitelor de tensiune depinde de viteza de comutare. Cu cât comutatorul este mai rapid, cu atât limita superioară a tensiunii este în bobina L. În acest caz, comandăm și comutatorul cu semnal PWM unde viteza de comutare este controlată de tensiunea de ieșire. Convertorul de amplificare poate fi găsit în formă integrată, la fel ca un convertor de reducere.

**Convertor de reducere și de amplificare.** În funcție de conectorul comun dintr-un circuit electronic, apare adesea o nevoie de tensiune negativă la ieșirea convertizorului. Pentru aceste cazuri, se utilizează convertorul de reducere și de amplificare, văzut în imaginea 26.

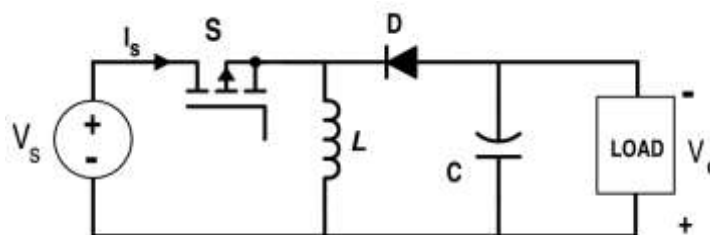


IMAGE 26: STEP-DOWN/UP CONVERTER.

Convertorul de reducere și de amplificare constă din alternanța convertorilor de reducere și de amplificare. Schema prezentată arată realizarea ambelor convertitoare cu jumătate de set de elemente. Convertorul poate genera tensiuni mai mici sau mai mari, în funcție de potențialul conectat. Principiile de funcționare sunt următoarele: atunci când comutatorul este închis, curentul trece prin bobina L. Când comutatorul este deschis din cauza inducției proprii a bobinei L și a diodei polarizate negativ, curentul trece în sens invers. La condensatorul C avem tensiune negativă, în funcție de tensiunea conectată. Raportul dintre tensiunea de ieșire și tensiunea de intrare este dat cu ciclul de funcționare al semnalului PWM ( $V_0 / V_s = D (1 / (1-D))$ ). Semnalul PWM poate avea în exemplul dat +. Aceasta poate avea valoare între 0 și 1 (0-100%).

**Convertorul Ćuk** a fost numit după Slobodan Ćuk, care a fost primul care a dezvoltat un astfel de circuit, așa cum se vede în imaginea 27. Convertorul Ćuk este în esență un convertor de reducere și de amplificare care poate genera o tensiune negativă la ieșire. Diferența principală este că nu bobina ci condensatorul este responsabil de transferul de energie, în comparație cu exemplele anterioare. Pentru convertorul Ćuk este tipic faptul că energia este transmisă în ambele moduri de comutare (ON și OFF). În convertorul clasic, energia este transmisă numai atunci când comutatorul este într-o stare deschisă sau închisă.



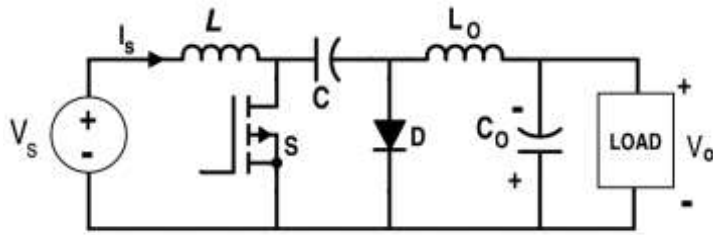


IMAGE 27: ĆUK CONVERTER.

### 10.4.3 Converteoare de comutare DC-AC - invertoare

Converteoarele DC-AC sunt circuite de putere electrică care transformă ieșirea sursei de tensiune cu sens unic, cum ar fi bateriile, celulele solare sau celulele de combustie, în tensiune alternativă AC. Invertoarele sunt adesea folosite pentru propulsarea motoarelor electrice sau a generatoarelor de tensiune. Invertoarele sunt sisteme cheie în sistemele de alimentare neîntreruptibilă UPS. Invertorii pot fi adesea clasificați în funcție de puterea lor de ieșire și de numărul de faze (monofazate sau trifazate) și în funcție de tipul de conversie (semnal sau val complet). În convertoarele DC-AC, cunoaștem multe tipuri și moduri de conversie, așa că vom prezenta numai un convertor monofazat cu un circuit de punte, văzut în imaginea 28.

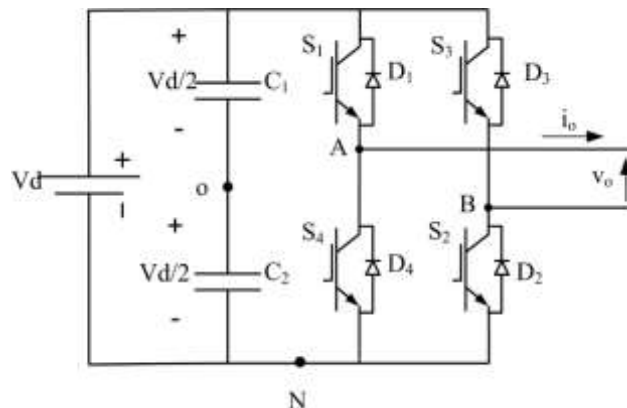


IMAGE 28: SINGLE PHASE BRIDGE CIRCUIT INVERTER CIRCUIT.

Principiul de funcționare al circuitului se bazează pe comanda electronică a comutatoarelor S1-S4. Întrerupătoarele sunt comutate în diagonală S1S2 și S3S4, unde trebuie să avem grijă să nu închidem S1S4 sau S3S2. Cu această schimbare, putem provoca o schimbare de direcție a curentului de ieșire  $i_o$ . Pentru controlul comutării se utilizează modulația PWM, cu care putem obține o tensiune alternativă relativ netedă.

