

CAPITOLUL 1

PROBLEME GENERALE

1.1. Rolul și componența circuitelor electronice de putere

Circuitele electronice de putere sunt parte a unor sisteme electrice sau electromecanice, fiind plasate între o sursă de energie electrică și o sarcină. Ele utilizează dispozitive electronice de putere și au rolul să controleze fluxul de energie și să furnizeze sarcinii energie electrică sub o formă optimă.

În mod obișnuit aceste circuite modifică parametrii unei surse de energie electrică, cum ar fi tensiunea, frecvența și numărul de faze, forma în timp a mărimilor electrice sau însăși natura sursei, care poate să fie sursă de curent continuu (prescurtat **c.c.**) sau sursă de curent alternativ (prescurtat **c.a.**).

Aceste circuite se mai numesc cu un termen general **convertoare**.

Domeniul puterilor este foarte larg, pornește de la zeci de wați și ajunge la megawați. Tensiunile nu sunt întotdeauna de valoare mare dar pot ajunge și la zeci de KV, iar plaja de curenți este A-zeci KA

Schema bloc generală a unui sistem de putere (figura 1.1) cuprinde, pe lângă sursa de energie electrică și sarcina sau consumatorul de energie electrică, cele două părți principale ale circuitului electronic de putere și anume circuitul de forță și circuitul de comandă. Există de asemenea căi de reacție pentru controlul transformării.

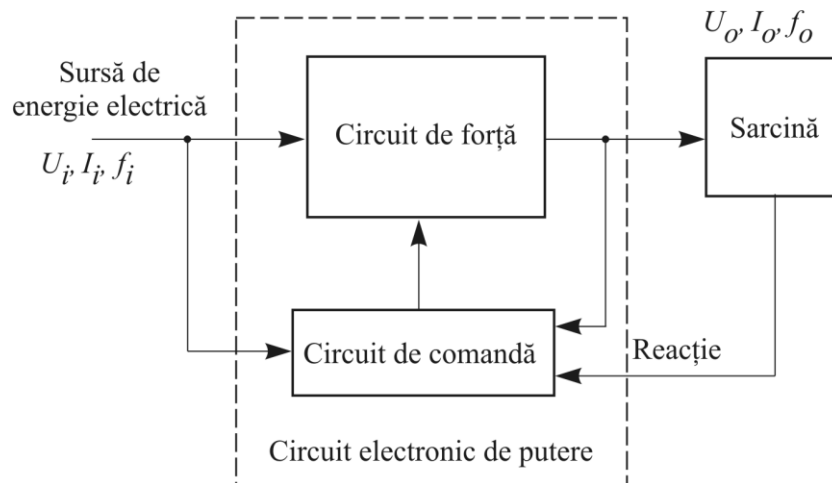


Fig.1.1. Schema bloc generală a unui sistem de putere.

Poziția intermediară a circuitului electronic de putere impune acestuia două importante cerințe, prima, eficacitatea sau randamentul, a doua, fiabilitatea sau siguranța în funcționare.

Eficacitatea transmisiei de energie electrică depinde esențial de pierderile în circuitul intermediar, acestea trebuind menținute la un nivel cât mai scăzut astfel că circuitele de putere sunt constituite mai ales din elemente cu pierderi mici. Cum pierderile importante într-un circuit electronic apar pe rezistențe și pe dispozitivele electronice care funcționează liniar, în regiunea activă, circuitele de putere utilizează

în special elemente reactive, bobine și condensatoare și dispozitive care funcționează în regim de comutație. Acestea din urmă, fie ele diode, tranzistoare, sau tiristoare au rolul unor contacte electrice și sunt numite curent **ventile** (electrice) deoarece primele dispozitive utilizate în electronica de putere au fost dispozitive unidirecționale, care pot conduce curent electric într-un singur sens. Trebuie precizat că există acum și dispozitive ce permit conducția curentului în ambele sensuri.

Siguranța în funcționare este asigurată prin multiple măsuri:

- se folosesc scheme cât mai simple, cu număr minim de elemente;
- se acordă mare atenție protecției dispozitivelor electronice de putere la supratensiuni, suprasarcină sau perturbații;
- sunt utilizate blocuri integrate, cu mai multe dispozitive interconectate și circuite integrate specializate pentru comandă.

Importanța utilizării unor dispozitive în comutație care măresc randamentul poate fi ilustrată de cazul tracțiunii electrice urbane.

Acționarea clasică a unui troleibuz este prezentată în figura 1.2 a), motorul fiind un motor de curent continuu care are avantajul că turația depinde de nivelul tensiunii la borne. Mai trebuie precizat că, simplificând lucrurile, motorul reacționează la componenta medie a tensiunii, atunci când aceasta este variabilă. Reglajul se face cu ajutorul unor rezistențe variabile sau a unor dispozitive care funcționează în zona liniară (exemplu, tranzistor în regiunea activă) și deci sunt echivalate tot cu o rezistență variabilă. Cazurile limită sunt rezistența variabilă zero, tensiunea este maximă și turația sau viteza este maximă și rezistența variabilă infinită, tensiunea este zero și turația sau viteza este zero. Troleibuzul în funcțiune se află între aceste limite și se poate aproxima că în medie viteza și deci tensiunea este undeva la mijloc, adică pe R și pe motor tensiunile sunt egale, ceea ce înseamnă că puterea utilă și pierderile sunt egale, iar randamentul este 0,5.

Acționarea modernă (figura 1.2 b) înlocuiește R cu un comutator pentru care semiperioadele de conectare sau deconectare sunt reglabile. Se obține o tensiune (figura 1.2 c) cu o componentă medie variabilă, funcție de acest reglaj, maximă dacă perioada de conectare este maximă și zero dacă perioada de conectare este zero. Dacă se consideră comutatorul ideal pierderile pe el sunt zero și puterea generată este egală cu puterea utilă, deci randament 1.

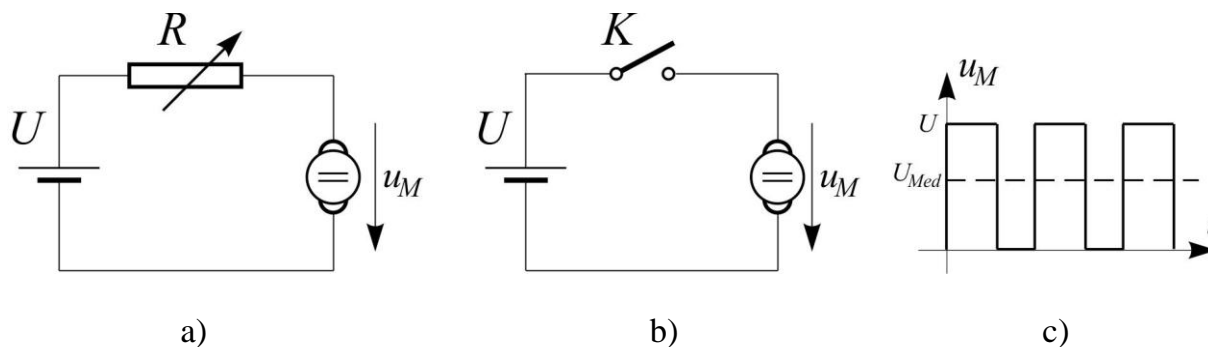


Fig. 1.2. Acționare de c.c.

În cazurile reale un troleibuz cu acționare clasică are un randament sensibil sub 0,5, iar unul cu acționare cu comutatoare peste 0,9.

La un sistem electronic de putere, pe lângă randament și fiabilitate, contează mult prețul și volumul sistemului. Mai este nevoie de întreținere și depanare ușoară, pornire sigură și rapidă, control simplu al regimurilor de funcționare, plajă largă de reglare a mărimilor, compatibilitatea cu instalațiile existente, lipsa zgomotului.

1.2. Clasificare

Circuitele de putere se împart în numeroase categorii, în funcție de criterii diverse. Se poate deduce că numărul variantelor posibile este foarte mare, dar trebuie spus că cele utilizate curent nu sunt foarte numeroase. Este de asemenea nevoie de o ordonare a criteriilor de apreciere a unui anume circuit deoarece el intră în multe dintre clasificări.

Prima și cea mai importantă clasificare împarte circuitele electronice de putere în cinci mari categorii:

- **redresoare** - care transformă o sursă de curent alternativ în sursă de curent continuu sau pe scurt fac transformarea alternativ-continuu;
 - **invertoare** - care transformă o sursă de curent continuu în sursă de curent alternativ sau pe scurt fac transformarea continuu-alternativ;
 - **convertoare de frecvență** - care transformă o sursă de curent alternativ de frecvență f_1 în sursă de curent alternativ de frecvență f_2 ;
 - **convertoare de tensiune** - care transformă o sursă de curent continuu de valoare U_1 în sursă de curent continuu de valoare U_2 ;
- (aceste prime patru categorii mai intră sub denumirea generică de convertoare);
- **contactoare statice** – circuite care conectează un consumator de putere la o sursă de energie electrică de putere sau îl deconectează de la aceasta.

Alte câteva variante de clasificare sunt prezentate în continuare:

- după natura sursei sau a sarcinii se împart în:
 - monofazate;
 - trifazate.
- după posibilitatea modificării parametrului principal:
 - comandate (reglabile);
 - necomandate (fixe).
- după forma tensiunii de ieșire cele mai importante sunt:
 - sinusoidale;
 - dreptunghiulare;
 - cu tensune sintetică.

- după modul în care se produce comutarea curentului prin ramurile circuitului:
 - cu comutație naturală;
 - cu comutație forțată;
 - rezonante.

O clasificare importantă pleacă de la modul în care sunt legate punctele de intrare ale circuitului (bornele sursei) de punctele de ieșire ale circuitului (bornele consumatorului):

- directe (sau matriciale), cu punctele de intrare și ieșire legate direct prin comutatoare;
- cu circuit intermediar (de înmagazinare a energiei electrice).

Circuitele se mai împart după frecvența de lucru, tipul de dispozitive, gradul de integrare, posibilitatea inversării fluxului de energie, caracteristicile circuitelor de comandă ș.a.

1.3. Dispozitive electronice de putere

Dispozitivele utilizate în circuitele electronice de putere se clasifică primar în trei mari familii:

1. **Diode** – dispozitive cu două terminale (dipoli), utilizate îndeosebi în redresoare, ca elemente în alte circuite de putere și ca dispozitive auxiliare în module de putere. Au comportament de comutator necomandat.
2. **Tranzistoare** – dispozitive cu două terminale principale și un al treilea de comandă, sunt generatoare comandate care însă sunt utilizate aici ca niște comutatoare comandate. Au nevoie de comandă continuă, pe toată durata unui interval de conducție.
3. **Tiristoare** – dispozitive multistrat (cu mai mult de trei straturi semiconductoare), pot fi dipoli, caz în care sunt necomandate sau cu două terminale principale și un al treilea de comandă. Se comportă ca niște comutatoare (comandate, semicomandate sau necomandate) cu menținere (latch – zăvorâre). Pentru comandă au nevoie de semnale sub forma de impulsuri de scurtă durată.

1.3.1. Dispozitive ideale și cvasi-ideale

Toate aceste dispozitive, fie prin natura lor, fie prin maniera de comandă, se comportă în circuitele electronice de putere ca niște comutatoare. Ele sunt reprezentate de multe ori, simplificat, prin comutatoare electrice **ideale** (figura 1.3).



Fig. 1.3. Comutatoare electrice ideale.

Un comutator are două stări, deschis (figura 1.3 a), când este echivalent cu o rezistență infinită și închis (figura 1. 3b), când este echivalent cu o rezistență zero.

Alte proprietăți ale comutatorului ideal sunt:

- închis conduce curentul în ambele sensuri;
- deschis suportă tensiuni de ambele polarități.

Pentru dispozitivele electronice de putere (ventile), cele două stări sunt denumite:

- stare de conducție sau aprins (on);
- stare de blocare sau stins (off);

Există două operații de trecere, închiderea comutatorului, se trece de la rezistență infinită la rezistență zero și invers, deschiderea acestuia, iar trecerea între cele două stări se numește:

- comutație directă sau aprindere (turn on) – închidere;
- comutație inversă sau stingere (turn off) – deschidere.

Chiar dacă pot fi reduse simplificator la comutatoare ideale, dispozitivele de putere sunt foarte diverse și au un comportament real care este caracterizat după numeroase criterii, cele mai importante privind direcțiile de circulație ale curenților și posibilitatea de a suporta tensiuni în starea de blocare.

După circulația curenților ventilele sunt:

- unidirecționale** – curentul poate circula într-un singur sens;
- bidirecționale** – curentul poate circula în ambele sensuri.

Ca în cazul tuturor dispozitivelor noțiunea de polarizare semnifică existența sau aplicarea unei tensiuni de o anumită polaritate acestora (dacă sunt dispozitive cu trei terminale se consideră cele două terminale principale) și sunt utilizate curent variantele:

-polarizare directă – tensiunea are același sens cu sensul posibil al curentului. Ventilul poate fi polarizat direct și aprins dar și polarizat tot direct dar stins.

-polarizare inversă – tensiunea are sens contrar cu sensul posibil al curentului. Ventilul polarizat invers este stins.

Mai trebuie precizat că aceste noțiuni sunt utilizate normal la dispozitive unidirecționale. Pentru dispozitivele bidirecționale noțiunea are sens dacă se definește explicit un sens direct. Pentru acestea poate exista și situația polarizat invers și aprins

După posibilitatea de a suporta tensiuni în stare de blocare ventilele sunt de două feluri:

- **unipolare**, capabile să suporte în stare de blocare tensiuni de o singură polaritate;

Aici se mai face o a doua împărțire în care tensiunea de polarizare poate fi:

- directă;
- inversă.

- **bipolare**, capabile să suporte în stare de blocare tensiuni de ambele polarități. Acestea pot fi simetrice, dacă tensiunile sunt egale sau nesimetrice dacă acestea sunt inegale.

Conform acestor criterii dispozitivele electronice pot fi considerate simplificator ca niste comutatoare **cvasi-ideale** și ele se pot împărți în cinci mari

categorii cărora le corespunde o simbolizare conformă acestor două criterii. Se folosește săgeata pentru a indica direcția curenților și o linie transversală groasă pentru a arăta că ventilul suportă în stare de blocare o tensiune cu plusul la extremitatea astfel marcată.

Rezultă cinci simboluri diferite pentru ventilele de putere cvasi-ideale, prezentate în continuare:

-ventil unidirecțional, unipolar, care poate suporta doar tensiune de blocare inversă (figura 1.4 a); element tipic: dioda;

-ventil unidirecțional, unipolar, care poate suporta doar tensiune de blocare directă (figura 1.4 b); element tipic: tranzistorul;

-ventil unidirecțional, bipolar (figura 1.4 c); element tipic: tiristorul;

-ventil bidirecțional, unipolar, care poate suporta doar tensiune de blocare directă (figura 1.4 d); element tipic: tranzistorul MOS de putere cu diodă inversă încorporată;

-ventil bidirecțional, bipolar (figura 1.4 e); element tipic: triacul.

În afară de elementele tipice prezentate sunt multe altele, dar și combinații de ventile care sunt echivalente uneia dintre categoriile cvasi-ideale precizate.

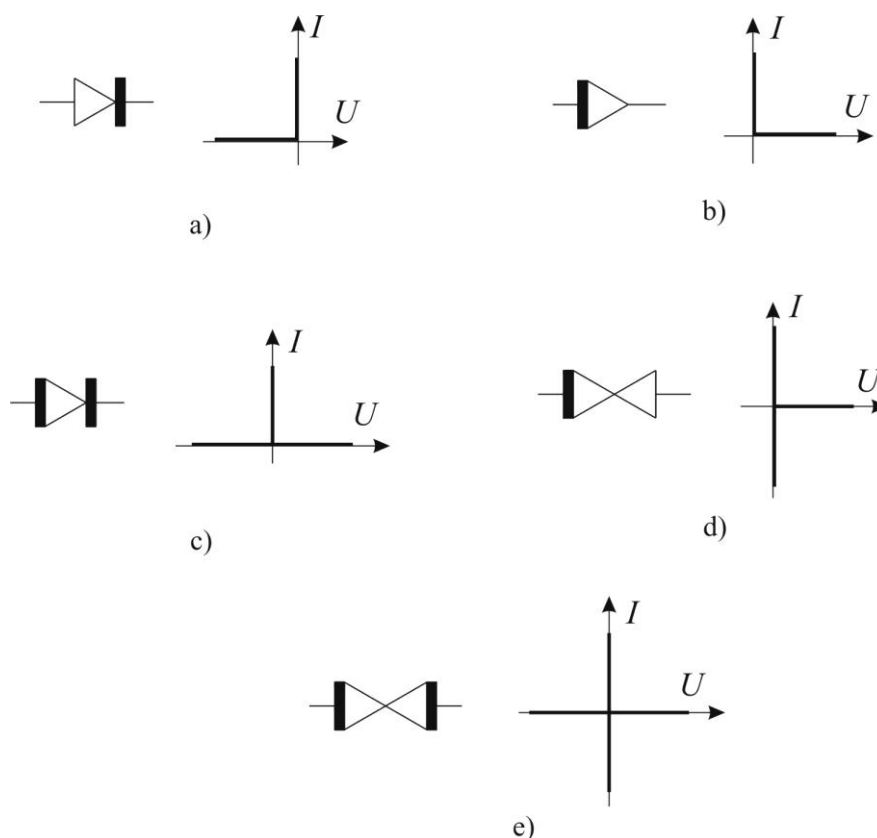


Fig 1.4. Tipuri de dispozitive electronice cvasi-ideale: simbolurile și caracteristicile grafice curent-tensiune.

Mai există o clasificare des utilizată care împarte dispozitivele după modul în care se pot comanda:

- necomandate – comutarea acestora se face doar la modificarea tensiunii de polarizare;

- semicomandate – doar aprinderea se face prin comandă;
- comandate – ambele treceri se fac prin comandă.

Cele comandate se mai împart după maniera de comandă:

- cu comandă continuă;
- cu comandă în impulsuri;

sau după mărimea de comandă:

- comandate în tensiune;
- comandate în curent.

1.3.2. Dispozitive reale

Dispozitivele reale au diferențe, unele importante, față de variantele idealizate prezentate. Nu sunt comutatoare ideale și rezistențele sunt diferite de zero sau infinit, o primă consecință fiind că puterea disipată pe dispozitive nu este zero, mărimea curenților ca și a tensiunilor de blocare este limitată, comutarea nu se face instantaneu și există timpi de tranziție între stări.

Un dispozitiv real are ca principale diferențe față de unul ideal sau cvasi-ideal:

- tensiunea directă în conducție diferită de zero, V_{ON} sau rezistență diferită de zero în conducție, R_{ON} ;
- timpi de comutație diferiți de zero;
- putere de comandă diferită de zero;
- limitarea vitezei variațiilor de curent sau tensiune la borne (ideal infinite);
- pierderi statice și dinamice diferite de zero.

Puterea disipată pe dispozitive este importantă la circuitele de putere pentru că reprezintă putere de pierderi și scade randamentul întregului sistem. Aceste pierderi se împart în două categorii:

- pierderi statice, corespunzătoare situațiilor pentru care dispozitivele se mențin în una dintre stări și mărimile sunt continue sau lent variabile, caz în care puterea disipată este:

$$P_{DS} = I_D U_D \quad (1.1)$$

unde I_D și U_D sunt curentul (continuu sau valoarea efectivă) prin dispozitiv, respectiv tensiunea (continuu sau valoarea efectivă) pe acesta.

- pierderi dinamice, corespunzătoare situațiilor pentru care dispozitivele comută, caz în care puterea disipată pe un interval de timp este:

$$P_{DD} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} i_D u_D dt \quad (1.2)$$

Pierderile statice corespund perioadelor în care dispozitivul este blocat sau în conducție. Acestea sunt mult mai mari în perioada de conducție și doar ele sunt de obicei luate în considerație.

Pierderile dinamice apar la tranziția dintre stări deoarece aceasta nu se face instantaneu, ci în intervale de timp mai mari decât zero.

Simplificat tranziția unui dispozitiv de putere comandat se face conform formelor de undă prezentate în figura 4.

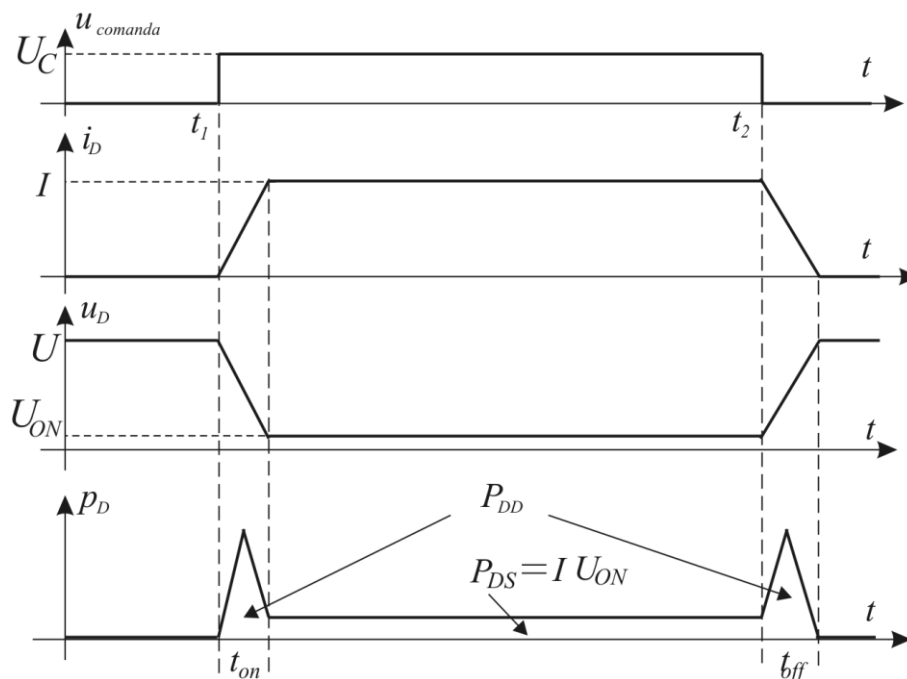


Fig. 1.5. Tranziția directă și inversă a unui dispozitiv real, variantă simplificată.

Dispozitivul este inițial blocat, curentul este practic zero, tensiunea pe dispozitiv este ridicată (de obicei egală cu tensiunea sursei, presupusă aici continuă) și pierderile sunt tot zero. La momentul t_1 se comandă aprinderea, curentul crește prin dispozitiv și tensiunea la borne scade. Procesul tranzitoriu se încheie după un interval de timp denumit timp de comutație directă sau de aprindere, t_{on} . Urmează intervalul de conducție, până la momentul t_2 , când se comandă stingerea dispozitivului. Din acest moment urmează un nou proces tranzitoriu care durează un interval de timp denumit timp de comutație inversă sau de stingere, t_{off} .

Se vede că puterea de pierderi statică, dată de relația (1.1), e semnificativă doar în intervalul de conducție, iar pierderile dinamice au valori instantanee mai mari. Mai mult, cu cât frecvența de comutație crește, aceste pierderi cresc proporțional.

O împărțire a dispozitivelor după zona de frecvențe de funcționare, care depind de rându-l lor de timpii de tranziție se face în:

- de rețea – care funcționează optim la frecvența rețelei sau la frecvențe ce nu depășesc câteva sute de herți;
- rapide – care pot funcționa la frecvențe mai mari (limita superioară este în zona de sute de KHz, pentru frecvențe mai mari se utilizează dispozitive speciale).

1.3.3. Foi de catalog

Performanțele dispozitivelor sunt date de către producători în liste comprimate, cu doar câțiva parametri esențiali și cu un număr mare de variante de dispozitive sau în foi de catalog (în limba engleză - *data sheets*). Foile de catalog sunt extinse, destinate unui dispozitiv sau unei familii restrânse unde, pe lângă un număr mare de valori ale

parametrilor, date pentru condiții precizate (de exemplu tensiunea directă a unei diode este dată la un anumit curent și la o anumită temperatură), producătorii mai introduc și grafice ale variației acestor parametri funcție de mărimile de care depind.

În foile de catalog parametrii se împart de obicei în categoriile:

- valori limită absolute;
- parametri termici;
- parametri electrici.

Ultimii pot fi împărțiți la rândul lor în:

- statici, privind valori pentru regimul permanent de funcționare;
- dinamici, privind valori pentru regim tranzitoriu, de comutație.

O foaie tipică de catalog cuprinde:

- numele firmei producătoare;
- denumirea codată a dispozitivului, însoțită uneori de unul sau doi parametri;
- caracteristici principale tehnologice și calitative;
- desen și/sau fotografie cu precizarea dimensiunilor fizice;
- date mecanice;
- parametrii dispozitivului, grupați de obicei în categoriile amintite mai devreme;
- caracteristici grafice, însoțite uneori și de schemele de măsurare;
- amănunte pentru achiziție: coduri, adresă de contact;
- precizări asupra responsabilității producătorului.

1.4. Probleme ale comenzii

Circuitele electronice de comandă trebuie să îndeplinească condiții diverse, legate de forma semnalelor de comandă, de precizie, plajă de reglaj ș.a.m.d. Printre cele importante este izolarea galvanică față de partea de forță care să asigure protecția circuitului de comandă sau a operatorilor (figura 1.6).

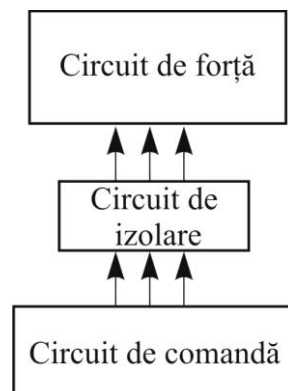


Fig 1.6. Izolarea galvanică a circuitului de comandă față de circuitul de forță.

Există trei posibilități de izolare:

- prin transformator;
- prin sistem optic (optocuploare, fibră optică);
- circuite speciale cum sunt amplificatoarele cu izolare.

În cazul folosirii transformatoarelor ca elemente de legătură între circuitul de forță și cel de comandă există următoarele avantaje:

- adaptare de impedanță, prin alegerea raportului de transformare n ;
- izolare față de curenții continui;
- posibilitatea fie a măririi, fie a micșorării nivelului de tensiune;
- pot asigura polarizare negativă;

și dezavantajele:

- pot furniza doar componenta alternativă a semnalului de comandă;
- raportul impuls-pauză limitat la 50%.

Dacă sunt folosite optocuploare ca element de legătură circuit forță-comandă există următoarele avantaje:

- izolare curent continuu foarte bună;
- poate fi furnizată și componenta alternativă a semnalului;
- raportul impuls-pauză oricât de mare.

și dezavantajele:

- sunt scumpe dacă este nevoie de o pantă de tensiune $\frac{\Delta u}{\Delta t}$ mare;
- necesită surse flotante auxiliare;
- necesită un amplificator pentru comanda dispozitivelor cu capacități mari de intrare.

Există două moduri pentru plasarea circuitului de izolare:

- direct, între circuitul de comandă și dispozitivul de putere;
- cu izolare la circuitele de alimentare de la rețea și formare locală a impulsurilor

Izolarea directă prin transformator are avantajul simplității. În figura 1.7 este prezentat un circuit redresor comandat cu tiristoare realizat în acest fel.

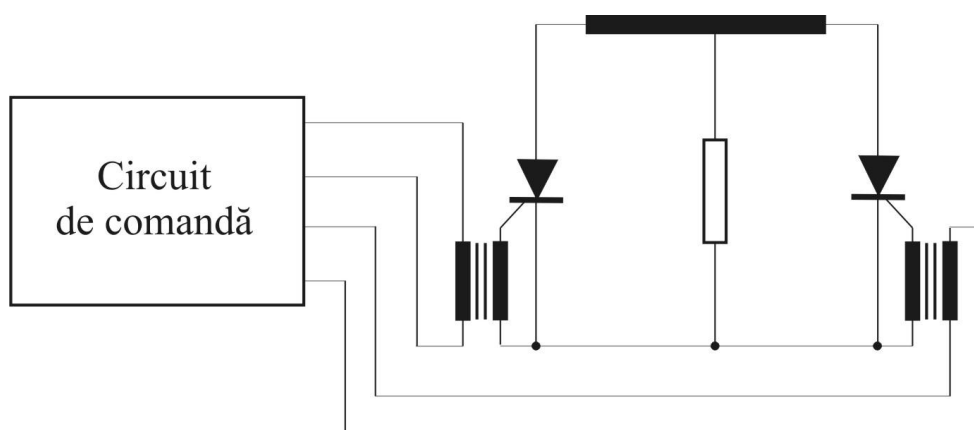


Fig.1.7. Izolare directă prin transformator.

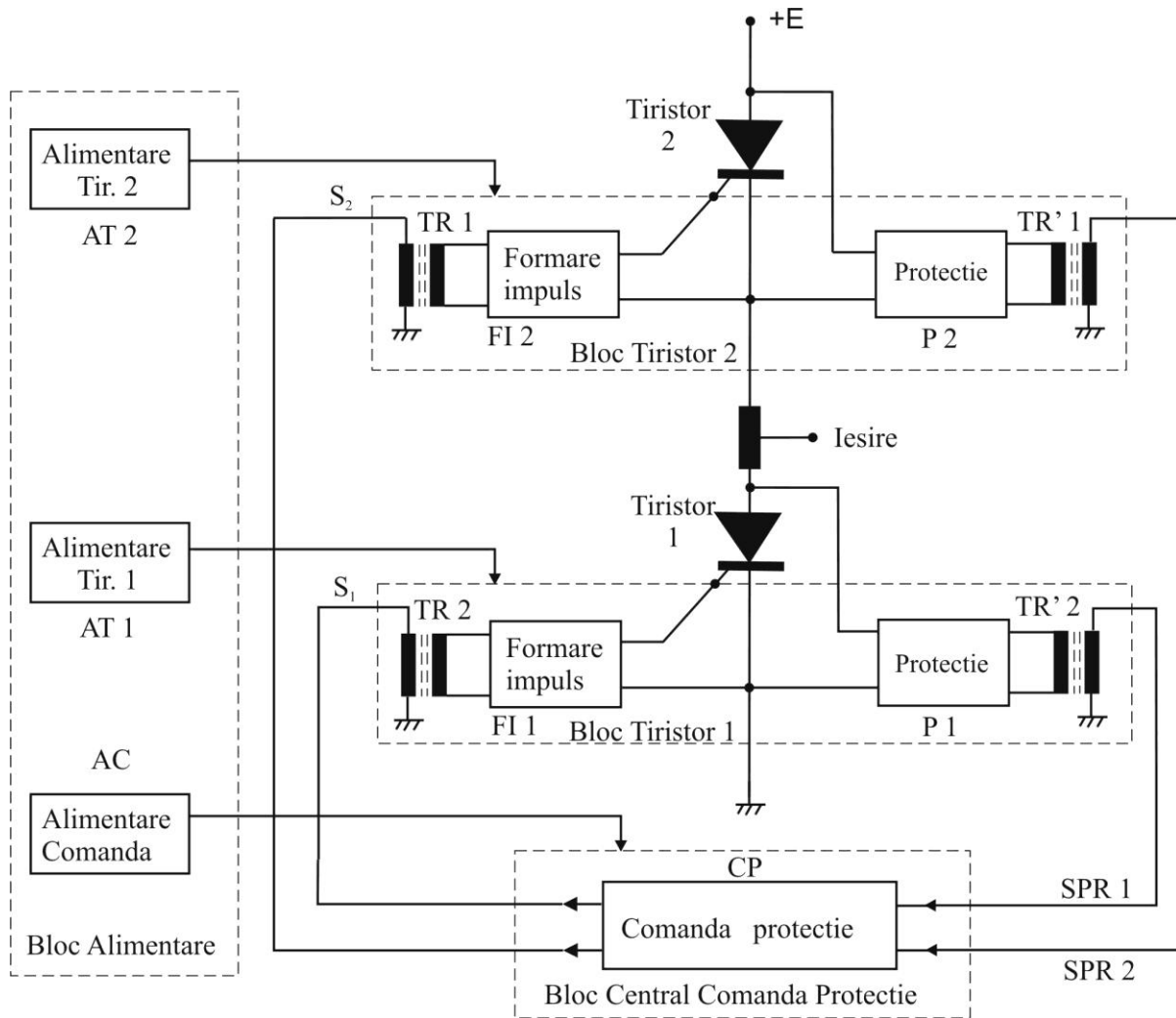


Fig.1.8. Izolare complexă prin transformator, cu circuite flotante.

Izolarea prin sistem optic implică de obicei circuite de formare izolate la rândul lor prin transformatoare de rețea. Se constituie atunci circuite individualizate flotante pentru fiecare ventil.

Un exemplu este dat în figura 1.8. Aici este un inverter cu două tiristoare și fiecare tiristor este comandat de de un formator de impulsuri flotant, alimentat cu sursa separată izolată prin transformator (blocurile Alimentare Tir), iar izolarea față de circuitul de comandă se realizează tot cu transformator.

Mai există și un circuit de protecție. Acesta este izolat tot prin transformator de circuitul de comandă, iar alimentarea este flotantă, fiind de la aceeași sursă de alimentare ca și circuitul de formare.

1.5. Calculul radiatorului pentru dispozitivele semiconductoare

O problemă importantă în electronica de putere o reprezintă calculul radiatorului pentru dispozitivele semiconductoare.

Temperatura maximă la nivelul joncțiunilor unui dispozitiv semiconductor este de 175-200 °C. Empiric, fiecare reducere de 10 °C a temperaturii de lucru a joncțiunii dublează viața dispozitivului.

În curent continuu sau la frecvențe joase căldura eliberată la nivelul joncțiunilor este echivalentul puterii electrice:

$$P_D = UI \quad (1.3)$$

Unde:

- P_D puterea disipată pe dispozitiv;
- U tensiunea continuă sau efectivă pe dispozitiv;
- I curentul continuu sau efectiv prin dispozitiv.

Puterea disipată provoacă o creștere a temperaturii la nivelul joncțiunilor. Eliminarea acesteia spre mediul ambiant întâlnește o rezistență termică a spațiului dintre joncțiune și mediul ambiant. Relația principală pentru fenomenul termic este:

$$T_j - T_a = P_D R_{th\ j-a} \quad (1.4)$$

Unde:

- P_D puterea disipată pe dispozitiv;
- T_j temperatura joncțiunii;
- T_a temperatura ambiantă;
- $R_{th\ j-a}$ rezistența termică dintre joncțiune și mediul ambiant.

Relația este echivalentă legii lui Ohm, motiv pentru care se poate face și o schemă termică echivalentă ca în figura 1.9:

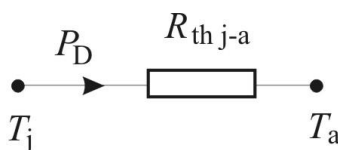


Fig.1.9. Schemă echivalentă termică a spațiului joncțiune-ambiant fără radiator.

Dar există două spații diferite de transmisie a căldurii între joncțiune și ambiant.

Primul este între joncțiunea și capsula dispozitivului și rezistența termică dintre joncțiune și capsulă depinde de construcția fizică a dispozitivului. Ea este dată de producători în foile de catalog ale dispozitivului.

Al doilea este spațiul dintre capsulă și mediu ambiant (aer). Dacă nu există un dispozitiv special (radiator) pentru a facilita transmisia căldurii spre ambiant, rezistența termică, mare, este dată tot de producător. Dacă există radiator rezistența dintre capsulă și ambiant va fi rezistența termică a radiatorului. Schema echivalentă este în cazul acesta (figura 1.10):

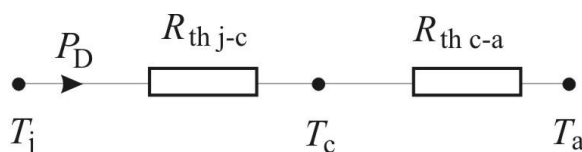


Fig.1.10. Schemă echivalentă termică a spațiului joncțiune-ambiant cu radiator.

Calculul radiatorului înseamnă determinarea rezistenței termice necesare pentru a obține temperatura joncțiunii mai jos decât temperatura maxim admisibilă.

Pentru cazul cu radiator relația principală devine:

$$T_j - T_a = P_D (R_{th\ j-c} + R_{th\ c-a}) \quad (1.5)$$

Radiatorul trebuie ales astfel încât rezistența lui termică să fie destul de mică pentru a menține temperatura joncțiunii sub limita admisibilă. Va rezulta relația ce permite alegerea radiatorului:

$$R_{th\ ca} < \frac{(T_j - T_a - P_D R_{th\ jc})}{P_D} \quad (1.6)$$

1.6. Domenii de aplicare pentru sistemele electronice de putere

O dată cu apariția tiristorului ca ventil de putere (1958), urmat curând de alte dispozitive semiconductoare, circuitele electronice de putere au cunoscut o dezvoltare și diversificare continuă, atât în ceea ce privește variantele cât și în ce privește domeniile de aplicare. Se vor prezenta în continuare cele mai importante domenii și câteva precizări asupra aplicațiilor cel mai des întâlnite.

Acționările electrice sunt domeniul în care electronica de putere este folosită cel mai mult. Sunt numeroase variantele de mașini electrice acționate prin circuite electronice de putere, cele mai cunoscute fiind:

- motoarele de inducție;
- motoarele sincrone;
- motoarele de c.c.;
- motoarele universale;
- motoarele pas cu pas;
- servomotoarele.

Dacă la începuturi cele mai utilizate au fost acționările de curent continuu, iar circuitele de putere erau redresoarele comandate sau chopperile, astăzi domină acționările cu motoare de inducție controlate cu invertoare. Pentru motoare de puteri foarte mari sunt utilizate cicloconvertoarele.

Câteva dintre tipurile de mașini și instalații sunt enumerate în continuare:

- mașini unelte;
- laminoare;
- instalații tipografice;
- utilaje de ridicat, transport pe cablu, benzi transportoare;
- pompe, ventilatoare;
- roboți s.a.

Domeniul **transporturi** este asociat natural cu acționările motoarelor, mai ales în tracțiunea electrică pe șine, dar și în multe sisteme din transportul terestru, naval, aerian sau chiar aerospațial.

Tracțiunea electrică are particularități cum sunt sensibilitatea la vibrații a echipamentelor sau controlul turațiilor mici. Locomotivele, ramele de metrou sau

tramvai dar și troleibuzele intră aici, problemele fiind reglarea turației dar și a demarajului, viteza de frânare sau sistemele antipatinare.

În industria auto, pe lângă circuite anexe cum ar fi cele de încărcare a bateriilor sau sisteme electromecanice care tind să înlocuiască sistemele hidraulice (frânare, direcție) chiar acționarea principală este înlocuită complet sau parțial la automobilul numit *electric* sau *hibrid*.

Uzinele electrice utilizează electronica de putere pentru controlul generatoarelor sau, în cazul transportului energiei în curent continuu la înaltă tensiune, pentru transformarea în și din curent continuu. Alte probleme rezolvate tot prin circuite electronice de putere sunt compensarea energiei reactive, controlul fluxului de putere pentru sarcinile variabile sau optimizarea transferului de putere în sistemele existente de transmisie.

Metalurgie: alimentarea și reglarea temperaturii cuptoarelor, iar în industria de **prelucrări mecanice**, pe lângă acționarea reglabilă a mașinilor unelte sunt instalațiile de încălzire prin inducție de preîncălzire pentru laminare sau forjare dar și pentru tratamente termice. Băile electrolitice sunt alimentate și controlate, de asemenea, prin circuite electronice de putere, și tot astfel de circuite stau la baza prelucrărilor denumite neconvenționale cum sunt cele electrochimice, electroeroziunea sau unele procedee speciale de sudură. Generatoarele de ultrasunete sunt realizate cu invertoare și folosite în procedee speciale sau pentru control.

Domeniul în expansiune al **energiilor regenerabile**, pe lângă situațiile similare uzinelor electrice, folosește circuite electronice de putere, o dată pentru conversia energiei și adeseori, injectarea ei în rețea, a doua oară pentru optimizarea transformării c.c. – c.a., prin adaptarea permanentă sarcinii – generator, în cazul pilelor de combustie sau a panourilor fotovoltaice.

Mai sunt de amintit **centralele nucleare**, care utilizează surse de mare putere și precizie, îndeosebi în varianta de curent, **sistemele de calcul** care sunt alimentate exclusiv cu surse în comutație, la fel ca și echipamentele de **telecomunicații**. Pentru domeniul din urmă mai sunt emițătoarele de putere dar și circuitele pentru încărcarea bateriilor.

În **construcții și instalații** controlul iluminării, încălzirii, ventilării, în **industria lemnului** – uscarea lemnului folosește generatoare electronice de frecvență înaltă, **bunuri de larg consum** - mașini de gătit prin inducție.

Iluminatul fluorescent casnic sau urban se face de altfel acum, din considerente de randament, exclusiv la tensiune de înaltă frecvență obținută cu circuite convertitoare.

Contactoarele statice sunt utilizate masiv în domeniile cu pericol de explozie cum sunt **minieritul** și **industria de armament**.

Industria aero-spațială utilizează în primul rând un sistem standard de alimentare cu energie electrică pentru aeronave la frecvența de 400 Hz și de aici numeroase alte subsisteme de conversie. În stațiile spațiale sursa primară (panouri fotovoltaice) este de curent continuu. La acestea există un convertor principal care poate fi ori c.c.-c.c. ori c.c.-c.a. urmat de convertitoare secundare separate pentru sarcinile de c.c. sau de c.a.