

SISTEME ELECTRONICE DE ALIMENTARE PENTRU LĂMPILE FLUORESCENTE

5.1 Generalități

Lămpile fluorescente cu vapori de mercur la joasă presiune, tubulare sau compacte, sunt principalele izvoare de lumină utilizate în instalațiile de iluminat interior. Această extindere a iluminatului fluorescent este o consecință a eficacităților luminoase ridicate pe care le prezintă sursele fluorescente comparativ cu cele cu incandescență. Racordarea la rețea a lămpilor fluorescente se face prin intermediul elementelor de limitare-stabilizare, care pot fi balasturi electromagnetice sau dispozitive electronice. Montajele cu balasturi electromagnetice, deși conduc la eficacități luminoase apreciabile ($\eta_m = 50...70 \text{ lm/W}$), prezintă o serie de dezavantaje, cum ar fi: cost mai ridicat al instalației, un spectru luminos discontinuu (efectul de flicker), gabarit și greutate apreciabile, factor de putere scăzut, forme de undă nesinusoidale ale curentului și incompatibilitatea cuplării la o magistrală de date/control.

Inconveniente mai sus menționate dispar în cazul folosirii balasturilor electronice. Acestea sunt convertoare CA/CA sau CC/CA care asigură la ieșire o tensiune de frecvență ridicată, concomitent cu limitarea curentului prin lampă la valoarea prescrisă. Alimentarea lămpilor cu tensiuni de frecvență ridicată conduce la: creșterea eficacității luminoase a sursei, la scăderea tensiunii de aprindere și la majorarea duratei de funcționare a izvorului de lumină.

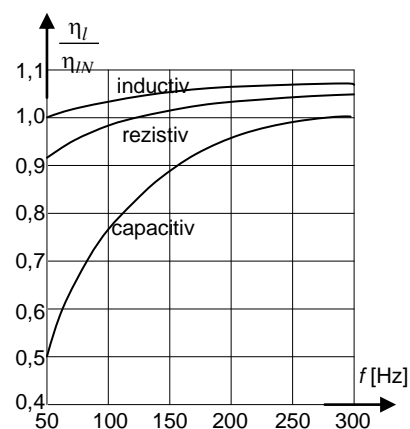


Fig. 5.1 Influența frecvenței tensiunii de alimentare asupra eficacității luminoase

5.2 Alimentarea lămpilor fluorescente cu tensiuni de frecvență ridicată

5.1.1 Creșterea frecvenței tensiunii de alimentare a lămpilor fluorescente conduce la efecte pozitive precum:

a) *Creșterea eficacității luminoase* a lămpilor fluorescente odată cu majorarea frecvenței tensiunii de alimentare depinde de tipul balastului folosit (fig. 5.1) și diferențe notabile se înregistrează în domeniul 50...300 [Hz]. La frecvențe mai mari, diferențele devin neimportante și lămpile vor avea, indiferent de balastul folosit, o valoare a eficacității luminoase superioară valorii nominale η_m a

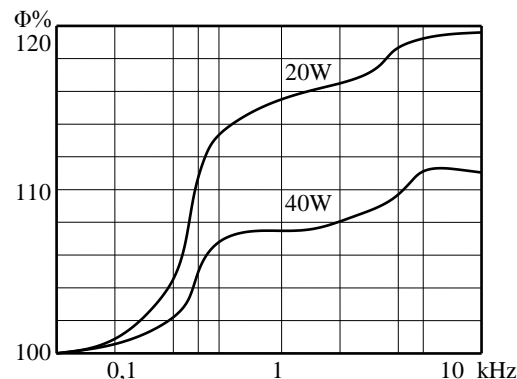


Fig. 5.2 Dependența flux luminos-frecvență pentru $P_l = ct.$

acesteia, care corespunde alimentării la 50 [Hz].

Analizând corelat eficacitatea luminoasă a lămpii, temperatura ambiantă și frecvența tensiunii de alimentare, vor rezulta zone de optim specific pentru cele trei tipuri de balast. Cercetările făcute în acest sens au arătat că, indiferent de tipul balastului folosit, influența creșterii tensiunii de alimentare este mai redusă la temperaturi de peste 50°C, iar o creștere a frecvenței peste 3 kHz are o influență neglijabilă.

Creșterea eficacității luminoase a lămpii fluorescente odată cu frecvența tensiunii de alimentare este datorată reducerii pierderilor de putere, atât în coloana descărcării electrice cât și în echipamentele auxiliare. Lămpile fluorescente alimentate cu tensiuni de frecvență ridicată, $f > 1 \text{ kHz}$, se comportă ca rezistențe pur ohmice deoarece fenomenele de ionizare din tub tind să capete un caracter cvasistaționar. La o putere dată a lămpii, fluxul luminos (fig. 5.2) crește proporțional cu frecvența tensiunii de alimentare întrucât se majorează atât puterea radiată, cât și procentul radiațiilor de rezonanță ale mercurului cu $\lambda_2 = 253,7 \text{ nm}$.

Pentru a pune în evidență reducerea pierderilor de putere în coloana descărcării se face apel la caracteristica dinamică $u_a = f(i_a)$ a lămpii fluorescente. Aceasta caracteristică este prezentată comparativ în fig. 5.3, la 50Hz pentru lampa

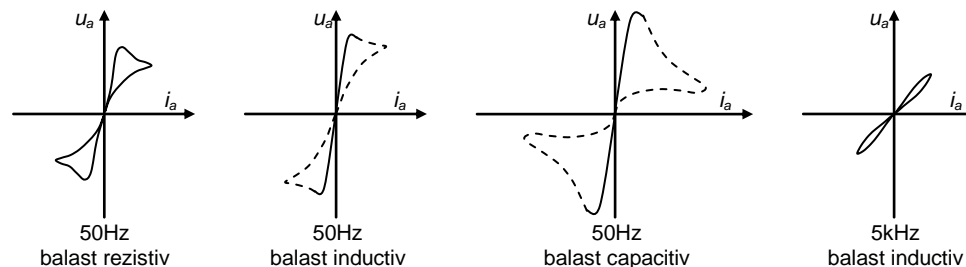


Fig. 5.3 Caracteristici dinamice $u_a = f(i_a)$ ale lămpii fluorescente cu diferite balasturi și alimentare la 50Hz și 5kHz.

fluorescentă cu toate tipurile de balast și la 5 kHz pentru balastul inductiv.

Indiferent de tipul balastului folosit, suprafața închisă de caracteristica dinamică a lămpii depinde de mărimea pierderilor pe rezistența electrică a plasmii. Valoarea acesteia depinde de starea de ionizare a vaporilor de mercur din incintă și nu are o variație liniară. La frecvențe de alimentare crescute se amplifică gradul de

ionizare al vaporilor de mercur (număr mai scăzut de recombinații), iar coloana pozitivă a descărcării electrice se prelungește în detrimentul spațiului dintre aceasta și catod. Astfel, rezistența ohmică și pierderile pe coloană scad, iar puterea radiației emise de descărcare crește.

b) *Scăderea tensiunii de aprindere.* Tensiunea de aprindere a lămpii U_a este o funcție care depinde de frecvența tensiunii de alimentare f , temperatura mediului ambiant θ_a (și, prin urmare, de temperatura peretelui de sticlă), tipul balastului folosit și valoarea curentului de încălzire a filamentelor lămpii fluorescente. Totodată tensiunea de aprindere depinde și de diametrul tubului din sticlă sau de natura amestecului gazos din acesta, ambii parametri constructivi influențând direct regimul termic al lămpii.

În general, tensiunea de aprindere a lămpii scade odată cu creșterea frecvenței tensiunii de alimentare. De aceea, toate sistemele de alimentare la înaltă frecvență practică montaje fără starter, iar balastul nu mai este dimensionat să asigure tensiunea de aprindere.

Spre exemplu, greutatea balastului inductiv folosit la 3kHz este 30%, iar la 30kHz este 3% din cea a balastului similar folosit la 50Hz. În schimb materialul miezului magnetic (tola sau ferită) trebuie să aibă o calitate superioară. La rândul său, condensatorul balastului capacitiv folosit la 1kHz are capacitatea de încă 1 μ F față de cel folosit la 50Hz care tinde spre 4 μ F.

Miniaturizarea balasturilor obținute prin montaje electronice a condus la apariția *lămpilor fluorescente compacte* (LFC), ce tind să înlocuiască lămpile clasice cu incandescență fiind de 3-4 ori mai eficiente și având o durată de viață de cca. 5 ori mai mare.

c) *Creșterea duratei de funcționare* odată cu creșterea frecvenței tensiunii de alimentare este însoțită de menținerea fluxului luminos la valoarea inițială un timp mai îndelungat (diminuarea factorului de depreciere).

În concluzie, avantajele alimentării la înaltă frecvență a lămpilor fluorescente sunt următoarele:

- eficacitatea luminoasă crește cu cca. 10% față de alimentarea în 50Hz;
- tensiunea de aprindere scade și ușurează folosirea montajelor fără starter;
- scad dimensiunile și greutatea balastului;
- crește durata utilă de funcționare a lămpii;
- este eliminat efectul de flicker (oscilațiile rapide ale fluxului luminos cu efect nociv asupra sănătății) datorită inerției termice a plasmii care o împiedică să urmărească variațiile rapide ale plasmii;
- este diminuată radiația calorică.

Dezavantajele principale sunt - prețul de cost mai ridicat; apariția uneori a unor zgomote supărătoare (țiuitori), în special la 1 kHz.

5.3 Surse de alimentare la frecvență ridicată

Alimentarea lămpilor fluorescente la înaltă frecvență se realizează în grup sau individual.

Alimentarea în grup este adecvată instalațiilor insularizate cu distribuție în c.a. de frecvență înaltă (de exemplu, la nave, avioane sau trenuri). În aceste cazuri se folosește direct frecvența de distribuție (uzual 400Hz) obținută de la sursele proprii (generatoarele rotative) ale vehiculului.

Alimentarea în grup se mai întâlnește în unele cazuri speciale în care, deși este prezentă rețeaua industrială de 50Hz, se preferă alimentarea centralizată la frecvență ridicată și cu posibilități de reglare a fluxului luminos (săli de spectacol, amfiteatre etc.) caz în care sursele sunt practic invertoare de putere.

Alimentarea individuală este preferată în instalațiile insularizate de putere instalată redusă ($\leq 200W$) și la care sursa de energie este una de c.c. (automobile, autocare, trenuri unde se folosesc tensiuni de 12, 24 sau 36Vc.c.). De asemenea,

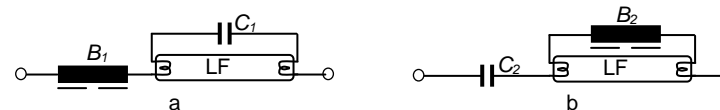


Fig.5.4 Circuite rezonante la înaltă frecvență

putem vorbi de alimentare individuală în cazul lămpilor fluorescente compacte (LFC). În acest caz, fiecare lampă este prevăzută cu propriul inverter, cuplat unde este cazul cu un transformator ridicător de tensiune.

Circuitul de sarcină al surselor de alimentare la înaltă frecvență este practic un circuit rezonant format din două reactanțe, una inductivă și cealaltă capacitivă, montate în serie și respectiv în paralel cu lămpa (fig.5.4). Indiferent dacă este inductanță sau capacitate, elementul serie îndeplinește și rolul de balast.

Există deci două categorii de surse electronice (*balasturi electronice*), în funcție de tipul sursei de energie: invertoare CC/CA pentru surse de curent continuu și convertoare CA/CA care permit conectarea lămpii direct la rețeaua furnizorului (230V, 50Hz). Topologia acestora este de obicei de două tipuri:

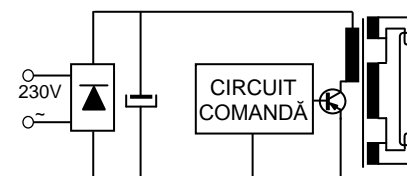


Fig.5.5 Circuit fly-back tipic

- *scheme de tip fly-back* (fig.5.5) care nu sunt deosebit de utilizate datorită supratensiunilor importante care apar în regim tranzitoriu și care impun utilizarea unor tranzistoare de putere de tensiune ridicată, relativ scumpe. În plus, această topologie nu permite limitarea pierderilor în comutație a tranzistoarelor și are deci o eficiență mai scăzută.

- *scheme rezonante sursă de tensiune* (fig.5.6) care sunt relativ simple și ușor de pus în practică, fără să antreneze inconveniente majore. Ele sunt cele mai folosite și utilizează o structură de tip "semi-punte" care alimentează circuitul de sarcină rezonant serie L-C. Comanda elementelor de comutație ale structurii "semi-punte" se poate realiza atât cu elemente discrete (comanda "switch"-urilor făcându-se cu un transformator, de obicei toroidal) cât și, mai nou, cu circuite integrate specializate. Circuitul oscilează neamortizat producând o undă dreptunghiulară cu frecvența de 10-80kHz care alimentează circuitul de sarcină rezonant. Energia necesară pentru comanda tranzistoarelor este luată din circuitul de sarcină (forță).

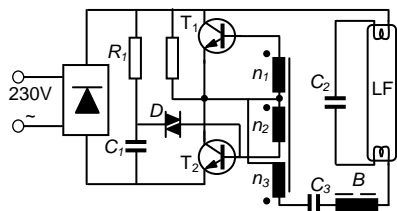


Fig.5.6 Schemă tipică de circuit rezonant sursă de tensiune

Alegerea dispozitivelor semiconductoare are o mare influență asupra mărimii și

caracterului pierderilor din balastul electronic și are în vedere următorii parametri: tensiunea de lucru, curentul de colector și câștigul în curent, timpii de comutație și temperatura joncțiunii.

În trecut, de o largă răspândire, s-au bucurat invertoarele realizate cu tiristoare, dispozitive care, în aplicațiile de tensiuni ridicate, combină avantajul unui cost propriu redus cu dezavantajul celei mai costisitoare soluții pentru comutator (grupuri de stingere). Este limitat în frecvență, dar prezintă capacitatea de suprasarcină cea mai ridicată.

Circuitele de comandă pentru tranzistoarele bipolare sunt complexe și necesită consumuri de putere deloc neglijabile. În prezent se dispune de dispozitive capabile să se blocheze la 1200 V și să comute curenți până la câteva sute de amperi.

Tranzistoarele de tip MOSFET (Metal-Oxid-Silicon-Field-Efect-Transistor) moderne sunt caracterizate de timpi de comutație foarte scurți (<500 ns), permițând în consecință frecvențe de comutație foarte mari (deasupra domeniului audio) cu pierderi de comutație moderate. Ele nu necesită un curent de control al regimului staționar, astfel că circuitele de comandă pe poartă nu consumă practic putere.

Pentru dispozitivele ce lucrează cu tensiuni de c.c. mari ($\geq 300 V_{cc}$) și curenți de valoare ridicată, IGBT-urile (Insulated Gate Bipolar Tranzistor), care combină caracteristicile de conducție și comutare ale tranzistoarelor bipolare rapide cu facilitățile de comandă pe grilă ale tranzistoarelor cu efect de câmp, oferă o alternativă viabilă și eficientă de cost față de tranzistoarele MOSFET de putere.

5.3.1 Invertoare CC/CA

Atunci când sursa de energie este de curent continuu se utilizează convertoare CC/CA. Alimentarea unui tub fluorescent de la un acumulator de 12V impune utilizarea unui inverter capabil să genereze o tensiune suficient de mare pentru aprindere. Schema din fig. 5.7 este relativ simplă și se constituie dintr-un oscilator

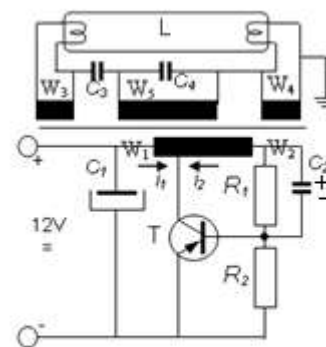


Fig. 5.7 Alimentarea unei lămpi fluorescente la 12V

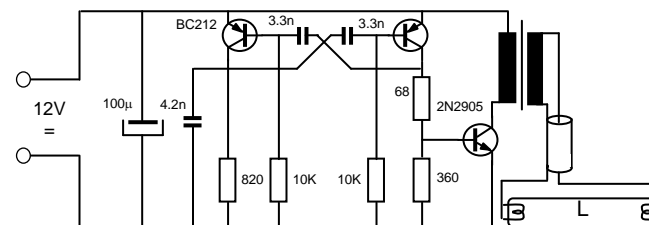


Fig.5.8 Schemă cu multivibrator alimentată la 12V

12V. Un multivibrator generează impulsuri dreptunghiulare cu frecvența de 20kHz care comandă un tranzistor de putere ce are ca sarcină un transformator ridicător de tensiune. Transformatorul realizat pe miez de ferită este cuplat la tubul fluorescent printr-un cablu ecranat pentru a minimiza perturbațiile electromagnetice emise.

O schemă întâlnită la iluminatul vagoanelor CFR-călători (fig.5.9) este cea care lucrează la cca. 5kHz și are următoarele particularități:

auto-pilotat. La punerea sub tensiune, tranzistorul T este blocat datorită potențialului pozitiv creat de divizorul R_1-R_2 . Se stabilește prin primarul transformatorului cu tole din ferossiliciu un curent i_1 care încarcă condensatorul C_2 cu polaritatea din figură. La un moment dat potențialul lui C_2 asigură negativarea bazei tranzistorului T, acesta intră în conducție și determină descărcarea lui C_2 prin înfășurarea W_2 , stabilindu-se curentul i_2 . Deci primarul transformatorului este parcurs alternativ de curenți de sensuri opuse generând în secundar o tensiune alternativă. Transformatorul din tole de ferossiliciu.

Schema funcționează la frecvența de rezonanță a grupului W_5-C_4 .

O altă variantă de inverter (fig.5.8) prezintă o schemă dimensionată pentru alimentarea unui tub fluorescent de 40W de la un acumulator de

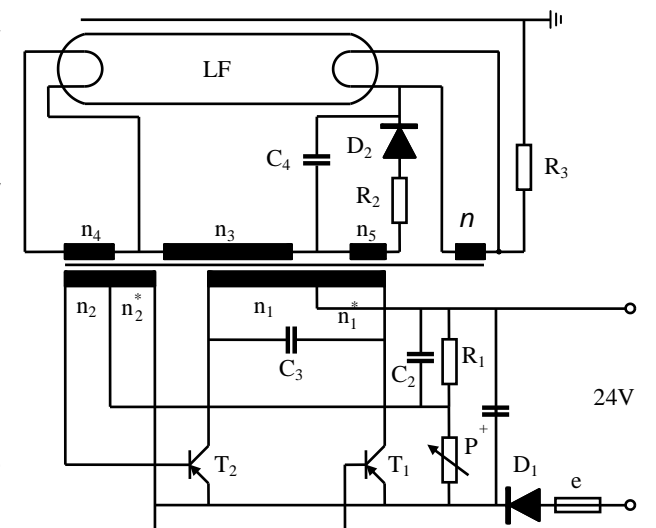


Fig.5.9 Inverter pentru alimentarea lămpilor fluorescente

-alegerea punctului de funcționare pe caracteristica statică a tranzistorilor T_1, T_2 , se face cu ajutorul divizorului $P-R_1$;

-vârful tensiunii induse în înfășurările de polarizare n_2, n_2^* sunt limitate de capacitorul C_2 , iar capacitorul C_3 protejează joncțiunile emitor-colector de supratensiunile de comutație;

-înfășurarea n_5 asigură amorsarea lămpii (LFB 40, LFR 40) și anume, când dioda D_2 conduce la capetele lămpii apare o tensiune ridicată, iar odată cu aceasta o diferență de potențial apreciabilă între banda exterioră și electrodul opus (se intensifică și uniformizează câmpul din lampă). După amorsarea lămpii, rolul înfășurării n_5 este neglijabil deoarece rezistența R_2 este mult mai mare decât reactanța capacitivă a capacitorului C_4 , ce are rol de balast.

5.3.2 Convertoare CA/CA

Convertoarele CA/CA sau *balasturile electronice* (fig. 5.10) permit conectarea lămpii direct la rețeaua furnizorului (230V, 50Hz). Se realizează într-o structură semipunte și au, în general, un circuit rezonant serie LC la care se conectează sursa de lumină. Frecvența de lucru este ridicată (20...80 kHz) și pentru a evita propagarea regimului deformat în rețea, montajul se prevede cu filtre de armonici $L_f C_f$ pe intrare. Tranzistoarele bipolare T_1, T_2 lucrează în comutație și pot fi comandate cu elemente discrete sau circuite specializate, iar inițializarea funcționării se face prin triacul D_c .

5.4 Desfășurarea lucrării de laborator

În cadrul orelor de laborator se vor avea în vedere următoarele probleme teoretice și practice:

- se vor studia schemele balasturilor electronice din laborator;
- se vor face măsurători comparative, referitoare la fluxul luminos, eficacitatea luminoasă și durata de amorsare a montajelor realizate cu mai multe tipodimensiuni de balasturi;
- se vor oscilografia formele de undă ale parametrilor electrici pentru montajele realizate;
- se vor consemna concluziile aferente studiului efectuat.

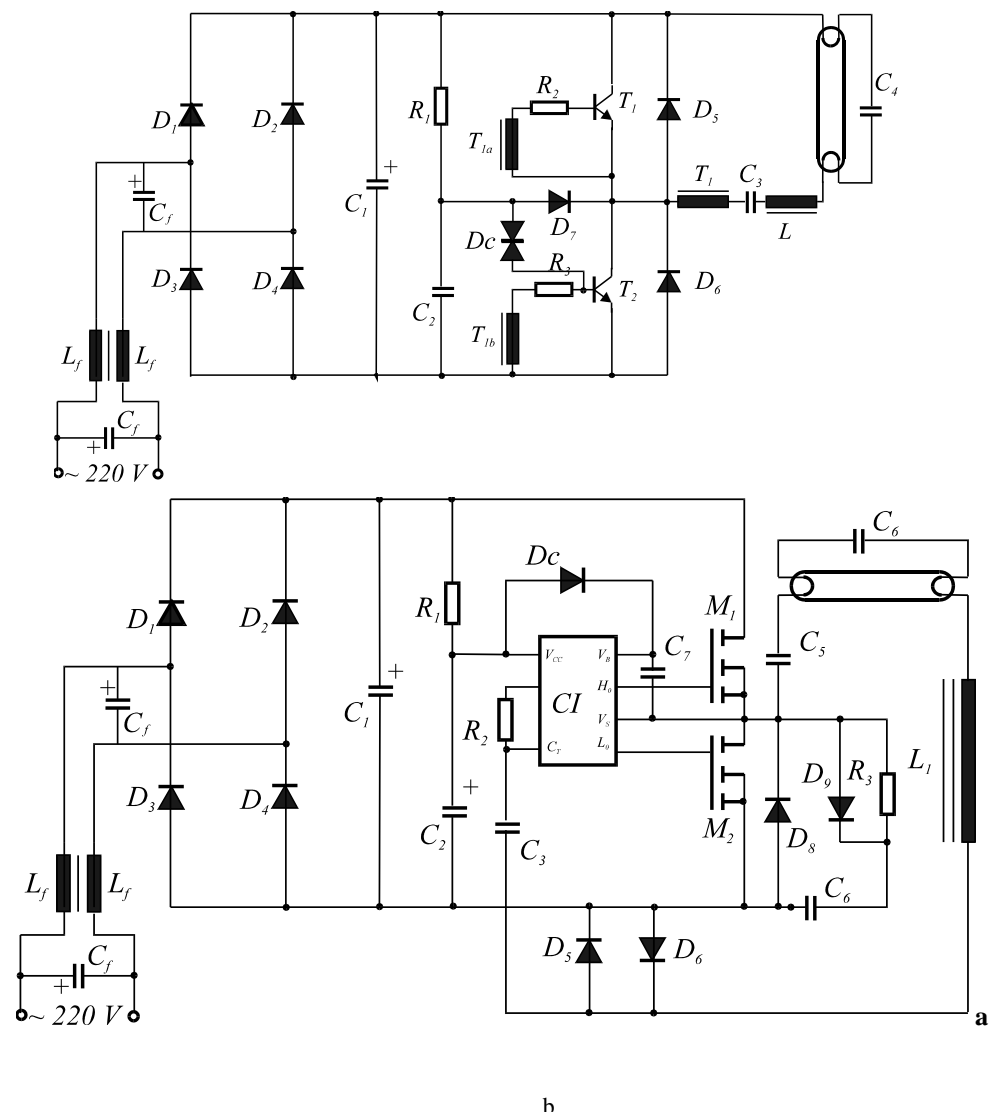


Fig. 5.10 Balasturi electronice cu tranzistoare bipolare (a) și cu tranzistoare cu efect de câmp (b)