

SURSE ELECTRICE DE LUMINĂ

1.1 Probleme generale

Sursele moderne de lumină sunt dispozitive de utilizare ce convertesc energia electrică în radiații electromagnetice cu diverse lungimi de undă. Conversia energetică se realizează prin fenomenele de incandescență și luminescență.

Incandescența constă în emisia de radiații vizibile ca urmare a creșterii temperaturii unui corp numit *radiator termic*.

Luminescența este proprietatea materiei de a emite lumină atunci când particulele componente, atomi sau molecule, sunt excitate prin alte procedee decât cele termice. După natura energiei primare care produce excitația, luminescența este de mai multe tipuri, tehnica iluminatului folosind în special fenomenele de *electroluminescență* (excitarea produsă de un câmp electric) și *fotoluminescență* (excitarea produsă de radiații electromagnetice). Electroluminescența cuprinde *descărcările în gaze* și *recombinările în joncțiunea p-n*, iar fotoluminescența: *fluorescența* și *fosforescența*.

Descărcarea în gaze definește mișcarea particulelor încărcate electric într-un spațiu umplut cu gaz sau vapori metalici, sub acțiunea unui câmp electric exterior. *Recombinările electron-gol în joncțiunea p-n* generează de asemenea radiație electromagnetică cu caracteristici depinzând strict de natura elementelor chimice de impurificare a materialului semiconductor.

Fluorescența exprimă proprietatea unor materiale solide sau lichide de a emite radiații electromagnetice atunci când sunt iradiate cu particule rapide sau cu radiații electromagnetice.

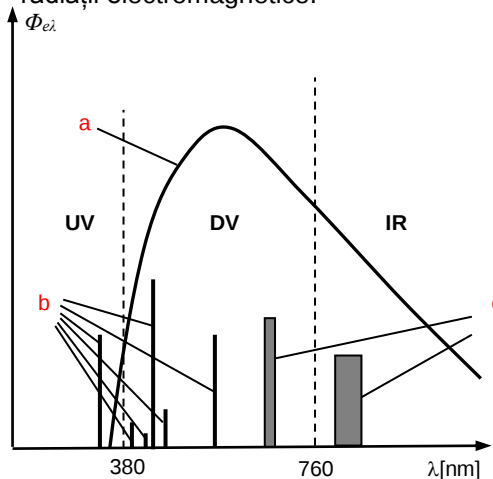


Fig.1.1 Spectru continuu (a), linii spectrale discrete (b), benzi spectrale (c); UV - domeniu radiații ultraviolete, DV - domeniu radiații vizibile, IR - domeniu radiații infraroșii

Fosforescența este proprietatea unor materiale fluorescente de a prezenta o postluminescență (persistența emisiei de lumină după dispariția radiației excitante), care poate dura de la fracțiuni de secundă la mai multe ore sau chiar zile.

Atât în cazul incandescenței cât și al luminescenței, radiațiile luminoase, caracterizate prin $\lambda \in [380, 760]$ nm, sunt generate ca urmare a trecerii electronilor din stări energetice superioare în stări energetice scăzute. Diferența dintre cele două fenomene constă în modul de excitare al substanței și, implicit, în distribuția spectrală $\Phi_{e\lambda} = f(\lambda)$ a fluxului energetic Φ_e .

Sursele cu incandescență au spectru de radiații continuu (Fig. 1.1-a).

În cazul surselor luminescente, radiația este rezultat al excitării electronilor din atomii substanțelor aflate în stare gazoasă sau solidă; în primul caz se obțin linii spectrale discrete (Fig. 1.1-b), în timp ce în a doua situație vor rezulta benzi de emisie înguste acoperind o anumită zonă a spectrului (Fig. 1.1-c).

Menționăm că din punct de vedere psihosenzitiv, funcție de compoziția spectrală, lumina emisă de o sursă poate fi *rece* (bogată în radiații violet, albastre, verzi) sau *caldă* (bogată în radiații galbene, portocalii, roșii).

Din punct de vedere al compoziției spectrale a luminii emise, sursele de lumină se caracterizează prin temperatura de culoare T_c , ce reprezintă temperatura corpului negru (în grade Kelvin) la care se obține o culoare asemănătoare cu cea a sursei examinate. Cu cât temperatura de culoare este mai mică cu atât lumina este percepută a fi mai caldă (exemplu: 2800 K pentru lampa cu incandescență).

Sub aspect energetic, sursele de lumină se caracterizează prin durata de funcționare D definită ca timpul după care fluxul luminos scade la 80% din valoarea inițială. După depășirea acestui timp, funcționarea lămpii devine neeconomică din punct de vedere energetic.

1.2 Lămpi cu incandescență

Lampa cu incandescență este un transformator de energie electrică în energie luminoasă. Conversia energetică se realizează pe baza efectului Joule-Lenz al curentului electric ce aduce la incandescență un filament metalic ce va emite atât căldură cât și lumină. Ca element de circuit, lampa cu incandescență este un rezistor neliniar, inerțial, cu o caracteristică volt-ampere simetrică.

Lămpile cu incandescență, deși prezintă o mare varietate de tipuri constructive, pot fi grupate în:

- lămpi cu incandescență clasice;
- lămpi cu incandescență cu halogeni.

1.2.1 Lămpile cu incandescență clasice

Principalele elemente constructive sunt balonul din sticlă, filamentul metalic și soclul (fig.1.2).

Balonul sau anvelopa lămpii are rolul de a evita contactul dintre aerul atmosferic și filament. El are forme diferite (standard, sferic, lumânare, pătrat) în funcție de destinația izvorului de lumină, dar în toate situațiile corespunde unei suprafețe izoterme de cel mult 150°C.

Baloanele din sticlă clară transmit în totalitate lumina, dar prezintă o luminozitate ridicată, jenantă. Din acest motiv se preferă baloanele din:

- sticlă mată cu asperități obținută pe cale chimică sau mecanică;
- sticlă lăptoasă ce are în compoziție oxizi de thoriu sau fosfor;
- sticlă opală (opalină) obținută prin acoperirea sticlei clare cu un strat de silicați, sau prin includerea în masa sticlei a unor suspensii de ipsos, talc, oxizi de plumb etc.
- sticlă opalizată prin procedee electrostatice sau prin depunerea unui strat subțire de oxid de titan;
- sticlă colorată și sticlă de tip solar cu spectru corectat.

Sticlele mate, lăptoase, opaline și opalizate sunt destinate confecționării lămpilor cu lumină difuză ce asigură un microclimat luminos confortabil.

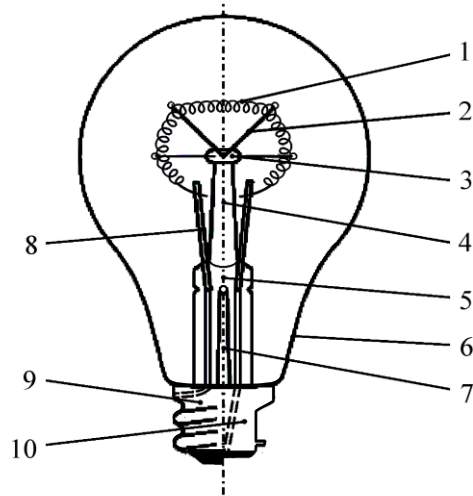


Fig. 1.2 Lampă cu incandescență clasică

1 - filament, 2 - cârlig molibden, 3 - lentilă, 4 - bastonaș, 5 - disc sticlă, 6 - balon, 7 - tub evacuare, 8 - electrozi nichel, 9 - soclu Edison, 10 - soclu Swan

Soclu lămpii prezintă diverse variante constructive (cu filet – tip Edison, baionet – tip Swan, neted – tip sofită cu contacte la ambele capete ale lămpii de formă cilindrică) și asigură legătura mecanică și electrică la dulia corpului de iluminat. În funcție de domeniul de utilizare și tipul constructiv al sursei de lumină, soclurile se confecționează din aluminiu, alamă sau alamă nichelată.

Filamentul lămpii se poate realiza din diverse metale greu fuzibile (tantal, rheniu, molibden, wolfram), dar se preferă wolframul (denumit și tungsten) caracterizat prin temperatură de topire ridicată (3665 K), rezistență mecanică bună, volatilizare redusă la temperaturi înalte și ductibilitate apreciabilă, fapt care permite obținerea prin trefilare a unor fire cu un înalt grad de uniformitate.

Pentru a evita oxidarea wolframului, baloanele lămpilor de mică putere - până la 25W inclusiv - se videază, iar temperatura de lucru a filamentului simplu spiralat este de 2400-2600 K. La temperaturi de lucru mai mari, procesul de volatilizare a filamentului se accelerează și particulele ce se desprind de pe acesta ajung pe balonul lămpii, îl opacizează și diminuează eficacitatea luminoasă, concomitent cu reducerea secțiunii transversale a firului de wolfram.

Lămpile cu puteri mai mari de 25W au balonul umplut cu gaze inerte și filamentul dublu spiralat. Aceste măsuri au permis creșterea temperaturii de lucru a wolframului la cca. 2700 .. 3050 K, fără a diminua durata de funcționare a lămpii. În consecință, crește eficacitatea luminoasă. Prezența gazelor inerte are dezavantajul că majorează pierderile de energie prin apariția fenomenelor de conducție și convecție termică. Gazele inerte frecvent utilizate sunt argonul (Ar) și azotul (N), în proporție de 2:1, iar presiunea de umplere este de 0,7 at, valoare ce ajunge la cca. 1 at în timpul funcționării lămpii. Prezența azotului evită apariția arcului electric între intrările de curent. Înlocuirea argonului cu kripton (Kr), caracterizat prin greutate atomică mai ridicată (deși mai scump), are următoarele avantaje: pierderi termice mai mici, lumină cu grad de alb mai ridicat, dimensiuni reduse ale balonului de sticlă la aceeași putere unitară a sursei de lumină.

Lămpile cu incandescență de utilizare curentă se construiesc pentru tensiuni de 125/130, 220 și 230 V, au puteri de 15 .. 1000W, eficacitate luminoasă de 10 ..

18 lm/W și o durată de funcționare de 1000 ore.

Notă: În prezent se realizează o gamă extrem de variată de lămpi cu incandescență pentru iluminatul interior sau exterior, dintre care cităm:

- lămpi cu baloane opalizate, mătuite sau clare, umplute cu amestecuri N+Ar sau N+Kr;
- lămpi cu balon tip lumânare din sticlă clară sau mătuită, cu suprafața exterioară netedă, torsadată (răsucită) sau cu model;
- lămpi cu balon cilindric opalizat de diametru (25, 37 mm) și lungime (210, 310mm) variabile, prevăzute cu contacte electrice la capete (tip sofită);
- lămpi rezistente la temperaturi înalte (280, 300°C) utilizate, printre altele, la iluminatul interior al cuptoarelor de aragaz când se deschide ușa acestora;
- lămpi contra insectelor, destinate iluminatului balcoanelor, teraselor etc. La acestea, pe suprafața exterioară a balonului se depune un strat special galben-portocaliu ce va difuza o lumină galbenă ce nu atrage insectele. Efectul este mai puternic dacă în vecinătate se montează o lampă cu balon clar, ce emite o lumină albă ce atrage puternic insectele.
- lămpi sferice colorate cu 0% cadmiu, în construcție cu filament întărit, rezistente la intemperii și variații de temperatură, cu soclu baionet. Balonul opalizat are o culoare vie (alb, galben, roșu, albastru, verde, clar) când lampa este stinsă și conservă nuanța de culoare când aceasta este aprinsă.

Toate lămpile mai sus prezentate sunt prevăzute cu *două siguranțe fuzibile încorporate*, dimensionate pentru puterea nominală a sursei de lumină.

În afara acestor izvoare de lumină se mai produc:

- lămpi pentru tensiuni joase (12, 24, 36 V) destinate iluminatului local sau corpurilor de iluminat portative;
- lămpi pentru autovehicule în construcție întărită, varianta *Rezista*, cu soclu tip baionet. Pentru faruri se realizează becuri cu *două faze*, care au două filamente cu alimentare independentă;
- lămpi cu spectru bogat în infraroșu, lămpi pentru proiectoare etc.

1.2.2 Lămpi cu incandescență cu halogeni

Performanțele lămpilor cu incandescență clasice sunt limitate de volatilizarea intensă a filamentului la temperaturi ridicate. În vederea diminuării acestui proces, concomitent cu mărirea duratei de funcționare și a puterii unitare, au fost concepute și realizate lămpile cu incandescență cu halogeni.

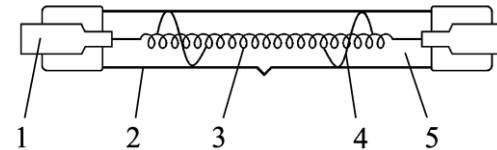


Fig.1.3 Lampă cu ciclu regenerativ de iod

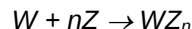
1 - intrare curent, 2 - tub cuarț, 3 - filament de wolfram, 4 - suport filament, 5 - amestec gaz umplere și iod

Constructiv, lămpile cu halogeni sunt constituite dintr-un tub cilindric de cuarț (material care rezistă la temperaturi ridicate), un filament axial din wolfram dublu spiralat și un gaz de umplere (Ar+N, Kr+N, în ultimul timp Kr+Xe) ce conține o

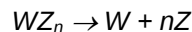
cantitate bine determinată de halogen (fig. 1.3)

În condiții de temperatură date, între substanța halogenă Z și wolfram, apar reacții chimice echilibrate cu caracter ciclic, ce se desfășoară astfel:

- la temperaturile relativ joase din vecinătatea pereților lămpii, atomii de halogen se combină cu particulele de wolfram expulzate de pe filament și rezultă o halogenură volatilă



- moleculele de halogenură de wolfram, datorită agitației termice, ajung în vecinătatea filamentului unde temperaturile ridicate favorizează reacțiile de descompunere:



În acest fel, wolframul eliberat se redepune pe filament, iar substanța halogenă devine liberă chimic și aptă pentru o nouă reacție. Procesul descris este repetitiv, iar sursele de lumină care-l utilizează se numesc lămpi cu ciclu regenerativ sau ciclu regenerativ.

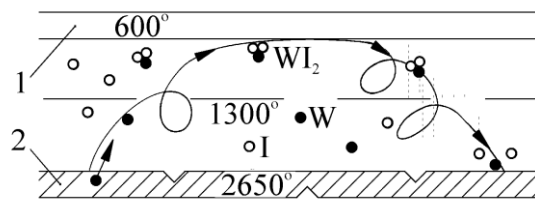
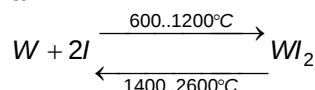


Fig.1.4 Explicativă la reacția halogen-wolfram
1 – tub cuarț, 2 – filament wolfram,

● - atom wolfram, ○ - atom iod, ○○ - moleculă WI_2

În majoritatea cazurilor, substanța halogenă este iodul (I) - de unde denumirea de lămpi cu incandescență cu ciclu regenerativ de iod, sau bromul (sub formă de bromură de metil CH_3Br sau bromură de metilenă CH_2Br_2). Reacțiile chimice descrise anterior pot fi puse sub forma:



cu precizarea că zonele de formare și de descompunere a iodurii de wolfram sunt separate printr-o suprafață izotermă de cca. $1300^{\circ}C$ (fig. 1.4).

Particulele de wolfram nu se depun în același loc de unde au fost expulzate. Filamentul are zone cu temperaturi diferite, astfel că, în porțiunile mai calde, evaporarea materialului este mai intensă și depunerile mai puțin accentuate. În zonele cu temperaturi mai scăzute fenomenele se petrec invers și astfel apare un transfer axial de wolfram. Din această cauză filamentul se deformează în timp și în cele din urmă se rupe.

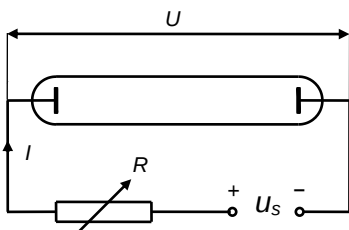


Fig. 1.5 Lampă cu descărcări alimentată în c.c.

Comparativ cu lămpile cu incandescență clasice, lămpile cu ciclu regenerativ de iod se caracterizează prin:

- flux luminos constant pe întreaga durată de funcționare, care este de 2000 de ore;
- absența înnegririi balonului;
- eficacitate luminoasă de 18..25 lm/W, la puteri unitare mari;
- temperatura de culoare $T_c = 2900$ K asigură o bună redare a culorilor;
- dimensiuni de gabarit reduse la puteri

mari, ceea ce conduce la noi aspecte estetice ale instalațiilor de iluminat interior, în special;

- temperatura de regim a balonului este de $600..900^{\circ}C$, de unde necesitatea confecționării acestuia din cuarț
- contactele au temperaturi de lucru de $200..300^{\circ}C$ și implică socluri de porțelan sau calit;
- poziția de montaj a lămpii – arbitrară sau preferențială – va fi indicată de producător, pentru a asigura repartiția optimă a iodului în timpul funcționării;
- la manevrarea lămpii se interzice contactul balonului cu epiderma, altfel acizii grași ce rămân pe balon conduc la devitrificarea cuarțului în timpul funcționării și la distrugerea lămpii;
- intrările de curent sunt prevăzute cu fuzibile încorporate în soclu, ceea ce previne apariția arcului electric în lampă la întreruperea filamentului.

Notă: Necesitățile practice au impus o multitudine de tipuri și variante constructive, din care se menționează:

- lămpi cu halogeni a căror tub de cuarț este protejat de un balon de sticlă clară sau opalizată, ceea ce facilitează manevrarea sursei de lumină;
- lămpi cu halogen cu reflector din sticlă presată și emisie nulă de radiații ultraviolete;
- lămpi cu reflector din sticlă dicroică, închis în sticlă transparentă, cunoscute sub denumirea comercială de *spoturi luminoase*. Aceste miniproiectoare au puteri de 20, 35, 50W și sunt alimentate de preferință la tensiuni reduse (12V) furnizate de transformatoare speciale. Menționăm cu această ocazie că *oglindea dicroică* are proprietatea de a reflecta radiația luminoasă și a lăsa să treacă radiația infraroșie. Rezultă o sursă de lumină rece din punctul de vedere al energiei vehiculate de fasciculul luminos, comparativ cu celelalte lămpi. Spoturile cu reflector de aluminiu au o temperatură a acestuia de $450^{\circ}C$, cca. $250^{\circ}C$ pe geamul de închidere al sistemului optic și aproximativ $250^{\circ}C$ la soclu.

- lămpi cu filament axial pentru montarea în reflectoare speciale, cu sau fără sticlă de protecție. La aceste surse temperaturile admisibile sunt de $900^{\circ}C$ pe balon, $350^{\circ}C$ în zonele îngustate ale acestuia și $300^{\circ}C$ pe contactele cilindrice. Temperatura ridicată a balonului presupune adoptarea de măsuri suplimentare din punct de vedere al normelor de prevenire și stingere a incendiilor în clădirile civile și industriale.

1.3 Lămpi fluorescente cu vapori de mercur la joasă presiune

1.3.1 Descărcări electrice în gaze inerte și vapori metalici

Descărcarea electrică este un proces de trecere al curentului printr-un dielectric în prezența unui câmp electric exterior. La gazele reale fenomenul este posibil datorită preexistenței purtătorilor de sarcină (ioni pozitivi și negativi, electroni) generați de cauze naturale (radiația cosmică, telurică, atmosferică). Astfel, într-o incintă cilindrică de sticlă (fig. 1.5) umplută cu gaz inert la joasă presiune și prevăzută la capete cu doi electrozi plan-paraleli, purtătorii de sarcină au o mișcare haotică și în circuitul exterior nu avem curent electric. Dacă la bornele

tubului se aplică o tensiune U deplasarea sarcinilor electrice devine ordonată și în circuitul considerat apare curentul I .

Mobilitatea ridicată a electronilor conduce la contacte *electron-atom* și, în funcție de energia schimbată la impact, deosebim ciocniri elastice și neelastice. *Ciocnirile elastice* măresc numai energia cinetică a atomului și, în consecință, va crește temperatura mediului de descărcare. *Ciocnirile neelastice* majorează energia internă a atomului și acesta se excită (simplu sau în trepte) sau chiar ionizează. Stările de excitație durează puțin ($10^{-8} \dots 10^{-9}$ s) și la revenirea electronului pe orbita stabilă, radiația emisă va avea o lungime de undă mai mare sau cel mult egală cu cea a radiației incidente, deci poate aparține și domeniului vizibil al spectrului, de unde luminescența gazului.

Gradul de luminescență este puternic dependent de presiunea și compoziția mediului de descărcare. Astfel, o descărcare în gaze inerte și vapori de mercur la joasă presiune (0,01...0,1 mm Hg) conduce la un spectru de emisie bogat în radiațiile de rezonanță ale mercurului $\lambda_1=184,9$ nm și $\lambda_2=253,7$ nm. Dacă presiunea crește radiațiile de rezonanță se reduc (sunt absorbite de gaz) și cresc cele luminoase datorate excitației în trepte a atomilor de mercur. Eficacitatea luminoasă η [lm/W] a descărcării în vapori de mercur prezintă un minim în domeniul presiunilor medii (fig. 1.6), fiind ridicată la joasă (JP) și înaltă (IP) presiune. Eficacitatea luminoasă a descărcării la joasă presiune crește apreciabil (ramura punctată) dacă pe peretele interior al lămpii se depune un strat de luminofor.

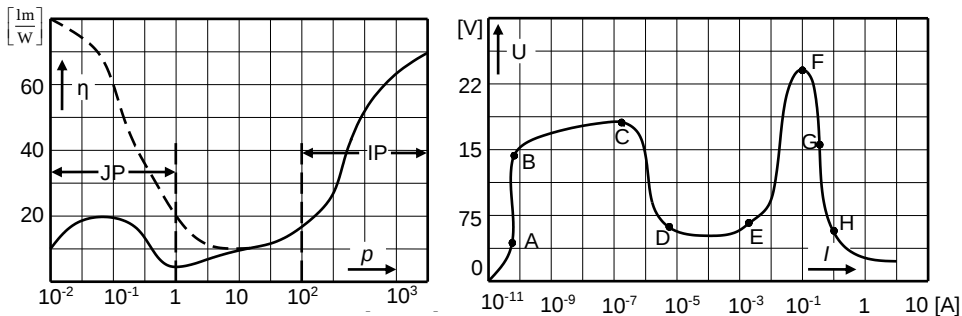


Fig.1.6 Dependența $\eta = f(p)$ în vapori de mercur la curent constant $I = 4A$

Fig. 1.7 Caracteristica statică $U = f(I)$ a descărcării în gaze inerte și vapori metalici

Dacă tubului de descărcare (fig. 1.5) i se aplică o tensiune continuă, crescătoare, atunci se poate obține o dependență $U=f(I)$ numită *caracteristica statică a descărcării în gaze inerte și vapori metalici* (fig. 1.7) ce prezintă mai multe porțiuni și anume :

Zona OA – curentul din circuit respectă legea lui Ohm și este generat de purtătorii de sarcină preexistenți în tub ;

Zona AB – la creșterea tensiunii la bornele tubului apare un exces de purtători de sarcină ce conduc la curentul de saturație $I_s=I_B$ ce nu respectă legea lui Ohm ;

Zona BC – la tensiunea $U > U_B$ ciocnirile neelastice conduc la ionizarea prin șoc a gazului, descărcarea capătă un caracter de avalanșă și se numește lentă (întunecată, Townsend), fiind fără emisie de lumină. În momentul în care $U = U_a = U_C$

descărcarea devine luminescentă și aceasta este *tensiunea de aprindere* sau străpungere a gazului de umplere ;

Zona CD – în vecinătatea catodului apare sarcina spațială pozitivă, ceea ce conduce la o dependență $U=f(I)$ cu pantă negativă numită descărcare subnormală în licărire, iar în tub se observă o succesiune de porțiuni luminoase și întunecate ;

Zona DE – tensiunea între electrozi rămâne constantă deoarece densitatea de curent catodică se conservă și avem o descărcare luminescentă normală. Pe această porțiune a caracteristicii $U=f(I)$ lucrează *lămpile cu electrozi reci*, numite și *lămpi în regim de licărire* ;

Zona EF – descărcarea luminescentă devine anormală, iar bombardamentul ionic intens la care este supus catodul conduce la emisiunea termoelectronică a acestuia ;

Zona FH – gazul din tub este complet ionizat și apare descărcarea în arc electric, la care dependența tensiune – curent este cu pantă negativă. Pe acest domeniu lucrează lămpile cu electrozi calzi de joasă presiune (FG) și înaltă presiune (GH...).

1.3.2 Construcția lămpilor fluorescente

Lămpile fluorescente sunt surse de lumină moderne ce utilizează fenomenele de electro- și fotoluminescență, ca urmare a descărcărilor electrice în gaze inerte și vapori de mercur la joasă presiune.

O astfel de sursă de lumină se compune (fig. 1.8) dintr-un cilindru de sticlă de forme diferite (liniară, circulară, U etc.) a cărei lungime ($L \approx 100 \dots 2400$ mm) și

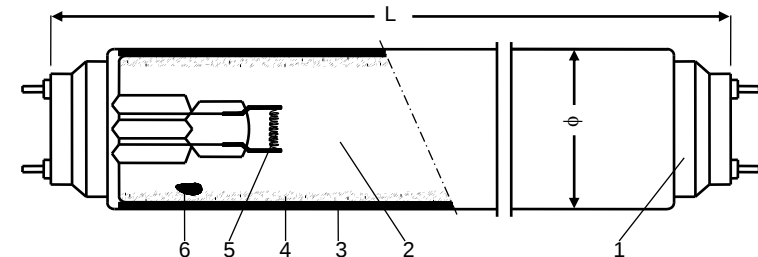


Fig. 1.8 Lampă fluorescentă liniară

1 – soclu, 2 – argon, 3 – perete de sticlă, 4 – pudră fluorescentă, 5 – filament, 6 - mercur

diametru ($\Phi=10 \dots 58$ mm) depinde de puterea izvorului de lumină ($P = 4 \dots 200$ W). Pereții, la interior, sunt acoperiți cu pudră fluorescentă (*luminofor*), la capete se prevăd doi electrozi, iar tubul este umplut cu gaz inert la joasă presiune și câteva miligrame de mercur lichid și în stare de vapori.

Electrozii de tip preactivat sunt filamente de wolfram dublu spiralate acoperite cu oxizi alcalino-pământoși ce au o puternică emisiune termoelectronică la temperatura de regim ($\approx 900^\circ C$) a catodilor.

Gazul de umplere, argon la o presiune de 3...4 mmHg, are rolul de a ușura amorsarea descărcării, fiind ușor ionizabil. În regim normal de funcționare a lămpii, la o temperatură a mediului ambiant de $\theta_a=20^\circ C$, presiunea parțială a atomilor de mercur este de cca. 0,01 mmHg ceea ce favorizează emisia radiațiilor de rezonanță ale mercurului cu $\lambda_2=253,7$ nm. Se observă că vaporii de mercur la

joasă presiune sunt o sursă economică de radiații ultraviolete ce pot fi convertite în radiații vizibile de către un luminofor convenabil ales.

Pudra fluorescentă are în structură o substanță de bază (luminoforul propriu-zis), un activator metallic și o substanță auxiliară. Aceste materiale, bine omogenizate, se topesc la temperaturi ridicate, apoi se macină și rezultă un amestec pulverulent a cărui cristale sunt de ordinul micronilor ($2...4\mu\text{m}$). Pudra fluorescentă, împreună cu un liant (nitroceluloză) formează o pastă fluidă ce se depune pe pereții interiori ai lămpii.

În calitate de luminofori se utilizează diverși silicați, wolframați sau borați ce au fluorescențe diverse (galben-verzui, albastru, roșietică etc). Halogenofosfații sunt luminofori moderni, de mare randament, cu o fluorescență de culoare albă. Luminoforii pe bază de pământuri rare (europiu) au o bună stabilitate termică, randament ridicat și emit o lumină caldă, din punct de vedere psihosensitiv.

Apariția luminescenței la solide este condiționată, în general, de prezența unei mici cantități dintr-un element străin (metal greu) numit *activator* ce are rolul de a crea defecte de structură (capcane) în cristallul de luminofor. Activatorul metallic substituie un atom din rețeaua cristalină a luminoforului (fenomen similar dopării semiconductoarelor) și nivelul energetic responsabil de luminescență își are originea în atomii activatorului.

Pentru a mări factorul de transmisie al amestecului luminofor-activator metallic, în acesta se adaugă o *substanță auxiliară* (fondant CaF_2 , NaCl) ce are rolul de a favoriza apariția microcristalelor complexe de luminofor.

Calitativ, luminoforul trebuie să aibă : randament ridicat la conversia ultraviolet-vizibil, transparență pentru radiațiile vizibile, fluorescență maximă la $+20^\circ\text{C}$, factor spectral de absorbție ridicat în ultraviolet, stabilitate chimică la temperatura din lampă și proprietăți colorimetrice corespunzătoare scopului propus.

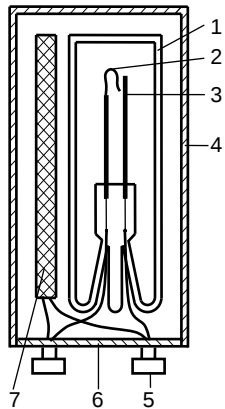


Fig. 1.9 Starter cu licărire
1 – tub sticlă, 2 – electrod mobil, 3 – electrod fix, 4 – casetă PVC, 5 – bornă, 6 – placă borne, 7 – condensator

1.3.3 Dispozitive de pornire – reglare

Punerea în funcțiune a lămpilor fluorescente se face la o tensiune mai mare decât cea de regim (tensiunea de aprindere), iar după amorsarea descărcării în arc se impune limitarea curentului prin lampă. Aceste condiții de amorsare și stabilizare a descărcării se realizează cu ajutorul unor elemente auxiliare de circuit, numite generic dispozitive de pornire-reglare și constituite din starter și balast.

Starterul are rolul de a asigura preîncălzirea filamentelor și de a întrerupe, după un anumit timp, curentul acestora. El se prezintă sub diverse forme constructive și una din variantele larg utilizate este starterul cu licărire. Acesta (fig. 1.9) se compune dintr-un tub de sticlă umplut cu gaz inert (Ne, Ar) la joasă presiune și prevăzut cu doi electrozi, unul fix (din nichel) și celălalt mobil (din bimetal). După principiul de funcționare, starterul descris este o lampă cu electrozi reci ce lucrează

în regim de licărire normală, iar după funcția de circuit îndeplinită este un contact normal deschis cu temporizare la închidere.

Pentru corectă funcționare a montajelor cu starter este necesar ca între tensiunile : U_{st} – de amorsare a starterului, U_l – de regim a lămpii și U_s – a rețelei de alimentare să existe relația :

$$U_l < U_{st} < U_s$$

Balastul sau aparatul de preconnectare are rolul de a asigura supratensiunea de amorsare a lămpii la întreruperea circuitului de filamente de către starter și de a menține stabil punctul de funcționare al descărcării în arc. În curent alternativ

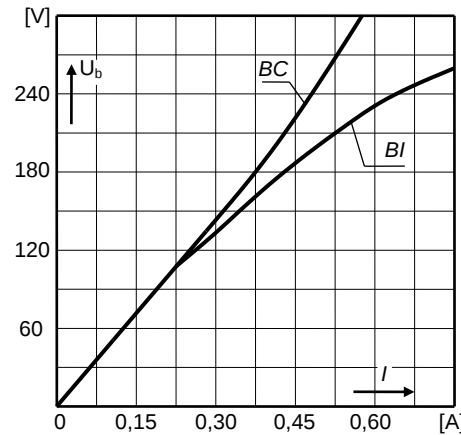


Fig. 1.10 Caracteristici $U_b = f(I)$

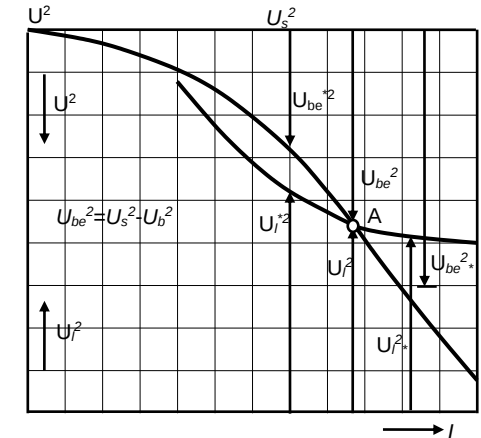


Fig. 1.11 Caracteristici $U_{be}^2 = f(I)$ și $U_l^2 = f(I)$

balastul este o impedență cu caracter inductiv (BI- balast inductiv) sau capacitiv (BC- balast capacitiv), a cărei element principal este o bobină cu miez de fier și întrefier. Caracteristica statică $U_b = f(I)$ a balastului este ușor neliniară (fig. 1.10), iar caracteristica externă $U_{be}^2 = f(I)$ puternic căzătoare (fig. 1.11).

Stabilizarea descărcării în arc corespunde punctului de intersecție al caracteristicilor $U_{be}^2 = f(I)$ și $U_l^2 = f(I)$ pentru care este valabilă relația $U_l^2 + U_{be}^2 \approx U_s^2$ (punctul A din fig. 1.11).

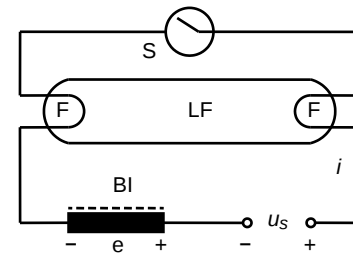


Fig. 1.12 Montaj cu balast inductiv

1.3.4 Funcționarea lămpilor fluorescente în montaje cu starter cu licărire

Să considerăm (fig. 1.12) un balast inductiv BI înseriat cu o lampă fluorescentă LF ale cărei filamente F sunt interconectate prin starterul S.

La conectarea montajului la rețea, tensiunea de alimentare u_s se regăsește la bornele starterului și în acesta se amorsează o descărcare normală în licărire

ce va încălzi gazul inert. De la acesta se încălzește bimetalul, care se dilată și, în final, închide contactul normal deschis. Curentul din circuitul + u_s , F, S, F, BI, - u_s încălzește puternic filamentele și pregătește lampa fluorescentă pentru amorsare (se ionizează gazul inert și se vaporizează mercurul).

Între timp, gazul din starter se răcește, bimetalul revine în poziția inițială și întrerupe brusc circuitul de filamente. Variația rapidă dI/dt a curentului prin balast generează o tensiune de autoinducție $e = -d\Phi/dt$ de valoare ridicată (1000...1200 V). Dacă în momentul întreruperii circuitului de filamente se consideră pentru mărimile u_s și e polaritățile din figură, atunci tensiunea aplicată tubului fluorescent va fi $u_s + e > U_a$ ceea ce conduce la amorsarea cvasi-instantanee a descărcării în regim de arc.

1.3.5 Tipuri constructive de lămpi fluorescente de joasă presiune

Tipurile constructive de lămpi fluorescente se pot clasifica după diverse criterii, dar unul din cele mai uzitate este cel al destinației și în concordanță cu acesta deosebim lămpi fluorescente de uz general și lămpi fluorescente speciale.

a) Lămpile fluorescente de uz general se caracterizează prin eficacități luminoase ridicate ($\eta_l = 45...95 \text{ lm/W}$), gamă largă de temperaturi de culoare corelate ($T_c = 2700...6500 \text{ K}$), un indice ridicat de redare al culorilor ($IRC=66...95$) și o durată de viață apreciabilă ($D = 6000...8000$ ore). Tipodimensiunile frecvent întâlnite sunt următoarele :

- lămpi liniare normale cu un $\Phi 26$ și $\Phi 38$ a căror puteri normalizate sunt de $P = 18, 36$ sau 58 W și respectiv $P=20, 40$ sau 65 W . În țară se produc lămpi cu $\Phi 38$ în variantele: aprindere cu starter (simbol LFA pentru $\theta_a \geq +5^\circ\text{C}$ și LFB dacă $\theta_a < +5^\circ\text{C}$) și aprindere fără starter în medii periculoase sau cu temperaturi scăzute (simbol LFR, $\theta_a = -15^\circ\text{C}$).

Pentru facilitarea amorsării, lămpile LFB și LFR sunt prevăzute la exterior cu o bandă metalizată depusă prin vopsire ce are rolul de a mări și uniformiza câmpul electric de-a lungul tubului. De asemenea, la tipul LFR evitarea uzurii intense a filamentelor se face cu ajutorul inelelor anodice – ecrane elipsoidale de tablă ce înconjoară filamentul și se conectează la intrările de curent – ce preiau sarcina electrică în alternanța în care electrodul joacă rol de anod.

Codificarea lămpilor autohtone se face prin atașarea la simbolul sursei de lumină a unei fracții al cărei numărător semnifică puterea standardizată P , iar numitorul temperatura de culoare corelată în concordanță cu recomandările CIE (Comisia Internațională de Iluminat). De exemplu, notația LFA40/2x precizează că avem o lampă fluorescentă cu vapori de mercur de joasă tensiune, pentru montaje cu aprindere cu starter, cu o putere de 40 W și o temperatură de culoare $T_{cc}=3800 \text{ K}$, ce corespunde culorii alb-superior a luminii emise.

- lămpi liniare miniatură (lămpi baghetă) cu $\Phi 7, 15, 16$ și $P = 4...13 \text{ W}$;
- lămpi în formă de U cu $\Phi 38$ și $P = 20, 40$ sau 65 W ;
- lămpi circulare (toroidale) cu $\Phi 32$, $P=18..40 \text{ W}$ și diametru exterior al torului de $100 - 410 \text{ mm}$;
- lămpi monosoclu la care contactele sunt plasate la un capăt al sursei de lumină ce se compune din 2,4 baghete cu $\Phi 10$, 2 baghete cu $\Phi 15$ sau 2,3 tuburi U cu $\Phi 10$. Aceste elemente au puncte de legătură comune și se comportă ca o

singură lampă fluorescentă. Se realizează în variantele soclu cu 4 contacte și soclu cu 2 contacte (starter inclus în soclu). Se recomandă pentru iluminatul de lungă durată interior sau exterior, cu precizarea că fluxul luminos emis este puțin dependent de temperatura mediului ambiant.

b) Lămpile fluorescente compacte numite și *lămpi fluorescente economice* (Fig.1.13) sunt de fapt tuburi fluorescente de diametru mic (8-12 mm), cu lungimea curbată sau compusă din mai multe tronsoane înseriate în scopul micșorării gabariturii. Alimentarea lămpii se realizează la frecvență ridicată (10...30 kHz) de la un circuit electronic numit și *balast electronic* (Fig.1.14).

Circuitul electronic, format dintr-un redresor, filtre electrice și un invertor realizat cu două tranzistoare care lucrează în contratimp, cuprinde și o bobină balast L (de dimensiuni mici, pe miez de ferită). El este de multe ori inclus în corpul lămpii. Alimentarea lămpii la frecvență mărită conduce la amorsarea aproape instantanee și dispariția efectului de pâlpâire (flicker).

Socul cu filet E27 sau E14 aduce avantajul conectării simple, direct la rețea, asemănător lămpii cu incandescență clasice. De fapt acest tip de lampă poate înlocui orice lampă cu incandescență clasică în corpul de iluminat aferent, cu avantaj al eficacității luminoase de 5...7 ori mai ridicate.

Unele variante sunt prevăzute cu un glob protector din sticlă clară sau opalizată.

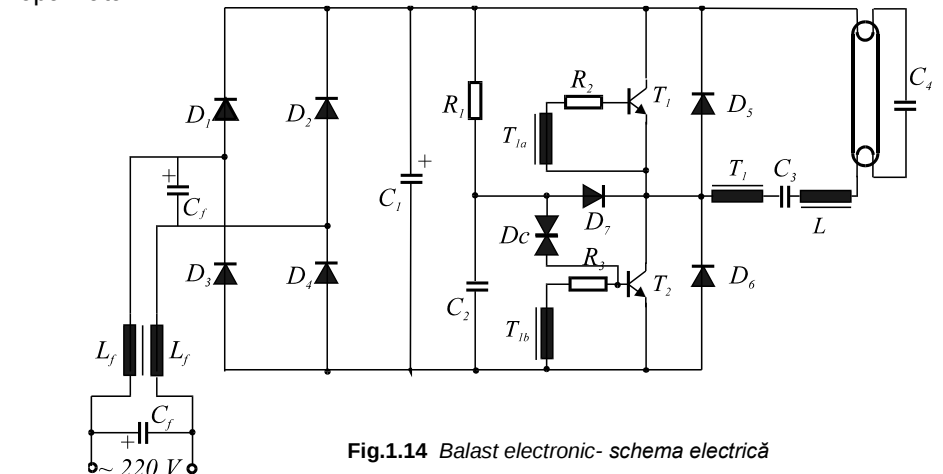


Fig.1.14 Balast electronic- schema electrică

c) Lămpile fluorescente speciale au tehnologie de fabricație distinctă și domenii de utilizare diverse, cele mai cunoscute variante constructive fiind următoarele :

- lămpi fluorescente cu strat reflectorizant (fig. 1.15-a) la care între tubul de sticlă 1 și luminoforul 3 se interpune un material reflectorizant 2 ce prezintă o fantă longitudinală de deschidere unghiulară α . Se recomandă pentru vitrine, scafe, sisteme de iluminat direct etc.

- lămpi fluorescente cu aprindere rapidă (fig. 1.15-b) prevăzute cu o bandă metalică 4 pe peretele interior și conectată la unul din electrozi. Balastul inductiv poate fi înlocuit cu o lampă cu incandescență și se recomandă pentru mediile cu pericol de incendiu și explozie.

- lămpi fluorescente de mare putere. Mărirea puterii lămpii este posibilă dacă se asigură condițiile de răcire ce conduc la valorile optime ale presiunii (0,01...0,10 mmHg) și temperaturii (+40°C) vaporilor de mercur. Acest deziderat se poate realiza prin :

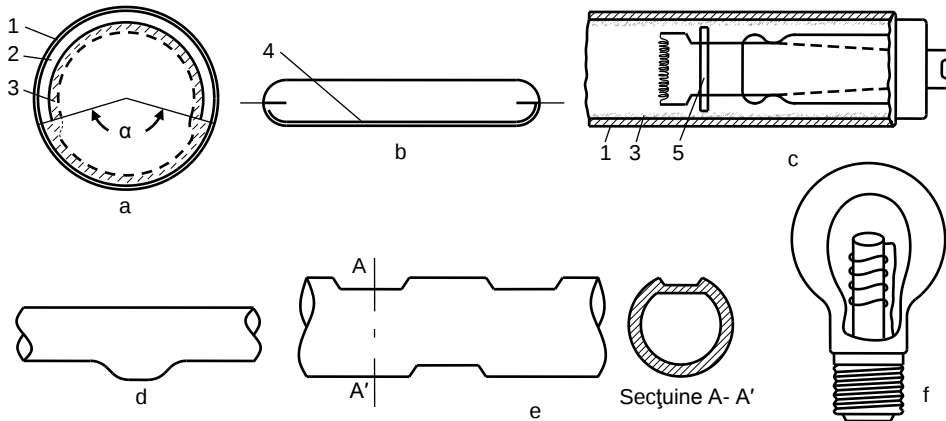


Fig.1.15 Tipuri constructive de lămpi fluorescente speciale

1-tub sticlă, 2-strat reflectorizant, 3-luminofor, 4-bandă metalică, 5-ecran

- ✓ răcirea forțată cu aer a tubului de sticlă, cu ajutorul unui ventilator, cum este cazul lămpilor HO (high – output) și SHO (super - high – output) cu puteri de 100W/m ;
- ✓ crearea unui punct rece în sistemul termodinamic al lămpii prin ecranarea soclului filamentelor (fig. 1.15-c), realizarea unei proeminențe la mijlocul tubului (fig. 1.15-d) sau modificarea raportului secțiune transversală / suprafața laterală prin realizarea de mici adâncituri de-a lungul tubului (fig. 1.15-e).

- lămpi fluorescente colorate ce utilizează luminofori speciali și, eventual, sticle filtrante. Se recomandă la iluminatul discotecilor, barurilor, la efecte speciale etc.

- lămpi fluorescente actinice cu o distribuție spectrală specifică necesară aparatelor heliograf (spectru bogat în radiații albastre și ultraviolete apropiate) sau pentru stimularea creșterii plantelor (spectru bogat în radiații roșii și albastre).

- lămpa de inducție (fig. 1.15-f) se caracterizează prin aceea că ionizarea mediului de descărcare are loc datorită curenților induși în gazul inert de către un câmp magnetic de frecvență ridicată (2,65 MHz) generat de o bobină plasată în

sursa de lumină. Tubul de descărcare este un balon de sticlă similar celui de la lămpile cu incandescență și este acoperit, la interior, cu o pudră fluorescentă normală. Lămpile au ca date de catalog: amorsare instantanee în plaja $\theta_a = -20...+55^\circ\text{C}$, $P = 55 \dots 85 \text{ W}$, $\eta = 65 \dots 70 \text{ lm/W}$, $T_c = 3000 \dots 4000\text{K}$, $IRC \geq 90$ și $D = 60000$ ore.

1.4 Lămpi cu descărcări în vapori de mercur

Clasificarea acestor izvoare de lumină se face după presiunea vaporilor metalici din timpul funcționării și conform acestui principiu deosebim:

- lămpi cu vapori de mercur la joasă presiune;
- lămpi cu vapori de mercur la înaltă presiune.

1.4.1 Lămpi cu vapori de mercur la joasă presiune

Lampa cu vapori de mercur la presiunea de circa 0,01 torr este o sursă de radiații ultraviolete ($\lambda = 180..400 \text{ nm}$) și are o construcție similară lămpii fluorescente cu vapori de mercur la joasă presiune. Deosebirea constă în tubul de descărcare ce este din sticlă specială, transparentă la radiații ultraviolete, mătușă pe interior pentru uniformizarea fluxului energetic.

Conectarea la rețea se face prin dispozitive de pornire-reglare (starter, balast) clasice sau electronice. Domeniile de utilizare sunt diverse: analize luminescente, tratamente antirahitice și antiseptice, procese fotochimice, reacții de polimerizare etc. Lămpile au puteri de $P = 6..124 \text{ W}$ la o durată de funcționare $D = 2000..8000$ ore.

Lampa cu vapori de mercur la presiunea de circa 1 torr este o sursă de radiații monocromatice galben-verzui ($\lambda = 557..577,9 \text{ nm}$) cu o culoare dominantă albastră-verzuie.

Lampa (fig. 1.16) se compune dintr-o incintă cilindrică de sticlă 1, în care se introduce un gaz inert (argon, neon) la joasă presiune și câteva miligrame de mercur. La capetele acestui tub de descărcare se plasează electrozii principali E_1 și E_2 (filamente dublu spiralate din tungsten) acoperite cu materiale termoemiseive (oxizi de bariu, stronțiu, calciu). În vecinătatea unuia din electrozii principali, E_1 , se dispune electrodul auxiliar E_3 , conectat prin rezistența de limitare

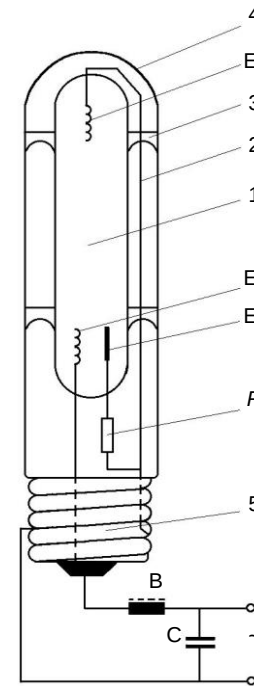


Fig. 1.16 Lămpă cu vapori de mercur la joasă presiune

$R = 25 \text{ k}\Omega$ la celălalt electrod principal. Ansamblul descris, inclusiv căile de curent 2 și elementele de susținere 3, se protejează de acțiunea distructivă a mediului prin balonul cilindric 4, din sticlă clară. Spațiul dintre cele două incinte se umple cu gaz inert (argon, azot) ce are rolul de a uniformiza temperatura tubului de descărcare în regim normal de funcționare și de a evita apariția arcului electric între intrările de

curent. Balonul de sticlă are la unul din capete soclul filetat 5.

Conectarea la rețea se face prin intermediul balastului B (bobină cu miez de fier și întrefier) și, eventual, a capacitorului C care asigură un factor de putere ridicat al circuitului. Amorsarea descărcării decurge în două etape și anume:

- la punerea sub tensiune a montajului apare o descărcare în regim de licărire între electrozii E_1 și E_3 , iar curentul din circuit asigură atât ionizarea argonului, cât și o puternică emisiune termoelectronică a electrodului E_1 ;

- în faza următoare, datorită ionizării intense a mediului, apare arc electric între electrozii principali, mercurul se vaporizează și prin excitarea vaporilor săi în câmp electric se emit radiațiile monocromatice galben-verzui. Descărcarea în regim de licărire între E_1 și E_3 încetează deoarece rezistența electrică a spațiului E_1 - E_2 scade foarte mult în raport cu rezistența de limitare R .

Durata proceselor tranzitorii, prin care se înțelege timpul după care fluxul luminos al lămpii ajunge la 80% din valoarea nominală, este de 6...7 minute. Dacă în timpul funcționării apare un gol de tensiune, lampa se stinge iar reaprinderea este posibilă după 3...5 minute (spațiul de lucru se răcește și ajunge la presiunea corespunzătoare amorsării descărcării în licărire).

Poziția de funcționare a sursei este precizată de producător, iar nerespectarea acesteia conduce la curbarea arcului electric (sub acțiunea curenților termici convectivi) și la înmuierea sticlei în zona respectivă.

Lămpile cu descărcări în vapori de mercur la joasă presiune au puteri cuprinse în gama $P=80...1000$ W, eficacități luminoase de $\eta=30\pm40$ lm/W, durate de funcționare $D=3000$ ore și se recomandă numai pentru iluminatul exterior deoarece au un indice de redare a culorilor IRC de valoare scăzută.

1.4.2 Lămpi cu vapori de mercur la înaltă presiune

Lampa cu vapori de mercur la înaltă presiune (fig. 1.17) are ca principal element constructiv un tub de descărcare 1 din sticlă de cuarț transparentă la radiații ultraviolete și rezistentă la temperatura de regim a arcului electric. În tub se introduce un gaz inert (argon) la joasă presiune (câțiva torr) și mercur (10...300 mg în funcție de puterea lămpii), iar la capete se prevăd electrozii principali E_1 , E_2 și electrodul secundar E_3 .

Electrodul principal este constituit dintr-o baghetă metalică pe care se înfășoară un filament de wolfram dublu

spiralat și acoperit cu material termoemisiv. Electrodul secundar este o sârmă de wolfram sau molibden plasată în vecinătatea unui electrod principal și conectată galvanic la celălalt electrod principal prin rezistența de limitare $R=25$ k Ω .

Tubul de descărcare, elementele de susținere 2, căile de curent 3 și rezistențele de limitare se introduc într-un balon ovoidal de sticlă 4 a cărei formă corespunde cu una din izotermele ($\sim 350^\circ\text{C}$) cilindrului de cuarț. Balonul 4 este umplut cu gaz inert (argon, argon+azot) ce ajunge la presiunea atmosferică în timpul funcționării lămpii.

Anvelopa de sticlă 4 are funcțiuni multiple și anume: protejează elementele componente ale sursei de acțiunea distructivă a factorilor de mediu; asigură echilibrul termic al descărcării în arc prin uniformizarea pierderilor convective, deci independența funcționării de temperatura mediului ambiant; absoarbe radiațiile ultraviolete și permite modificarea caracteristicilor fotometrice ale descărcării; diminuează, prin mătuirea suprafeței interioare, luminanța ridicată a tubului de descărcare (circa 600 sb).

Lampa este prevăzută cu un soclu metalic 6 cu filet E27 sau E40 (la puteri mari) a cărei temperatură este de maximum 200°C , respectiv 250°C .

Racordarea la rețea se face prin intermediul unui balast inductiv B, iar aprinderea lămpii are loc în două etape, ca și în cazul lămpilor de joasă presiune. Descărcarea în regim de licărire între electrozii E_1 - E_3 are loc la o tensiune de 10 ± 20 V și sub un curent de circa $1,6...1,8$ ori curentul nominal, ceea ce asigură ionizarea gazului inert și o puternică emisiune termoelectronică a electrodului principal E_1 . În momentul în care presiunea în tub ajunge la circa 20 torr, rezistența electrică a spațiului E_1 - E_2 devine mai mică decât rezistența de limitare R , iar descărcarea se comută între electrozii principali E_1 - E_3 și apare arc electric. După aproximativ 5...10 minute se ajunge la regimul stabilizat de funcționare caracterizat printr-o presiune de 2 ± 15 at în tubul de cuarț, o temperatură în coloana arcului de $800...1200^\circ\text{C}$ și o tensiune pe lămpă de $115...135$ V.

Lampa cu vapori de mercur la înaltă presiune și balon fluorescent sau lampa fluorescentă cu vapori de mercur la înaltă presiune se obține prin depunerea pe peretele interior al balonului de sticlă a unui strat 5 de pudră fluorescentă (fluogermanat de magneziu, ortovanadat de ytriu) cu o puternică emisie în domeniul roșu al spectrului (v.fig. 1.16). Aceste radiații sunt complementare celor ale mercurului și lampa are o lumină albă cu $T_c=3300..4300$ K și $IRC=40..60$. Lămpile se caracterizează prin: $P=50..1000$ W, $\eta=35..55$ lm/W, $D=16000..24000$ ore și se recomandă la iluminatul public, al terenurilor de sport, al halelor industriale înalte și acolo unde se cer fluxuri luminoase mari, relativ concentrate și nu se impun condiții de redare precisă a culorilor.

Simbolizarea lămpilor de acest tip produse în țară se face prin grupul de litere LVF la care se atașează un număr ce reprezintă puterea standardizată a sursei. Gama de produse autohtone este LVF 80, LVF 125, LVF 250, LVF 400.

Lampa fluorescentă cu vapori de mercur la înaltă presiune și balon oglindat are anvelopa de forma unui paraboloid de rotație, partea frontală este din sticlă clară, iar restul balonului este acoperit, la interior, cu un strat reflectant (dioxid de titan) pe care se depune pulberea fluorescentă. Fluxul luminos este emis într-un unghi de π steradiani, cu intensitatea luminoasă maximă după axa unghiului solid

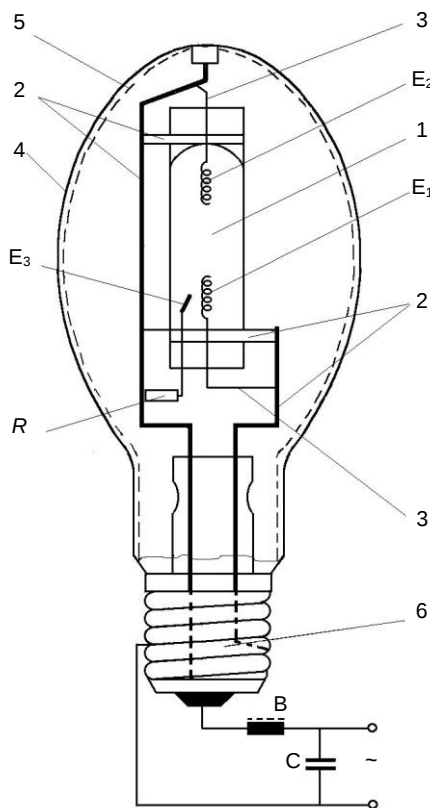


Fig. 1.17 Lămpă cu vapori de mercur la înaltă presiune

și mult mai mare decât în cazul lămpilor standard. Sursele se caracterizează prin: $P=125..1000$ W, $\eta=45..55$ lm/W, $T_c=3900..4200$ K, $IRC=36..40$, $D=16000..24000$ ore. Se recomandă pentru instalații ce utilizează în mod curent lămpi cu vapori de mercur, dar unde iluminatul direct trebuie să fie preponderent, ca de exemplu: hale industriale înalte, sere agricole, triaje de cale ferată, zone perimetrice importante...

Simbolizarea lămpilor de acest tip produce în țară se face prin grupul de litere LVO la care se atașează un număr ce reprezintă puterea standardizată a sursei. Gama de produse autohtone este LVO 250 și LVO 400.

Lampa cu lumină mixtă (fig. 1.18) este o lampă fluorescentă cu vapori de mercur la înaltă presiune la care balastul a fost înlocuit printr-un filament de wolfram dublu spiralat 7 montat în balonul protector din sticlă. Filamentul stabilizează descărcarea și este în același timp o lampă cu incandescență normală, ceea ce face ca întreg ansamblul să aibă o compoziție spectrală mai bună decât cea a lămpii fluorescente cu vapori de mercur la înaltă presiune.

Eficacitatea luminoasă a sursei este ridicată atunci când fluxul luminos al tubului de descărcare 1 este egal cu cel al filamentului 7 și pentru aceasta este necesar ca puterea electrică aferentă lămpii incandescente să reprezinte circa 60% din puterea totală absorbită. Lampa cu lumină mixtă se racordează direct la rețea și are o aprindere instantanee datorită filamentului incandescent ce asigură fluxul luminos în perioada stabilizării descărcării, a cărei durată este de circa 3 minute.

Sursele descrise se caracterizează prin: $P=100..500$ W, $\eta=10..26$ lm/W, $T_c=3500..3800$ K, $IRC=50..60$, $D=6000$ ore, $\cos\varphi = 0,9$. Se recomandă la iluminatul căilor rutiere, al halelor industriale înalte și al altor spații similare unde se cer fluxuri luminoase concentrate și o bună redare a culorilor.

1.5 Lămpi cu descărcări în vapori de sodiu

Clasificarea acestor izvoare de lumină se face după presiunea vaporilor metalici din timpul funcționării și conform acestui principiu deosebim:

- lămpi cu vapori de sodiu la joasă presiune;
- lămpi cu vapori de sodiu la înaltă presiune.

Descărcările electrice în vapori saturați de sodiu (metaloide cu temperatura

de topire de circa 98°C) au eficacități luminoase maxime dacă presiunea parțială a vaporilor este joasă (0,005..0,010 torr) sau înaltă (100..200 torr).

La joasă presiune funcționarea are loc la o temperatură de $250..270^\circ\text{C}$ a mediului de descărcare, iar lumina emisă este galben-verzuie și corespunde radiațiilor de rezonanță (589 și $589,6$ nm) ale dubletului D al sodiului. Acest spectru cvasi-monocromatic este apropiat de cel corespunzător sensibilității maxime a ochiului, ceea ce conduce la o eficacitate luminoasă teoretică de circa 520 lm/W.

La înaltă presiune stabilizarea descărcării se obține pentru temperaturi mai ridicate ale mediului din lampă ($700..1200^\circ\text{C}$), iar lumina emisă are o culoare portocalie (galben-auriu, alb-aurie) deoarece o parte din radiația de rezonanță este auto-absorbită și reemisă sub forma unui spectru de benzi ce include și radiații roșii, verzi și albastre.

În toate situațiile, la temperatura ambiantă ($+20^\circ\text{C}$) vaporii de sodiu sunt în cantitate redusă și pentru a facilita amorsarea descărcării în lampă se introduce un amestec de gaze inerte (neon, argon, xenon) la joasă presiune.

1.5.1 Lampa cu vapori de sodiu la joasă presiune

Lampa cu vapori de sodiu la joasă presiune are ca element principal un tub de descărcare din sticlă, în formă de U sau liniar (fig.1.19), pe al cărui perete interior se depune un strat de material rezistent la acțiunea chimică a vaporilor de

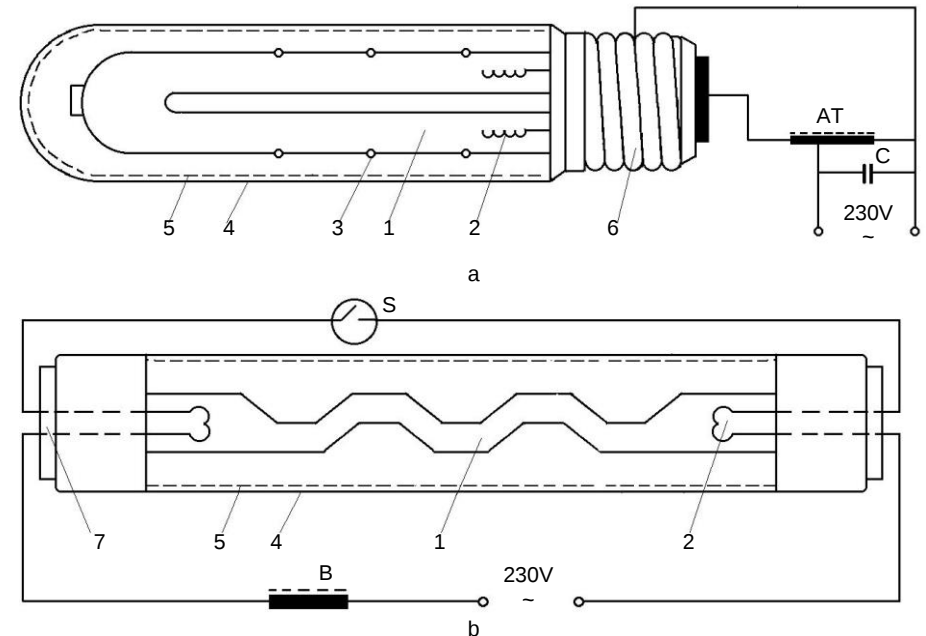


Fig. 1.19 Lampă cu vapori de sodiu în formă de U (a) și liniară (b)

1-tub de descărcare, 2-filament, 3-neuniformități pentru condensarea sodiului în repaus, 4-anvelopă de sticlă, 5-film de oxid de iridiu, 6-soclu E27, 7-soclu G13, AT-autotransformator cu dispersie, B-balast inductiv, C-capacitor, S-starter cu licărire.

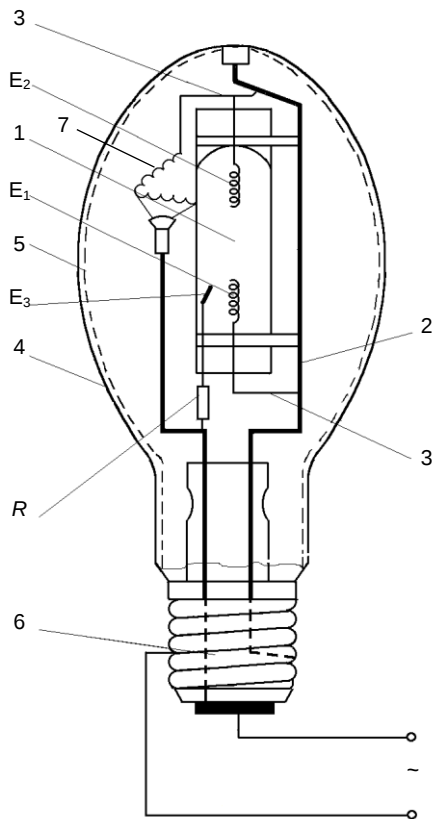


Fig. 1.18 Lampa cu lumină mixtă

sodiu (construcție ply glass). La capetele tubului se prevăd electrozi din wolfram activați cu materiale termoemiseive. În tub se introduce sodiu metalic în cantitate suficientă pentru a forma vapori saturați și un amestec de neon și argon la o presiune de 10..15 torr. Izolarea termică a incintei de descărcare se face prin introducerea acesteia într-un balon (anvelopă) cilindric de sticlă, ce va fi vidat. Schimbul de căldură radiativ se diminuează apreciabil dacă pe peretele interior al anvelopei se prevede un film de material (oxid de zinc sau indiu) transparent la radiația vizibilă, dar reflectant pentru radiația infraroșie cu $\lambda=5,5\mu\text{m}$ produsă de mediul de descărcare aflat la temperatura optimă de 260°C.

Inițializarea descărcării depinde de tipul constructiv al sursei de lumină și anume:

- amorsarea lămpilor cu electrozi reci din wolfram triplu spiralat se face prin aplicarea unei supratensiuni furnizate de un autotransformator cu flux mare de scăpări (fig. 1.19-a);

- amorsarea lămpilor cu electrozi preîncălziți din wolfram dublu spiralat se face utilizând un montaj cu aprindere cu starter și balast inductiv (fig. 1.19-b).

La punerea sub tensiune a montajului apare o descărcare în gaze inerte la joasă presiune care încălzește mediul din lampă și conduce la vaporizarea treptată a sodiului. Inițial lumina emisă este de culoare roșie (caracteristică neonului), dar în următoarele 10..15 minute capătă o culoare galben-verzuie ca urmare a excitării atomilor de sodiu aflați la temperatura și presiunea parțială optime.

Lămpile cu o putere mai mare de 180 W se execută sub formă liniară și tubul de descărcare prezintă strangulări (fig. 1.19-b) pentru a evita deplasarea sodiului spre zonele cu temperaturi mai ridicate din vecinătatea electrozilor. Poziția de funcționare este orizontală sau cu o înclinare de 20°, ceea ce asigură o bună repartizare a sodiului în tubul de descărcare. Lămpile cu puteri mai mici sunt sub formă de U și au poziția de funcționare verticală sau sub un unghi de 55° față de acesta.

Lămpile cu vapori de sodiu la joasă presiune se caracterizează prin: $P=18..220\text{ W}$, $\eta=70..200\text{ lm/W}$, $D=6000\text{ ore}$ și se recomandă la iluminatul exterior (căi rutiere, depozite, ecluze, dane portuare, aeroporturi etc.) interior (încăperi cu degajări de praf sau de fum precum hale de forjă, turnătorii) sau decorativ. Acest spectru larg de aplicații este o consecință a proprietăților favorabile ale luminii monocromatice galben-verzui cu privire la acuitatea vizuală și la sensibilitatea în percepere a detaliilor, contrastelor și formelor. Lumina galbenă emisă de aceste lămpi străbate prin ceață și asigură un contrast accentuat între suprafețele iluminate și cele neiluminate, îmbunătățind vizibilitatea. De precizat că redarea culorilor este inexistentă deoarece o culoare pură, alta decât galben, va apare complet neagră în lumina acestor lămpi.

1.5.2 Lampa cu vapori de sodiu la înaltă presiune

Lampa cu vapori de sodiu la înaltă presiune are ca element principal (fig. 1.20) un tub de descărcare cilindric 1 din alumina policristalină sinterizată, translucidă (lucalox sau PCA), ce rezistă bine la acțiunea chimică a vaporilor de sodiu aflați la temperatură ridicată (circa 1000°C). La capete se montează electrozii 2 constituiți dintr-o vergea metalică pe care se înfășoară un filament de wolfram

dublu spiralat acoperit cu materiale termoemiseive. În tub se introduce sodiu metalic și mercur în proporție de 1 la 4, precum și un gaz inert (xenon) sau un amestec de gaze inerte (neon și argon) ce permit amorsarea descărcării. Mercurul are rol de gaz tampon și asigură, la temperatura de funcționare, presiunea optimă de lucru și un gradient de potențial ridicat. Incinta de descărcare este protejată de influența mediului ambiant printr-un balon de sticlă 3, vidat, a cărui formă poate fi eliptică sau cilindrică.

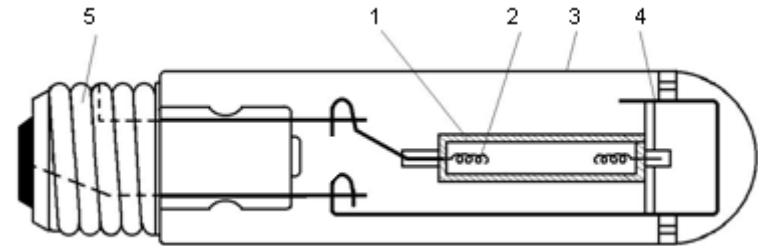


Fig. 1.20 Lampă cu vapori de sodiu la înaltă presiune
1-tub de descărcare, 2-filament, 3-balon protector din sticlă,
4-element de susținere și cale de curent, 5-soclu.

Anvelopele cilindrice sunt din sticlă clară și au o temperatură maximă de 350°C.

Anvelopele elipsoidale au peretele interior mățuit, iar temperatura lor poate ajunge la 450°C. Soclul lămpii 5 este cu filet de tip E27 sau E40, temperatura de lucru fiind de 200°C, respectiv 250°C. Lampa poate funcționa în orice poziții la temperaturi ale mediului de până la -30°C.

Deoarece presiunea vaporilor metalici este scăzută la temperatura mediului ambiant, iar distanța dintre electrozi este suficient de mare, amorsarea descărcării în lampă se realizează cu ajutorul starterelor (igniterelor), ce prezintă o multitudine de tipodimensiuni. La noi în țară se construiesc ignitere cu transformatoare de impuls sau numai cu elemente semiconductoare, când balastul este de construcție specială (de tip autotransformator).

Igniterul cu transformator de impuls (DAS 05 fig. 1.21-a) funcționează după următorul principiu:

- la conectarea montajului la rețea, să presupunem că alternanța pozitivă a tensiunii de alimentare $u_s = U_{sm} \sin(\omega t - \varphi)$ se aplică la borna 2 și condensatorul C_1 se va încărca cu polaritatea din figură, la valoarea maximă, pe circuitul: bornă 2, diodă D_1 , primar transformator de impuls TI, capacitor C_1 , rezistor R_1 , balast B, borna 1;

- în alternanța următoare (cu semnele din paranteze) are loc încărcarea condensatorului C_2 cu polaritatea din figură, pe circuitul: bornă 1, B, R_1 , C_2 , D_3 , D_2 , borna 2. Condensatorul C_1 își păstrează încărcarea $u_{C1} = U_{sm}$ prin blocarea lui D_1 , iar C_2 încărcat la $u_{C2} = U_{sm}$ urmărește variația tensiunii de alimentare;

- în momentul în care $u_s < u_{C2}$ dioda D_2 se blochează și condensatorul C_2 generează un curent de poartă $i = U_{C2}/R_2 = U_{sm}/R_2$ care conduce la deschiderea tiristorului T. Din acest moment începe descărcarea condensatoarelor înseriate $C_1 + C_2$ pe primarul I al transformatorului de impuls TI, căruia i se aplică tensiunea $2U_{sm}$. Supratensiunea de 3..4,7 kV ce apare la capetele înfășurării II se regăsește

la electrozii lămpii L care va amorsa, iar igniterul iese din funcțiune ca urmare a tensiunii reduse (de la bornele arcului) ce i se aplică la intrare.

Igniterul cu tiristor (DAS 25 fig. 1.21-b) asigură amorsarea lămpii numai dacă se utilizează balasturi de construcție specială, cu prize, și funcționează astfel:

- dacă la alimentarea montajului tensiunea sursei $u_s = U_{sm} \sin(\omega t - \varphi)$ are alternanța pozitivă la borna 1, condensatorul C_1 se încarcă la $u_{C1} = U_{sm}$, cu polaritatea din figură, pe circuitul: borna 1, balast B secțiune $a-b$, diodă D, capacitor C_1 , borna 2;

- la următoarea alternanță (polaritatea din paranteze) prin divizorul $R_1 + R_2$ apare un curent ce conduce la o cădere de tensiune pe rezistorul R_2 , suficientă pentru deschiderea tiristorului T. Din acest moment C_1 se descarcă rapid pe înfășurarea $a-b$ și la capetele $a-c$ ale balastului apare un impuls de tensiune de 2,8..4,5 kV ce permite amorsarea lămpii.

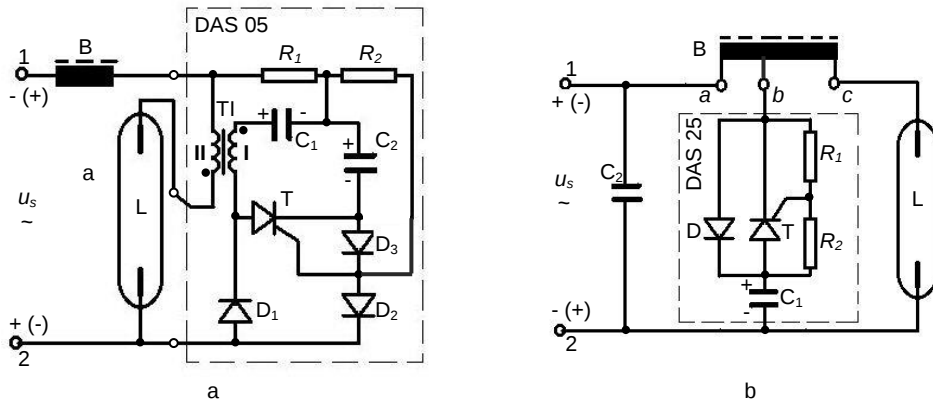


Fig. 1.21 Scheme electrice de conectare a lămpilor cu vapori de sodiu la înaltă presiune
B-balast; L-lămpă cu descărcări; DAS05 – igniter cu transformator; DAS25 – igniter cu tiristor

Durata proceselor tranzitorii corespunzătoare intrării lămpii în regim normal de funcționare este de 5..10 minute funcție de puterea unitară a sursei. Dacă în timpul regimului stabilizat apar goluri de tensiune, reamorsarea sursei are loc după 2..3 minute necesare răcirii mediului din tubul de descărcare.

Lămpile cu vapori de sodiu la înaltă presiune se caracterizează prin: $P=25..1000$ W, $\eta=35..125$ lm/W, $D=20000$ ore, $T_c=2100..2500$ K, $IRC=20..80$ și se recomandă la iluminatul stradal, al șantierelor și docurilor, al aeroporturilor, al triajelor de cale ferată, precum și al halelor industriale de înălțimi apreciabile (peste 8..10m). Utilizarea acestor surse la iluminatul interior este limitată de luminanța ridicată a tubului de descărcare, ce poate ajunge la 900 sb.

Sursele de lumină de acest tip produse în țară sunt codificate prin grupul de litere: LPNE - anvelopă ovoidală mătuită sau LPNT - anvelopă cilindrică din sticlă clară, la care se atașează un număr ce corespunde cu puterea normalizată a lămpii și care este 150, 250 sau 400 W (exemplu: LPNE 150 – lămpă cu vapori de sodiu la înaltă presiune cu balon din sticlă mătuită și puterea nominală de 150 W).

1.6 Lămpi cu halogenuri metalice

Lampa cu halogenuri metalice (fig 1.22) are o construcție similară cu cea a lămpii cu vapori de sodiu la înaltă presiune, dar diferă de aceasta prin conținutul tubului de descărcare. Aici, alături de mercur și argon, se introduc halogenuri ale metalelor alcaline (sodiu) sau alcalino-pământoase (taliu, indiu, dysprosiu, holmiu). La temperatura de regim a lămpii, halogenurile sunt parțial vaporizate și cele din coloana arcului disociază. Atomii metalici astfel obținuți sunt excitați și vor emite radiațiile de rezonanță specifice. Datorită agitației termice, acești atomi se deplasează spre pereții tubului unde se recombina cu halogenul datorită temperaturii mai scăzute. Procesele de disociere-recombinare a metalului cu halogenul sunt identice cu cele din lămpile incandescente cu ciclu regenerativ de iod.

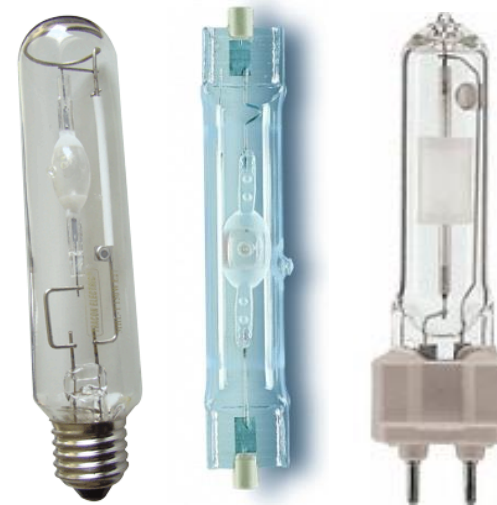


Fig.1.22 Tipuri constructive de lămpi cu halogenuri metalice

Lămpile pentru iluminat folosesc ioduri de taliu și sodiu, a căror radiații de rezonanță dau o lumină verde-portocalie, iar dacă se adaugă și iodura de indiu spectrul de emisie va conține și radiații albastre. Iodurile de holmiu și dysprosiu asigură o mai bună redare a culorilor, dar diminuează eficacitatea luminoasă a sursei. Prezența iodurilor metalice are ca rezultat diminuarea radiațiilor mercurului pe întregul spectru, ca urmare a emisieii metalelor din structura halogenurilor. Anvelopa protectoare este din sticlă clară de formă cilindrică sau ovoidală, iar în unele cazuri

aceasta din urmă este prevăzută,

la interior, cu un strat de material fluorescent. Poziția de funcționare a lămpii este verticală, din aceleași considerente expuse la lămpile cu vapori de mercur la joasă presiune.

Tensiunea de inițializare a descărcării în lămpă la temperatura mediului ambiant (+20°C) este relativ ridicată (250..500V) datorită presiunii scăzute a vaporilor din tubul de descărcare. De aceea, schemele de conectare la rețea sunt prevăzute cu dispozitive de amorsare denumite **ignitere**, prin intermediul cărora se aplică lămpii un impuls de înaltă

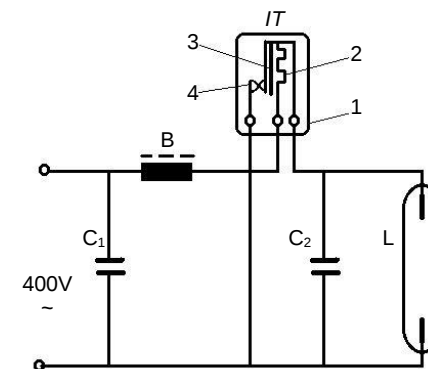


Fig. 1.23 Montaj cu igniter termic

tensiune. Acesta poate fi generat prin întreruperea rapidă a unui circuit inductiv (la igniterele cu bimetal), prin încărcarea-descărcarea unui condensator sau cu ajutorul unui transformator de impuls (la igniterele electronice).

Igniterul termic IT sau cu bimetal (fig. 1.23) se compune dintr-un balon de sticlă 1 în care se dispune rezistorul 2 și lamela bimetalică 3 a cărei poziție de repaus realizează contactul normal închis 4. La punerea sub tensiune a montajului, balastul inductiv B este conectat la rețea prin contactul 4, lamela 3 și rezistorul 2. Căldura degajată de rezistor permite dilatarea bimetalului care va deschide, după circa 30 secunde, contactul 4. Ca urmare, la bornele lămpii va apare un impuls de tensiune de 800..3800 V (dat de $e+u$, cu $e = -d\Phi/dt$ – tensiunea de autoinducție, u – valoarea instantanee a tensiunii rețelei) care amorsează descărcarea în lampă.

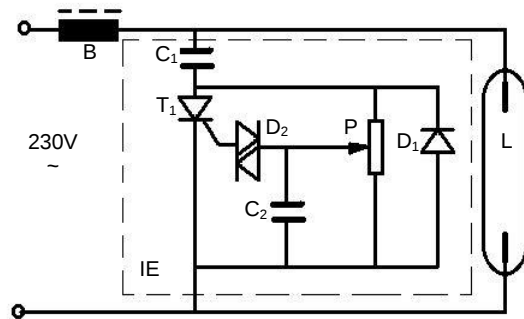


Fig. 1.24 Montaj cu igniter electronic

Curentul de regim al lămpii parcurge rezistorul 2, ceea ce permite menținerea deschisă a contactului 4, dar conduce la un consum suplimentar de energie. Condensatorul C_1 asigură ameliorarea factorului de putere al montajului, iar capacatorul C_2 înlătură propagarea perturbațiilor radiofonice generate la deschiderea contactului 4.

Igniterul electronic IE (fig. 1.24) funcționează pe principiul încărcării-descărcării unui

condensator printr-o bobină când se utilizează un dispozitiv de comutație semiconductor. Astfel, la deschiderea tiristorului T_1 circuitul B- C_1 lucrează la cvasi-rezonanță și supratensiunea de circa 800V de la bornele condensatorului se aplică lămpii L care va amorsa. Conducția tiristorului se realizează cu diacul D_2 ce este comandat de descărcarea capacitoarei C_2 . După aprinderea lămpii tensiunea de arc este insuficientă pragului de funcționare al tiristorului și igniterul iese din funcționare. Potențiometrul P va stabili unghiul de deschidere al diacului D_2 , iar dioda D_1 are rol de protecție.

Lămpile cu halogenuri metalice se caracterizează prin $P=70..1000$ W, $\eta=70..140$ lm/W, $D=20000$ ore, $T_c=3000..4900$ K, $IRC=85..95$ ceea ce le recomandă pentru iluminatul interior (comercial, de divertisment) și mai ales exterior (terenuri sportive, fațade), în cazul transmisiilor TV color – deci în spații largi unde se cere atât un nivel de iluminare ridicat cât și o redare bună a culorilor.

Schemele de montaj în rețelele monofazate se realizează astfel încât conductorul de fază să fie conectat la balast, iar cel de nul la soclul lămpii. Durata proceselor tranzitorii este de 3.5 minute, funcție de puterea lămpii, iar redarea corectă a culorilor are loc după 10..15 minute de la atingerea regimului staționar, timp necesar vaporizării și disocierii iodurilor din tubul de descărcare. Dacă în timpul funcționării apar goluri de tensiune, rearmarea descărcării este posibilă după circa 10 minute. Temperatura de regim a anvelopei este de 450..650°C, funcție de puterea unitară, iar a soclului de 200°C la cele cu filet E27 și 250°C la

cele cu filet E40.

1.7 Surse de lumină cu LED-uri

Diodele electroluminescente sau LED (Light Emitting Diode) au fost dezvoltate după anul 1962. Timp de mai mulți ani ele au fost folosite doar în semnalizări sau afișaje liminoase datorită luminii slabe emise și a paletii restrânse de culori.

În prezent s-au înregistrat progrese uriașe în obținerea luminii albe la eficacități luminoase comparabile cu lămpile cu descărcări în vapori metalici.

LED-urile sunt diode semiconductoare care au proprietatea de a converti energia electrică în lumină. Operația de conversie se face la rece, ceea ce oferă o eficacitate luminoasă cu mult mai bună decât a lămpilor cu incandescență. Ca și în oricare diodă o parte din electronii liberi se recombina cu golurile zonei „p”, adică “cad” din zona de conducție pe un nivel energetic inferior, eliberând energie sub formă de radiație electromagnetică. Pentru ca radiația să fie în domeniul vizibil este necesar ca materialele semiconductoare să fie dopate cu anumite elemente chimice (aluminiiu, galiu, fosfor, indiu, azot) într-o concentrație riguroasă.

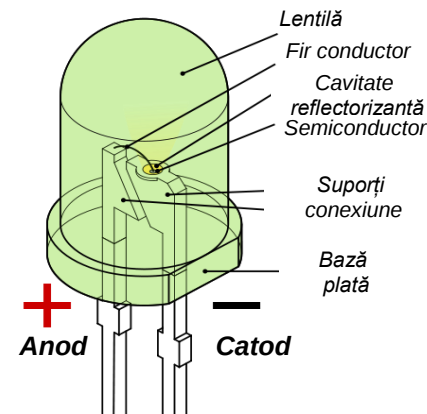


Fig.1.25 Structura unui LED thd

Deoarece conțin din construcție un mic proiector cu reflector și lentilă de dispersie (Fig. 1.25), LED-urile emit lumină preferențial într-o anumită direcție. Intensitatea luminoasă maximă este după axa optică și se diminuează odată cu depărtarea de aceasta. “Conul de maximă vizibilitate” definește zona la marginea căreia intensitatea scade la 50% din maxim. Uzual se folosesc LED-uri cu con de 15-120 grade. Led-urile cu unghi mic se folosesc pentru iluminarea unor spații înguste și la mai mare distanță, dar ridică probleme la obținerea uniformității dorite a iluminării.

Deoarece fluxul luminos al unui singur LED este mic este necesar a se folosi mai multe LED-uri concentrate pe un singur suport. LED-urile pot fi în varianta *thd* (de la *trough hole device*, montate prin placa cu cablaj imprimat, prin lipire în găurile de inserție) - Fig. 1.26.a), *smd* (de la *surface-mounted device*, montate

direct pe suprafața plăcii cu cablaj imprimat folosindu-se micile lor suprafețe lipibile cu cositor) - Fig. 1.26.b) sau *cog* (de la *chips on glass*, caz în care 28 cipuri LED sunt înseriate și ansamblate împreună pe un suport transparent din sticlă) - Fig. 1.26.a).

În Figura 1.27 sunt prezentate două lămpi LED cu aspect similar unei lampi cu incandescență clasice. Cea din Fig 1.27.a) se mai numește lampă “LED-filament” deoarece cipurile LED sunt montate pe 4 suporturi liniare, amintind de construcțiile vechi ale lămpilor cu incandescență cu filament.

Lampa LED din Fig. 1.27.b) are o calotă sferică din material plastic ce asigură un unghi larg de bună vizibilitate, iar zona dintre soclul lampii și calota sferică conține circuitul electronic de alimentare și placa cu LED-uri *smd* înseriate și montate pe o placă metalică cu rol de radiator termic. Schema electrică a circuitului electronic este prezentată în Figura 1.28.

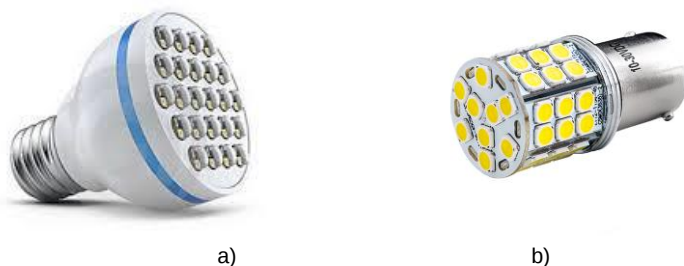


Fig.1.26 Lămpi electrice cu structuri LED: a - thd, b - smd



Fig 1.27 Lămpi LED în construcție similară lămpilor cu incandescență clasice

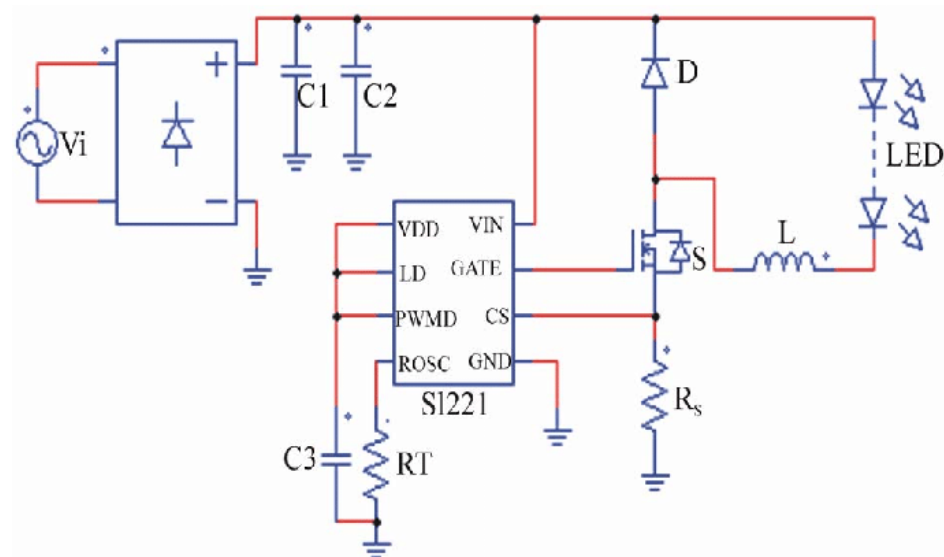


Fig 1.28 Schema electrică a lămpii LED (variantă)

Tensiunea alternativă a rețelei, V_i , este transformată în tensiune continuă cu o punte redresoare, care este filtrată cu ajutorul condensatoarelor C_1 , C_2 , și aplicată circuitului integrat de comandă S1221. Acesta, prin impulsuri de tensiune continuă PWM, alimentează ansamblul de LED-uri prin intermediul tranzistorului cu efect de câmp S . Inductanța L asigură nivelarea formei de undă a curentului prin LED-uri. Dioda D (de descarcare a câmpului magnetic al inductanței) protejează LED-urile în momentul deconectării lămpii de la rețea. Comanda PWM asigură fluxul luminos constant al lămpii la variații ale tensiunii de alimentare sau ale temperaturii mediului.

Principalele avantaje ale surselor de lumină cu LED sunt:

- eficacitatea luminoasă ridicată (peste 60lm/W);
- puteri absorbite mici, de ordinul waților;
- durată de viață mare (deoarece nu au filament sau electrozi calzi) de ordinul zecilor de mii de ore;
- dimensiuni reduse;
- sunt rezistente la temperaturi și agenți chimici;
- unele au propria lentilă de dispersie, deci pot fi folosite în proiectoare fără adăugarea de sisteme optice;
- oferă o gamă largă de culori, dar și lumină albă cu diferite temperaturi de culoare;
- au timp de reacție extrem scurt (fracțiuni de milisecundă);
- prin realizarea de panouri cu matrici cu diode LED de diferite culori, și prin comanda lor corespunzătoare, poate fi realizat iluminatul dinamic.

Printre dezavantaje se pot menționa:

- necesitatea prezenței a mai multor LED-uri pe o lampă;
- prețul mai ridicat al unei lămpi cu LED;
- limitarea aplicațiilor la iluminatul local datorită unghiului mic de maximă vizibilitate;
- luminanța este foarte ridicată pe direcția axială, de aceea crează disconfort vizual dacă sunt privite direct;
- necesitatea unui circuit electronic integrat în structura lămpii pentru adaptarea tensiunii rețelei la tensiunea de alimentare a LED-urilor;
- fiabilitatea circuitului electronic de alimentare mult mai slabă decât a LED-urilor.
- limitarea utilizării pentru temperaturi exterioare de maximum 50°C.

1.8 Desfășurarea aplicației

1.8.1 Se vor studia elementele de compunere și variantele constructive pentru:

- lămpi cu incandescență clasice;
- lămpi cu incandescență cu halogeni;
- tuburi fluorescente;
- lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune;
- lămpi cu vapori de sodiu de înaltă presiune;
- lămpi cu lumină mixtă;
- lămpi cu halogenuri metalice;
- lămpi cu LED-uri.

1.8.2 Se vor studia montajele de funcționare aferente acestor tipuri de lămpi.

1.8.3 Se vor trasa evoluțiile în timp ale fluxului luminos pentru două tipuri de surse cu descărcare la înaltă presiune, LVF și LPN. Citirile valorilor experimentale se fac la intervale de 15 de secunde.