

CARACTERISTICILE DE FUNCȚIONARE ALE SURSELOR ELECTRICE DE LUMINĂ

1. Generalități

Sursele electrice de lumină sunt dispozitive de utilizare ce transformă energia electrică în energia luminoasă prin fenomenele de incandescență și/sau luminescență. Performanțele tehnico-economice ale acestor convertoare sunt puse în evidență de către *parametrii de funcționare ai sursei de lumină*. Acești indicatori sunt constituiți din ansamblul de mărimi electrice, fotometrice și energetice prin care se obține o caracterizare completă a sursei de lumină considerate.

Se consideră ca necesare și suficiente următoarele mărimi fizice:

✓ *parametri electrici*: I – curentul din circuit, [A]; P – puterea dezvoltată de lampă, [W]; P_b – pierderi de putere, dacă este cazul, pe elementul de limitare stabilizare a descărcării, [W]; P_m – puterea absorbită de montaj din rețeaua consumatorului, [W]; f_c – factorul de formă al undei de curent.

✓ *parametri fotometrici*: Φ – fluxul luminos al lămpii, [lm]; L – luminanța sursei de lumină, [nt]; $a = (\Phi_M - \Phi_m) / (\Phi_M + \Phi_m)$, factorul de pulsație al fluxului luminos, cu Φ_M , Φ_m valoarea maximă, respectiv minimă a fluxului luminos emis de sursă pe o alternanță a tensiunii de alimentare.

✓ *parametri energetici*: $k = P_m / S_m$ - factorul de putere al montajului, cu $S_m = UI$ puterea aparentă solicitată de montaj din rețeaua consumatorului; $\eta = \Phi / P$ – eficacitatea luminoasă a sursei de lumină, [lm/W]; $\eta_m = \Phi / P_m$ – eficacitatea luminoasă a montajului, [lm/W]; t_c – timpul de amorsare a lămpii, care reprezintă durata proceselor tranzitorii după care fluxul lămpii atinge 80% din valoarea sa de regim, [s]; D – durata de funcționare a lămpii, definită ca timpul după care fluxul luminos ajunge la 80% din valoarea inițială, [ore].

Parametrii de funcționare diferă de la un tip de sursă la altul, iar pentru o aceeași lampă depind de condițiile de mediu (temperatură, umiditate, vânt), de modul de exploatare (număr conectări-deconectări, timp funcționare neîntreruptă, variantă montaj), de caracteristicile sursei de alimentare (tensiune, frecvență) și de constanta de timp a parametrilor acesteia.

În ipoteza unor condiții de lucru normale ($\theta_a = +20$ °C, $p = 760$ torr, umiditate maximă 75%) dacă se consideră ca variabilă tensiunea de alimentare U sau frecvența acesteia f , atunci se pot trasa *caracteristicile de funcționare ale izvoarelor electrice de lumină*

$$X = F(U) \text{ sau } X = F(f)$$

cu X parametrul de funcționare analizat.

Aceste dependențe, prezentate sub formă grafică sau analitică, își măresc

gradul de generalizare dacă se operează cu mărimi relative x^* sau procentuale $x\%$, ceea ce conduce la

$$x^* = F(u^*), x^* = F(f^*) \text{ sau } x\% = F(u\%), x\% = F(f\%)$$

unde:

$u^* = U/U_n$, $f^* = f/f_n$ – valori relative a căror bază de raportare este tensiunea sau frecvența nominală a sursei de alimentare.

$u\% = 100 \cdot U^*$, $f\% = 100 \cdot f^*$ - valorile procentuale ale variabilelor independente.

$x^* = X/X_n$, $x\% = 100 \cdot x^*$ - valoarea relativă/procentuală a parametrului de funcționare, cu X_n valoarea absolută corespunzătoare la U_n/f_n .

Caracteristicile de funcționare $x^* = F(u^*)$ pot fi exprimate analitic prin seria convergentă:

$$\lg x^* = \sum_{j=1}^n a_j \lg^j u^*$$

în care coeficienții a_j se determină experimental.

În cazul în care variațiile tensiunii de alimentare se încadrează în limitele $\pm 10\%$, relația precedentă devine:

$$\lg x^* = a_1 \lg u^* \Leftrightarrow x^* = (u^*)^{a_1} \text{ - lămpi cu incandescență}$$

$$\lg x^* = a_1 \lg u^* + a_2 \lg^2 u^* \text{ - lămpi fluorescente cu vapori de mercur la joasă presiune}$$

2. Caracteristicile de funcționare ale lămpilor cu incandescență

Parametrii de funcționare standardizați ai lămpilor cu incandescență se dau ca valori medii pentru tensiunea nominală de alimentare, deoarece numai prin modificarea acesteia se pot obține caracteristicile de funcționare ale lămpii.

Filamentul de wolfram se comportă ca un radiator selectiv, și deci eficacitatea luminoasă a lămpii (fig. 2.1-a) va fi direct proporțională cu temperatura absolută a acestui rezistor neliniar, neinerțial.

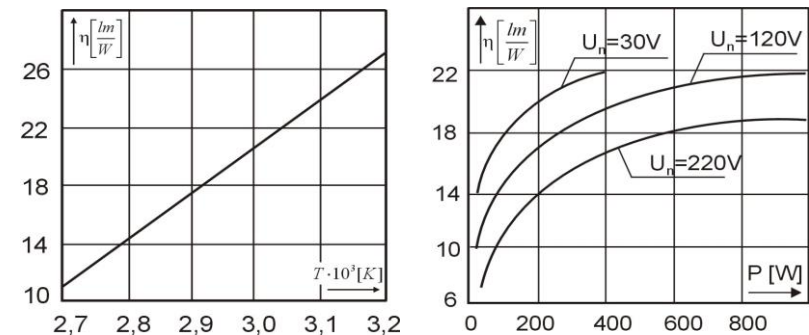


Fig. 2.1. Variația eficacității luminoase în funcție de temperatura filamentului (a) și puterea lămpii la diverse tensiuni nominale (b)

Lămpile de tensiune redusă și cele de mare putere au eficacități luminoase superioare celor de tensiune mai mare sau putere mai mică, întrucât primele au filamente mai groase ce admit temperaturi de regim mai mari (fig. 2.1-b).

Solicitarea termică intensă a filamentului, corespunzătoare unor eficacități luminoase sporite, conduce la diminuarea duratei de funcționare a lămpii. O altă consecință a temperaturilor de lucru ridicate constă în volatilizarea intensă a filamentului, a cărui particule depuse pe peretele interior al anvelopei lămpii conduce la înnegrirea balonului și, implicit, la diminuarea fluxului luminos al sursei. Aceste inconveniente sunt mult diminuate în cazul lămpilor cu incandescență cu halogeni. Lămpile cu incandescență trebuie să fie alimentate la tensiunile pentru care au fost proiectate. Dacă tensiunea de alimentare se modifică, parametrii de funcționare au variații ce conduc la caracteristici de funcționare a căror formă (fig. 2.2) permite desprinderea următoarelor concluzii:

✓ creșterea tensiunii peste valoarea nominală duce la mărirea puterii, fluxului și eficacității luminoase a lămpii, dar micșorează durata de funcționare. Câștigul în eficacitate luminoasă, ca urmare a supravoltării, se explică prin mărirea puterii radiate în domeniul vizibil al spectrului, conform legii deplasării maximumului.

✓ tensiuni mai mici decât cea nominală ($\Delta u\% = -5\%$) duc la creșterea duratei de funcționare (cu 100%) dar reduc puterea și eficacitatea luminoasă (ambele cu 8%), precum și fluxul luminos (cu 18%).

Pe baza caracteristicilor de funcționare și a prețurilor aferente energiei electrice și lămpilor cu incandescență, se poate analiza dacă în exploatare este avantajoasă sau nu supravoltarea instalației de iluminat. În unele situații, creșterea fluxului luminos prin acest procedeu are ca rezultat reducerea numărului de corpuri de iluminat din încăpere. În ceea ce privește subvoltarea sursei de lumină în vederea creșterii duratei de funcționare, aceasta se recomandă mai ales pentru echipamentele la care schimbarea lămpii sau accesul la aceasta este dificil (lămpi de semnalizare, de veghe etc).

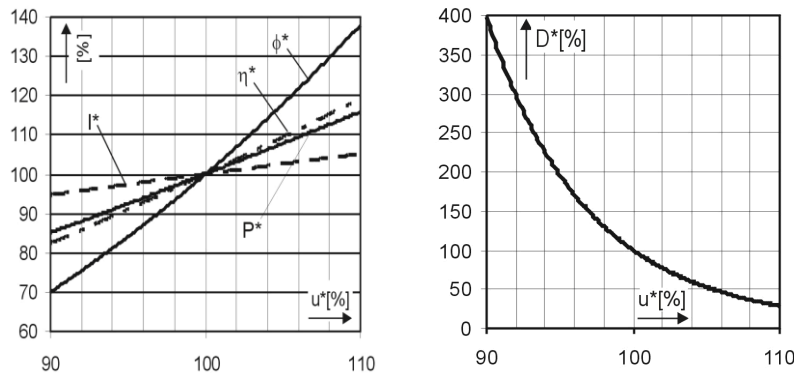


Fig. 2.2. Caracteristicile de funcționare ale lămpilor cu incandescență
 P^* - puterea lămpii, I^* - curentul prin lămpă, Φ^* - fluxul luminos, η^* - eficacitatea luminoasă a lămpii, D^* - durata de funcționare

3. Caracteristicile de funcționare ale tuburilor fluorescente cu vapori de mercur la joasă presiune

Lămpile fluorescente alimentate cu tensiuni de frecvență industrială sunt elemente neliniare de circuit cu un comportament neinerțial, ceea ce face ca sursa de lumină să se aprindă și să se stingă pe fiecare alternanță a tensiunii de alimentare. În consecință, vor apărea pauze în forma de undă a curentului, iar fluxul luminos va trece prin zero cu o frecvență dublă (100Hz) față de cea a rețelei. Pâlpăirea lămpii sau flicker-ul conduce la apariția efectului stroboscopic, prin care se înțelege modificarea aparentă a mișcării reale a unui obiect atunci când asupra lui cade un flux luminos variabil. Diminuarea acestui efect are loc atunci când tensiunea de alimentare este de cel puțin 1,7 ori mai mare decât căderea de tensiune pe lămpă.

Fluxul luminos scade proporțional cu durata de funcționare (fig. 2.3) ca urmare a degradării luminoforului sub acțiunea vaporilor de mercur și datorită înnegririi extremităților tubului din cauza volatilizării filamentului.

În primele ore de funcționare (circa 100) diminuarea fluxului luminos este accentuată (o reducere de circa 10%), iar apoi viteza de scădere devine mult mai lentă. Din această cauză, fluxul nominal, de calcul, al unei lămpi fluorescente se consideră după 100 de ore de funcționare neîntreruptă. În ultimele 100 de ore de funcționare lămpa necesită o tensiune mai mare deoarece scade cantitatea materialului termoemisiv de pe electrozi. Tensiunea pe lămpă crește până la valoarea la care starterul anclanșează și declanșează încontinuu, iar lămpa începe să pâlpăie vizibil.

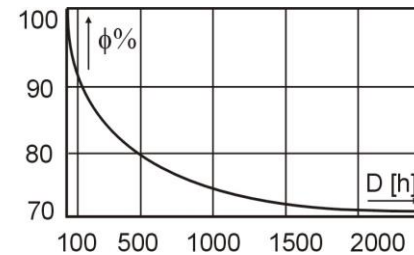


Fig. 2.3.
 Variația fluxului luminos pe durata funcționării lămpii fluorescente

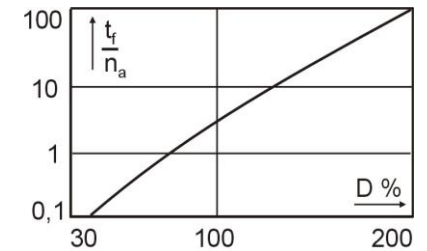


Fig. 2.4.
 Dependența $t_f/n_a = f(D)$ pentru lămpile fluorescente

Durata de funcționare a lămpilor fluorescente depinde, în special, de curentul de preîncălzire și de cel de regim, precum și de numărul de ore de funcționare t_f [h] ce revine în medie uneia din cele n_a amorsări ale lămpii (fig. 2.4).

Regimul de funcționare al lămpilor fluorescente este puternic influențat de temperatura mediului ambiant, de turbulențele atmosferice și tipul corpului de iluminat, care poate fi închis (A) sau deschis (B) (fig. 2.5). Fluxul luminos maxim se obține când temperatura părții celei mai reci a lămpii este de circa 40 [°C], ceea ce

corespunde unei temperaturi a mediului ambiant de $\theta_a = 25$ [°C]. În această situație, presiunea vaporilor de mercur este optimă pentru radiațiile ultraviolete de 253,7 [nm].

Dacă temperatura scade mercurul se vaporizează în cantități insuficiente, radiațiile ultraviolete ale descărcării se reduc și se va micșora fluxul luminos al lămpii.

La temperaturi sub zero grade începe procesul de condensare a vaporilor de mercur și performanțele sursei de lumină se diminuează apreciabil. La temperaturi ale mediului ambiant ce depășesc 25 [°C] crește presiunea parțială a vaporilor de mercur, deci și procentul de radiații ultraviolete ($\lambda = 253,7$ [nm]) ceea ce conduce la scăderea eficacității luminoase.

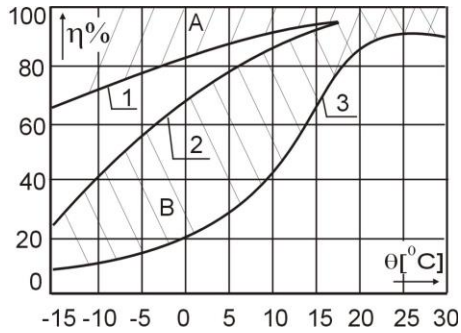


Fig. 2.5. Variația eficacității luminoase în funcție de temperatura mediului ambiant: 1 – lampă închisă expusă la vânt; 2 – lampă deschisă în mediu fără vânt; 3 – lampă deschisă în mediu cu vânt

Caracteristicile de funcționare ale montajelor cu lămpi fluorescente obținute prin modificarea tensiunii de alimentare sunt prezentate în fig. 2.6. Din examinarea dependențelor grafice se desprind următoarele concluzii:

- majoritatea parametrilor de funcționare se modifică în același sens cu tensiunea de alimentare; excepție face eficacitatea luminoasă a montajului ce scade la creșterea tensiunii de lucru. Acest comportament este o consecință a vitezelor de creștere diferite ale puterii și fluxului luminos.

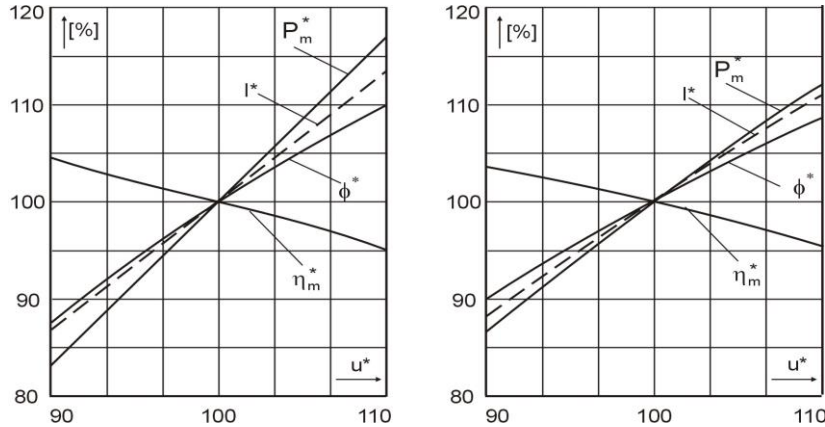


Fig. 2.6 Caracteristicile de funcționare ale lămpilor fluorescente în montaj cu balast inductiv (a) și capacitiv (b). I^* - curentul din circuit, P_m^* - puterea montajului, ϕ^* - fluxul luminos, η_m^* - eficacitatea luminoasă a montajului (parametrii de funcționare în valori relative procentuale)

- durata de funcționare se diminuează pentru tensiuni de lucru diferite de cea nominală. Astfel, la supravoltarea lămpii crește curentul prin filamente, iar la subvoltarea acesteia crește durata amorsării. Ambele situații conduc la o uzură prematură a materialului termoemisiv depus pe filamentele dublu spiralate. Scăderea mică a acestui parametru de funcționare se obține atunci când abaterile tensiunii de alimentare sunt sub $\pm 6..7\%$.
- montajele cu balast capacitiv, comparativ cu cele cu balast inductiv, au o dispersie a parametrilor de funcționare mai redusă pentru aceeași plajă de variație a tensiunii de rețea.

Acest comportament este o consecință a alurii caracteristicilor externe ale balasturilor trasate (fig. 2.7) conform relației

$$U_{be}^2 = U_s^2 - U_b^2 = f(I)$$

în care:

$U_s = 0,9 U_n$, $U_s = 1,1 U_n$ - tensiunile limită ale sursei de alimentare

U_b - căderea de tensiune pe bobina de balast, a cărei valoare se extrage din caracteristica statică volt-ampere $U_b = f(I_s)$.

Din figură se observă că plaja de variație a curentului prin lampă la montajele cu balast capacitiv (ΔI_c) este mai restrânsă față de montajele cu balast inductiv (ΔI_b). Panta tangentelor la caracteristicile externe corespunzătoare punctului stabil de funcționare, este mai mare la montajele cu balast capacitiv și deci acestea au proprietăți dinamice de stabilitate mai bune.

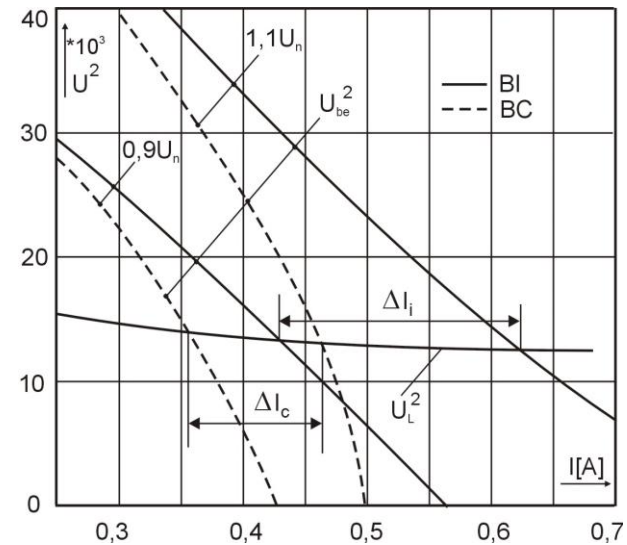


Fig. 2.7. Stabilizarea punctului de funcționare al lămpii la modificarea tensiunii de alimentare pentru montajele cu balast inductiv (BI) și capacitiv (BC)

4. Caracteristicile de funcționare ale lămpilor cu descărcări în vapori metalici la înaltă presiune

Sursele de lumină ce lucrează în regim de arc la înaltă presiune (lămpi cu vapori de mercur, sodiu, halogenuri metalice etc) au un regim tranzitoriu ce depinde atât de tipul, cât și de puterea sursei de lumină analizate. Deoarece parametrii de funcționare au valori și legi de variație specifice pe durata regimului de amorsare, normele în vigoare recomandă ridicarea atât a caracteristicilor de regim tranzitoriu, cât și a celor de funcționare (de regim staționar) descrise de

$$x^* = F(t) \text{ și } x^* = F(u^*)$$

în care t este timpul necesar, măsurat din momentul conectării, după care parametrul analizat ajunge la o valoare stabilizată.

În cazul lămpilor fluorescente cu vapori de mercur la înaltă presiune, caracteristicile de regim tranzitoriu și cele de funcționare au aspectul din figura 2.8. Pe durata amorsării curentul este cu circa 40% mai mare ca cel de regim, iar puterea se modifică între 40% și 100%. Fluxul luminos și tensiunea la bornele lămpii (U_{al}) au aproximativ aceeași lege de variație, cu observația că tensiunea de amorsare (U_{al}) depinde nelinier de temperatura θ_a a mediului ambiant (fig. 2.9). Caracteristicile de funcționare se modifică în același sens cu tensiunea de alimentare și întrucât fluxul luminos și puterea montajului au viteze de variație aproximativ egale, eficacitatea luminoasă a montajului este puțin dependentă de fluctuațiile tensiunii de alimentare.

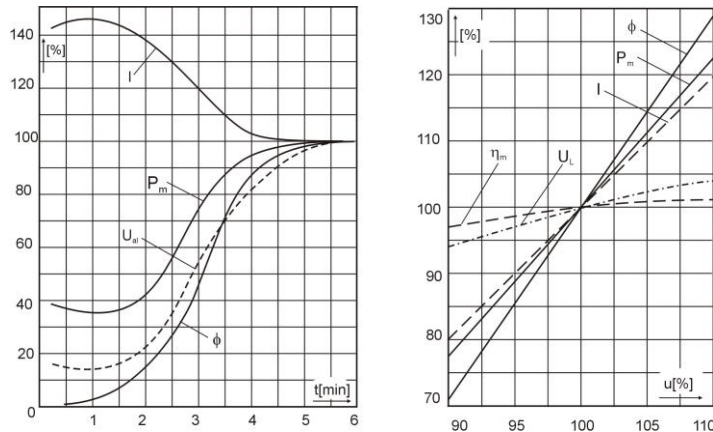


Fig. 2.8. Caracteristicile de regim tranzitoriu (a) și de funcționare (b) ale montajelor cu lămpi fluorescente cu vapori de mercur de înaltă presiune

Lămpile vapori de mercur de înaltă presiune, cu lumină neagră sau cu lumină mixtă au caracteristici similare cu cele prezentate anterior. Excepție face lampa cu lumină mixtă la care fluxul luminos de regim tranzitoriu este superior celui de regim staționar, deoarece balastul utilizat este cu filament metalic, a cărui rezistență se modifică nelinier cu temperatura.

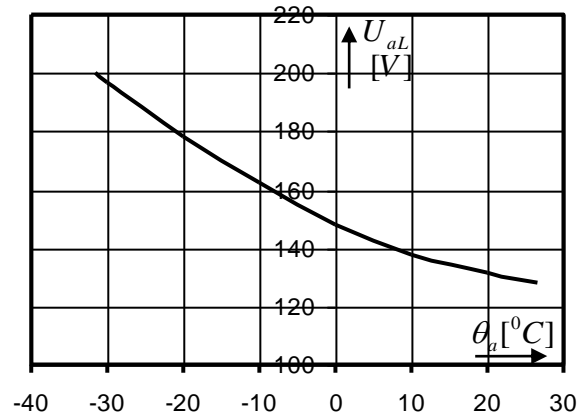


Fig. 2.9. Dependența dintre tensiunea de amorsare a lămpii LVF și temperatura mediului ambiant

Caracteristicile de regim tranzitoriu (fig. 2.10a) ale lămpilor cu vapori de sodiu de înaltă presiune au, în principiu, același aspect ca și în cazul lămpilor fluorescente cu vapori de mercur la înaltă presiune.

Deosebirea esențială constă în aceea că tensiunea de amorsare U_{al} este practic independentă de temperatura mediului ambiant, deoarece este furnizată de ignitere de diverse tipuri constructive (cu transformator de impuls, cu tiristor etc).

Caracteristicile de funcționare (fig. 2.10.b) sunt liniare, se modifică în același sens cu tensiunea de alimentare, iar eficacitatea luminoasă a lămpii este puțin influențată de tensiunea de alimentare. Afirmația rămâne valabilă și pentru eficacitatea luminoasă a montajului deoarece pierderile de putere pe balast (ΔP_b) deși se modifică parabolic cu tensiunea rețelei, au o pondere constantă (8..12%) în puterea absorbită P_m

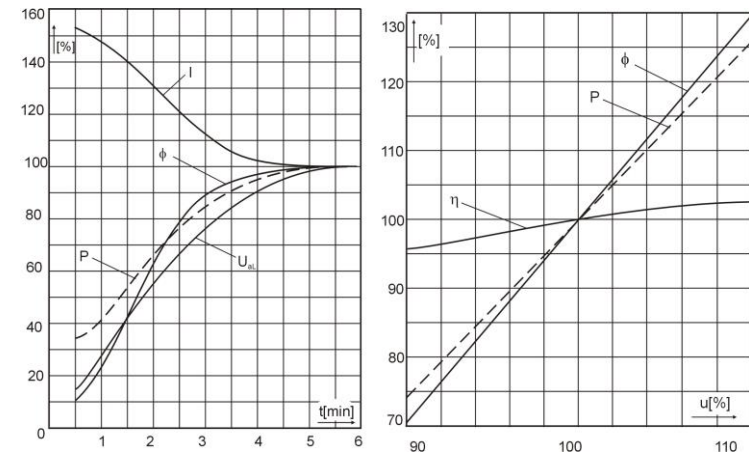


Fig. 2.10 Caracteristicile de regim tranzitoriu (a) și de funcționare (b) ale montajelor cu lămpi cu vapori de sodiu la înaltă presiune

5. Mod de lucru în laborator

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

- cunoașterea principiului de funcționare al lămpilor cu incandescență, al lămpilor fluorescente și al lămpilor cu descărcare în arc la înaltă presiune.
- trasarea caracteristicilor de funcționare ale lămpilor cu incandescență clasice și cu ciclu regenerativ de iod.
- trasarea caracteristicilor de funcționare ale tuburilor fluorescente în montaj cu balast inductiv și în montaj cu balast capacitiv.
- trasarea caracteristicilor de funcționare ale lămpilor fluorescente compacte .
- trasarea caracteristicilor de funcționare ale lămpilor LED.
- trasarea caracteristicilor de regim tranzitoriu pentru montajele cu lămpi fluorescente cu vapori de mercur la înaltă presiune, precum și pentru lămpile cu lumină mixtă.
- trasarea caracteristicilor de regim tranzitoriu pentru montajele cu lămpi cu vapori de sodiu la înaltă presiune .
- se consemnează concluziile rezultate din studiul efectuat.

Experimentele se efectuează pe instalația din laborator a cărei module se alimentează de la rețea, succesiv, prin intermediul unui autotransformator (fig. 2.11).

Valorile nominale ale parametrilor de funcționare se consideră pentru $U_n = 230$ V, iar plaja de variație a tensiunii de alimentare va fi între 200V și 250V, cu un ecart de 10V între citiri. Datele de regim tranzitoriu se referă la citiri din 10 în 10 de secunde pentru montajul alimentat la tensiune nominală (230V) și vor avea o durată totală de 5..10 minute în funcție de lampa testată.

La estimarea fluxului luminos se va determina o mărime proporțională cu acesta și anume iluminarea E pe suprafața S a fotocelulei luxmetrului, la o distanță dată față de sursa de lumină. Dacă E și E_n sunt iluminările la tensiunile U și U_n atunci:

$$\phi^* = \phi / \phi_n = E \cdot S / E_n \cdot S = E / E_n = E^*$$

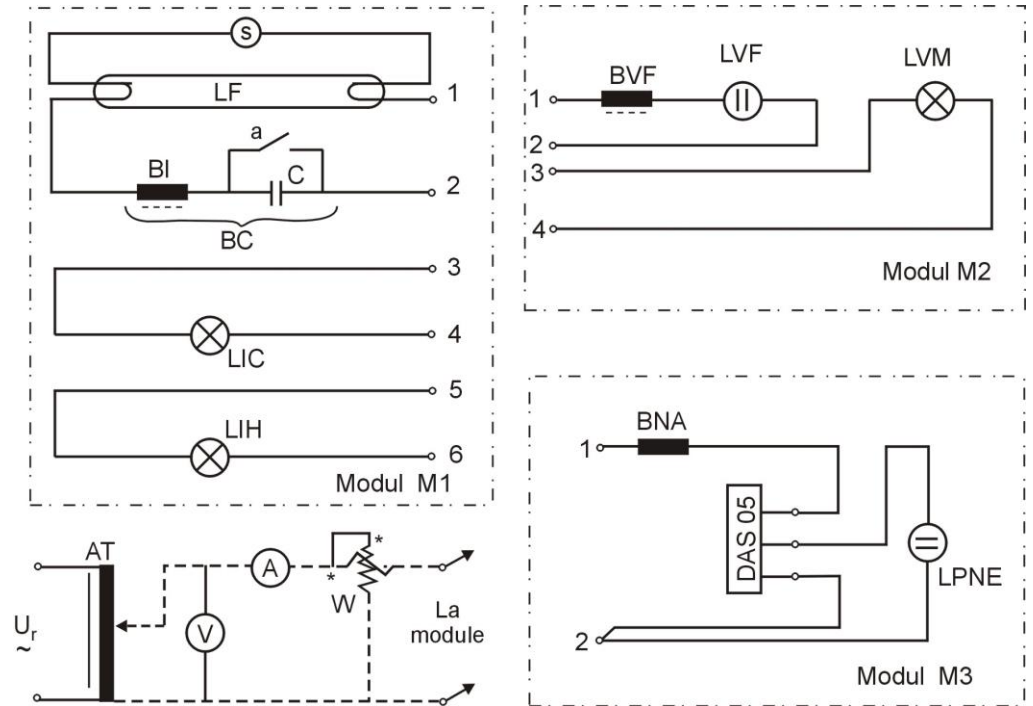


Fig. 2.11. Montaj pentru determinarea parametrilor de regim tranzitoriu și de funcționare ai surselor de lumină

- Modul M1: S – starter, LF – lampă fluorescentă, BI – balast inductiv, BC – balast capacitiv, a – întrerupător. LIC – lampă cu incandescență clasică sau lampă fluorescentă compactă, LIH - lampă cu incandescență cu halogen,
- Modul M2: LVF - lampă fluorescentă cu vapori de mercur la înaltă presiune, BVF – balast pentru lampa LVF, LVM – lampă cu lumină mixtă,
- Modul M3: LPNE – lampă cu vapori de sodiu cu anvelopă ovoidală mătușă, BNA – balast pentru lampă LPN, DAS05 – ignitor cu transformator de impuls.
- AT – autotransformator, A – ampermetru, V – voltmetru, W – wattmetru.
- 1,2 ... – conector șir cleme.
- conexiuni realizate.
- conexiuni de realizat.