

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 6.
RIDICAREA CARACTERISTICII VOLT-AMPERICE ȘI DETERMINAREA REZISTENȚEI
DE POLARIZARE A DIODEI LUMINISCENTE

I. Succint teorie.

Diagrama benzilor de energie. Cunoaștem, că materialele sunt formate din atomi, în interiorul cărora sunt electroni care se mișcă pe orbite staționare în jurul nucleului. Fiecare orbită corespunde unei anumite valori a energiei electronului, ceea ce înseamnă că un atom posedă doar nivele discrete de energie (K, L, M, N,...(fig. 1)). Proprietățile semiconductoarelor sunt dictate de electronii care se află în atomi pe cele mai exterioare orbite. În semiconductori se disting două benzi energetice: banda de valență (de energii joase) și banda de conducție (de energii mai mari). Ele sunt separate printr-o bandă interzisă, în care nu există nivele energetice permise pentru purtători de sarcină.

Dacă electronii primesc careva energie ei pot fi excitați suficient pentru a sări din banda de valență peste banda interzisă și să ocupe nivele energetice în banda de conducție. Electronii ce reușesc trecerea în BC lasă în urma sa în BV așa numite goluri (echivalente cu sarcini electrice pozitive).

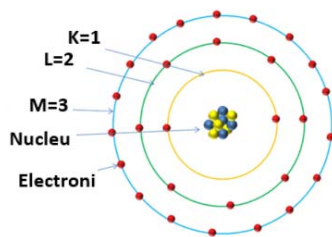


Fig. 1. Electronii și orbitele în jurul nucleului

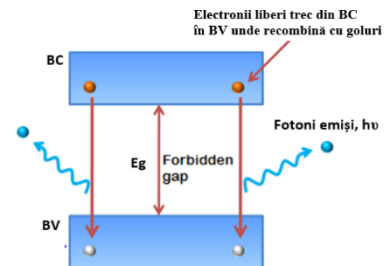


Fig 2. Procesul de iradiere luminoasă a unui semiconductor

Însă procesul poate fi reversibil, când un electron din BC pierde din energie el este obligat să revină pe un nivel de energie respectiv, care este în BV. Trecând în noua poziție (fig. 1, 2), electronul eliberează surplusul de energie sub forma de căldură sau cantă de energie numită foton. Relația dintre variația de energie, ΔE , energia fotonului, E_{ph} și lungimea de undă:

$$\Delta E = E_{ph} = hc/\lambda \tag{1}$$

Deoarece la procesul de radiație (emisie) pot participa mai multe nivele energetice din BC și BV, lungimile de unde radiate pot fi multiple. Astfel scriem $E_{ph} \geq E_g$, sau $\lambda_i \leq hc/E_g$. În caz, că E_g este măsurată în eV, iar λ în nm, atunci

$$\lambda_i \leq 1248/E_g \tag{2}$$

Rezultatul acestei radiații fiind un spectru relativ larg de luminiscentă de $\Delta\lambda$ (fig. 3) a luminii emise de un material semiconductor, intervalul spectrului care depinde de însăși materialul semiconductor (de E_g).

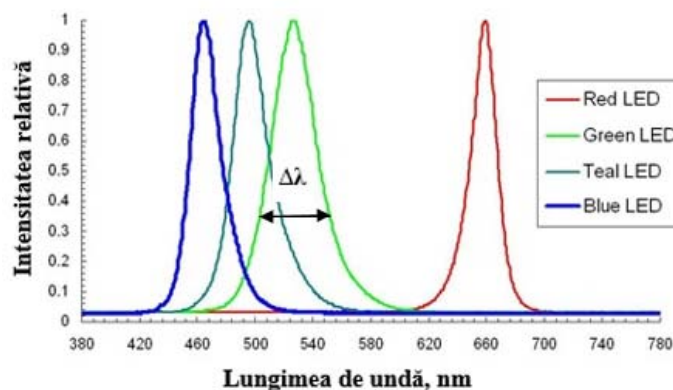


Figura 3. Distribuția spectrală a emisieii LED

Luminiscenta poate avea loc sub actiunea campului electric (electroluminiscenta), temperaturii (termoluminiscenta), etc. Ca si in fotoconducție, amplificarea efectului poate fi realizată prin utilizarea unei $p-n$ jonctiuni (fig. 4). O dioda electroluminiscenta pe baza de $p-n$ jonctiune operează ca si o dioda $p-n$ la polarizarea directa. Conform caracteristicii spectrului emis astfel de diode se clasifica in cele pentru spectrul vizibil si infraroșii.

Construcția lor este similară diodelor, excepție fiind spectrul de material utilizat. În diode electroluminiscente nu se utilizează Ge sau Si, deoarece la tranzițiile electronilor din BC în BV ele nu emit sub forma de lumină, dar alte materiale semiconductoare emit lumină, de exemplu semiconductoare binare (GaP, ZnO, ZnTe, CdS, SiC, GaN), ternare (Ga-As-P), quaternare (GaAs-ErYb), etc.

Fenomenul descris succint demonstrează convertirea energiei electrice în energie optică. Pe fenomenul expus mai sus sunt bazate dispozitivele semiconductoare numite LED (*Light Emitting Diode*).

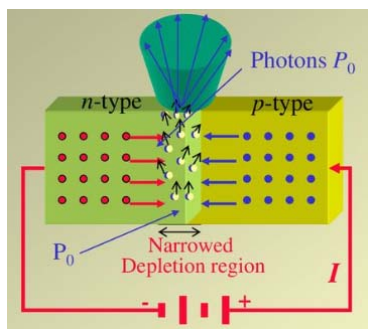


Fig. 4. Structura LED pe baza $p-n$ jonctiunii

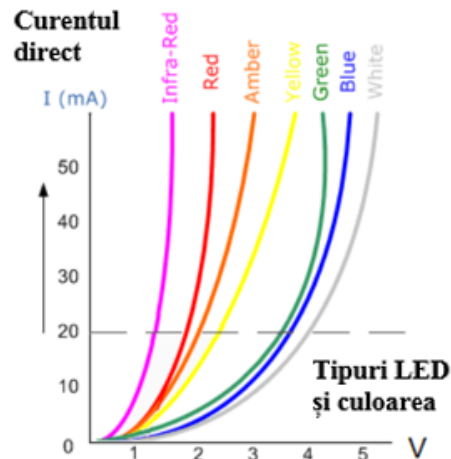


Fig. 5. Caracteristicile I-V ale diferitelor LED-uri.

Când electronii liberi ajung la jonctiune sau în regiunea săracită din partea n, unii recombină cu ionii pozitivi din această regiune. Similar, golurile recombină în regiunea p cu electronii. Datorită recombinației lățimea regiunii săracite se va micșora dând posibilitate ca mai mulți purtători de sarcină să traverseze jonctiunea $p-n$.

În procesul de recombinație are loc eliberarea energiei electronilor recombinăți sub forma de energie termică (recombinație neradiativă) sau *emitere spontană* de cuante de lumină (recombinație radiativă). În realitate, în orice dioda au loc ambele tipuri de recombinații; când majoritatea recombinațiilor sunt radiative, avem un LED. Curentul direct injectează electroni în regiunea săracită de purtători, unde ei se recombină cu golurile în mod radiativ sau neradiativ. Prin urmare, recombinațiile neradiative "consumă" din electronii excitați necesari recombinației radiative, ceea ce scade eficiența procesului. Acest fapt se caracterizează prin eficiența cuantică internă. Puterea optică produsă de $p-n$ jonctiune va fi:

$$P_0 = I \frac{\eta_{int}}{q} hf = I \frac{\eta_{int} hc}{q\lambda} \quad (3)$$

Caracteristicile diodelor LED. Figura 5 reflectă caracteristicile volt-amperice aproximative ale diodelor LED cu diferite lungimi de undă de emisie. Fiecare curbă este corespunzătoare unui anume tip de LED. Curentul printr-o dioda electroluminiscentă este descrisă de relația:

$$I_{ph} = I_s e^{qV/\gamma kT} \quad (4)$$

unde γ – coeficient, cu valori de unitate când predomină curentul de difuziune, și egal cu 2 – când component de recombinație în proces este predominantă. Tensiunea care cade pe o dioda electroluminiscentă în regim de generare a fluxului luminos depinde de lărgimea benzii interzise și de nivelele de dopare.

Altă caracteristică importantă a LED este eficiența cuantică externă:

$$\eta_{ext} = F n^2 / 4n_x^2 \quad (5)$$

unde F – factorul de transmisie dispozitiv- interfața externă;
 n – indicele de refracție al mediului cuplat;

n_x – indicele de refracția al materialului dispozitivului.

Mecanismele pierderilor ce pot afecta eficiența cuantică externă:

- ✓ absorbția în LED;
- ✓ pierderile Fresnel – parte a luminii reflectate, coeficientul de reflecție fiind $R = [(n_2 - n_1)/(n_2 + n_1)]^2$;
- ✓ unghiul critic de pierdere: toată lumina incidentă va fi reflectată dacă unghiul de incidență va fi mai mare ca unghiul critic.

Caracteristica de directivitate (fig. 6), în coordonate polare și în coordonate liniare, indică variația intensității de emisie a radiației în funcție de unghiul față de axa optică a diodei. LED-urile au de regulă lentile care direcționează fascicolul luminos.

Eficiența puterii emise de LED. Puterea optică emisă:

$$P_e = P_o F n^2 / 4n_x^2 \quad (6)$$

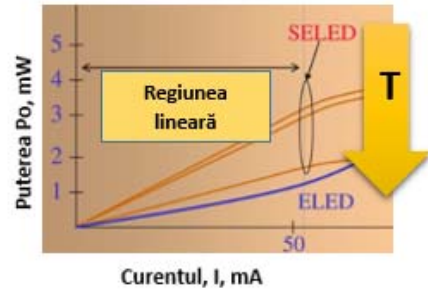
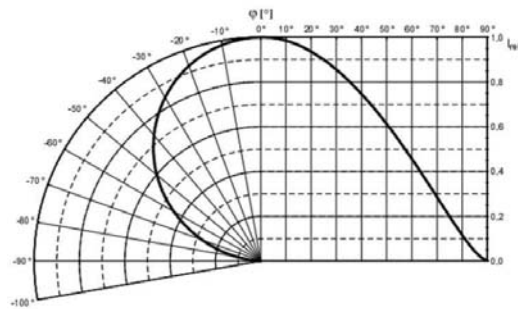


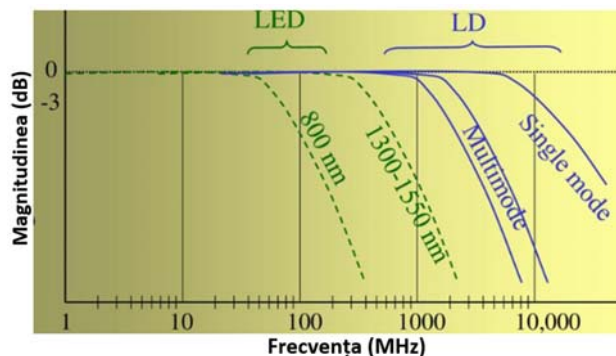
Fig. 6. Caracteristica de directivitate a LED Fig. 7. Puterea emisă în funcție de curentul prin LED

Eficiența puterii externe:

$$\eta = p_e / P \times 100\% \quad (7)$$

Caracteristica puterii emise în funcție de curentul prin diferite tipuri de dispozitive este reprezentată în fig. 7.

Ca și orice diodă, LED se comportă diferit la frecvențe diverse de lucru, ce este dictat de circuitul echivalent al dispozitivului. Răspunsul LED în funcție de frecvență este reprezentată în figura 8.



Caracteristicile tipice ale Led-urilor

Materialul Semiconductor	Lungimea de undă	Culoarea	V_F @ 20mA
GaAs	850-940nm	Infra-Red	1.2v
GaAsP	630-660nm	Red	1.8v
GaAsP	605-620nm	Amber	2.0v
GaAsP:N	585-595nm	Yellow	2.2v
AlGaP	550-570nm	Green	3.5v
SiC	430-505nm	Blue	3.6v
GaN	450nm	White	4.0v

Fig. 8. Răspunsul LED-uri în funcție de frecvența de lucru Fig. 9. Caracteristicile LED-uri tipice

Criterii de clasificare ale LED-urilor. Pot fi clasificate în funcție de culorile care emit, trăsăturile de suprafață exterioară, structura, intensitatea luminoasă, curentul de funcționare, materialul cipului, funcția...

1. Conform culorilor de lumină ale diodei (fig. 9): LED-urile emit în diferite lungimi de undă, clasificându-se astfel în: roșu, portocaliu, verde (subdividă în galben-verde, verde standard și verde pur), albastru ș.a.

Unele LED-uri au cipuri care poartă două sau trei culori. În plus, corpul LED-urilor poate avea sau nu un obiect pentru împrăștierea luminii, poate fi colorat sau incolor, astfel, LED-ul poate fi clasificat și în următoarele patru tipuri: transparent colorat, transparent incolor, împrăștiere colorată și împrăștiere incoloră. Pentru obținerea luminii albe sunt 3 căi de combinare/ transformare a spectrelor LED (fig. 10).

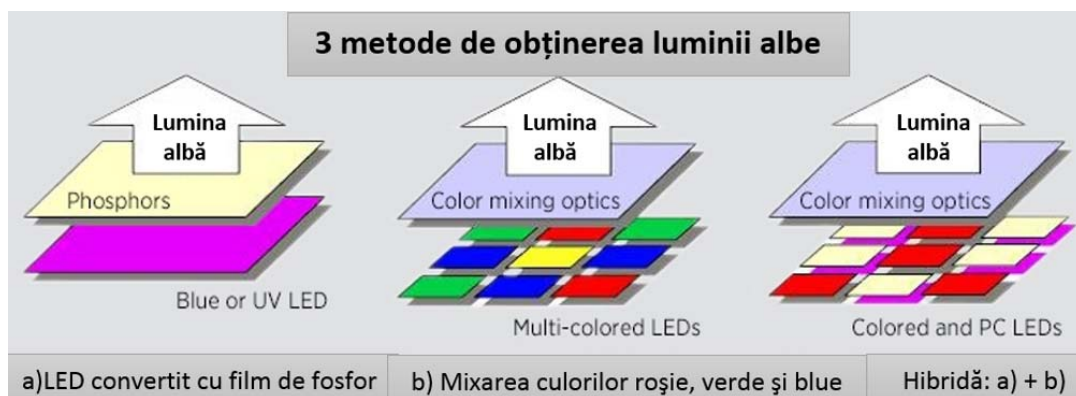


Figura 10. Două moduri de obținere a luminii albe cu LED-uri RGB

2. În funcție de vederea exterioară (corp de plastic) LED-ul poate fi clasificat în: rotund, pătrat, dreptunghiular, de suprafață, lateral, subminiatural de montare pe suprafață ș.a.m.d.

LED-ul rotund poate fi împărțit în următoarele tipuri în funcție de diametrul său: 2 mm, 4.4 mm, 5 mm, 8 mm, 10 mm și 20 mm ș.a.m.d. LED-ul rotund cu diametrul de 3 mm este în general notat ca T-1, 5 mm - T-1 (3/4) și 4 mm notat ca T-1 (1/4).

Starea de distribuție a unghiului de intensitate luminoasă a LED-ului rotund poate fi evaluată în funcție de valoarea unghiului său de vizualizare. Următoarele trei tipuri sunt clasificate în funcție de distribuția unghiului a intensității luminoase:

- ✓ LED de înaltă directivitate: Au în general, ambalaje epoxice cu cap ascuțit sau ambalaje ale cavității de reflecție a metalului, de obicei fără agent de disipare a luminii. Unghiul de vizualizare de acest tip de LED variază între 5° și 20° sau chiar mai mic. Cu o directivitate ridicată, poate fi utilizat ca sursă de iluminare locală sau pentru a construi un sistem automat de detectare împreună cu o mașină de detectare a luminii.
- ✓ LED tip standard: este utilizat ca lampă indicatoare. Unghiul de vizualizare variază între 20° și 45° .
- ✓ LED tip de împrăștiere: este de obicei aplicat ca o lampă indicator care are un unghi de vizualizare relativ mai mare, care variază între 45° și 90° sau chiar mai mare. Are mai mult agent de disipare a luminii decât celelalte tipuri.

3. Conform structurii, LED-urile pot fi clasificate în ambalaje din rășină epoxidică completă, bază metalică, ambalaje din rășină epoxidică cu bază ceramică și ambalaje din sticlă.

4. Conform intensității luminoase și a curentului de funcționare.

În funcție de intensitatea luminoasă, există LED-uri standard de luminozitate (cu intensitate luminoasă < 10 mcd), LED-uri de înaltă luminozitate (cu intensitate luminoasă între 10 mcd și 100 mcd) și LED-uri de luminozitate ultramarie (cu intensitate luminoasă > 100 mcd).

LED-ul poate fi, de asemenea, împărțit în două tipuri în funcție de curentul său de funcționare:

- tip standard care rulează la un curent de operare de 10 mA - zeci mA;
- cu curent mic, care rulează la un curent de funcționare sub 2 mA (cu aceeași luminozitate ca LED-ul standard).

Avantajele LED-urilor.

Eficiență: LED-urile emit mai mulți lumeni/W decât becurile incandescente. Eficiența corpurilor de iluminat cu LED nu este afectată de formă și dimensiune, contrar becurilor sau tuburilor fluorescente.

Culoare: LED-urile pot emite o lumină de culoare dorită, fără a utiliza filtre de culori, după cum au nevoie de metodele tradiționale de iluminare. Acest lucru este mai eficient și poate scădea costurile inițiale.

Dimensiune: LED-urile pot fi foarte mici (mai mici de 2 mm^2 și se pot atașa cu ușurință pe plăcile de circuit imprimat.

Timp de încălzire: LED-urile se aprind foarte repede. Un indicator LED tipic roșu atinge luminozitatea sub o microsecundă. LED-urile utilizate în dispozitivele de comunicații pot avea timpi de răspuns și mai rapide.

Ciclism: LED-urile sunt ideale pentru utilizări care fac obiectul unei cicluri de on-off frecvente, spre deosebire de lămpile incandescente și fluorescente care se defectează mai rapid atunci când sunt cicluate des sau pentru lămpile de descărcare de mare intensitate (lămpi HID) care necesită mult timp înainte de repornirea.

Dimensionare: LED-urile pot fi foarte ușor întunecate fie prin modularea lățimii pulsului, fie prin scăderea curentului înainte. Această modulare a lățimii pulsului este motivul pentru care luminile LED, în special farurile de pe mașini, când sunt privite pe cameră sau de către unii oameni, par să clipească sau să clipească. Acesta este un tip de efect stroboscopic.

Lumina rece: Spre deosebire de majoritatea surselor de lumină, LED-urile radiază foarte puțină căldură sub formă de IR care poate provoca deteriorarea obiectelor sau țesăturilor sensibile. Energia cheltuită este dispersată sub formă de căldură prin baza LED-ului.

Eșec lent: LED-urile eșuează în principal prin întunecarea în timp, mai degrabă decât eșecul brusc al becurilor incandescente.

Durata de viață: LED-urile pot avea o durată de viață relativ lungă. Un raport estimează 35.000 - 50.000 de ore de viață utilă, deși timpul până la eșecul complet poate fi mai scurt sau mai lung. Tuburile fluorescente sunt, de obicei, evaluate la aproximativ 10.000 - 25.000 ore, depinzând parțial de condițiile de utilizare și becuri incandescente la 1.000 - 2.000 ore. Mai multe demonstrații DOE au arătat că costurile reduse de întreținere din această durată de viață prelungită, mai degrabă decât economiile de energie, sunt factorul principal în determinarea perioadei de rambursare a unui produs cu LED.

Rezistență la șocuri: LED-urile, fiind componente în stare solidă, sunt greu de deteriorat cu șocurile exterioare, spre deosebire de becurile fluorescente și incandescente, care sunt fragile.

Focusarea: Corpul solid al LED-ului poate fi proiectat pentru a-și focaliza lumina. Sursele incandescente și fluorescente necesită adesea un reflector extern pentru a colecta lumina și a-l dirija într-o manieră utilizabilă. Pentru pachete cu LED-uri mai mari, lentilele de reflexie internă totală (TIR) sunt adesea folosite cu același efect.

Dezavantaje.

Dependența de temperatură: performanța LED depinde în mare măsură de temperatura mediului de funcționare. Suprasolicitarea unui LED la temperaturi ambientale ridicate poate duce la supraîncălzire cu defectarea lor. Pentru a menține o durată lungă de exploatare, este necesar un radiator adecvat. Acest lucru este deosebit de important în utilizări auto, medicale și militare, unde dispozitivele trebuie să funcționeze într-o gamă largă de temperaturi.

Sensibilitate la tensiune: LED-urile trebuie să fie alimentate cu o tensiune peste pragul lor și un curent sub valoarea lor. Curentul și durata de viață se schimbă foarte mult cu o modificare mică a tensiunii aplicate. Acestea necesită astfel o alimentare stabilizată de curent (de obicei conectarea în serie doar unui rezistor de serie pentru LED-urile indicator).

Redarea culorilor: Majoritatea LED-urilor alb-strălucitoare au spectre care diferă semnificativ. Maximul la 460 nm și minimul la 500 nm pot face ca culoarea obiectelor să apară diferit la iluminarea LED-ului alb-rece decât a luminii solare sau a surselor incandescente.

Calitatea redării culorilor unui LED este măsurată prin indicii de redare a culorilor (CRI).

Aria sursei de lumină: LED-urile sunt sursă punctiformă de lumină ce oferă o distribuție sferică a luminii, ci mai degrabă o distribuție lambertiană. Deci, LED-urile sunt dificil de aplicat pentru utilizările care au nevoie de un câmp de lumină sferică; cu toate acestea pot fi manipulate prin aplicarea diferitelor optici sau „lentile”. LED-urile nu pot oferi divergență sub câteva grade.

Poluarea luminoasă: Deoarece LED-urile albe emit mai multă lumină de lungime de undă mai scurtă, decât lămpile cu vapori de sodiu de înaltă presiune, sensibilitatea crescută albastră și verde a vederii scotopice înseamnă că LED-urile albe utilizate în iluminarea exterioară provoacă mult mai multă strălucire a cerului.

Eficiență ridicată: eficiența LED-urilor scade odată cu creșterea curentului electric. Încălzirea crește de asemenea curenții ce compromite durata de viață a LED-urilor. Aceste efecte pun limite practice asupra curentului printr-un LED în aplicații de mare putere.

Utilizare în condiții de iarnă: întrucât nu degajă prea multă căldură în comparație cu luminile incandescente, luminile LED utilizate pentru controlul traficului pot păstra pe ele urme de zăpadă care să-i întunece, ducând la accidente.

Scurgere termică: Șirurile paralele ale LED-urilor nu vor împărți curent în mod uniform datorită toleranțelor de fabricație în tensiunea lor înainte. Rularea a două sau mai multe șiruri dintr-o singură sursă de curent poate duce la defectarea LED-urilor pe măsură ce dispozitivele se încălzesc. Dacă legătura de tensiune înainte nu este posibilă, este necesar un circuit care să asigure distribuția uniformă a curentului între cablurile paralele.

II. REALIZAREA LUCRĂRII. (asamblarea circuitului și/sau simularea – la indicația cadrului didactic)

II-a. TRASAREA CARACTERISTICII STATICE PENTRU LED-uri

- **OBIECTIVE:**
 - o Realizarea montajului corespunzător schemei electronice;
 - o Măsurarea corectă a mărimilor electrice din circuit;
 - o Trasarea corectă, prin puncte, a caracteristicii statice.
- **RESURSE:**
 - o Multimetre digitale;
 - o Conductoare; Rezistoare: R=1K ; LED-uri (roșu, verde);
 - o Plăcheta de asamblare;
 - o Sursă de alimentare de c.c. reglabilă.

1. Se realizează practic montajul din figura 11;

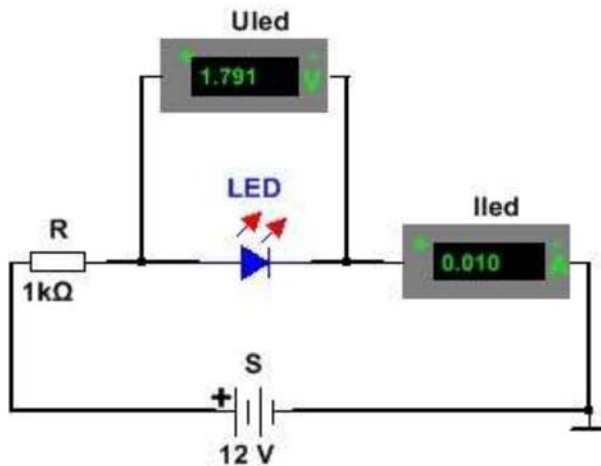


Figura 11. Circuit pentru trasarea caracteristicii statice a unui LED

2. Se reglează sursa S la valorile indicate în tabelul 1;
3. Se notează în tabelul 1 valorile indicate de aparatele de măsură;
4. Se înlocuiește LED-ul ROȘU cu LED-ul VERDE și se reiau operațiile de la pct. 2 și 3;
5. Pe baza valorilor notate în tabel se trasează prin puncte caracteristicile statice $I_{led} = f(U_{led})$ a celor două LED-uri în sistemul de coordonate din fig. 12.

TABELUL 1

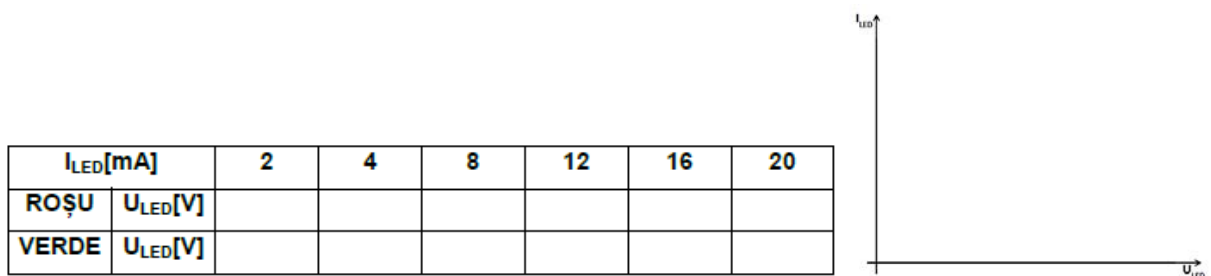


Figura 12. Graficul caracteristicii statice a LED-urilor studiate

II-B. DETERMINAREA REZISTENȚEI DE POLARIZARE A LED-URILOR

6. Se realizează cu ajutorul simulatorului schema din figura 13.
7. Considerând: $U_{led} = 1,7 V$ și $I_{led} = 10 mA$ se calculează valoarea rezistenței de polarizare a LED:

$$R[\Omega] = \frac{U_S - (U_{LED1} + U_{LED2} + U_{LED3})}{I_{LED}[mA]} \cdot 1000$$

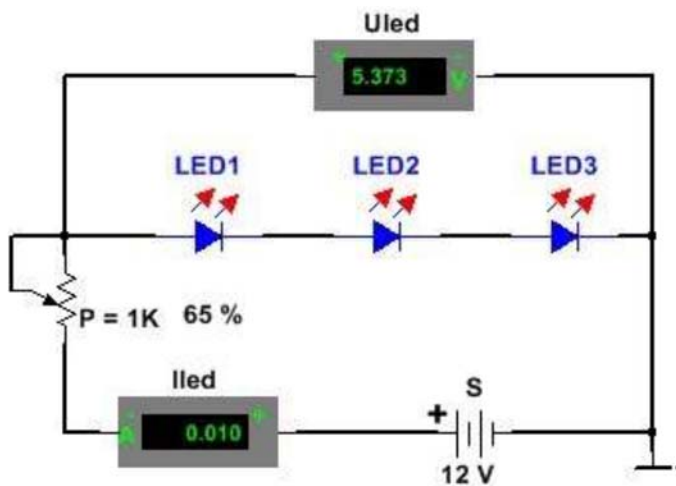


Figura 13. Conectarea LED-urilor în serie

8. Se realizează (practic sau simulare) montajul conform schemei din figura 13 în care se înlocuiește potențiometrul P cu un rezistor care are valoare apropiată de valoarea calculată la pct. 7;
9. Se citesc valorile indicate de multimetrele din circuit și se compară aceste valori cu cele indicate de multimetrele din schema realizată cu simulatorul;
10. Se realizează cu ajutorul simulatorului schema din figura 14;

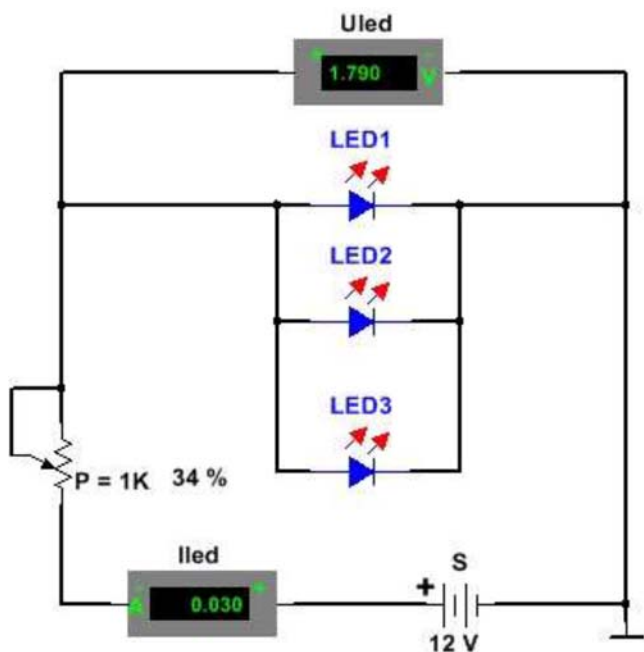


Figura 14. Conectarea LED-urilor în paralel

11. Considerând: $U_{led} = 1,7 \text{ V}$ și $I_{led} = 10 \text{ mA}$ se calculează valoarea rezistenței de polarizare a LED-urilor cu formula:

$$R[\Omega] = \frac{U_S - U_{LED}}{3 \cdot I_{LED}[\text{mA}]} \cdot 1000$$

12. Se realizează practic montajul conform schemei din figura 14 în care se înlocuiește potențiometrul P cu un rezistor care are valoare apropiată de valoarea calculată la pct 11;
13. Se citesc valorile indicate de multimetrele din circuit și se compară aceste valori cu cele indicate de multimetrele din schema realizată cu simulatorul.

II-C. FORMULAÍ CONCLUZIILE RESPECTIVE.