

Semafor inteligent cu tehnologie LED pentru creșterea siguranței transportului feroviar

Raport științific si tehnic – Etapa I

Analiza tehnologiilor partenerilor și soluție de ansamblu ce asigură creșterea securității traficului feroviar

CUPRINS

1. Introducere	3
1.1. Scopul documentului	3
1.2. Rezumatul etapei	3
Activitatea 1.1. Studiul cerințelor de securitate și tehnice specifice produsului	3
Activitatea 1.2. Proiectarea conceptuală a asamblării inițiale a componentelor noului produs conform cerințelor și tehnologiilor partenerilor	8

1. Introducere

1.1 Scopul documentului

Scopul acestui document este de a prezenta cerințele de securitate și cele tehnice specifice produsului și de a detalia proiectarea conceptuală a asamblării inițiale a componentelor noului produs conform cerințelor și tehnologiilor partenerilor

Documentul se adresează liderilor și inginerilor din echipele de lucru și de asemenea reprezentanților autorității contractante.

1.2. Rezumatul etapei

Obiectivul central al proiectului SEMALED îl reprezintă creșterea competitivității unei entități economice (S.C. AMIRAS C&L IMPEX SRL Târgoviște), prin asimilarea rezultatelor CDI ale unei organizații de cercetare (Universitatea POLITEHNICA din București – Centrul de Metrologie și Ingineria Măsurării) și transferul final al produsului rezultat către piață.

Se urmărește dezvoltarea și experimentarea de la nivel TRL4 la TRL6 a unui prototip relevant, semaforul cu tehnologie LED, destinat unui domeniu de infrastructură critică, cel al infrastructurii feroviare, cu avantaje importante legate de fiabilitatea și siguranța traficului feroviar.

Pentru atingerea acestui obiectiv, în cadrul etapei curente au fost definite cerințele tehnice și de securitate ale noului prototip de semafor LED și s-a realizat proiectarea conceptuală a ansamblului pe baza tehnologiilor partenerilor.

2.1. Studiul cerințelor de securitate și tehnice specifice produsului

Pentru noul produs SC AMIRAS C& L IMPEX SRL a dezvoltat anterior o cercetare tehnologică prin care s-au formulat cerințele de concept tehnologic pentru semaforul electronic, s-a analizat funcționalitatea acestuia în condițiile impuse de semnalizarea feroviară și s-au realizat unele blocuri componente, pe baza produselor firmei din domeniul LED, care au fost testate în condiții de laborator.

S-au obținut informații utile pentru trecerea la fazele superioare TRL 5 și TRL 6, dintre acestea fiind de amintit: necesitatea folosirii unor LED-uri de putere cu fiabilitate ridicată (MTBF > 100.000 ore), o soluție pentru dimensionarea și dispunerea LED-urilor în modulul optic pentru asigurarea condițiilor de iluminare stabilite de standardele specifice semnalizării feroviare, un driver pentru noul modul LED care să asigure funcționarea corectă la toate nivelurile de tensiune din rețeaua feroviară, o soluție mecanică pentru structura semaforului astfel încât acesta să poată fi introdus, fără nici o intervenție suplimentară de natură mecanică sau electrică, în locul semafoarelor actuale prevăzute cu bec special cu incandescență.

Colectivul partenerului UPB are dezvoltate, pe baza cercetărilor proprii, module ce au fost cuprinse, în urma finalizării unor proiecte din cadrul Planului Național, în structura produselor coordonatorului, în special pentru echipamentele pentru iluminat stradal și pentru monitorizarea sistemelor de iluminat (Brevet de invenție nr.113284-B1, nr.113283-B1,

RO117290-B , 96-01344 A). S-au obținut rezultate privitoare la realizarea diferitelor structuri LED și soluții de folosire industrială, dezvoltarea și testarea unui driver pentru structuri LED până la 90W care asigură funcționarea pe întregul interval de tensiuni impus de structura feroviară actuală, și un modul de comandă cu microcontroler F28035.

Inițial, au fost avute în vedere următoarele cerințe de securitate și tehnice pentru semaforul feroviar cu LED:

- Nivelul de securitate 4 – SIL4 conform standardelor EN50126, EN50128, EN50129
- Modul electronic controlat în funcție de nivelul tensiunii de alimentare, care comandă mărirea curentului prin LED-urile ce emit culorile necesare de lumină;
- Circuite de protecție la: supracurenți, supratensiuni, supratemperatură, temperaturi negative extreme, tensiuni perturbatoare generate de liniile electrice din infrastructura feroviară;
- Sistem optic adecvat semnalizărilor feroviare, unde este necesar un fascicol luminos omogen cu un unghi de radiație controlat cu precizie. O soluție avută în vedere constă în folosirea lentilelor plan-convexe multiple (multilens) la care numărul de lentile să fie corelat cu numărul de LED-uri comandate de modulul electronic;
- Sistemul optic realizat astfel încât „Efectul Fantoma” , definit conform EN 12368, să fie minim ;
- Modulul cu LED-uri să aibă un indice redundant de minim doi, asigurând gradul de securitate ridicat specific produselor utilizate în semnalizările feroviare.

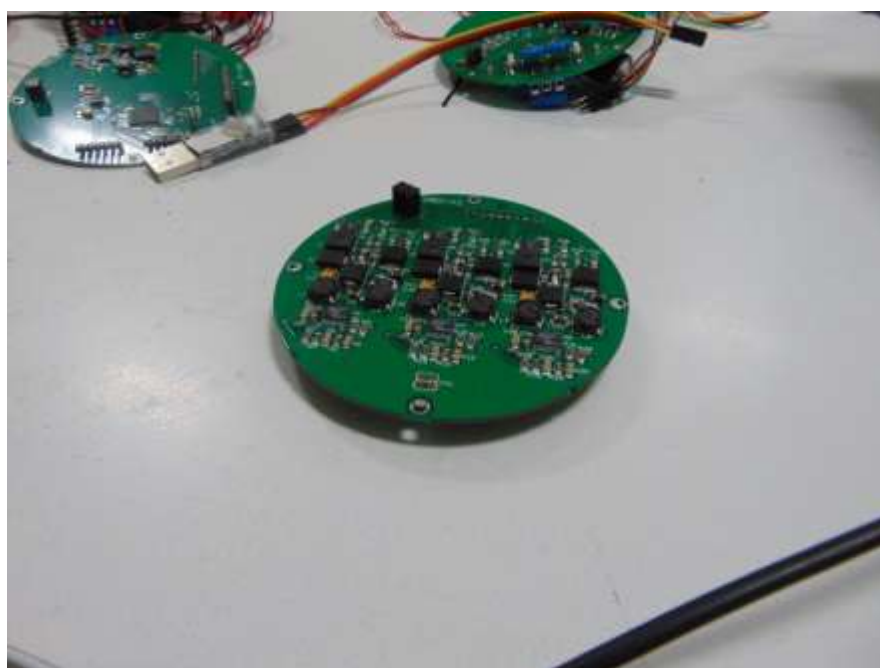
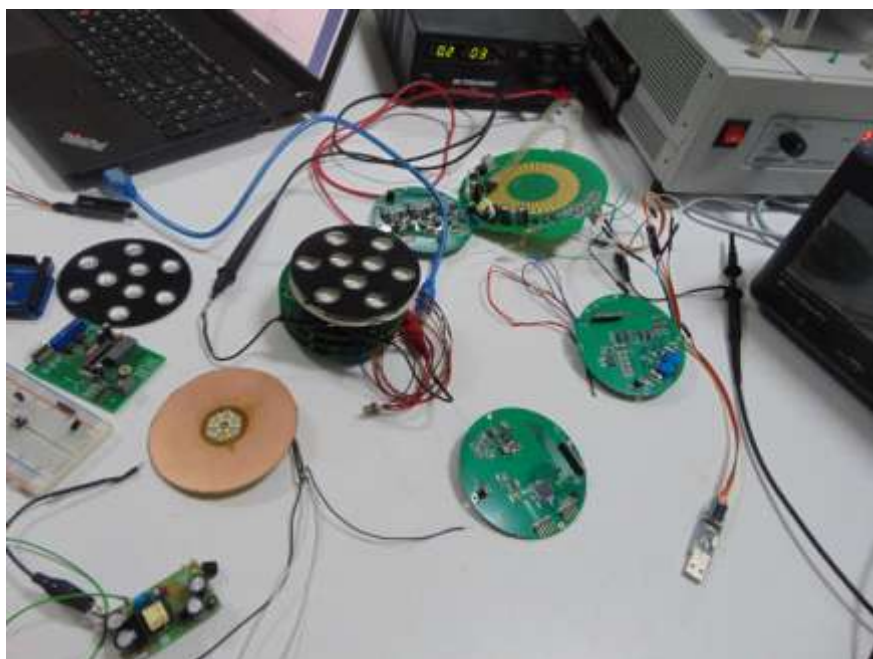
Cerințele tehnologice pentru realizarea prototipului la scară redusă și a celui corespunzător nivelului TRL 6 sunt asigurate prin următorul proces tehnologic:

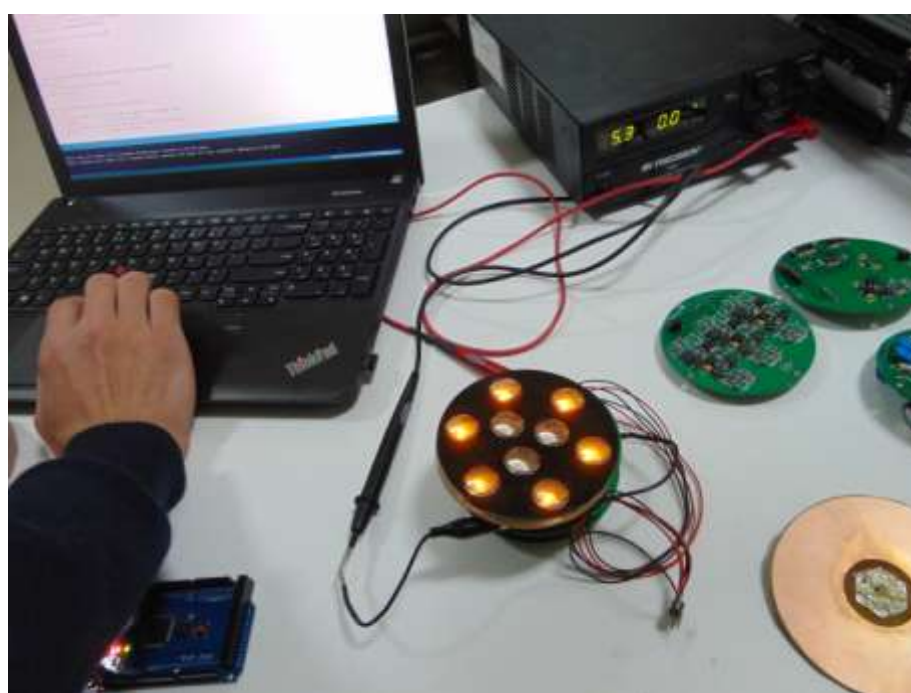
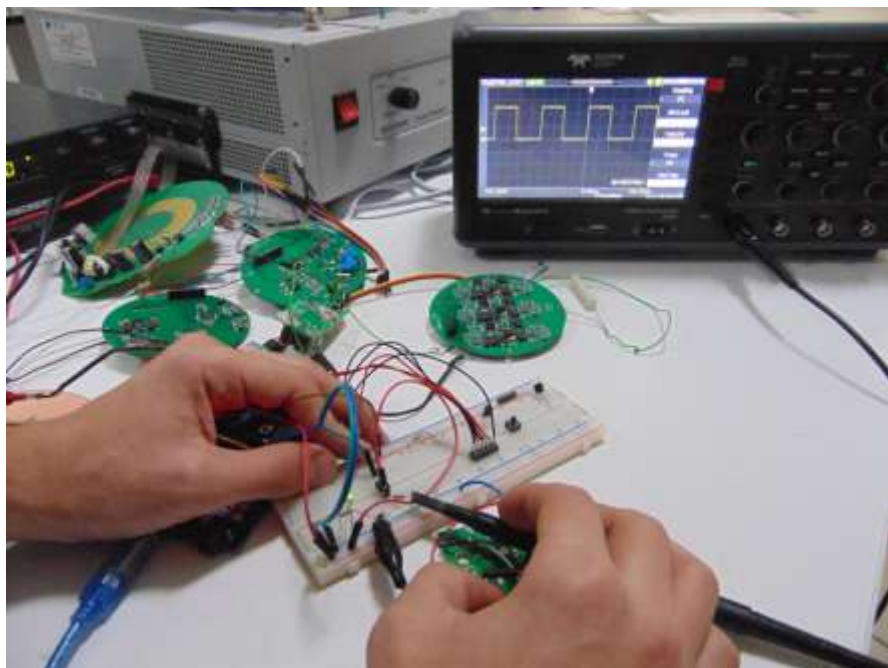
- ▶ Alegerea componentelor electronice în funcție de cerințele tehnice:
 - a. Stabilirea numărului de LED-uri necesare pentru asigurarea fluxului luminos dorit;
 - b. Gruparea LED-urilor astfel încât să existe o funcționare optimă a circuitelor de comandă (driver LED) pe tot intervalul de tensiuni de alimentare;
 - c. Alegerea circuitelor de comandă a LED-urilor având în vedere curentul și tensiunea de funcționare optimă a LED-urilor;
 - d. Alegerea circuitelor de alimentare a driverelor LED astfel încât să se asigure condițiile de funcționare pe tot intervalul de tensiuni de alimentare;
 - e. Stabilirea intrărilor de comandă și a ieșirilor de urmărire a funcționării la microcontroler.
- ▶ Alegerea microcontrolerului pentru asigurarea funcționalității:
 - f. Alegerea unui microcontroler cu un număr suficient de intrări/ieșiri, convertoare A/D, ieșiri PWM, necesare comenzilor pentru drivere precum și pentru monitorizarea parametrilor de tensiune și curent din circuit;
 - g. Stabilirea frecvenței de funcționare a microcontrolerului pentru a asigura funcționarea corectă a circuitului.
- ▶ Realizarea sistemului optic:
 - h. Organizarea poziționării LED-urilor ca să se asigure un flux luminos uniform;
 - i. Așezarea lentilelor și reglarea lor pentru obținerea fluxului luminos la unghiurile necesare.

Caracteristici tehnice principale ale noului prototip de semafor LED sunt prezentate în tabelul următor

1	<p>Caracteristici constructive</p> <ul style="list-style-type: none"> - Carcasa metalică - Modul electronic de comandă și control - Modul cu LED-uri (roșii sau galbene sau verde sau albastru sau alb rece) în funcție de tipul semnalizării feroviare) - Grad de protecție: IP54 																				
2	<p>Caracteristici optice</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intensitatea luminoasă a LED-urilor aprinse în funcție de regimul de lucru <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Culoare</th> <th colspan="2">Intensitatea luminoasă (Cd)</th> </tr> <tr> <th>Regim zi</th> <th>Regim de noapte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Roșu</td> <td>1800±500</td> <td>600±200</td> </tr> <tr> <td>Galben</td> <td>2000±500</td> <td>600±200</td> </tr> <tr> <td>Verde</td> <td>2000±500</td> <td>600±200</td> </tr> <tr> <td>Albastru</td> <td>500±150</td> <td>200±50</td> </tr> <tr> <td>Alb rece</td> <td>2000±500</td> <td>600±200</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> - Distanța de distingere a aprinderii : minim 800m - Unghi de radiație fascicul luminos: (3,5...4,5)° - Intensitate luminoasă pt. Efect Fantomă: max. 15Cd 	Culoare	Intensitatea luminoasă (Cd)		Regim zi	Regim de noapte	Roșu	1800±500	600±200	Galben	2000±500	600±200	Verde	2000±500	600±200	Albastru	500±150	200±50	Alb rece	2000±500	600±200
Culoare	Intensitatea luminoasă (Cd)																				
	Regim zi	Regim de noapte																			
Roșu	1800±500	600±200																			
Galben	2000±500	600±200																			
Verde	2000±500	600±200																			
Albastru	500±150	200±50																			
Alb rece	2000±500	600±200																			
3	<p>Caracteristici electrice</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tip tensiune de alimentare : sinusoidală (50Hz și 75Hz), dublă alternantă (50Hz și 75Hz) , continuă - Domeniul tensiunilor de alimentare pentru ca LED-urile să fie aprinse în regim de noapte: 5,0V –7,0 V; - Domeniul tensiunilor de alimentare pentru ca LED-urile să fie aprinse în regim de zi: 8,50V –12,0 V; - Curent de alimentare consumat: 1,2 – 1,7A - Curent de alimentare: max.50mA în afara domeniului de : 4,5V – 14,5V 																				
4	<p>Caracteristici de fiabilitate și siguranță în funcționare</p> <ul style="list-style-type: none"> - MTBF: minim 100000ore - Rata de defectare λ : max.5*10⁻⁶ - Nivel de integritate al siguranței SIL4 (Safety Integrity Level 4) conform EN50129 și EN50128 																				
5	<p>Caracteristici climatice și mecanice</p> <ul style="list-style-type: none"> - Domeniul temperaturilor de lucru : -40°C...+40°C - Vibrații : SR EN50125-3:2003, F=5-2000 Hz, a=2,3m/s² - Șocuri mecanice: SR EN50125-3:2003, a=20m/s², t=11 s N = 8 șocuri (minim) 																				

În figurile următoare sunt prezentate câteva blocuri funcționale testate în faza de laborator pentru un prototip de semafor cu LED, de la care se pornește dezvoltarea noului prototip dorit a se dezvolta până în faza TRL6.

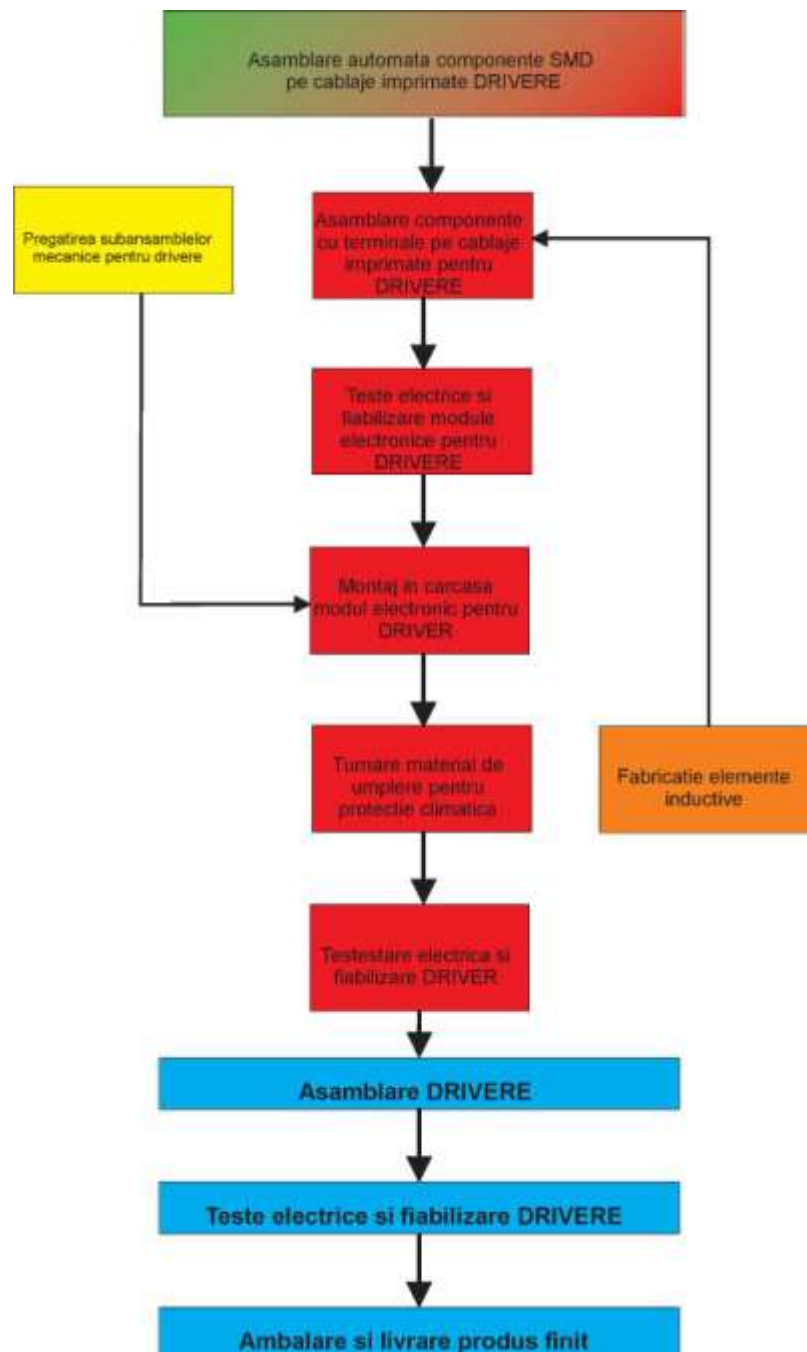




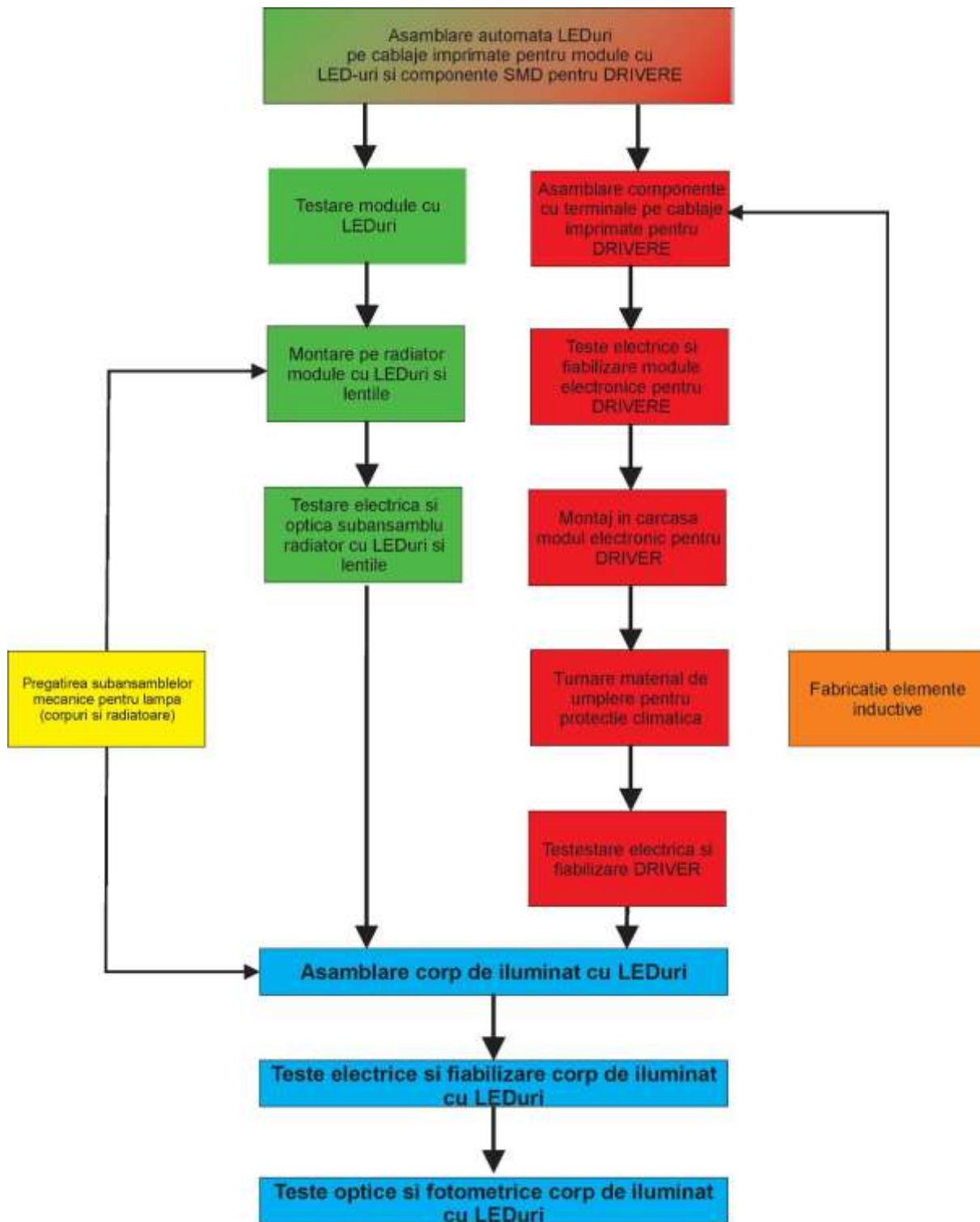
2.2. Proiectarea conceptuală a asamblării inițiale a componentelor noului produs conform cerințelor și tehnologiilor partenerilor

Au fost studiate și definitivate fluxurile tehnologice pentru prototipul semafor cu LED ce se va realiza în cadrul proiectului. În continuare, sunt prezentate aceste elemente tehnologice pentru fiecare produs.

- **Drivere**

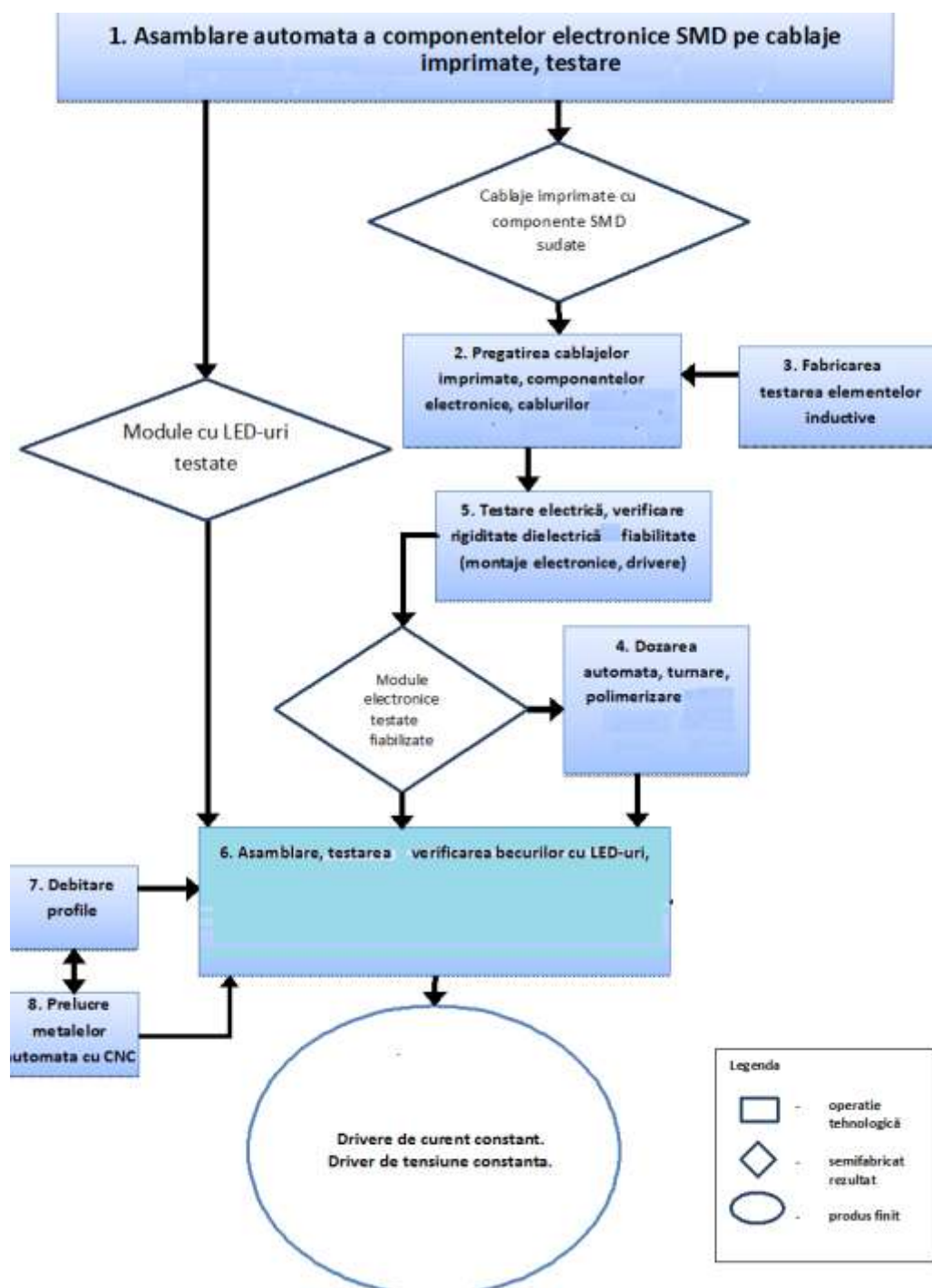


• Corp semafor cu LED



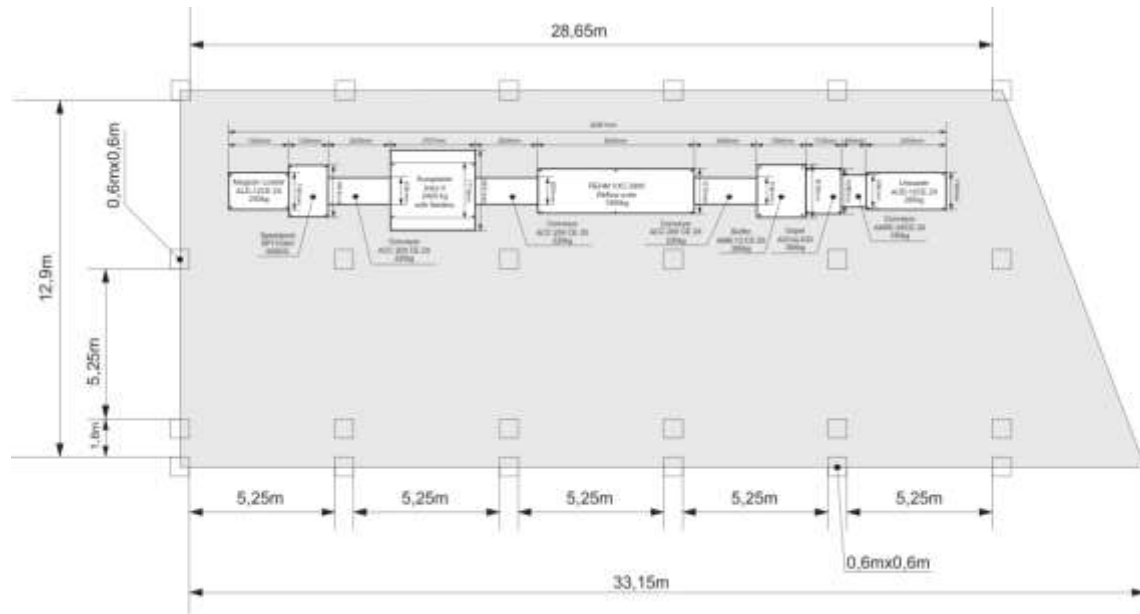
În continuare prezentăm organigrama fluxului tehnologic pentru fabricarea de produse bazate pe LED, inclusiv semafor. Se indică corelația cu instalațiile, echipamentele și utilajele necesare realizării acestor produse.

Organigrama reprezintă interconectivitatea instalațiilor, echipamentelor și a utilajelor necesare operațiilor tehnologice, de la semifabricate până la realizarea produsului finit.

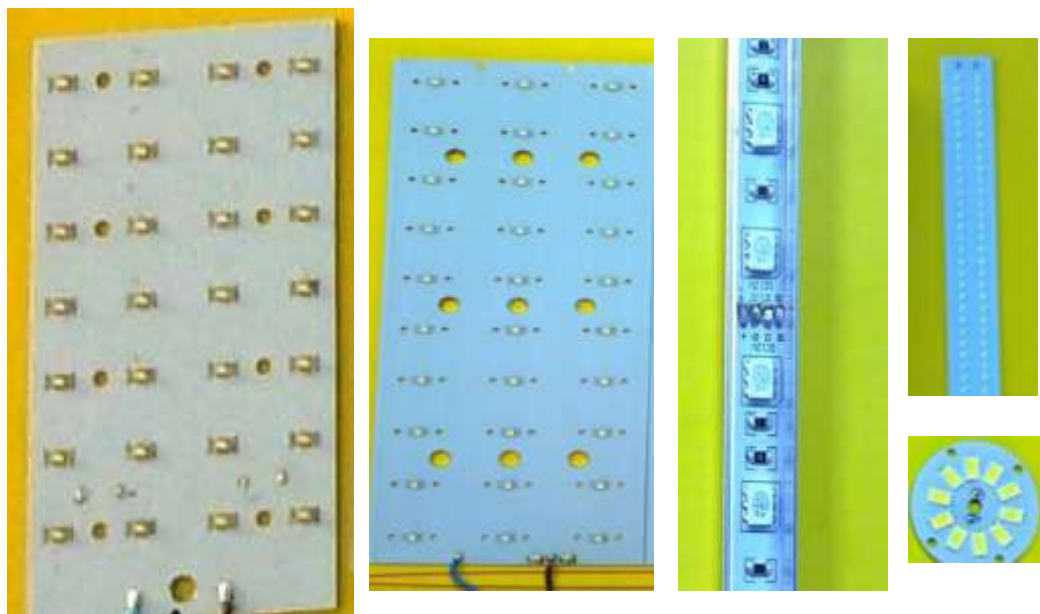


Linia tehnologică utilizată în procesul de producție al semaforului LED este prezentată în figura următoare, cu dispunerea spațială în atelierul de producție.

Semafor inteligent cu tehnologie LED pentru creșterea siguranței transportului feroviar



1. Instalație automată de asamblare componente electronice SMD pe cablaje imprimate cu testare și verificare module cu LED;



PCB-uri cu LED

2. Instalație pentru pregătirea cablajelor imprimate, componentelor electronice, cablurilor și lipirea lor pe cablaje;



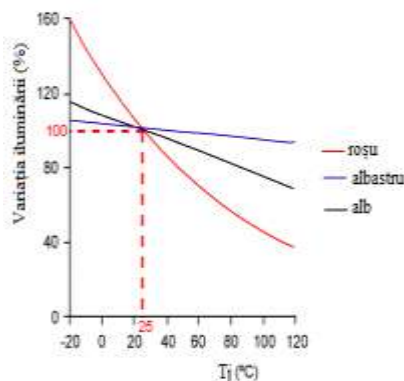
PCB cu componente SMD

3. Instalație pentru fabricarea și testarea elementelor inductive;
4. Instalație automată de dozare, turnare, polimerizare rășini epoxidice sau poliuretanică;
5. Instalație pentru testări electrice, rigiditate dielectrică și fiabilitate;
6. Instalație pentru asamblarea, testarea și verificarea corpurilor de iluminat cu LED;
7. Instalații pentru debitare profile cu sisteme robotizate;
8. Utilaj de prelucrare automată metale CNC;
9. Instalație de gravare și tăiere ghiduri de lumină SEI Laser.

Parametrii electrici ce au fost luați în considerare la proiectarea semaforului cu LED-uri:

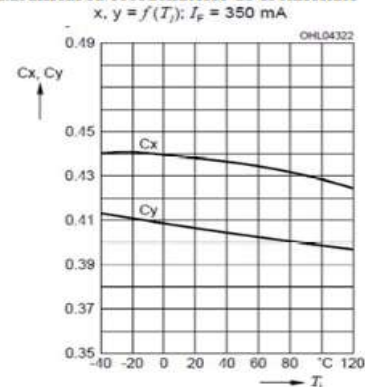
- Caracteristica I-U și tensiunea de deschidere U_F ;
- Intensitatea curentului prin diodă;
- Tensiunea și curentul invers;
- Temperatura joncțiunii semiconductoare (T_j) și fenomenele asociate:
 - *Reducerea tensiunii U_F datorită temperaturii T_j
 - *Modificarea culorii datorită T_j
 - *Micșorarea fluxului luminos la creșterea temperaturii T_j .

În figurile următoare sunt prezentate câteva din dependențele funcționale avute în vedere la proiectarea modului LED.



Influența T_j asupra fluxului luminos

Modificarea coordonatelor de cromaticitate



Modificarea culorii cu T_j

Controlul temperaturii joncțiunii și păstrarea valorii acesteia în limite impuse constituie unul din elementele importante de proiectare. Au fost analizate căile de eliminare a căldurii produsă în LED optându-se pentru o structură de radiator.

Comanda fluxului luminos produs de LED se realizează cu ajutorul unor module electronice tip driver ce asigură un curent constant prin LED.

Selectarea unui tip de alimentare se bazează pe mai mulți factori. În primul rând, trebuie cunoscut mediul: interior sau exterior. Apoi, trebuie avută în vedere puterea necesară pentru iluminat. Trebuie să se aibă în vedere regulamentele impuse pentru calitatea energiei în circuitele de iluminat (conținut de armonici) și cele pentru iluminatul general și de siguranță. Standardul IEC 61347 partea 1 acoperă cerințele generale pentru iluminat siguranță iar partea a doua se referă la surse de alimentare pentru module LED. Armonicele din curba curentului trebuie să respecte prevederile standardului EN61000-3-2(4) și clasa de echipamente pentru iluminat este clasa C. În această clasă există un set de limite pentru surse de iluminat cu puteri

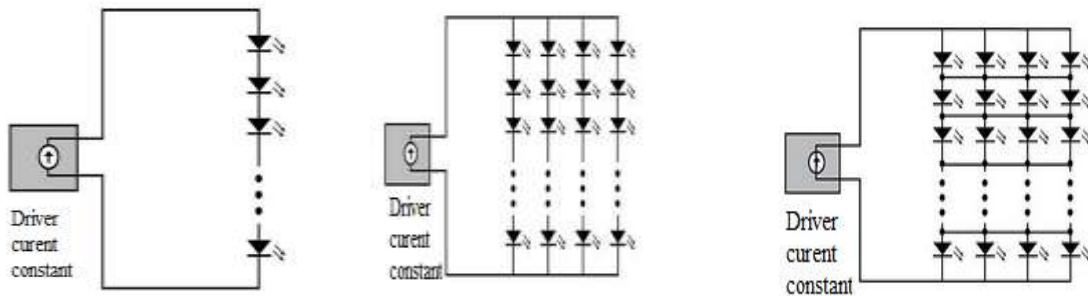
mai mari de 25W și un alt set pentru puteri mai mici de 25W. Pentru a satisface limitele este necesară, în general, corecția factorului de putere.

Cerințe impuse driverelor pentru LED-uri cu tensiune de intrare în curent alternativ:

- Eficiența energetică mare: peste 80%;
- Precizie și stabilitatea curentului de ieșire;
- Factor de putere mare: peste 0,90
- Armonici de curent mici: sub20%
- Perturbații electromagnetice minime;
- Protecții: scurtcircuit, supracurent, supratensiune, lipsa sarcinii, supratemperatură;
- Domeniul de puteri de ieșire: 0-150W;
- Posibilitatea reglajului din exterior (dimmer) a curentului de ieșire;

Pentru un număr mai mare de LED-uri, cazul semaforului, principala problemă este asigurarea curentului prin fiecare LED în parte.

Introducerea LED-urilor în serie, paralel sau în configurații de tip matrice (combinație de serie și paralel) le permite acestora să fie acționate de la o singură sursă curent.

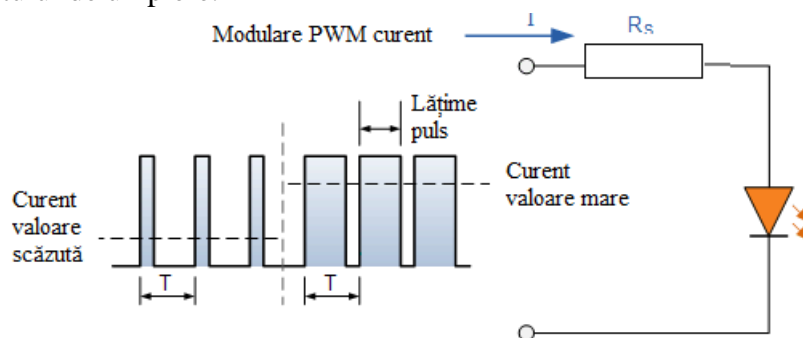


Conectare LED-uri în serie

Conectare LED-uri în paralel

Matrice LED

Toate aceste circuite liniare de tip driver au eficiență scăzută, motiv pentru care ele sunt înlocuite cu drivere sursă în comutație tip PWM, la care valoarea curentului poate fi reglată pe baza coeficientului de umplere.



Driver cu modulare PWM

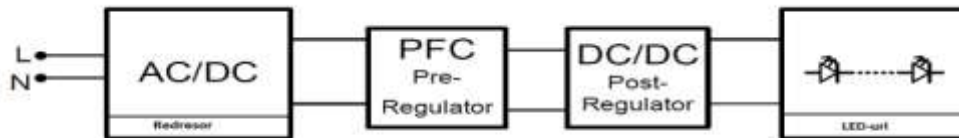
Principalele tipuri de drivere pentru LED cu surse în comutație sunt următoarele:

- Driverele tip Step-Down (Buck) - pentru aplicații în care tensiunea de intrare este mai ridicată decât cea necesară funcționării LED-urilor.

► Driverule tip Step-Up (Boost) - generează tensiuni ridicate necesare pentru alimentarea mai multor LED-uri conectate în serie, pot asigura curenți (prin urmare, luminozități) diferite pentru unele dintre LED-uri.

Au fost analizate diferitele soluții constructive de astfel de drivere cu sursa în comutație, exemple testate fiind circuitul LM317L (Texas Instruments) pentru driver Buck și NTE7208 pentru driver Boost.

Soluția inițială testată pentru primul prototip a constatat dintr-un driver realizat de firma AMIRAS.



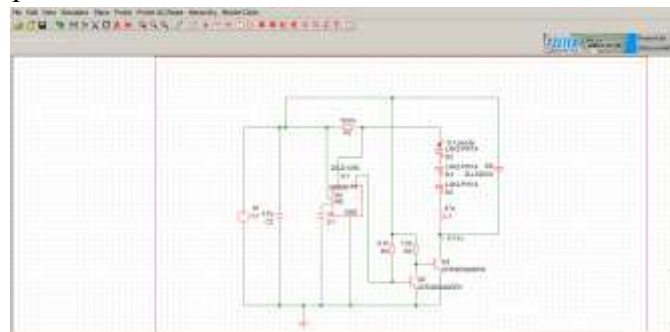
Schema bloc a driverului pentru echipament de iluminat semafor cu LED

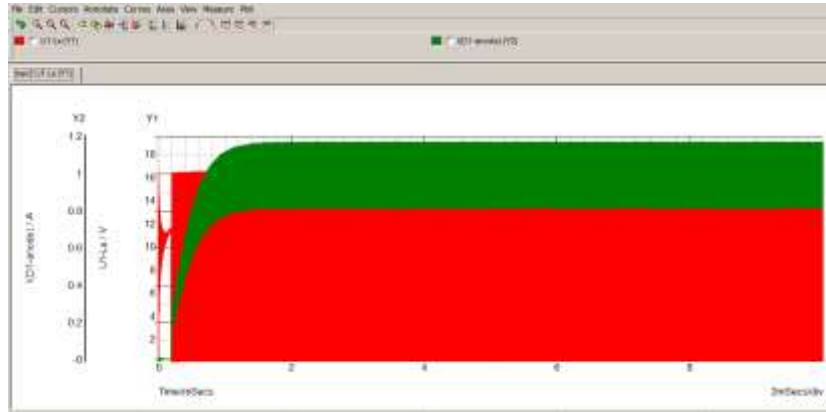


Prototip driver (produs Amiras C&L Impex SRL)

Pentru driver partenerul UPB a studiat câteva variante de driver.

Circuitul ZXLD1350 este de tip step-down la care tensiunea de intrare poate lua valori între 7V și 30V și poate regla un curent de ieșire până la 350mA. În figura următoare se prezintă schema circuitului de alimentare a unui șir de LED-uri și rezultatul simulării pentru tensiunea de intrare și curentul prin LED-uri.





Circuit realizat cu ZXLD1350

Colectivul UPB dispune de o platformă ce asigură posibilități de analiză experimentală a soluției de control a funcționării LED bazată pe microcontrolerul Piccolo TMS320F2803x. Acesta face parte din familia de microcontrolere C2000, dispozitive care permit proiectarea eficientă a sistemelor de iluminat cu LED-uri. Cu aceste dispozitive este posibil să se controleze mai multe șiruri de LED-uri într-un mod eficient și foarte precis. Pe lângă aceasta, microcontrolerele din familia C2000 permit să se integreze mai multe sarcini suplimentare: etape de conversie c.c./c.c., c.a./c.c., conversie cu PFC, sistem de management, precum și diverse protocoale de comunicație sau chiar comunicare prin linia de alimentare.

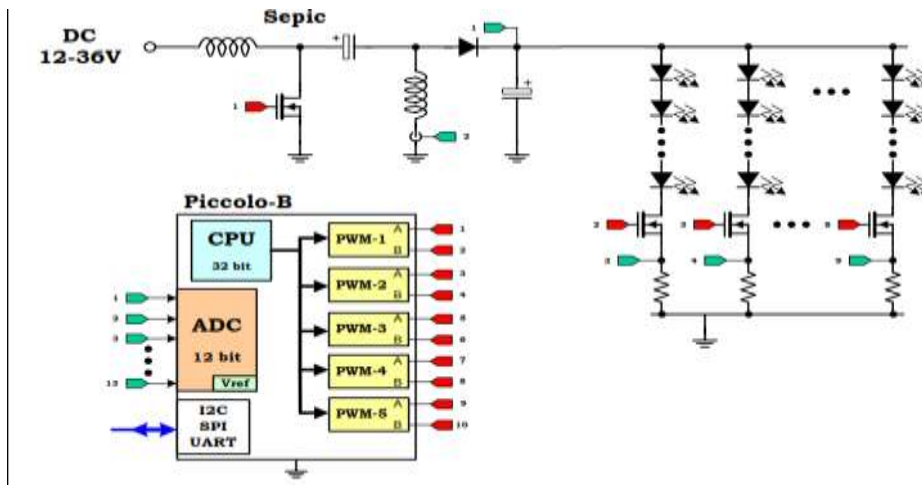
Platforma de dezvoltare Texas Instruments bazată pe microcontrolerul F28035 conține următoarele elemente funcționale:

- Circuit sursă de alimentare c.c./ c.c.
- Cartelă Piccolo F28035
- Panel cu Led-uri
- Adaptor 12V
- Circuit conexiune USB.



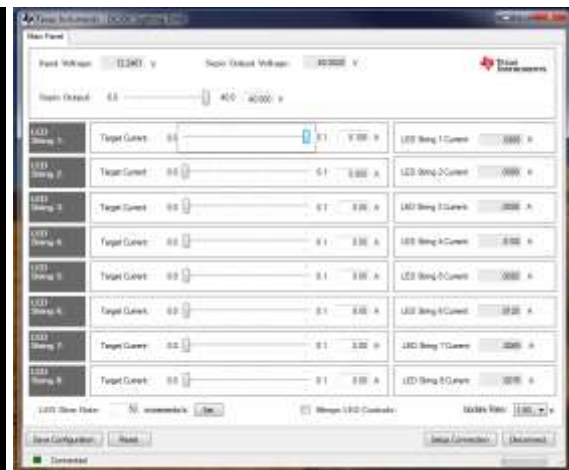
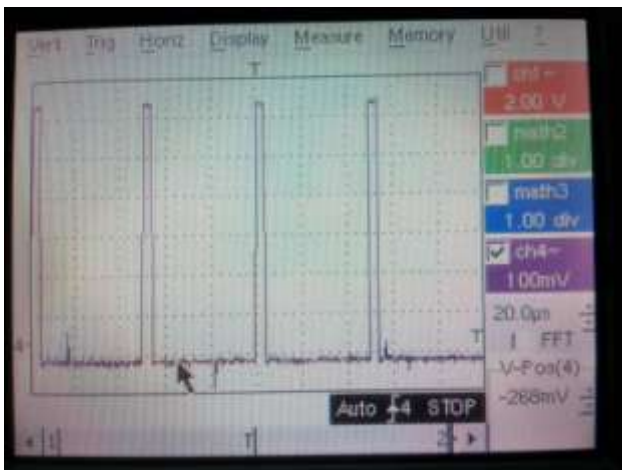
Platforma de dezvoltare și experimentare

În figura următoare este prezentată schema funcțională a plăcii de dezvoltare si experimentare.

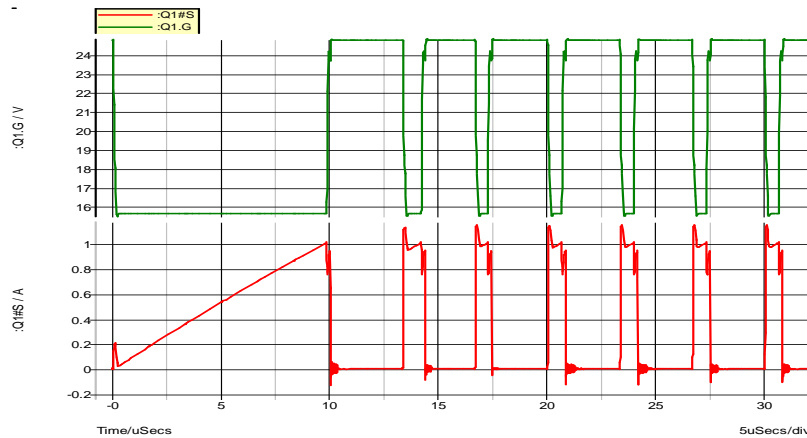


Schema de principiu a plăcii de experimentare

În cadrul proiectării conceptuale au fost experimentate diferite diode LED. Platforma este conectata la calculator iar formele de undă ale curentului prin șirul de diode sunt obținute cu un osciloscop digital.

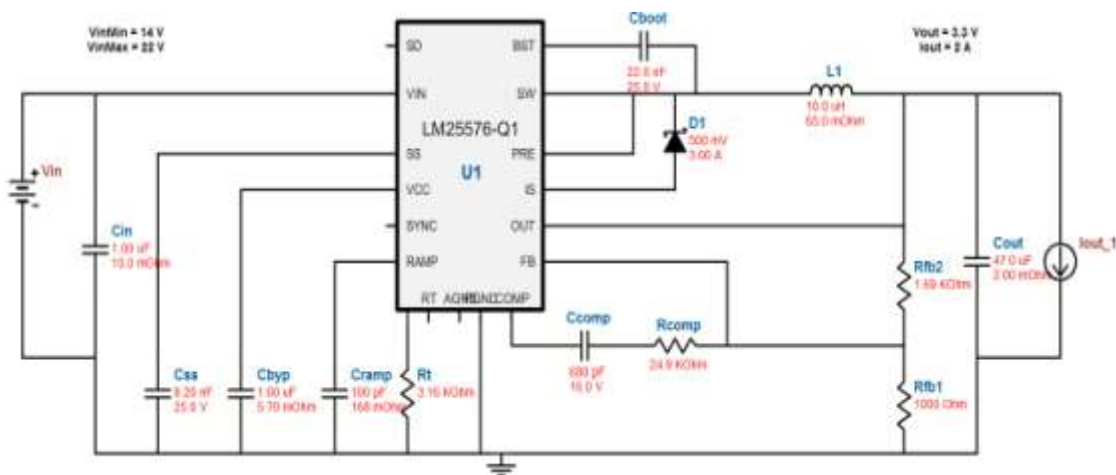


Semafor inteligent cu tehnologie LED pentru creșterea siguranței transportului feroviar



Comanda tranzistorului MOSFET și curentul comutat

Tot în cadrul activităților de proiectare conceptuală a modulelor din componența semaforului LED s-a realizat o analiză tehnico-economică privitoare la alegerea soluției optime de driver pe baza unui pachet software Texas Instruments. Exemplificarea este realizată pentru circuitul LXML-PWC1-0090, graficele indicând caracteristicile obținute.



Schema electrică de alimentare pentru LXML-PWC1-0090



Eficiența în funcție de I_{out}



Durata de funcționare în funcție de I_{ou}