



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2014 00503

(22) Data de depozit: 30/06/2014

(41) Data publicării cererii:
30/03/2016 BOPI nr. 3/2016

(71) Solicitant:
• RUS ADRIAN IOAN, STR. FERMEI NR. 17,
SAT SĂFTICA, BALOTEȘTI, IF, RO

(72) Inventatori:
• RUS ADRIAN IOAN, STR. FERMEI NR. 17,
SAT SĂFTICA, BALOTEȘTI, IF, RO

(74) Mandatar:
ROMINVENT S.A.,
STR. ERMIL PANGRATTI NR.35,
SECTOR 1, BUCUREȘTI

(54) SURSĂ DE ALIMENTARE "DIRECT AC" A UNUI APARAT DE ILUMINAT CU LEDURI, EFICIENT, STABILIZAT TERMIC, AVÂND PÂLPĂIREA MINIMĂ POSIBILĂ ȘI CONFORM CU STANDARDELE EN61000-3-2, RESPECTIV, EN55014

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un aparat de iluminat cu LED-uri, alimentat direct din rețeaua publică de tensiune alternativă. Aparatul conform invenției cuprinde o sursă de curent constant, trapezoidal în amplitudine, în fază cu tensiunea (U_{LN}) rețelei, formată dintr-o diodă redresoare (D36), înseriată cu divizoare rezistive, formate din rezistoare (R34, R39, R32), două etaje limitatoare de tensiune, formate din diode Zener (D38, D3, D2, D1), două tranzistoare bipolare (Q33, Q52), un rezistor (R50) de polarizare și un rezistor (R42) de stabilire a palierului curentului absorbit de sursă, o punte redresoare (GR2) având ieșirea "plus" conectată în serie cu sursa decurent constant, și ieșirea "minus" conectată la masă, un șir de LED-uri legate în serie și împărțite în mai multe segmente (D79.1, ..., D79.9), niște circuite comparatoare (U1.1, ..., U1.4, U2.1, ..., U2.4), niște tranzistoare MOSFET (Q59, Q67, Q3, Q4, Q5, Q6, Q25, Q26) a căror comutare este comandată de circuitele comparatoare, niște rezistoare (R10, ..., R16, R19, R24) care stabilesc pragurile de tensiune la care comută circuitele comparatoare, un condensator (C73) de filtrare montat în paralel pe grupul serie format din dioda redresoare (D36) și un rezistor (R32), un rezistor (R51) montat între un rezistor (R34) și un punct (J5) în

drena tranzistorului (Q5), un rezistor (R27) de limitare montat între catodul segmentului (D79.1) și drena tranzistorului (Q59), și un condensator (C60) conectat între anodul șirului de LED-uri și masă.

Revendicări: 1
Figuri: 8

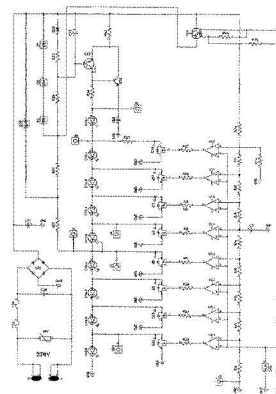


Fig. 8

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



DESCRIEREA INVENTIEI: SURSA DE ALIMENTARE „DIRECT AC” A UNUI APARAT DE ILUMINAT CU LEDURI, EFICIENT, STABILIZAT TERMIC, AVAND PALPAIREA MINIM POSIBILA SI CONFORM CU STANDARDELE EN61000-3-2 RESPECTIV EN55014

Domeniul inventiei

Invenția se referă la un circuit de alimentare eficienta a aparatelor de iluminat cu LEDuri direct din rețeaua publică de tensiune alternativă de 230V folosind LEDurile însele ca elemente de reglaj, eficient, stabilizat cu temperatura, având palparea teoretic minim posibilă pentru un aparat conform cu standardul armonic EN61000-3-2 respectiv generând un zgomot electric mai mic decât limitele maxime stabilite de standardul EN55014, fără utilizarea unor filtre EMI/EMC suplimentare.

Stadiul tehnicii

Viteza de patrundere în cotidian a aparatelor de iluminat cu LED-uri alimentate în tehnologie direct AC crește exponențial atât datorită dezvoltărilor tehnologice de integrare care au micșorat costul sursei de alimentare precum și datorită experienței acumulate în tehnologia direct AC care îmbunătățește parametrii acestora. Alimentarea LEDurilor direct din rețeaua publică de joasă tensiune [120Vac, 230Vac sau 277Vac] presupune rezolvarea a două cerințe conflictuale și anume: absorbția din rețeaua publică a unui curent sinusoidal cu armonici cât mai mici respectiv alimentarea LEDurilor cu un curent constant. Însa nu doar nivelul armonicilor curentului absorbit din rețea este reglementat de standarde, ci și nivelul zgomotului electric generat de aparat trebuie să fie mai mic decât o serie de limite impuse de standardele EMI/EMC.

Soluțiile funcționale de tipul „direct AC” în care LEDurile însele sunt folosite prin comutari inteligente și secvențiale în timp în procesul de reglare a curentului prezintă o serie de avantaje față de soluțiile clasice, cu alimentatoare liniare sau în comutație.

Neavând elemente reactive de înmagazinare a energiei la trecerea prin zero a tensiunii [și curentului] rețelei, toate soluțiile de alimentare „direct AC” prezintă fenomenul de palpare. Palparea este un fenomen descris metric de indicatorul „palpare procentuală” sau de indicatorul „indice de palpare” ambele definite în Figura 1. Pe măsura maturizării tehnologiei iluminatului cu LEDuri indicatorul „indice de palpare” a devenit prevalent din cauza că definirea lui în funcție de energie este mai apropiată de fiziologia receptorilor de lumină din ochi; din acest motiv toate referirile ulterioare la palpare vor fi făcute exclusiv în indice de palpare. Valorile indicilor de palpare caracteristici surselor de alimentare direct AC cunoscute și care aproximează curentul absorbit din rețeaua publică cu funcția sinus variază de la 0.34 până la peste 0.5.

Pentru minimizarea palpării fără folosirea condensatoarelor electrolitice sau ale altor elemente reactive de circuit este cunoscută metoda în care curentul absorbit din rețea de către aparatul de iluminat nu aproximează funcția sinus ci funcția i_{trapez} :

$$i_{\text{trapez}}(t) = I_1 \sin(\omega t) + 0.3 \cdot I_1 \sin(3\omega t) + 0.1 \cdot I_1 \sin(5\omega t) + 0.026 \cdot I_1 \sin(7\omega t) + 0.03 \cdot I_1 \sin(13\omega t) + 0.03 \cdot I_1 \sin(15\omega t) + 0.012 \cdot I_1 \sin(17\omega t) + 0.03 \cdot I_1 \sin(25\omega t) + 0.03 \cdot I_1 \sin(29\omega t + 1.215 \cdot 10^{-11}) + 0.017 \cdot I_1 \sin(35\omega t)$$
unde I_1 este amplitudinea fundamentalei (cu frecvența de 50Hz) curentului absorbit, iar ω este pulsația curentului cu frecvența fundamentalei, de 50Hz. În Figura 2 este reprezentată grafic forma simplificată a funcției $i_{\text{trapez}}(t)$ pentru o perioadă completă a fundamentalei, forma trapezoidală simplificată care poate fi realizată tehnic relativ ușor. Indicele de palpare care se poate obține prin această metodă este minimul teoretic care se poate obține cu un alimentator LED direct AC care respectă limitele impuse de standardul armonic EN61000-3-2 și are valoarea de 0.22. Pentru modificarea formei curentului absorbit de aparatul de iluminat din rețeaua publică astfel încât profilul lui în timp să aibă forma trapezoidală simplificată indicată în Figura 2 este cunoscută metoda modularii lui în amplitudine și în fază cu tensiunea rețelei cu o sursă de curent constant modulată în amplitudine plasată în serie cu șirul de LED-uri.

Cea mai simplă metodă de modulare a curentului absorbit de o sursă de curent constant astfel încât forma curentului absorbit să aproximeze forma trapezoidală indicată în Figura 2 este limitarea excursiei tensiunii de referință din baza tranzistorului Q33 cu un element de limitare a tensiunii, așa cum se prezintă în Figura 3. Elementul de limitare a tensiunii din baza tranzistorului Q33 și marcat D21 poate fi o diodă zenner, un circuit integrat referință de tensiune, un varistor sau orice alt element de circuit limitator de tensiune. Această

topologie este insa pur teoretica, circuitul din Figura 3 nefiind potrivit nici din perspectiva aproximarii fidele a formei de unda trapezoidale a curentului absorbit, nici din perspectiva zgomotului electric generat de aparat si nici din perspectiva stabilitatii cu temperatura a curentului absorbit. In Figura 4 este prezentat profilul curentului redresat bi-alternanta absorbit de sursa de curent constant din Figura 3 atunci cand elementul limitator de tensiune este o dioda Zenner.

Analizand ecuatia de functionare a sursei de curent constant modulata parametric in amplitudine a carei schema electrica este prezentata in Figura 3 se observa ca la variatia cu temperatura a tensiunii de strapungere a diodei zenner se aduna si variatia cu temperatura a caderii de tensiune pe jonctiunea baza-emitor a tranzistorului Q33 astfel incat curentul maxim absorbit de sursa de curent constant variaza semnificativ atunci cand temperatura diodei zenner D21 si a tranzistorului Q33 variaza. Curentul absorbit de un aparat de iluminat echipat cu sursa de curent detaliata in Figura 3 creste cu mai mult de 20% atunci cand temperatura aparatului creste de la 25 grade Celsius la 65 grade Celsius.

In scopul compensarii reactiei pozitive dintre curentul absorbit de sursa de curent constant si temperatura precum si in scopul aproximarii cat mai bune a formei de unda trapezoidale a curentului absorbit se propune schema detaliata in Figura 5. Grupul celor 3 diode zenner inseriate D1,D2 si D3, fiecare cu tensiune de strapungere mica, exploateaza faptul ca tensiunea de strapungere a diodelor zenner cu tensiune de strapungere mai mica de 5V scade atunci cand temperatura lor creste; variatia negativa compusa a tensiunii limitate de cele 3 diode zenner conectate in serie compenseaza si variatia caderii de tensiune baza-emitor a tranzistorului Q33 astfel incat curentul maxim absorbit de sursa de curent constant si implicit de aparat variaza cu mai putin de 5% atunci cand temperatura aparatului creste de la 25 grade Celsius la 65 grade Celsius. Pentru asigurarea unei eficiente cat mai mari a sursei de alimentare, caderea de tensiune pe R42 trebuie sa fie cat mai mica, dar pentru asigurarea predictibilitatii valorii curentului limitat de sursa de curent constant, caderea de tensiune pe R42 trebuie sa fie cat mai mare relativ la caderea de tensiune pe jonctiunea baza-emitor a tranzistorului Q33. Compromisul este stabilirea administrativa a caderii de tensiune pe R42 la cca $3 \times 0.7V$, motiv pentru care intre D1,D2,D3 si baza tranzistorului Q33 se introduce divizorul rezistiv format de grupul R32 si R39.

Caracteristica curent-tensiune a diodelor zenner de valoare mica este lina, putin abrupta, curentul absorbit de sursa de curent constant ne-urmarind fidel forma trapezoidala definita, cu limitari brupe si ferme la 1.4ms respectiv 8.6ms; pentru aproximarea buna a formei trapezoidale a curentului absorbitin schema este adaugat circuitul suplimentar de limitare format din R34 si dioda zenner cu tensiune mare de strapungere D38, deoarece diodele zenner cu tensiune mare de strapungere au caracteristica de limitare a tensiunii abrupta. Pentru compensarea tensiunii de deschidere baza-emitor a tranzistorului Q33 in schema este prevazuta dioda D36; prezenta diodei D36 face ca forma de unda a curentului absorbit de sursa de curent constant sa varieze liniar chiar si in apropierea trecerii prin zero a tensiunii retelei. In Figura 6 este prezentat profilul curentului redresat bi-alternanta absorbit de sursa de curent constant a cerei schema este propusa in Figura 5.

Zgomotul generat de un aparat de iluminat echipat cu o sursa de alimentare direct AC are doua cauze principale: viteza limitata cu care sursa de curent constant raspunde la variatiile rapide ale tensiunii pe circuitul ei de sarcina, respectiv propagarea inversa a impulsurilor de tensiune dinspre emitorul tranzistorului Q52, inspre baza tranzistorului Q33 prin capacitatile Miller ale tranzistoarelor bipolare Q33 si Q52 si alterarea astfel a tensiunii de referinta din baza tranzistorului Q33. Zgomotul generat de de topologiile prezentate in Figura 3 respectiv in Figura 5 depaseste limita maxima admisa de EN55014.

Viteza limitata cu care sursa de curent constant regleaza curentul absorbit atunci cand tensiunea pe circuitul ei de sarcina variaza se datoreaza in principal sarcinilor electrice stocate in baza tranzistorului de putere Q52, atunci cand acesta este saturat deschis. O metoda de microrare a zgomotului datorat vitezei mici de reglare a curentului absorbit de sursa de curent constant, este limitarea a insasi vitezei de variatie dV/dt a tensiunii pe circuitul ei de sarcina si datorate comutarii segmentelor sirului de LEDuri cu tranzistoare MOSFET rapide. Observand distributia spectrala a zgomotului generat de sursele de alimentare direct AC precum si tinand

43

cont de largimea benzii in care acesta este masurat, se poate concluziona ca pentru incadrarea in standardul EN55014 variatia tensiunii datorate comutarii unui singur segment de LEDuri trebuie sa se finalizeze in mai mult de 30 microsecunde; in cazul in care un singur segment de LEDuri contine 10 LEDuri si astfel caderea de tensiune la bornele lui este de cca 30V, rezulta ca viteza de variatie a tensiunii la bornele circuitului de sarcina al sursei de curent trebuie sa fie mai mica de 1V/microsecunda. Pentru limitarea vitezei de variatie a tensiunii la bornele circuitului de sarcina al sursei de curent constant sub 1V/microsecunda este suficienta majorarea valorii rezistoarelor R62,R68,R8,R9,R17,R20,R22,R23 din portile tranzistoarelor MOSFET Q59,Q67,Q3,Q4,Q5,Q6,Q25,Q26. Limitarea la sub 1V/microsecunda a vitezei de variatie a tensiunii in drenele tranzistoarelor MOSFET comune, care acumuleaza sarcini electrice totale intre 10 si 30 microCoulombi, se obtine prin cresterea valorii rezistentelor din poarta la peste 70-100kohm. Dar introducerea unor rezistoare de valoare atat de mare intre iesirile comparatoarelor U1.1,U1.2,U1.3,U1.4,U2.1,U2.2,U2.3,U2.4 si portile tranzistoarelor MOSFET Q59,Q67,Q3,Q4,Q5,Q6,Q25,Q26 provoaca intarzieri inegale intre momentele de timp la care tranzistoarele MOSFET se satureaza respectiv se blocheaza. In scopul egalizarii intarzierilor celor doua comutari ale tranzistoarelor MOSFET se limiteaza excursia de tensiune a iesirii circuitelor comparatoare U1.1,U1.2,U1.3,U1.4,U2.1,U2.2,U2.3,U2.4 la 5V , adica la cca 1-2V peste tensiunea platoului Miller al tranzistoarelor MOSFET folosite, prin alimentarea comparatoarelor cu doar 5V.

In scopul limitarii zgomotului produs de sursa de alimentare direct AC din cauza propagarii inverse a impulsurilor de tensiune din catodul sursei de curent catre baza lui Q33, se filtreaza tensiunea de referinta din baza tranzistorului Q33 prin introducerea unui condensator notat in Figura 7 si Figura 8 cu C73. Avand in vedere caracterul dinamic al functionarii sursei de curent constant care moduleaza in amplitudine curentul redresat dubla alternanta absorbit din retea cu 100Hz, dublul frecventei de 50Hz, constantele de timp incarcare respectiv de descarcare ale circuitului de filtrare trebuiesc alese cu grija. Pentru pastrarea nivelurilor armonice curentului absorbit din retea mai mici decat limitele maxime impuse de standardul EN61000-3-2, constanta de timp de incarcare, data de produsul dintre suma rezistentelor R51,R34 si R39 si C73, trebuie sa fie mai mica de 5ms.

In figura 7 este prezentata shema electrica detaliata a aparatului de iluminat direct AC care absoarbe din retea un curent modulat in amplitudine, conform cu cele doua standarde indicate mai sus si al carui consum este stabilizat cu temperatura. Ca masura de limitare suplimentara a driftului termic al curentului absorbit, capatul rece al rezistorului R51 nu se conecteaza la masa ci se conecteaza la J5, in drena tranzistorului Q5. Conectarea capatului rece al R51 in punctul J5 limiteaza suplimentar excursia de tensiune pe divizorul rezistiv din baza lui Q33 format din rezistentele R39+R34+R51 legate in serie si R32 fapt care este de natura a stabili suplimentar curentul absorbit de aparat. Aparatul de iluminat avand in componenta sa sursa de curent constant al carei curent este modulat in amplitudine dimensionata ca mai sus este un aparat conform cu cele doua standarde indicate respectiv EN61000-3-2 si EN55014 si care absoarbe din retea o putere cvasi-constanta care variaza cu mai putin de 3% atunci cand temperatura lui creste de la 25 grade Celsius la 65 grade Celsius.

In scopul evitarii cresterii abrupte a curentului absorbit imediat dupa intrarea in conductie a LEDurilor din segmentul D79.1, intre punctul J6 si drena tranzistorului MOSFET Q59 este introdus rezistorul limitator R27. Valoarea rezistentei lui se alege sensibil egala cu valoarea rezistentei dinamice a LEDurilor din segmentul D79.1 la curentul mediu in conductie al tranzistorului Q59 si are o valoare intre 39ohm si 80ohm.

Deoarece piata cere aparate de iluminat cu nivel de putere reglabil, prin introducerea optocuplorului V01 asa cum se vede in Figura 8 se obtine un aparat a carui putere este variabila in functie de comanda dintre terminalele DIM+ si DIM- adica este dimabil. In functie de impedanta elementului de iesire al optocuplorului si care este montat in paralel pe grupul serie format din diodele zenner D1,D2 si D3, nivelul maxim al curentului constant absorbit de sursa poate fi scazut continuu pana la zero. Nivelul puterii absorbite de aparat din retea poate fi astfel variat fie prin aplicarea unor impulsuri PWM fie prin aplicarea unui nivel constant de tensiune intre DIM+ si DIM- fara ca varierea puterii absorbite sa influenteze conformarea generala a aparatului cu cele doua standarde.

Pentru ca in practica dimarea prin modularea cu impulsuri PWM se face cu impulsuri PWM cu frecventa de 1kHz, adica de 10 ori mai mare decat frecventa cu care sursa de curent constant moduleaza in amplitudine curentul absorbit, este necesara micșorarea tot cu un factor de 10 a constantei de timp a circuitului de filtrare din baza tranzistorului Q33. Aceasta micșorare se face foarte usor prin micșorarea de 10 ori a valorii condensatorului C73; insa micșorarea cu un factor de 10 a lui C73 nu mai asigura filtrarea eficienta a impulsurilor de tensiune transmise invers prin capacitatile Miller dinspre emitorul tranzistorului Q52 inspre baza tranzistorului Q33, astfel incat pentru continuarea conformarii cu EN55014 trebuie luate alte masuri compensatorii. S-a observat ca adaugarea condensatorului C60 cu valoare de zeci nF in paralel peste sirul de LEDuri, adica intre punctul J2 care este catodul sursei de curent constant si masa, re-aduce aparatul in conformitate cu EN55014, fara a mai fi necesare masuri suplimentare.

Circuitul conform invenției înlătură dezavantajele prezentate în stadiul tehnicii prin aceea că aparatul de mare putere care respecta cerintele standardului armonic absoarbe din rețeaua publica o putere stabilizata la variatia temperaturii, precum si indeplineste cerintele standardului EMC/EMI fara a fi necesara folosirea unor filtre specializate.

Astfel invenția prezintă următoarele avantaje:

Variatia puterii absorbite din rețea este mai mica de 3% atunci cand temperatura aparatului crește de la 25 grade Celsius la 65 grade Celsius

Este de mare putere si asigura nativ conformarea cu standardul armonic EN61000-3-2 fara a mai fi necesare masuri suplimentare de corectie a factorului de putere sau a nivelului armonicilor curentului absorbit

Asigura nativ conformarea cu standardul EMI/EMC EN55014 fara a mai fi necesara utilizarea suplimentara a unor filtre specializate;

Nu contine bobine, transformatoare sau condensatoare electrolitice ci exclusiv elemente de circuit miniatura/miniatizabile [componente semiconductoare, condensatoare nepolarizate si rezistoare] permitand astfel realizarea unor aparate de iluminat ultra subtiri, integrabile pe placa de circuit imprimat pe care sunt plantate LED-urile sau chiar in modulul cu LED-uri de tip COB, cu doar doua terminale de alimentare direct de la rețeaua publica de tensiune alternativa.

Are durata de viata mare, similara duratei de viata a LED-urilor

Descrierea detaliată a invenției

Se da in continuare un exemplu de realizare a circuitului pentru o putere absorbita din rețea de 80W in legătură cu figurile care reprezintă:

Figura 1. Profilul de referinta pentru definirea indicilor de palpaire

Figura 2. Definitia formei de unda trapezoidale a curentului absorbit

Figura 3. Schema sursei de curent constant (CCS) simple care absoarbe un curent modulat cvasi-trapezoidal

Figura 4. Profilul curentului redresat bi-alternanta absorbit din rețea de sursa de curent constant (CCS) din Figura 3

Figura 5. Schema sursei de curent constant (CCS) stabilizata termic care absoarbe un curent modulat trapezoidal

Figura 6. Profilul curentului redresat bi-alternanta absorbit din rețea de sursa de curent constant (CCS) din Figura 5

Figura 7. Schema electrica de principiu a aparatului de iluminat fara dimare

Figura 8. Schema electrica de principiu a aparatului de iluminat cu dimare

Schema electrica de principiu din Figura 8 include o punte redresoare GR2 a carei iesire „plus” este conectata in serie la anodul unei surse de curent constant CCS formata din D38, D1, D2, D3, D36, R42, R50, R32, R39, R34, R51, C73, C60, Q33 si Q52 al carei catod reprezentat de emitorul tranzistorului Q52 este conectat in serie la anodul unui sir de LED-uri legate in serie si impartite in mai multe segmente D79.1, D79.2, ... D79.9, al carui catod este conectat la masa, impreuna cu iesirea „minus” a puntii redresoare GR2, un numar de comutatoare realizate cu tranzistoarele MOSFET Q59, Q67, Q3, Q4, Q5, Q6, Q25, Q26 montate intre anodul fiecarui segment de LEDuri si masa, mai putin intre anodul primul segment D79.1 care este inseriat cu catodul sursei de curent constant CCS, tranzistoarele MOSFET fiind

comandate in poarta prin rezistorii R62,R68,R8,R9,R17,R20,R22,R23 de un numar egal de circuite comparatoare U1.1, U1.2, ..., U2.4, rezistorii R24,R11,R10,R13,R14,R16,R12,R15,R19, montati intre iesirile „plus” si „minus” ale punții redresoare GR2 care stabilesc pragurile de tensiune la care sunt actionate comutatoarele, rezistorul de limitare R27 intre anodul segmentului D79.2 si drena tranzistorului MOSFET Q59, condensatorul C21 care stabilizeaza comutarea comparatoarelor la viteze mici de variatie ale tensiunii rețetei, circuitul D69 de formare a tensiunii de referinta a comparatoarelor si un optocuplor V01 al carui foto-element este conectat in paralel pe sirul format din diodele zenner D1,D2,D3 legate in serie.

La cuplarea unei tensiuni alternative U_{LN} de 230V_{eff} intre bornele L si N ale circuitului, tensiunea redresata bi-alternanta de puntea redresoare GR2 este aplicata sirului de diode luminescente LED conectate in serie si grupate in segmente prin intermediul sursei de curent constant CCS modulata trapezoidal in amplitudine si in faza cu tensiunea rețetei. Valoarea instantanee maxima pozitiva a tensiunii pulsatorii redresate si aplicate prin intermediul sursei de curent CCS sirului de LED-uri atunci cand tensiunea rețetei are valoarea minima tolerata de -10% este de cca 290V_{cc}, ea determinand numarul total minim de LED-uri necesar pentru functionarea schemei.

Tinand cont ca tensiunea care cade pe un LED de mare putere de culoare alba la curentul de 400mA corespunzator puterii de 80W absorbite din rețea este de cca 3V si punand conditia ca toate sirurile de LED-uri sa lumineze chiar si atunci cand tensiunea rețetei are valoarea minim tolerata, rezulta ca sirul trebuie sa contina un numar de cel mult 90 LED-uri conectate in serie. Aleg ca sirul sa contina exact 90 LED-uri pe care le grupez in 9 segmente a cate 10 LED-uri fiecare. Acest numar total de LED-uri poate fi impartit virtual in oricate segmente, fiecare din ele avand un numar egal sau inegal de LED-uri, impartirea avand efect asupra lungimii intervalelor de timp in care aparatul nu lumineaza, asupra indicelui de palpaire si asupra eficientei electrice. Dimensionarea numarului de segmente rezulta in principal dintr-un calculul de eficienta care nu face obiectul acestei aplicatii si conform caruia cu cat numarul de segmente scade, cu atat eficienta scade si ea, sursa de curent constant preluand tensiuni efective/medii mai mari si pentru durate de timp mai lungi. Determinarile practice au aratat ca impartind sirul de 90 LED-uri in 9 segmente fiecare a cate 10 LED-uri, indicele de palpaire este de cca 0.24 si eficienta electrica mai buna de 93%; similar, impartirea sirului de LED-uri in 5 segmente inegale (10+20+20+20+20 LED-uri) are ca efect o crestere a indicelui de palpaire la 0.26 si o scadere a eficientei electrice la cca 87%.

Tinand cont ca tensiunea de prag, adica tensiunea minima de deschidere a unui LED alb de mare putere este de cca 2.85V si alegand numarul de LED-uri din primul segment D79.1 egal cu 10, am stabilit in fapt momentul de timp dupa trecerea prin zero a tensiunii de alimentare, de la care aparatul incepe sa lumineze si anume momentul in care valoarea instantanee a tensiunii U_{LN} devine mai mare decat tensiunea de prag a segmentului D79.1; acest moment este la 0.28ms de la trecerea prin zero a tensiunii rețetei.

Pentru descrierea functionarii circuitului de comutare a segmentelor de LED-uri consider intai ca sursa de curent constant este nemodulata si absoarbe un curent constant si egal cu 400mA precum si ca la cuplarea tensiunii de alimentare U_{LN} la bornele L respectiv N, tensiunea alternativa trece prin zero. De asemenea, consider ca la bornele L,N se aplica o tensiune alternativa sinusoidala, cu valoarea efectiva de 230V_{ef} si frecventa de 50Hz. Descriind ulterior si functionarea sursei de curent constant modulate trapezoidal in amplitudine, din alaturarea celor doua descrieri rezulta functionarea intregului aparat.

Atunci cand U_{LN} are 0V toate tranzistoarele Q59,Q67,Q3,Q4,Q5,Q6,Q25,Q26 sunt saturate deschis. Deoarece tranzistorul Q59 care sunteaza segmentele D79.2,D79.3, ...,D79.9 este saturat deschis, schema echivalenta a aparatului este formata din puntea redresoare GR2 conectata in serie cu sursa de curent constant CCS si un singur segment D79.1 format din 10 LED-uri; la cresterea tensiunii U_{LN} de la 0 si pana la atingerea valorii de prag de 28.5V [10 LED x 2.85V = 28.57V], curentul absorbit de aparat din rețea este zero pentru ca sirul D79.1 nu conduce, tensiunea la bornele lui fiind inferioara tensiunii de prag. La cresterea tensiunii U_{LN} peste cca 28.5V, curentul prin aparat care este egal cu curentul prin segmentul D79.1 creste exponential odata cu tensiunea aplicata, pana la valoarea de 400mA, fiind limitat superior la 400mA de sursa de curent CCS. Prezenta in serie cu D79.1 a sursei de curent constant CCS

limiteaza si tensiunea maxima care cade pe segmentul D79.1 la cca 34V care este caderea de tensiune pe 10 LEDuri legate in serie si prin care trec cca 400mA. Astfel, pentru U_{LN} intre 0 si 34V, intreaga tensiune prezenta la bornele L,N se regaseste pe D79.1; pe masura ce U_{LN} depaseste 34V, tensiunea la bornele segmentului D79.1 ramane constanta si egala cu cca 34V, diferenta de tensiune fiind preluata de tranzistorul Q52 din componenta sursei de curent constant CCS.

In momentul in care tensiunea la bornele L,N atinge primul prag de comutare stabilit de rezistorii R24,R11,R10,R13,R14,R16,R12,R15,R19, comparatorul U1.2 pune poarta tranzistorului Q59 la potential zero, blocandu-l, aceasta actiune introducand teoretic toate segmentele D79.2,...D79.9 in serie cu D79.1. In fapt, segmentele D79.3,...,D79.9 fiind suntate in continuare la masa de tranzistorul Q67 care este saturat deschis astfel incat blocarea tranzistorului Q59 introduce in serie cu D79.1 numai segmentul D79.2; curentul absorbit de aparat este stabilit de tensiunea U_{LN} la momentul comutarii si de caracteristicile curent/tensiune ale celor 20 de diode luminescente din D79.1+D79.2 montate in serie. Daca este mai mic de 400mA, la cresterea in continuare a tensiunii U_{LN} , curentul prin segmentele D79.1+D79.2 creste exponential, pana cand atinge valoarea de 400mA, unde este limitat de sursa de curent constant CCS. Dupa ce curentul prin D79.1+D79.2 a atins valoarea de 400mA, tensiunea la bornele segmentelor D79.1+D79.2 ramane constanta si limitata la cca 68V, intreaga crestere in continuare a tensiunii U_{LN} fiind preluata de tranzistorul Q52 din sursa de curent constant CCS. La depasirea valorii de prag stabilite de rezistorii R24,R11,R10,R13,R14,R16,R12,R15,R19 comparatorul U1.1 blocheaza tranzistorul Q67 si astfel schema introduce segmentul D79.3 in serie cu D79.2 si D79.1.

In continuare, la depasirile succesive a valorilor de prag stabilite de R24,R11,R10,R13,R14,R16,R12,R15,R19 schema introduce succesiv in serie cu segmentele de LEDuri deja existente, segmente suplimentare care preiau o parte caderea de tensiune la bornele sursei de curent constant CCS.

Scaderea tensiunii la borne U_{LN} face ca procesul descris mai sus sa se desfasoare in sens invers, la scaderea tensiunii instantanee U_{LN} sub nivelurile de prag prestabilite schema scotand succesiv cate un segment de LED-uri din seria de LEDuri prin suntarea lui la masa prin comutatorul realizat cu tranzistorul MOS corespunzator.

Introducerea respectiv scoaterea din circuit a segmentelor D79.2,...D79.9 se poate face prin mai multe metode, pricipiul de functionare ramanand acelasi, si anume preluarea caderii de tensiune la bornele anod-catod ale sursei de curent constant CCS in parte sau in tot prin introducerea sau scoaterea din serie cu aceasta a cate unui segment format din LED-uri conectate in serie.

In urma comutarii succesive descrise mai sus am asigurat ca prin LED-uri trec trenuri de impulsuri de curent de amplitudine constanta si egala cu 400mA, aproximativ dreptunghiulare, incepand de la cca 0.3ms si pana la cca 9.7ms ale fiecarei semiperioade de 10ms a tensiunii U_{LN} de alimentare si alternante sinusoidale cu frecventa de 50Hz.

Pentru incadrarea armonicilor curentului absorbit din retea in limitele maxime impuse de EN61000-3-2, anvelopa curentului absorbit din retea trebuie sa varieze trapezoidal asa cum este indicat in Figura 2 si anume sa creasca de la 0 la 400mA in intervalul de timp dintre 0 si 1.4ms de la trecerea prin zero a tensiunii retelei U_{LN} , sa ramana constant si egal cu 400mA in intervalul dintre 1.4ms si 8.6ms de la trecerea prin zero a tensiunii retelei U_{LN} respectiv sa scada de la 400mA la zero in intervalul dintre 8.6ms si 10ms de la trecerea prin zero a tensiunii retelei U_{LN} , pentru fiecare semialternanta de 10ms a tensiunii retelei U_{LN} . Aceasta variatie poate fi obtinuta moduland in amplitudine si in faza cu tensiunea retelei a curentului absorbit de sursa de curent constant CCS asa cum este detaliat in continuare.

Pentru varierea anvelopei curentului absorbit de sursa de curent constant CCS se moduleaza parametric curentul absorbit de sursa CCS prin limitarea variatiei tensiunii din baza tranzistorului Q33.

La cresterea tensiunii sinusoidale instantanee U_{LN} , intre zero si cca $150V_{CC}$, tensiunea in punctul J5 este zero, fiind tinuta la valoarea zero de tranzistorul MOSFET Q5 care este saturat. Astfel tensiunea dintre iesirea „plus” a puntii redresoare GR2 si J5 variaza tot sinusoidal. Deoarece variatia functiei sinus pentru argument mai mic de +/- 30 grade in jurul lui

zero este aproximativ liniara, putem aproxima ca variatia tensiunii dintre iesirea „plus” a puntii redresoare GR2 si punctul J5 este si ea, liniara. La cresterea tensiunii sinusoidale instantanee U_{LN} peste cca 150V, tranzistorul Q5 se blocheaza, diferenta de tensiune dintre iesirea „plus” a puntii redresoare GR2 si punctul J5 variind complex intr-un tunel cuprins intre cca 150V_{cc} si 220V_{cc} limitarea inferiara fiind data de caderea de tensiune pe segmentele de LEDuri D79.1, ...D79.5 iar limitarea superioara fiind data de caderea de tensiune pe segmentele de LEDuri D79.1, ...D79.5 la care se adauga si caderea de tensiune variabila de pe sursa de curent constant CCS. La scaderea tensiunii sinusoidale instantanee U_{LN} sub 150V, tranzistorul Q5 se satureaza din nou, tensiunea in drena lui si implicit tensiunea in punctul J5 devenind aproximativ egala cu zero. Variatia tensiunii dintre iesirea „plus” a puntii redresoare GR2 si punctul J5 atunci cand tensiunea instantanee U_{LN} scade de la 150V_{cc} la zero variaza liniar de la 150V la zero. Diferenta de tensiune dintre baza tranzistorului Q33 si iesirea „plus” a puntii redresoare GR2 variaza proportional cu diferenta de tensiune dintre iesirea „plus” a puntii redresoare GR2 si tensiunea punctului J5, factorul de proportionalitate fiind determinat de divizorul rezistiv format din rezistorul R32 si respectiv de suma rezistentelor rezistorilor R39+R34+R51. Datorita prezentei diodelor zenner D38 si respectiv D1,D2,D3, diferenta de tensiune dintre baza tranzistorului Q33 si iesirea „plus” a puntii redresoare GR2 ar trebui sa varieze liniar de la zero la o valoare maxima intre 0 si 1.4ms de la fiecare trecere prin zero a tensiunii sinusoidale a retelei U_{LN} , sa fie constanta intre 1.4ms si 8.6ms de la trecerea prin zero a tensiunii sinusoidale a retelei U_{LN} si respectiv sa scada de la valoarea constanta si maxima la zero intre 8,4ms si 10ms de la trecerea prin zero a tensiunii sinusoidale a retelei U_{LN} . Prezenta insa a diodei D36 in serie cu R32 introduce un offset de cca 0.7V, variatia tensiunii dintre iesirea „plus” a puntii redresoare GR2 si baza tranzistorului Q33 crescand liniar de la cca 0.7V la valoarea maxima intre 0 si 1.4ms de la fiecare trecere prin zero a tensiunii sinusoidale a retelei U_{LN} respectiv scazand de la valoarea maxima la cca 0.7V intre 8.6ms si 10ms de la fiecare trecere prin zero a tensiunii sinusoidale a retelei U_{LN} . Offsetul de cca 0.7V introdus de D36 compenseaza caderea de tensiune pe jonctiunea baza-emitor a tranzistorului Q33, astfel incat caderea de tensiune pe rezistenta R42 care este plasata intre emitorul tranzistorului Q33 si iesirea „plus” a puntii redresoare GR2 variaza intre 0 si o valoare maxima, respectiv scade de la valoarea maxima la 0 pe aceleasi intervale de timp. In mod corespunzator, curentul care trece prin R42, adica curentul absorbit de sursa de curent constant CCS variaza trapezoidal, crescand de la zero la o valoare maxima intre 0 si 1.4ms, fiind constant intre 1.4ms si 8.6ms si respectiv scazand liniar de la valoarea maxima la zero intre 8.6ms si 10ms de la fiecare trecere prin zero a tensiunii sinusoidale U_{LN} a retelei.

Rezistorul R50 are rolul de a stabiliiza termic perechea Sziklai formata din tranzistoarele Q33 si Q52, valoarea sa rezultand din conditia ca pentru curentul rezidual al Q33 caderea de tensiune pe R50 sa fie mai mica decat tensiunea de deschidere a jonctiunii baza-emitor a tranzistorului Q52 si care este aproximativ egala cu 0.7V.

Pentru valori instantanee ale U_{LN} mai mici de 50V, curentii prin divizorul de tensiune format de R51,R34,R39 si R32 sunt mici, de acelasi ordin de marime cu curentul care trece prin baza tranzistorului Q33, amplificarea in curent a tranzistorului Q33 fiind mica. Amplificarea mica a tranzistorului Q33 are drept consecinta stabilizarea proasta a curentului absorbit de sursa de curent constant la variatia sarcinii, astfel incat intrarea in conductie exponentiala a LEDurilor segmentului D79.1 atunci cand valoarea instantanee a U_{LN} depaseste pragul de cca 28V, provoaca trecerea prin sursa de curent constant a unui impuls de curent in afara anvelopei trapezoidale dorite. Pentru limitarea amplitudinii acestui impuls de curent, intre catodul segmentului D79.1 si drena tranzistorului Q59 se introduce rezistorul R27.

Sursa de alimentare este dimabila prin micșorarea valorii instantanee sau a valorii medii a tensiunii limitate de cel de-al doilea limitator de tensiune constituit din cele 3 diode zenner D1,D2,D3 legate in serie. Micșorarea tensiunii limitate este realizata de impedanta variabila a unui optocuplor conectat in paralel pe diodele zenner D1,D2,D3. Elementul variabil este impedanta variabila colector-emitor a unui fototranzistor atunci cand optocuplorul este obisnuit, este rezistenta unui fotorezistor atunci cand optocuplorul este un optocuplor cu fotorezistenta sau este rezistenta variabila a canalului unui tranzistor J-FET atunci cand optocuplorul este un optocuplor cu J-FET.

REVENDICARI

1) Aparat de iluminat cu LEDuri de mare putere alimentat direct din rețeaua publică de tensiune alternativă (U_{LN}),

aparatură cuprinzând

- o punte redresoare (GR2)
- un șir format dintr-o multitudine de LED-uri legate în serie și împartite în mai multe segmente (D79.1, D79.2, ..., D79.9), fiecare segment fiind format dintr-un număr egal sau diferit de LEDuri
- circuite comparatoare (U1.1, U1.2, U1.3, U1.4, U2.1, U2.2, U2.3, U2.4)
- tranzistori MOSFET (Q59, Q67, Q3, Q4, Q5, Q6, Q25, Q26) a căror comutare este comandată respectiv de circuitele comparatoare (U1.1, U1.2, U1.3, U1.4, U2.1, U2.2, U2.3, U2.4), tensiunile de prag ce determină comutarea având valori prestabilite
- # fiecare pereche formată dintr-un tranzistor (Q59, Q67, Q3, Q4, Q5, Q6, Q25, Q26) și un circuit comparator (U1.1, U1.2, U1.3, U1.4, U2.1, U2.2, U2.3, U2.4) care comandă respectivul tranzistor fiind montată între anodul câte unui segment de LEDuri (D79.2, D79.3, ..., D79.9) și masă, mai puțin între anodul primului segment (D79.1) inserat cu sursa de curent constant (CCS) și masă
- rezistori (R24, R11, R10, R13, R14, R16, R12, R15, R19) montați între ieșirile „plus” și „minus” ale punții redresoare (GR2), care stabilesc pragurile de tensiune la care comută respectivele circuite comparatoare (U1.1, U1.2, U1.3, U1.4, U2.1, U2.2, U2.3, U2.4)
- o sursă de curent constant (CCS) modulată trapezoidal în amplitudine, în fază cu tensiunea rețelei (U_{LN}) formată dintr-o diodă redresoare (D36) inserată cu 3 divizoarele rezistive formate din rezistoarele (R51, R34, R39, R32), două etaje limitatoare de tensiune formate de diodele zenner (D38) respectiv (D3, D2, D1), un condensator de filtrare (C73), două tranzistoare bipolare conectate în pereche Sziklai (Q33, Q52), un rezistor de polarizare a perechii Sziklai (R50) și un rezistor de stabilire a palierului curentului absorbit de sursa de curent constant (R42)
- un rezistor de limitare (R27) montat între catodul segmentului (D79.1) și drena tranzistorului (Q59)
- rezistori (R62, R68, R8, R9, R17, R20, R22, R23) montați între ieșirile comparatoarelor (U1.1, U1.2, U1.3, U1.4, U2.1, U2.2, U2.3, U2.4) și portile tranzistoarelor MOSFET (Q59, Q67, Q3, Q4, Q5, Q6, Q25, Q26)

în care,

la creșterea tensiunii instantanee (U_{LN}) peste tensiunile de prag prestabilite de divizorii de tensiune formați din rezistorii (R24, R11, R10, R13, R14, R16, R12, R15, R19), circuitele comparatoare (U1.1, U1.2, U1.3, U1.4, U2.1, U2.2, U2.3, U2.4) blochează succesiv unul câte unul din tranzistoarele (Q59, Q67, Q3, Q4, Q5, Q6, Q25, Q26), introducând astfel succesiv în serie cu sursa de curent constant și cu cel puțin primul segment (D79.1) deja prezent în serie câte un segment suplimentar (D79.2, D79.3, ..., D79.9), segmente suplimentare care preiau în parte sau în tot caderea de tensiune pe sursa de curent constant;

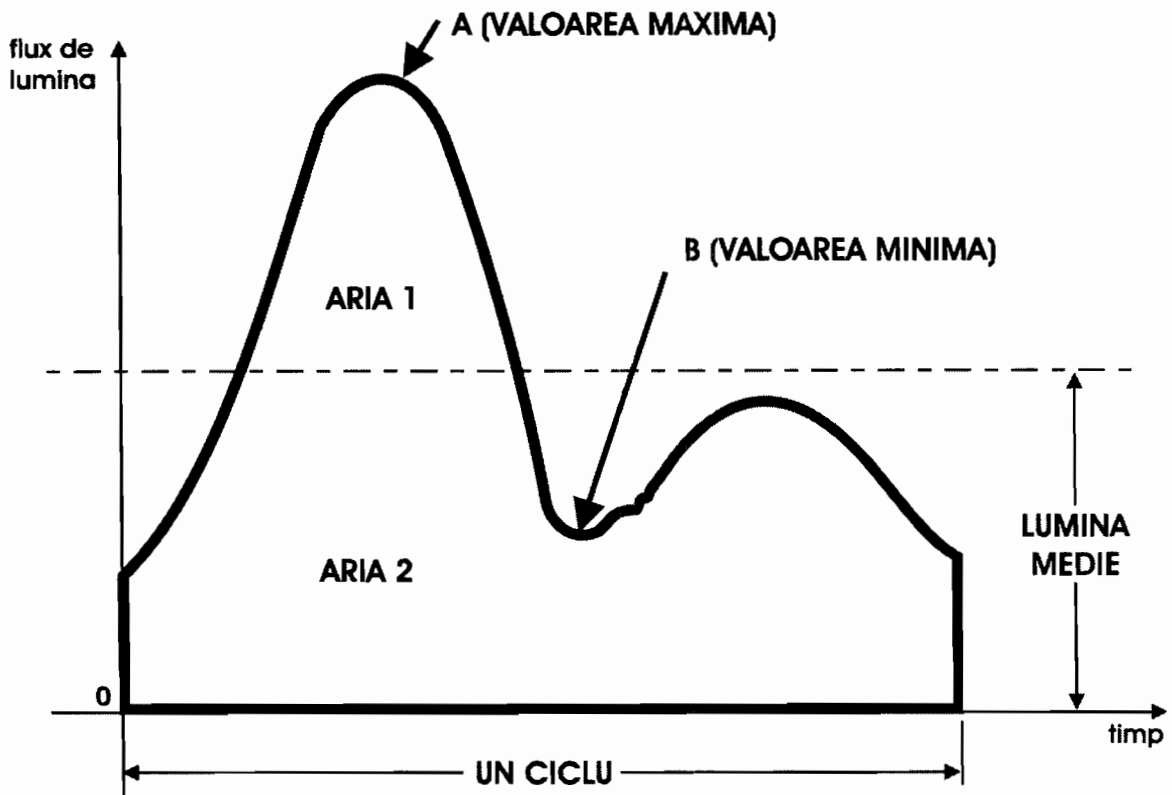
iar la scăderea tensiunii (U_{LN}) sub tensiunile de prag prestabilite, circuitele comparatoare (U1.1, U1.2, U1.3, U1.4, U2.1, U2.2, U2.3, U2.4) saturează succesiv tranzistorii (Q59, Q67, Q3, Q4, Q5, Q6, Q25, Q26), eliminând astfel succesiv din serie câte un segment (D79.2, D79.3, ..., D79.9), cu excepția primului segment (D79.1)

respectiv

pentru fiecare semialternanță de 10ms a tensiunii rețelei (U_{LN}) de 50 Hz la creșterea tensiunii instantanee a rețelei (U_{LN}) în intervalul de la 0 la 1.4ms de la trecerea prin zero a tensiunii rețelei (U_{LN}) caderea de tensiune de pe rezistorul (R42) repetată din baza tranzistorului (Q33) crește liniar, astfel încât curentul care trece prin rezistorul (R42), absorbit de sursa de curent constant și implicit de aparat crește liniar de la zero la valoarea maximă stabilită, în intervalul de la 1.4ms până la 8.6ms de la trecerea prin zero a tensiunii rețelei (U_{LN}), caderea de tensiune pe rezistorul (R42) repetată din baza tranzistorului (Q33) este constantă și maximă, astfel încât curentul care trece prin rezistorul (R42) absorbit de sursa de curent constant și implicit de aparat este constant și maxim, iar în intervalul de la 8.6ms la 10ms de la trecerea prin zero a

tensiunii rețelei (U_{LN}) caderea de tensiune de pe rezistorul (R42) repetată din baza tranzistorului (Q33) scade liniar, astfel încât curentul care trece prin rezistorul (R42) absorbit de sursa de curent constant și implicit de aparat scade liniar de la valoarea maximă la zero, **caracterizat prin aceea ca**

- puntea redresoare (GR2) are ieșirea „plus” conectată în serie cu
componente care alcătuiesc sursa de curent constant : patru rezistoare (R51,R34,R39,R32) și o diodă (D36) care alcătuiesc un divizor de tensiune în cascada cu trei etaje, diodele zenner (D38,D1,D2,D3) care alcătuiesc un limitator de tensiune în cascada cu două etaje, două tranzistoare bipolare (Q33,Q52) conectate în pereche Sziklai, un rezistor (R50) de polarizare, un rezistor (R42) de stabilire a curentului maxim absorbit de sursa de curent constant și un condensator (C71) de filtrare,
- puntea redresoare (GR2) are ieșirea „minus” conectată la masa montajului
- divizorul de tensiune în cascada cu trei etaje format din patru rezistoare (R51,R34,R39,R32) și diodă (D36) este conectat între „plusul” punții redresoare (GR2) și drena tranzistorului (Q5)
- anodul diodei zenner (D38) care alcătuiește primul etaj limitator de tensiune și care îmbunătățește forma trapezoidală a curentului absorbit de aparat este conectat în punctul comun al rezistoarelor (R51) și (R34) iar catodul ei este conectat la ieșirea „plus” a punții redresoare (GR2)
- anodul sirului de diode zenner de tensiune mică (D1,D2,D3) conectate în serie care alcătuiește al doilea etaj limitator de tensiune și care realizează compensarea termică a puterii absorbite de aparat din rețea este conectat în punctul comun al rezistoarelor (R34) și (R39) iar catodul lui este conectat la ieșirea „plus” a punții redresoare (GR2)
- baza tranzistorului (Q33) este conectată în punctul comun al rezistoarelor (R39) și (R32)
- condensatorul C71 este conectat între baza tranzistorului (Q33) și ieșirea „plus” a punții redresoare (GR2)
- ieșirea sursei de curent constant și anume emitorul tranzistorului (Q52) este conectată la anodul sirului de LED-uri
- catodul sirului de leduri este conectat la masa
- condensatorul C60 este conectat între anodul sirului de LED-uri și masa
- valorile divizorului de tensiune în cascada cu trei etaje format din patru rezistoare (R51,R34,R39,R32) și diodă (D36) precum și valorile tensiunilor de străpungeră ale celor patru diode zenner (D38,D1,D2,D3) care alcătuiesc cele două limitatoare de tensiune în casacada fiind astfel alese încât profilul curentului absorbit de sursa de curent constant are o formă pronunțat trapezoidală, crescând de la zero la o valoare maximă între 0 și 1.4ms de la fiecare trecere prin zero a tensiunii sinusoidale a rețelei (U_{LN}), este constant și maxim între 1.4ms și 8.6ms de la trecerea prin zero a tensiunii sinusoidale a rețelei (U_{LN}) și respectiv scade de la valoarea constantă și maximă la zero între 8,4ms și 10ms de la trecerea prin zero a tensiunii sinusoidale a rețelei (U_{LN})



Flicker Index = Aria superioara / Aria totala = Aria1 / (Aria1 + Aria2)

Percent Flicker = 100% x (Max - Min) / (Max + Min) = 100% x (A - B) / (A + B)

Fig. 1 Profilul de referinta pentru definirea indicilor de palpaire

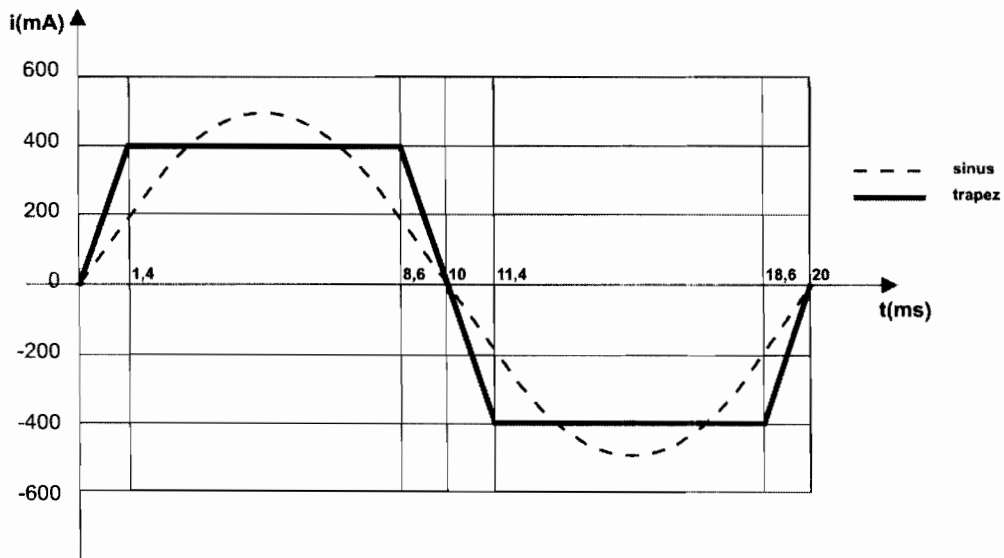


Figura 2 Definitia forme de unda trapezoidală a curentului absorbit

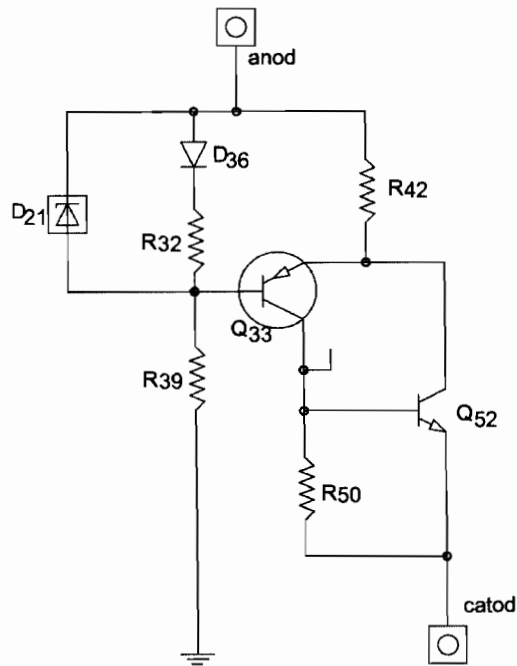


Figura 3. Schema sursei de curent constant simple care absoarbe un curent modulat cvasi-trapezoidal

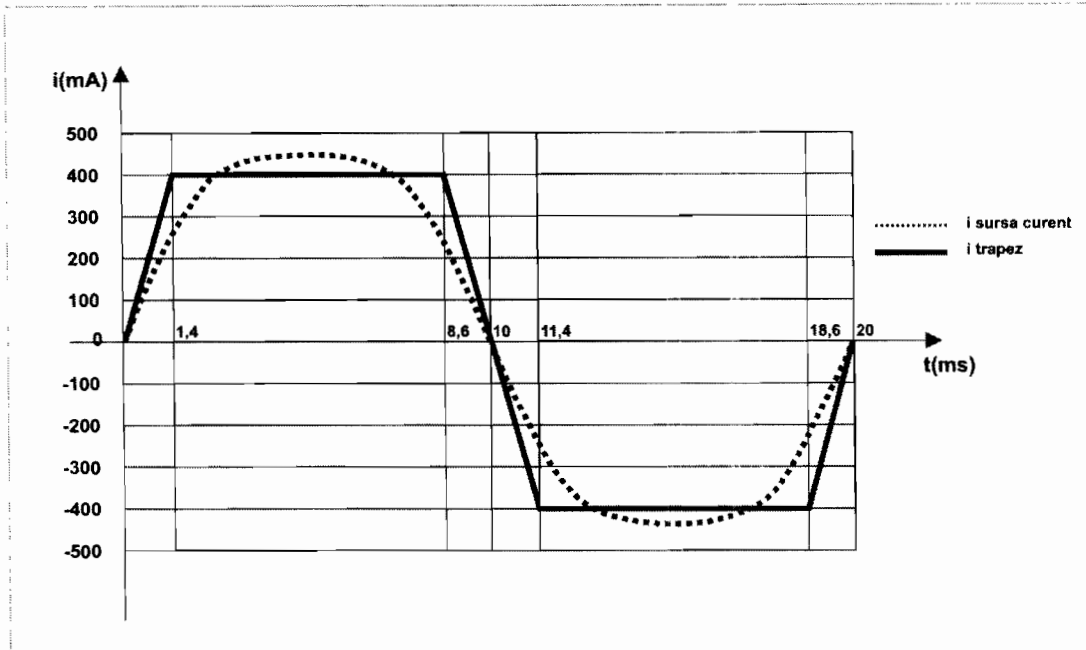


Figura 4. Profilul curentului redresat bi-alternanta absorbit din retea de sursa de curent constant din Figura 3, atunci cand elementul limitator este o dioda Zener.

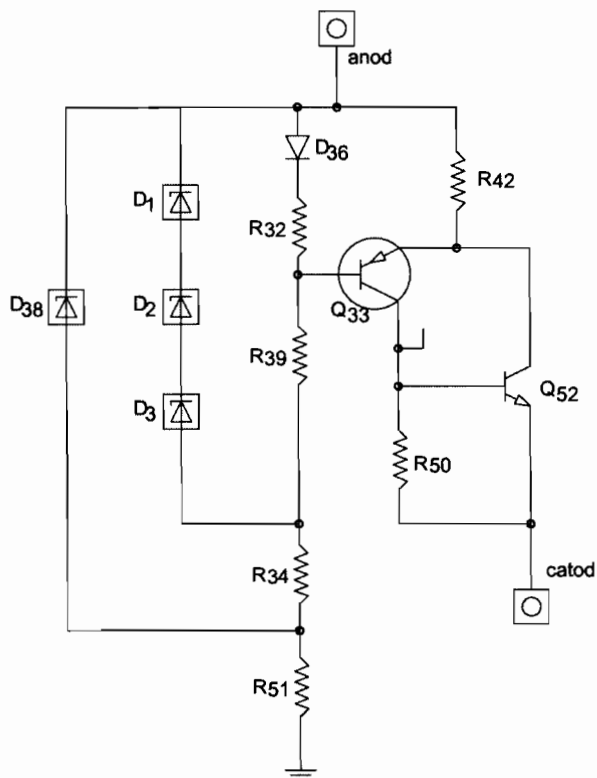


Figura 5. Schema sursei de curent constant stabilizata termic care absoarbe un curent modulata trapezoidal

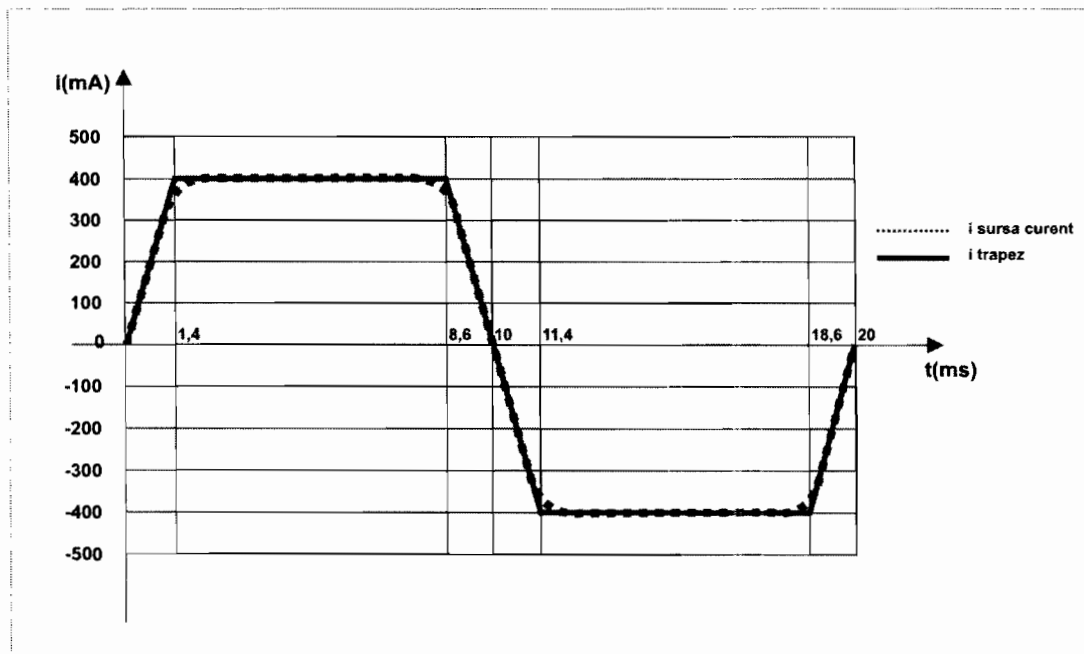


Figura 6. Profilul curentului redresat bi-alternanta absorbit din retea de sursa de curent constant din Figura 5

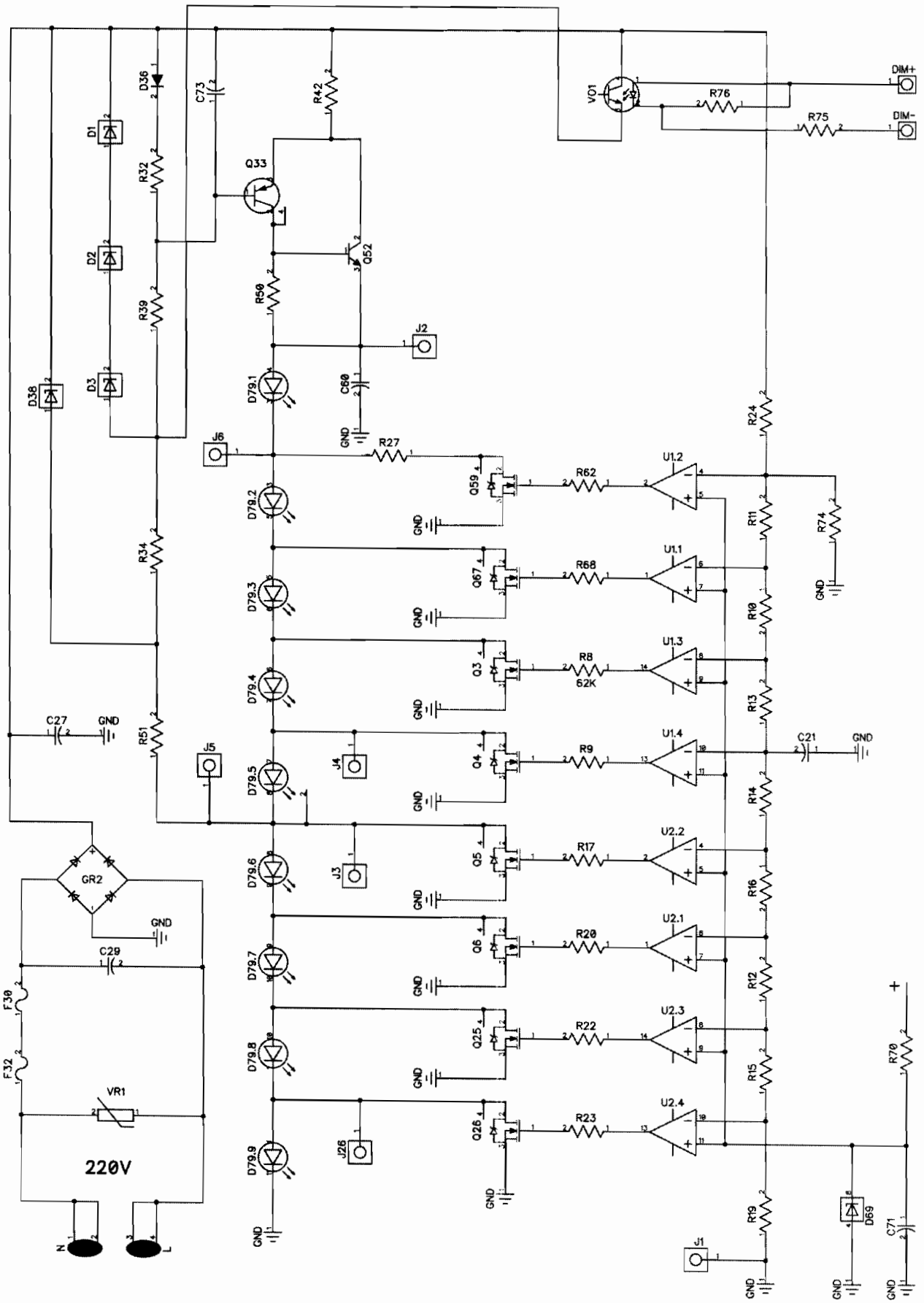


Figura 8. Schema electrica de principiu a aparatului de iluminat cu dimare