



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00503**

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

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/03/2022** BOPI nr. **3/2022**

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

(73) Titular:
• **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, 011882, BUCUREȘTI**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
RO 129203 A2; US 2011273102

(54) **APARAT DE ILUMINAT CU LED-URI, ALIMENTAT
DIN REȚEAUA PUBLICĂ DE TENSIUNE ALTERNATIVĂ**



RO 131013 B1

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

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

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

21 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 pâlpâire. Pâlpâirea este un fenomen descris metric de indicatorul „pâlpâire procentuala”
23 sau de indicatorul „indice de pâlpâire” ambele definite în fig. 1. Pe măsura maturizării tehnolo-
giei iluminatului cu LED-uri indicatorului „indice de pâlpâire” a devenit prevalent din cauză
25 că definirea lui în funcție de energie este mai apropiată de fiziologia receptorilor de lumină
din ochi; din acest motiv toate referirile ulterioare la pâlpâire vor fi făcute exclusiv în indice
27 de pâlpâire. Valorile indicilor de pâlpâire caracteristici surselor de alimentare direct AC
cunoscute și care aproximează curentul absorbit din rețeaua publică cu funcția sinus variază
29 de la 0,34 până la peste 0,5.

31 Pentru minimizarea pâlpâirii 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} :

33
$$i_{\text{trapez}}(t) = I_1 \sin(\omega t) + 0,3 I_1 \sin(3\omega t) + 0,1 I_1 \sin(5\omega t) + 0,026 I_1 \sin(7\omega t) + 0,03 I_1 \sin(13\omega t)$$

+ 0,03 $I_1 \sin(15\omega t)$ + 0,012 $I_1 \sin(17\omega t)$ + 0,03 $I_1 \sin(25\omega t)$ + 0,03 $I_1 \sin(29\omega t + 1,215 \cdot 10^{-11})$ +
35 0,017 $I_1 \sin(35\omega t)$ unde I_1 este amplitudinea fundamentalei (cu frecvența de 50 Hz) curentului
absorbit, iar ω este pulsația curentului cu frecvența fundamentalei, de 50 Hz. În fig. 2 este
37 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.
39 Indicele de pâlpâire 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
41 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
43 trapezoidală simplificată indicată în fig. 2 este cunoscută metoda modulării lui în amplitudine
și în faza cu tensiunea rețelei cu o sursă de curent constant modulată în amplitudine plasată
45 în serie cu șirul de LED-uri.

Cea mai simplă metodă de modulare a curentului absorbit de o sursă de curent
47 constant astfel încât forma curentului absorbit să aproximeze forma trapezoidală indicată în
fig. 2 este limitarea excursiei tensiunii de referință din baza tranzistorului Q33 cu un element
49 de limitare a tensiunii, așa cum se prezintă în fig. 3. Elementul de limitare a tensiunii din baza

RO 131013 B1

tranzistorului Q33 și marcat D21 poate fi o diodă Zener, un circuit integrat referința de tensiune, un varistor sau orice alt element de circuit limitator de tensiune. Această topologie este însă pur teoretică, circuitul din fig. 3 nefiind potrivit nici din perspectiva aproximării fidele a formei de undă trapezoidale a curentului absorbit, nici din perspectiva zgomotului electric generat de aparat și nici din perspectiva stabilității cu temperatura a curentului absorbit. În fig. 4 este prezentat profilul curentului redresat bi-alternanță absorbit de sursa de curent constant din fig. 3 atunci când elementul limitator de tensiune este o diodă Zener.

Analizând ecuația de funcționare a sursei de curent constant modulată parametric în amplitudine a cărei schemă electrică este prezentată în fig. 3 se observă că la variația cu temperatură a tensiunii de străpungere a diodei Zener se adună și variația cu temperatură a căderii de tensiune pe joncțiunea baza-emitor a tranzistorului Q33 astfel încât curentul maxim absorbit de sursa de curent constant variază semnificativ atunci când temperatura diodei Zener D21 și a tranzistorului Q33 variază. Curentul absorbit de un aparat de iluminat echipat cu sursa de curent detaliată în fig. 3 crește cu mai mult de 20% atunci când temperatura aparatului crește de la 25°C la 65°C.

Circuitul conform invenției înlătură dezavantajele prezentate în stadiul tehnicii prin aceea că include componente de circuit montate astfel încât aparatul prezintă o pâlpâire minim posibilă, absoarbe din rețeaua publică o putere stabilizată la variația temperaturii, iar nivelul armonicilor curentului absorbit din rețea și nivelul zgomotului electric generat de aparat respectă standardele EMC/EMI.

Aparatul de iluminat cu LED-uri, conform invenției, cuprinde o sursă de curent constant, modulată trapezoidal în amplitudine, în fază cu tensiunea rețelei, formată dintr-o diodă redresoare, înseriată cu divizoare rezistive, formate dintr-o multitudine de rezistoare, două etaje limitatoare de tensiune, formate din diode Zener, respectiv două tranzistoare bipolare în pereche Sziklai, un rezistor de polarizare a perechii Sziklai și un rezistor de stabilire a palierului curentului absorbit de sursa de curent constant; o punte redresoare având ieșirea "plus" conectată în serie cu sursa de curent constant, și ieșirea "minus" conectată la masă; un șir format dintr-o multitudine de LED-uri legate în serie și împărțite în mai multe segmente; circuite comparatoare, tranzistoare MOSFET a căror comutare este comandată respectiv de circuitele comparatoare, tensiunile de prag ce determină comutarea având valori prestabilite, fiecare pereche formată dintr-un tranzistor și un circuit comparator asociat fiind montată între anodul câte unui segment de LED-uri și masă, mai puțin între anodul primului segment înseriat cu sursa de curent constant și masă; rezistori montați între ieșirile "plus" și "minus" ale punții redresoare, care stabilesc pragurile de tensiune la care comută respectivele circuite comparatoare; rezistori montați între ieșirile comparatoarelor și porțile tranzistoarelor MOSFET, aparatul cuprinzând suplimentar un condensator de filtrare, un rezistor făcând parte din sursa de curent constant, un rezistor de limitare și un condensator.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- variația puterii absorbite din rețea este mai mică de 3% atunci când temperatura aparatului crește de la 2°C la 65°C;

- este de mare putere și asigură nativ conformarea cu standardul armonic EN61000-3-2 fără a mai fi necesare măsuri suplimentare de corecție a factorului de putere sau a nivelului armonicilor curentului absorbit;

- asigură nativ conformarea cu standardul EMI/EMC EN55014 fără a mai fi necesară utilizarea suplimentară a unor filtre specializate;

RO 131013 B1

1 - nu conține bobine, transformatoare sau condensatoare electrolitice ci exclusiv
elemente de circuit miniatură/rminiaturizabile [componente semiconductoare, condensatoare
3 nepolarizate și rezistoare] permițând astfel realizarea unor aparate de iluminat ultra subțiri,
integrabile pe placa de circuit imprimat pe care sunt plantate LED-urile sau chiar în modulul
5 cu LED-uri de tip COB, cu doar două terminale de alimentare direct de la rețeaua publică de
tensiune alternativă;

7 - are durata de viață mare, similară duratei de viață a LED-urilor.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a circuitului pentru o putere absorbită din rețea
9 de 80 W în legătură cu fig. 1...8 care reprezintă:

- fig. 1, profilul de referință pentru definirea indicilor de pălpâire;

11 - fig. 2, definiția formei de undă trapezoidale a curentului absorbit;

- fig. 3, schema sursei de curent constant (CCS) simple care absoarbe un curent
13 modulată cvasi-trapezoidal;

- fig. 4, profilul curentului redresat bi-alternanță absorbit din rețea de sursă de curent
15 constant (CCS) din fig. 3;

- fig. 5, schema sursei de curent constant (CCS) stabilizată termic care absoarbe un
17 curent modulată trapezoidal;

- fig. 6, profilul curentului redresat bi-alternanță absorbit din rețea de sursă de curent
19 constant (CCS) din fig. 5;

- fig. 7, schema electrică de principiu a aparatului de iluminat fără dimare;

21 - fig. 8, schema electrică de principiu a aparatului de iluminat cu dimare.

În scopul compensării reacției pozitive dintre curentul absorbit de sursa de curent
23 constant și temperatură precum și în scopul aproximării cât mai bune a formei de undă
trapezoidale a curentului absorbit se propune schema detaliată în fig. 5. Grupul celor 3 diode
25 Zener înseriate **D1**, **D2** și **D3**, fiecare cu tensiune de străpungere mică, exploatează faptul
că tensiunea de străpungere a diodelor Zener cu tensiune de străpungere mai mică de 5V
27 scade atunci când temperatura lor crește; variația negativă compusă a tensiunii limitate de
cele 3 diode Zener conectate în serie compensează și variația căderii de tensiune baza-
29 emitor a tranzistorului **Q33** astfel încât curentul maxim absorbit de sursa de curent constant
și implicit de aparat variază cu mai puțin de 5% atunci când temperatura aparatului crește
31 de la 25°C la 65°C. Pentru asigurarea unei eficiențe cât mai mari a sursei de alimentare,
căderea de tensiune pe **R42** trebuie să fie cât mai mică, dar pentru asigurarea predictibilității
33 valorii curentului limitat de sursa de curent constant, căderea de tensiune pe rezistorul **R42**
trebuie să fie cât mai mare relativ la căderea de tensiune pe joncțiunea baza-emitor a
35 tranzistorului **Q33**. Compromisul este stabilirea administrativă a căderii de tensiune pe rezis-
torul **R42** la circa 3x0,7 V, motiv pentru care între **D1**, **D2**, **D3** și baza tranzistorului **Q33** se
37 introduce divizorul rezistiv format de grupul **R32** și **R39**.

Caracteristica curent-tensiune a diodelor Zener de valoare mică este lină, puțin
39 abruptă, curentul absorbit de sursa de curent constant ne-urmărind fidel forma trapezoidală
definită, cu limitări bruște și ferme la 1,4 ms respectiv 8,6 ms; pentru aproximarea bună a
41 formei trapezoidale a curentului absorbit în schemă este adăugat circuitul suplimentar de
limitare format din **R34** și dioda Zener cu tensiune mare de străpungere **D38**, deoarece
43 diodele Zener cu tensiune mare de străpungere au caracteristica de limitare a tensiunii
abruptă. Pentru compensarea tensiunii de deschidere bază-emitor a tranzistorului **Q33** în
45 schemă este prevăzută dioda **D36**; prezența diodei **D36** face ca forma de undă a curentului
absorbit de sursa de curent constant să varieze liniar chiar și în apropierea trecerii prin zero
47 a tensiunii rețelei. În fig. 6 este prezentat profilul curentului redresat bi-alternanță absorbit de
sursa de curent constant a cărei schemă este propusă în fig. 5.

RO 131013 B1

Zgomotul generat de un aparat de iluminat echipat cu o sursă de alimentare “direct AC” are două cauze principale: viteza limitată cu care sursa de curent constant răspunde la variațiile rapide ale tensiunii pe circuitul ei de sarcină, respectiv propagarea inversă a impulsurilor de tensiune dinspre emitorul tranzistorului **Q52**, înspre baza tranzistorului **Q33** prin capacitățile Miller ale tranzistoarelor bipolare **Q33** și **Q52** și alterarea astfel a tensiunii de referință din baza tranzistorului **Q33**. Zgomotul generat de topologiile prezentate în fig. 3 respectiv în fig. 5 depășește limita maximă admisă de EN55014.

Viteza limitată cu care sursa de curent constant reglează curentul absorbit atunci când tensiunea pe circuitul ei de sarcină variază se datorează în principal sarcinilor electrice stocate în baza tranzistorului de putere **Q52**, atunci când acesta este saturat deschis. O metodă de micșorare a zgomotului datorat vitezei mici de reglare a curentului absorbit de sursa de curent constant, este limitarea a însăși vitezei de variație dV/dt a tensiunii pe circuitul ei de sarcină și datorate comutării segmentelor șirului de LED-uri cu tranzistoare MOSFET rapide. Observând distribuția spectrală a zgomotului generat de sursele de alimentare direct AC precum și ținând cont de lărgimea benzii în care acesta este măsurat, se poate concluziona ca pentru încadrarea în standardul EN55014 variația tensiunii datorate comutării unui singur segment de LED-uri trebuie să se finalizeze în mai mult de 30 microsecunde; în cazul în care un singur segment de LED-uri conține 10 LED-uri și astfel căderea de tensiune la bornele lui este de circa 30 V, rezultă ca viteză de variație a tensiunii la bornele circuitului de sarcină al sursei de curent trebuie să fie mai mică de 1V/microsecundă. Pentru limitarea vitezei de variație a tensiunii la bornele circuitului de sarcină al sursei de curent constant sub 1V/microsecundă este suficientă majorarea valorii rezistoarelor **R62**, **R68**, **R8**, **R9**, **R17**, **R20**, **R22**, **R23** din porțile tranzistoarelor MOSFET **Q59**, **Q67**, **Q3**, **Q4**, **Q5**, **Q6**, **Q25**, **Q26**. Limitarea la sub 1V/ μ s a vitezei de variație a tensiunii în drenele tranzistoarelor MOSFET comune, care acumulează sarcini electrice totale între 10 și 30 μ C, se obține prin creșterea valorii rezistențelor din poarta la peste 70-100 k Ω . Dar introducerea unor rezistoare de valoare atât de mare între ieșirile comparatoarelor **U1.1**, **U1.2**, **U1.3**, **U1.4**, **U2.1**, **U2.2**, **U2.3**, **U2.4** și porțile tranzistoarelor MOSFET **Q59**, **Q67**, **Q3**, **Q4**, **Q5**, **Q6**, **Q25**, **Q26** provoacă întârzieri inegale între momentele de timp la care tranzistoarele MOSFET se saturează respectiv se blochează. În scopul egalizării întârzierilor celor două comutări ale tranzistoarelor MOSFET se limitează excursia de tensiune a ieșirii circuitelor comparatoare **U1.1**, **U1.2**, **U1.3**, **U1.4**, **U2.1**, **U2.2**, **U2.3**, **U2.4** la 5V, adică la cea 1-2 V peste tensiunea platoului Miller al tranzistoarelor MOSFET folosite, prin alimentarea comparatoarelor cu doar 5V.

În scopul limitării zgomotului produs de sursa de alimentare direct AC din cauza propagării inverse a impulsurilor de tensiune din catodul sursei de curent către baza lui Q33, se filtrează tensiunea de referință din baza tranzistorului **Q33** prin introducerea unui condensator notat în fig. 7 și fig. 8 cu **C73**. Având în vedere caracterul dinamic al funcționării sursei de curent constant care modulează în amplitudine curentul redresat dubla alternanță absorbit din rețea cu 100 Hz, dublul frecvenței de 50 Hz, constantele de timp încărcare respectiv de descărcare ale circuitului de filtrare trebuiesc alese cu grijă. Pentru păstrarea nivelurilor armonice ale curentului absorbit din rețea mai mici decât limitele maxime impuse de standardul EN61000-3-2, constanta de timp de încărcare, dată de produsul dintre suma rezistențelor **R51**, **R34** și **R39** și **C73**, trebuie să fie mai mică de 5 ms.

În fig. 7 este prezentată shema electrică detaliată a aparatului de iluminat direct AC care absoarbe din rețeaua publică un curent modulat în amplitudine, conform cu cele două standarde indicate mai sus și al cărui consum este stabilizat cu temperatura. Ca măsură de limitare suplimentară a driftului termic al curentului absorbit, capătul rece al rezistorului R51

RO 131013 B1

1 nu se conectează la masă ci se conectează la J5, în drena tranzistorului **Q5**. Conectarea
capătului rece al **R51** în punctul **J5** limitează suplimentar excursia de tensiune pe divizorul
3 rezistiv din baza lui **Q33** format din rezistențele **R39**, **R34**, **R51** legate în serie și **R32** fapt
care este de natură a stabiliza suplimentar curentul absorbit de aparat. Aparatul de iluminat
5 având în componența sa sursa de curent constant al cărei curent este modulată în amplitudine
dimensionată ca mai sus este un aparat conform cu cele două standarde indicate respectiv
7 EN61000-3-2 și EN55014 și care absoarbe din rețea o putere cvasi-constantă care variază
cu mai puțin de 3% atunci când temperatura lui crește de la 25°C la 65°C.

9 În scopul evitării creșterii abrupte a curentului absorbit imediat după intrarea în
conducție a LED-urilor din segmentul **D79.1**, între punctul **J6** și drena tranzistorului MOSFET
11 **Q59** este introdus rezistorul limitator **R27**. Valoarea rezistenței lui se alege sensibil egală cu
valoarea rezistenței dinamice a LED-urilor din segmentul **D79.1** la curentul mediu în conduc-
13 ție al tranzistorului **Q59** și are o valoare între 39Ω și 80Ω.

Deoarece piața cere aparate de iluminat cu nivel de putere reglabil, prin introducerea
15 optocuplorului **V01** așa cum se vede în fig. 8 se obține un aparat a cărui putere este variabilă
în funcție de comanda dintre terminalele **DIM+** și **DIM-** adică este dimabil. În funcție de
17 impedanța elementului de ieșire al optocuplorului și care este montat în paralel pe grupul
serie format din diodele Zener **D1**, **D2** și **D3**, nivelul maxim al curentului constant absorbit de
19 sursă poate fi scăzut continuu până la zero. Nivelul puterii absorbite de aparat din rețea
poate fi astfel variat fie prin aplicarea unor impulsuri PWM fie prin aplicarea unui nivel con-
21 stant de tensiune între **DIM+** și **DIM-** fără ca varierea puterii absorbite să influențeze confor-
marea generală a aparatului cu cele două standarde.

23 Pentru că în practică dimarea prin modularea cu impulsuri PWM se face cu impulsuri
PWM cu frecvența de 1 kHz, adică de 10 ori mai mare decât frecvența cu care sursa de
25 curent constant modulează în amplitudine curentul absorbit, este necesară micșorarea tot
cu un factor de 10 a constantei de timp a circuitului de filtrare din baza tranzistorului **Q33**.
27 Această micșorare se face foarte ușor prin micșorarea de 10 ori a valorii condensatorului
C73; însă micșorarea cu un factor de 10 a lui **C73** nu mai asigură filtrarea eficientă a
29 impulsurilor de tensiune transmise invers prin capacitățile Miller dinspre emitorul tranzis-
torului **Q52** înspre baza tranzistorului **Q33**, astfel încât pentru continuarea conformării cu
31 EN55014 trebuie luate alte măsuri compensatorii. S-a observat ca adăugarea condensato-
rului **C60** cu valoare de zeci nF în paralel peste șirul de LED-uri, adică între punctul **J2** care
33 este catodul sursei de curent constant și masa, re-aduce aparatul în conformitate cu
EN55014, fără a mai fi necesare măsuri suplimentare.

35 Schema electrică de principiu din fig. 8 include o punte redresoare **GR2** a cărei ieșire
„plus” este conectată în serie la anodul unei surse de curent constant **CCS** formată din **D38**,
37 **D1**, **D2**, **D3**, **D36**, **R42**, **R50**, **R32**, **R39**, **R34**, **R51**, **C73**, **C60**, **Q33** și **Q52** al cărei catod
reprezentat de emitorul tranzistorului **Q52** este conectat în serie la anodul unui șir de LED-uri
39 legate în serie și împărțite în mai multe segmente **D79.1**, **D79.2**,...**D79.9**, al cărui catod este
conectat la masă, împreună cu ieșirea „minus” a punții redresoare **GR2**, un număr de
41 comutatoare realizate cu tranzistoarele MOSFET **Q59**, **Q67**, **Q3**, **Q4**, **Q5**, **Q6**, **Q25**, **Q26**
montate între anodul fiecărui segment de LED-uri și masă, mai puțin între anodul primului
43 segment **D79.1** care este înseriat cu catodul sursei de curent constant **CCS**, tranzistoarele
MOSFET fiind comandate în poartă prin rezistorii **R62**, **R68**, **R8**, **R9**, **R17**, **R20**, **R22**, **R23** de
45 un număr egal de circuite comparatoare **U1.1**, **U1.2**,...,**U2.4**, rezistorii **R24**, **R11**, **R10**, **R13**,
R14, **R16**, **R12**, **R15**, **R19**, montați între ieșirile „plus” și „minus” ale punții redresoare **GR2**
47 care stabilesc pragurile de tensiune la care sunt acționate comutatoarele, rezistorul de

RO 131013 B1

limitare **R27** între anodul segmentului **D79.2** și drena tranzistorului MOSFET **Q59**, condensatorul **C21** care stabilizează comutarea comparatoarelor la viteze mici de variație ale tensiunii rețelei, circuitul **D69** de formare a tensiunii de referință a comparatoarelor și un optocuplor **V01** al cărui foto-element este conectat în paralel pe șirul format din diodele Zener **D1**, **D2**, **D3** legate în serie. 1
3
5

La cuplarea unei tensiuni alternative U_{LN} de 230 Vef între bornele **L** și **N** ale circuitului, tensiunea redresată bi-alternanta de puntea redresoare **GR2** este aplicată șirului de diode luminescente LED conectate în serie și grupate în segmente prin intermediul sursei de curent constant **CCS** modulată trapezoidal în amplitudine și în faza cu tensiunea rețelei. Valoarea instantanee maximă pozitivă a tensiunii pulsatorii redresate și aplicate prin intermediul sursei de curent **CCS** șirului de LED-uri atunci când tensiunea rețelei are valoarea minimă tolerată de -10% este de circa 290 V_{cc}, ea determinând numărul total minim de LED-uri necesar pentru funcționarea schemei. 7
9
11
13

Ținând cont ca tensiunea care cade pe un LED de mare putere de culoare albă la curentul de 400 mA corespunzător puterii de 80 W absorbite din rețea este de cea 3 V și punând condiția ca toate șirurile de LED-uri să lumineze chiar și atunci când tensiunea rețelei are valoarea minim tolerată, rezultă că șirul trebuie să conțină un număr de cel mult 90 LED-uri conectate în serie. Aleg ca șirul să conțină exact 90 LED-uri pe care le grupez în 9 segmente a câte 10 LED-uri fiecare. Acest număr total de LED-uri poate fi împărțit virtual în oricâte segmente, fiecare din ele având un număr egal sau inegal de LED-uri, împărțirea având efect asupra lungimii intervalelor de timp în care aparatul nu luminează, asupra indicelui de pâlpâire și asupra eficienței electrice. Dimensionarea numărului de segmente rezultă în principal dintr-un calculul de eficiență care nu face obiectul acestei aplicații și conform căruia cu cât numărul de segmente scade, cu atât eficiența scade și ea, sursa de curent constant preluând tensiuni efective/medii mai mari și pentru durate de timp mai lungi. Determinările practice au arătat că împărțind șirul de 90 LED-uri în 9 segmente fiecare a câte 10 LED-uri, indicele de pâlpâire este de circa 0,24 și eficiență electrică mai bună de 93%; similar, împărțirea șirului de LED-uri în 5 segmente inegale (10+20+20+20+20 LED-uri) are ca efect o creștere a indicelui de pâlpâire la 0,26 și o scădere a eficienței electrice la circa 87%. 15
17
19
21
23
25
27
29

Ținând cont ca tensiunea de prag, adică tensiunea minimă de deschidere a unui LED alb de mare putere este de cica 2,85 V și alegând numărul de LED-uri din primul segment **D79.1** egal cu 10, am stabilit în fapt momentul de timp după trecerea prin zero a tensiunii de alimentare, de la care aparatul începe să lumineze și anume momentul în care valoarea instantanee a tensiunii U_{LN} devine mai mare decât tensiunea de prag a segmentului **D79.1**; acest moment este la 0,28 ms de la trecerea prin zero a tensiunii rețelei. 31
33
35

Pentru descrierea funcționării circuitului de comutare a segmentelor de LED-uri consider întâi că sursa de curent constant este nemodulată și absoarbe un curent constant și egal cu 400 mA precum și că la cuplarea tensiunii de alimentare U_{LN} la bornele L respectiv N, tensiunea alternativă trece prin zero. De asemenea, consider că la bornele L,N se aplică o tensiune alternativă sinusoidală, cu valoarea efectivă de 230 Vef și frecvența de 50 Hz. Descriind ulterior și funcționarea sursei de curent constant modulate trapezoidal în amplitudine, din alăturarea celor două descrieri rezultă funcționarea întregului aparat. 37
39
41

Atunci când U_{LN} are 0V toate tranzistoarele **Q59**, **Q67**, **Q3**, **Q4**, **Q5**, **Q6**, **Q25**, **Q26** sunt saturate deschis. Deoarece tranzistorul **Q59** care suntează segmentele **D79.2**, **D79.3**,...,**D79.9** este saturat deschis, schema echivalentă a aparatului este formată din puntea redresoare **GR2** conectată în serie cu sursa de curent constant **CCS** și un singur segment **D79.1** format din 10 LED-uri; la creșterea tensiunii U_{LN} de la 0 și până la atingerea 43
45
47

RO 131013 B1

1 valorii de prag de 28,5 V [10 LED x 2,85 V = 28,57 V], curentul absorbit de aparat din rețea
este zero pentru că șirul D79,1 nu conduce, tensiunea la bornele lui fiind inferioară tensiunii
3 de prag. La creșterea tensiunii U_{LN} peste circa 28,5 V, curentul prin aparat care este egal cu
curentul prin segmentul **D79,1** crește exponențial odată cu tensiunea aplicată, până la
5 valoarea de 400 mA, fiind limitat superior la 400 mA de sursa de curent **CCS**. Prezența în
serie cu **D79,1** a sursei de curent constant **CCS** limitează și tensiunea maximă care cade pe
7 segmentul **D79,1** la circa 34 V care este căderea de tensiune pe 10 LED-uri legate în serie
și prin care trec circa 400 mA. Astfel, pentru U_{LN} între 0 și 34 V, întreaga tensiune prezentă
9 la bornele **L, N** se regăsește pe **D79,1**; pe măsură ce U_{LN} depășește 34 V, tensiunea la
bornele segmentului **D79,1** rămâne constantă și egală cu circa 34 V, diferența de tensiune
11 fiind preluată de tranzistorul **Q52** din componența sursei de curent constant **CCS**.

În momentul în care tensiunea la bornele **L, N** atinge primul prag de comutare stabilit
13 de rezistorii **R24, R11, R10, R13, R14, R16, R12, R15, R19**, comparatorul **U1.2** pune poarta
tranzistorului **Q59** la potențial zero, blocându-l, această acțiune introducând teoretic toate
15 segmentele **D79.2,...D79.9** în serie cu **D79.1**. În fapt, segmentele **D79.3,...,D79.9** fiind
suntate în continuare la masă de tranzistorul **Q67** care este saturat deschis astfel încât
17 blocarea tranzistorului **Q59** introduce în serie cu **D79.1** numai segmentul **D79.2**; curentul
absorbit de aparat este stabilit de tensiunea U_{LN} la momentul comutării și de caracteristicile
19 curent/tensiune ale celor 20 de diode luminescente din **D79.1+D79.2** montate în serie. Dacă
este mai mic de 400 mA, la creșterea în continuare a tensiunii U_{LN} , curentul prin segmentele
21 **D79.1 - D79.2** crește exponențial, până când atinge valoarea de 400 mA, unde este limitat
de sursa de curent constant **CCS**. După ce curentul prin **D79.1+D79.2** a atins valoarea de
23 400 mA, tensiunea la bornele segmentelor **D79.1 + D79.2** rămâne constantă și limitată la
circa 68V, întreaga creștere în continuare a tensiunii U_{LN} fiind preluată de tranzistorul **Q52**
25 din sursa de curent constant **CCS**. La depășirea valorii de prag stabilite de rezistorii **R24,**
R11, R10, R13, R14, R16, R12, R15, R19 comparatorul **U1.1** blochează tranzistorul **Q67** și
27 astfel schema introduce segmentul **D79.3** în serie cu **D79.2** și **D79.1**.

În continuare, la depășirile succesive a valorilor de prag stabilite de **R24, R11, R10,**
29 **R13, R14, R16, R12, R15, R19** schema introduce succesiv în serie cu segmentele de LED-
uri deja existente, segmente suplimentare care preiau o parte căderea de tensiune la bornele
31 sursei de curent constant **CCS**.

Scăderea tensiunii la borne U_{LN} face ca procesul descris mai sus să se desfășoare
33 în sens invers, la scăderea tensiunii instantanee U_{LN} sub nivelurile de prag prestabilite
schema scoțând succesiv câte un segment de LED-uri din seria de LED-uri prin șuntarea lui
35 la masă prin comutatorul realizat cu tranzistorul MOS corespunzător.

Introducerea respectiv scoaterea din circuit a segmentelor **D79.2,...D79.9** se poate
37 face prin mai multe metode, principiul de funcționare rămânând același, și anume preluarea
căderii de tensiune la bornele anod-catod ale sursei de curent constant **CCS** în parte sau în
39 tot prin introducerea sau scoaterea din serie cu aceasta a câte unui segment format din
LED-uri conectate în serie.

În urma comutării succesive descrise mai sus am asigurat că prin LED-uri trec trenuri
41 de impulsuri de curent de amplitudine constantă și egală cu 400 mA, aproximativ dreptun-
ghiulare, începând de la circa 0,3 ms și până la circa 9,7 ms ale fiecărei semiperioade de
43 10 ms a tensiunii U_{LN} de alimentare alternativă sinusoidale cu frecvența de 50 Hz.

Pentru încadrarea armonicilor curentului absorbit din rețea în limitele maxime impuse
45 de EN61000-3-2, anvelopa curentului absorbit din rețea trebuie să varieze trapezoidal așa
cum este indicat în fig. 2 și anume să crească de la 0 la 400 mA în intervalul de timp dintre
47

RO 131013 B1

0 și 1,4 ms de la trecerea prin zero a tensiunii rețelei U_{LN} , să rămână constant și egal cu 400 mA în intervalul dintre 1,4 ms și 8,6 ms de la trecerea prin zero a tensiunii rețelei U_{LN} respectiv să scadă de la 400 mA la zero în intervalul dintre 8,6 ms și 10 ms de la trecerea prin zero a tensiunii rețelei U_{LN} , pentru fiecare semialternanță de 10 ms a tensiunii rețelei U_{LN} . Această variație poate fi obținută modulând în amplitudine și în faza cu tensiunea rețelei a curentului absorbit de sursa de curent constant **CCS** așa cum este detaliat în continuare.

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

La creșterea tensiunii sinusoidale instantanee U_{LN} , între zero și circa 150 V_{cc}, tensiunea în punctul **J5** este zero, fiind ținută la valoarea zero de tranzistorul MOSFET **Q5** care este saturat. Astfel tensiunea dintre ieșirea „plus” a punții redresoare **GR2** și **J5** variază tot sinusoidal. Deoarece variația funcției sinus pentru argument mai mic de +/- 30 grade în jurul lui zero este aproximativ liniară, putem aproxima că variația tensiunii dintre ieșirea „plus” a punții redresoare **GR2** și punctul **J5** este și ea, liniară. La creșterea tensiunii sinusoidale instantanee U_{LN} peste circa 150 V, tranzistorul **Q5** se blochează, diferența de tensiune dintre ieșirea „plus” a punții redresoare **GR2** și punctul **J5** variind complex într-un tunel cuprins între circa 150 V_{cc} și 220 V_{cc} limitarea inferioară fiind dată de căderea de tensiune pe segmentele de LED-uri **D79.1,...D79.5** iar limitarea superioară fiind dată de căderea de tensiune pe segmentele de LED-uri **D79.1,...D79.5** la care se adaugă și căderea de tensiune variabilă de pe sursa de curent constant **CCS**. La scăderea tensiunii sinusoidale instantanee U_{LN} sub 150 V, tranzistorul **Q5** se saturează din nou, tensiunea în drena lui și implicit tensiunea în punctul **J5** devenind aproximativ egală cu zero. Variația tensiunii dintre ieșirea „plus” a punții redresoare **GR2** și punctul **J5** atunci când tensiunea instantanee U_{LN} scade de la 150 V_{cc} la zero variază liniar de la 150V la zero. Diferența de tensiune dintre baza tranzistorului **Q33** și ieșirea „plus” a punții redresoare **GR2** variază proporțional cu diferența de tensiune dintre ieșirea „plus” a punții redresoare **GR2** și tensiunea punctului **J5**, factorul de proporționalitate fiind determinat de divizorul rezistiv format din rezistorul **R32** și respectiv de suma rezistențelor rezistorilor **R39+R34+R51**. Datorită prezenței diodelor Zener **D38** și respectiv **D1, D2, D3**, diferența de tensiune dintre baza tranzistorului **Q33** și ieșirea „plus” a punții redresoare **GR2** ar trebui să varieze liniar de la zero la o valoare maximă între 0 și 1,4 ms de la fiecare trecere prin zero a tensiunii sinusoidale a rețelei U_{LN} , să fie constantă între 1,4 ms și 8,6 ms de la trecerea prin zero a tensiunii sinusoidale a rețelei U_{LN} și respectiv să scadă de la valoarea constantă și maximă la zero între 8,4 ms și 10 ms de la trecerea prin zero a tensiunii sinusoidale a rețelei U_{LN} . Prezența însă a diodei **D36** în serie cu **R32** introduce un offset de circa 0,7V, variația tensiunii dintre ieșirea „plus” a punții redresoare **GR2** și baza tranzistorului **Q33** crescând liniar de la circa 0,7V la valoarea maximă între 0 și 1,4ms de la fiecare trecere prin zero a tensiunii sinusoidale a rețelei U_{LN} respectiv scăzând de la valoarea maximă la circa 0,7V între 8,6ms și 10ms de la fiecare trecere prin zero a tensiunii sinusoidale a rețelei U_{LN} . Offsetul de circa 0,7V introdus de **D36** compensează căderea de tensiune pe joncțiunea baza-emitor a tranzistorului **Q33**, astfel încât căderea de tensiune pe rezistența **R42** care este plasată între emitorul tranzistorului **Q33** și ieșirea „plus” a punții redresoare **GR2** variază între 0 și o valoare maximă, respectiv scade de la valoarea maximă la 0 pe aceleași intervale de timp. În mod corespunzător, curentul care trece prin **R42**, adică curentul absorbit de sursa de curent constant **CCS** variază trapezoidal, crescând de la zero la o valoare maximă între 0 și 1,4ms, fiind constant între 1,4ms și 8,6ms și respectiv scăzând liniar de la valoarea maximă la zero între 8,6ms și 10ms de la fiecare trecere prin zero a tensiunii sinusoidale U_{LN} a rețelei.

RO 131013 B1

1 Rezistorul **R50** are rolul de a stabili termic perechea Sziklai formată din tranzistoarele **Q33** și **Q52**, valoarea sa rezultând din condiția ca pentru curentul rezidual al **Q33**
3 căderea de tensiune pe **R50** să fie mai mică decât tensiunea de deschidere a joncțiunii baza-emitor a tranzistorului **Q52** și care este aproximativ egală cu 0,7V.

5 Pentru valori instantanee ale U_{LN} mai mici de 50V, curenții prin divizorul de tensiune format de **R51**, **R34**, **R39** și **R32** sunt mici, de același ordin de mărime cu curentul care trece
7 prin baza tranzistorului **Q33**, amplificarea în curent a tranzistorului **Q33** fiind mică. Amplificarea mică a tranzistorului **Q33** are drept consecință stabilizarea slabă a curentului absorbit
9 de sursa de curent constant la variația sarcinii, astfel încât intrarea în conducție exponențială a LED-urilor segmentului **D79.1** atunci când valoarea instantanee a U_{LN} depășește pragul
11 de circa 28V, provoacă trecerea prin sursa de curent constant a unui impuls de curent în afara anvelopei trapezoidale dorite. Pentru limitarea amplitudinii acestui impuls de curent,
13 între catodul segmentului **D79.1** și drena tranzistorului **Q59** se introduce rezistorul **R27**.

15 Sursa de alimentare este dimabilă prin micșorarea valorii instantanee sau a valorii medii a tensiunii limitate de cel de-al doilea limitator de tensiune constituit din cele 3 diode Zener **D1**, **D2**, **D3** legate în serie. Micșorarea tensiunii limitate este realizată de impedența
17 variabilă a unui optocuplor conectat în paralel pe diodele Zener **D1**, **D2**, **D3**. Elementul variabil este impedența variabilă colector-emitor a unui fototranzistor atunci când optocuplorul este obișnuit, este rezistența unui fotorezistor, atunci când optocuplorul este un optocuplor
19 cu fotorezistență sau este rezistența variabilă a canalului unui tranzistor J-FET atunci când optocuplorul este un optocuplor cu J-FET.
21

RO 131013 B1

Revendicări

1. Aparat de iluminat cu LED-uri alimentat direct din rețeaua publică de tensiune (ULn) alternativă alcătuit din: 3
- o sursă de curent constant modulat trapezoidal în amplitudine, în faza cu tensiunea (U_{LN}) rețelei, formată dintr-o diodă (D36) redresoare, inseriată cu divizoare rezistive formate din rezistoarele (R34, R39, R32), două etaje limitatoare de tensiune formate din diodele (D38), respectiv (D3, D2, D1), două tranzistoare (Q33, Q52) bipolare conectate în pereche Sziklai, un rezistor (R50) de polarizare a perechii Sziklai și un rezistor (R42) de stabilire a palierului curentului absorbit de sursa de curent constant; 5
 - o punte redresoare (GR2) având ieșirea „plus” conectată în serie cu sursa de curent constant și ieșirea „minus” conectată la masă; 7
 - un șir format dintr-o multitudine de LED-uri legate în serie și împărțite în mai multe segmente (D79.1, D79.2,..., D79.9); 9
 - circuite comparatoare (U1.1, U1.2, U1.3, U1.4, U2.1, U2.2, U2.3, U2.4), 15
 - tranzistori MOSFET (Q59, Q67, Q3, Q4, Q5, Q6, Q25, Q26) a căror comutare este comandată de circuitele comparatoare, tensiunile de prag ce determină comutarea având valori prestabilite, fiecare pereche formată dintr-un tranzistor și un circuit comparator asociat fiind montată între anodul câte unui segment de LED-uri și masă, mai puțin între anodul primului segment (D79.1) inseriat cu sursa de curent constant și masa; 17
 - 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 circuitele comparatoare; 19
 - rezistori (R62, R68, R8, R9, R17, R20, R22, R23) montați între ieșirile comparatoarelor și porțile tranzistoarelor MOSFET. În care, divizorul de tensiune format din rezistoarele (R34, R39, R32) și dioda (D36) este conectat între „plusul” punții redresoare (GR2) și drena tranzistorului (Q5); 21
 - anodul diodei (D38) este conectat la rezistorul (R34) iar catodul ei este conectat la ieșirea „plus” a punții redresoare (GR2); 23
 - anodul șirului de diode (D1, D2, D3) este conectat în punctul comun al rezistoarelor (R34) și (R39), iar catodul lui este conectat la ieșirea „plus” a punții redresoare (GR2); 25
 - baza tranzistorului (Q33) este conectată în punctul comun al rezistoarelor (R39) și (R32); 27
 - ieșirea sursei de curent constant și anume emitorul tranzistorului (Q52) este conectată la anodul șirului de LED-uri; 29
 - catodul șirului de leduri este conectat la masă, **caracterizat prin aceea că** aparatul mai cuprinde: 31
 - un condensator (C73) de filtrare, făcând parte din sursa de curent constant, conectat între baza tranzistorului (Q33) și ieșirea „plus” a punții redresoare (GR2); 33
 - un rezistor (R51), făcând parte din sursa de curent constant, montat între rezistorul (R34) și un punct (J5) în drena tranzistorului (Q5); 35
 - un rezistor de limitare (R27) montat între catodul segmentului (D79.1) și drena tranzistorului (Q5); 37
 - un condensator (C60) conectat între anodul șirului de LED-uri și masă. 39
2. Aparat de iluminat cu LED-uri alimentat direct din rețeaua publică de tensiune alternativă, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, acesta mai cuprinde un optocuplor (V01) montat în paralel pe grupul serie format din diodele (D1, D2, D3). 45

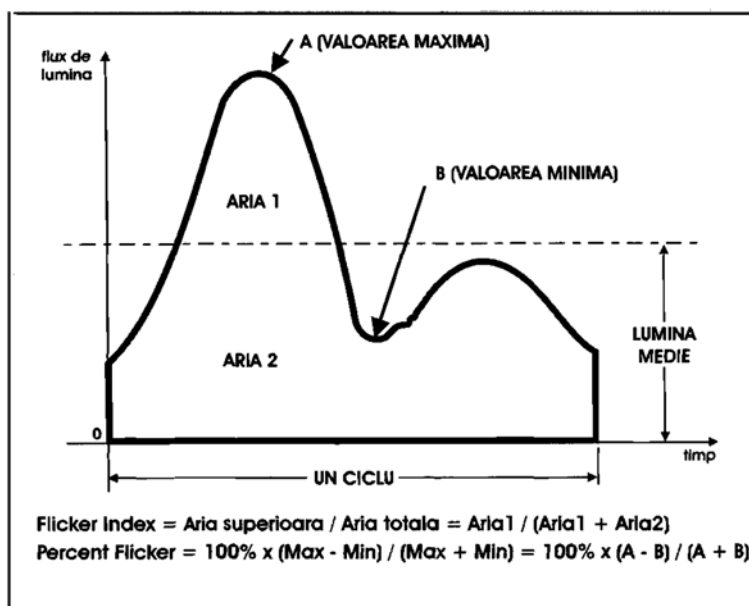


Fig. 1

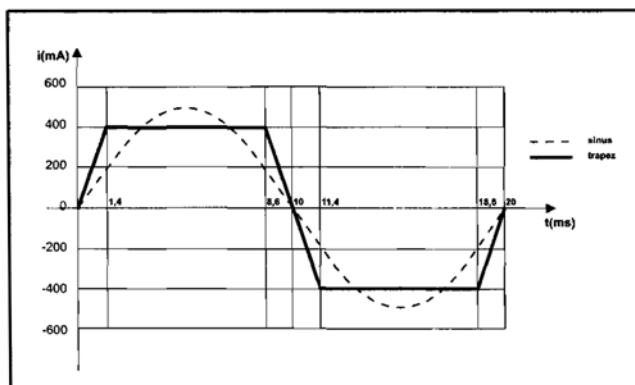


Fig. 2

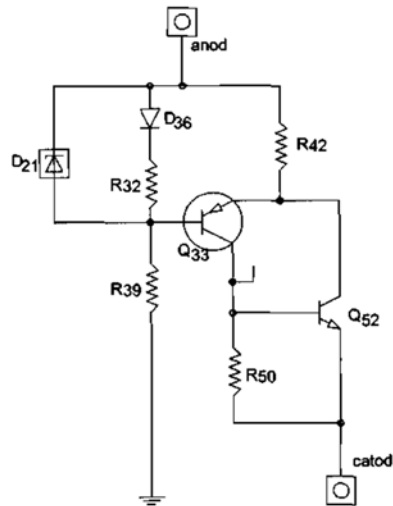


Fig. 3

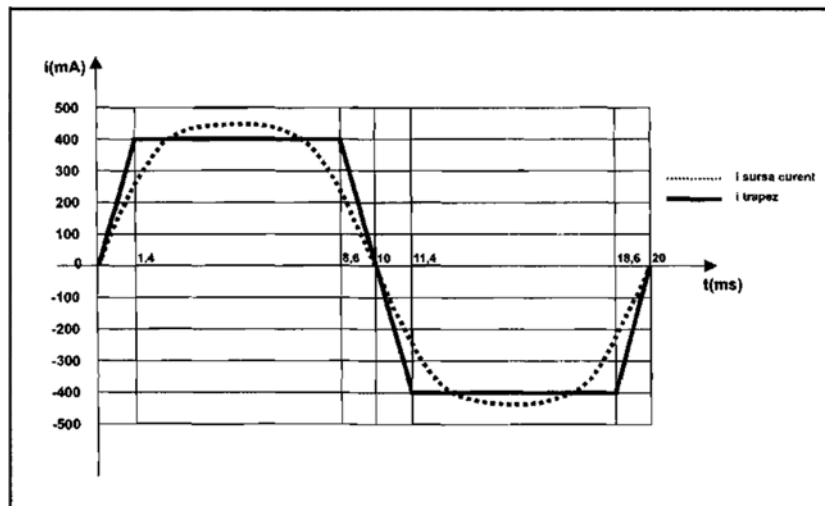


Fig. 4

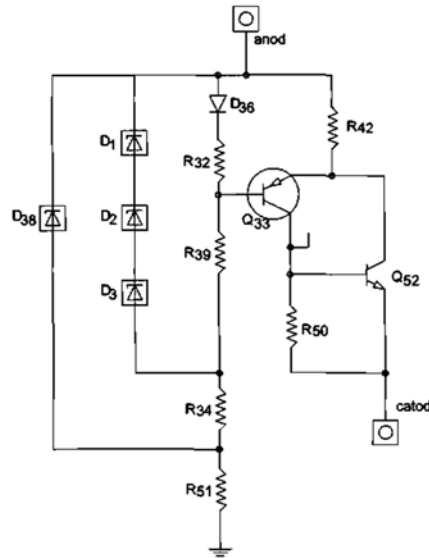


Fig. 5

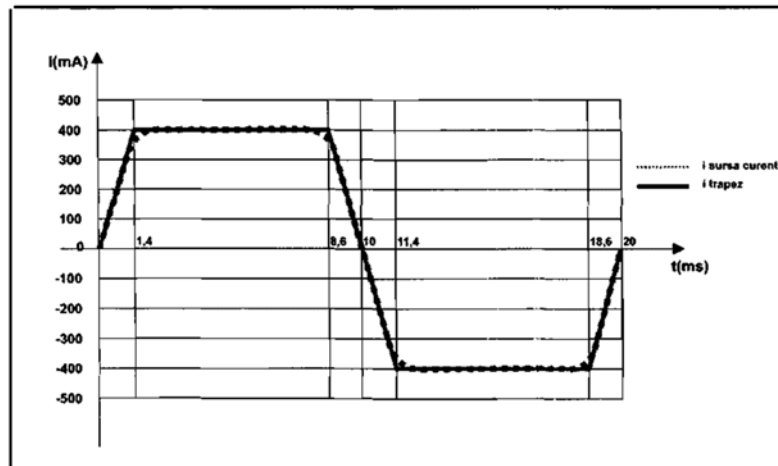


Fig. 6

RO 131013 B1

(51) Int.Cl.

H05B 45/34 (2020.01)

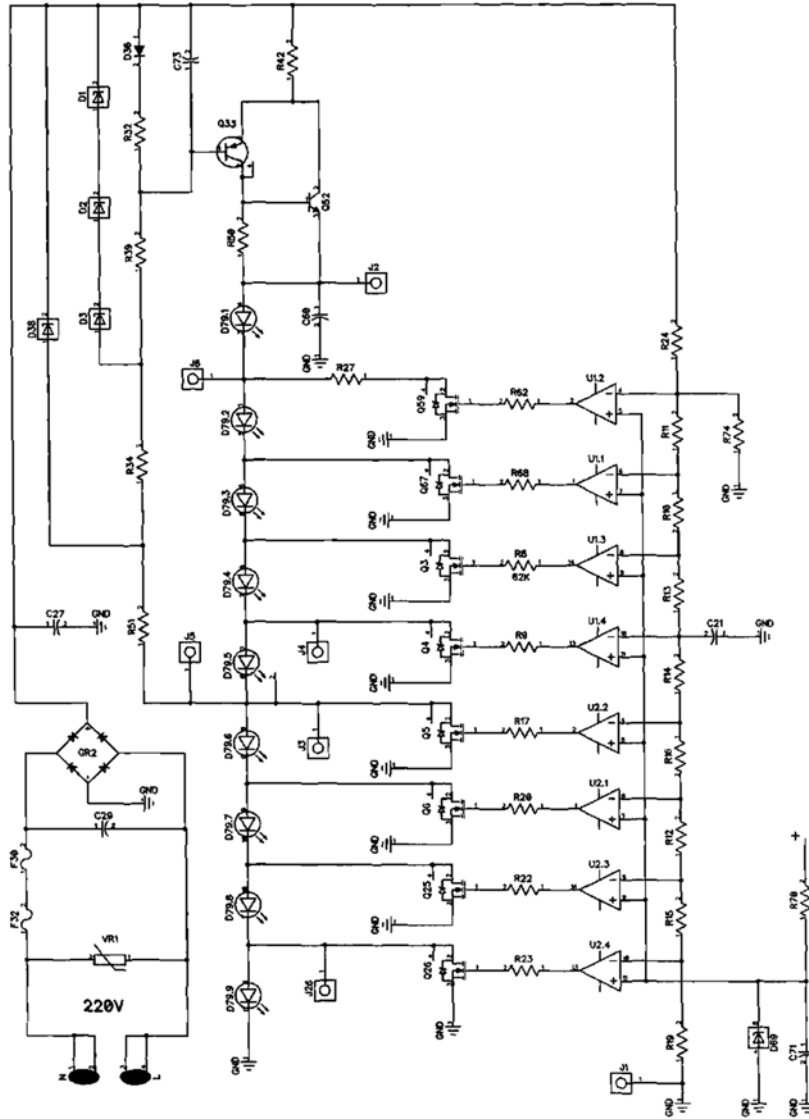


Fig. 7

