



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2012 00490**

(22) Data de depozit: **03.07.2012**

(66) Prioritate internă:
24.04.2012 RO a 2012 00274

(41) Data publicării cererii:
30.01.2014 BOPI nr. **1/2014**

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

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

CIRCUIT ȘI METODĂ DE DIMENSIONARE A UNEI SURSE DE ALIMENTARE A UNUI APARAT DE ILUMINAT CU DIODE ELECTROLUMINESCENTE DE MARE PUTERE, DIRECT DIN REȚEAUA PUBLICĂ DE TENSIUNE ALTERNATIVĂ - SURSA "DIRECT-AC"

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un circuit și la o metodă de alimentare eficientă a aparatelor de iluminat cu leduri, direct de la rețeaua publică de tensiune alternativă de 230 V. Circuitul conform inventiei este constituit dintr-un modul format din N segmente a căte M leduri montate în serie, iar în serie cu segmentele de leduri conectate direct la ieșirea unei puncte redresoare se află o sursă de curent constant, iar în paralel, pe fiecare segment, mai puțin pe segmentul proxim sursei de curent, se află căte un comutator, iar sursa de curent este fixă sau poate fi modulată MA sau MF, după o lege de modulație deterministă sau aleatoare. Metoda conform inventiei constă în absorbția de către circuit, din rețeaua de alimentare, a unui impuls dreptunghiular de curent dimensionat în funcție de eficiență dorită, sau de factorul de creastă dorit, care, ulterior, este modulat; la creșterea tensiunii la bornele circuitului peste tensiunile de prag calculate, comutatoarele introduc succesiv, în serie cu sursa de curent și cu segmentele deja prezente în serie, căte un segment suplimentar, format din căte M leduri conectate, la rândul lor, în serie și care preiau căderea de tensiune de pe sursa de curent; la scăderea tensiunii la bornele circuitului sub aceleași praguri de tensiune, comutatoarele scurtcircuitează căte un segment format din M leduri legate în serie, scoțându-l astfel din circuit, curentul, prin segmentele rămase în circuit, crescând până la maximum limita curentului absorbit de sursa de curent.

Revendicări: 1
Figuri: 22

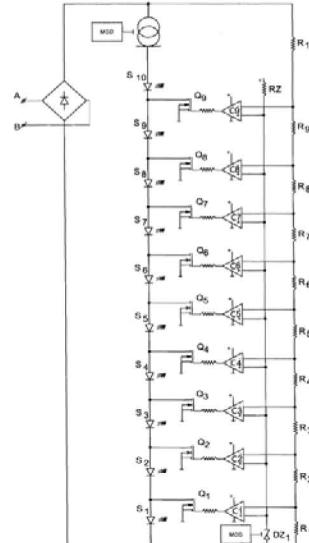


Fig. 5

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. Înținderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conjunite în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



DESCRIEREA INVENTIEI: CIRCUIT SI METODA DE DIMENSIONARE A UNEI SURSE DE ALIMENTARE A UNUI APARAT DE ILUMINAT CU DIODE ELECTROLUMINISCENTE DE MARE PUTERE DIRECT DIN RETEUA PUBLICA DE TENSIUNE ALTERNATIVA – SURSA „DIRECT-AC”

Domeniul inventiei

Inventia se referă la un circuit și o metodă de alimentare eficientă a aparatelor de iluminat cu LED-uri direct de la rețeaua publică de tensiune alternativă de 230V folosind LED-urile însele ca elemente de reglaj cu o eficiență de peste 90%, respectând cerințele EN61000-3-2 și având palparea teoretic minima posibilă. Inventia prezintă și modalitatea de optimizare după anumiti parametri.

Stadiul tehnicii

Aparatele de iluminat cu diode electroluminiscente [LED] cunosc o dezvoltare accelerată generată de dezvoltările tehnologice care au făcut ca LED-urile de mare putere [HP: high power] și mare stralucire [HB: high brightness] care emite un flux luminos mai mare de 100 lumeni/watt să fie disponibile comercial începând cu 2010. LED-urile sunt dispozitive semiconductoare cu caracteristica curent/tensiune exponentială și puternic dependenta de temperatură, care trebuie alimentate din surse de curent constant. Alimentarea lor direct din rețeaua publică de joasă tensiune presupune rezolvarea a două cerințe conflictuale și anume conformarea cu o serie de standarde aplicabile la locul de alimentare [începând cu anul 2006, în țările Uniunii Europene a intrat în vigoare directiva EN 61000 care stabilește condiții extrem de dure pentru sarcinile constante din apariție de iluminat alimentate din rețeaua publică de joasă tensiune] respectiv alimentarea LED-urilor cu un curent constant.

Soluțiile clasice de alimentare în comutare sunt constituite din surse de alimentare dedicate, de sine statatoare și care cuprind fără excepție transformatoare de tensiune și condensatoare.

Soluțiile funcționale sunt soluții „direct AC” în care înseși LED-urile, prin comutări inteligente sunt folosite în procesul de reglare a curentului și deci de adaptare între caracterul ondulator al tensiunii de alimentare și caracterul continuu al curentului prin LEDuri.

Toate soluțiile de alimentare „direct AC” prezintă fenomenul de palpărire. Așa cum se vede în Figura 2, caracteristica curent/tensiune a LED-urilor prezintă un prag sub care prin LEDuri nu trece curent și deci, nu luminează. Consistent cu caracteristica curent/tensiune din Figura 2, la alimentarea unui sir de LED-uri dimensionat pentru tensiunea maxima a rețelei direct din rețeaua publică, acesta luminează doar jumătate din timp adică 5ms, fiind stins cca 5ms [+/-2.5ms în jurul trecerii prin zero a tensiunii rețelei], pentru fiecare semi-alternanță de 10ms a tensiunii alternative cu frecvență de 50Hz. Prezenta pragului precum și neliniaritatea pronunțată a caracteristicii curent/tensiune a LED-urilor fac ca aparițele de acest tip să și distorsioneze curentul absorbit, coeficientul total de distorsiuni [THD] fiind de peste 78% și corespunzător factorul de putere fiind mic PF=0.5.

Pentru micsorarea distorsiunilor totale injectate în rețea, au fost dezvoltate o serie de tehnici și soluții speciale.

Fără excepție, soluțiile funcționale cunoscute simulează formă sinusoidală a curentului absorbit de către aparatul de iluminat din rețeaua publică prin modularea lui în amplitudine. Fără excepție și în mod cu totul eronat, soluțiile funcționale se înscriu într-o cursă de aproximare din ce în ce mai bună a formei sinusoidale a curentului absorbit, cand în fapt odată respectate cerințele standardelor armonice în vigoare cursa ar trebui să fie pentru micsorarea palpării. Colateral, factorul de creastă [Crest Factor] al curentului absorbit [raportul dintre curentul maxim absorbit și curentul mediu prin dispozitiv] de soluțiile cunoscute este mai mare decât și tinde de sus în jos către 1.41; cu alte cuvinte nivelul maxim al curentului prin LEDuri este cu 41% mai mare decât curentul mediu prin ele. Tinând cont că oricum LED-urile de putere funcționează la limita superioară a condițiilor de stabilitate, suprasolicitarile de orice natură au ca efect direct micsorarea duratei lor de viață. Suplimentar, eficiența LED-urilor scade cu creșterea densității de curent prin ele, astă incât factorul de creastă devine un parametru mult mai important decât eficiența energetică a sursei de alimentare.

În scopul alimentării modulelor cu LED-uri este cunoscută soluția de alimentare direct din rețeaua publică de tensiune descrisă în documentația familiei de circuite integrate

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENTII SI MARCI

Cerere de brevet de inventie

Nr. a 2012 c0490

Data depunerii 03.07.2012

DCLx118 produse de catre compania coreeană Innovision și pentru care au fost depuse 6 cereri de patent, cereri inca neprocesate și deci, inca ne-publice. Studiind documentația tehnica disponibila, observ că solutia folosita de compania Innovision este o solutie de modulare discreta in amplitudine a curentului absorbit și care aproximeaza/sintetizeaza forma sinusoidală in trepte. Conform declaratiilor si a foilor de catalog este o solutie conforma EN61000-3-2 dar are o palpair semnificativa [+/- 1.3ms in jurul trecerii prin zero a tensiunii retelei] si un factor de creasta mai mare decat 1.41.

În scopul alimentarii modulelor cu LED-uri este cunoscuta solutia de alimentare de la reteaua publica de tensiune descrisa in documentatia familiei de circuite integrate PC-R-101B produse de compania coreana Login Digital. Solutia folosita de compania respectiva este si ea o solutie de modulare discreta in amplitudine a curentului absorbit care aproximeaza forma sinusoidală, tot in trepte. Este o solutie de putere mai mare dar care conform declaratiilor producatorului si a datelor tehnice oferite nu este conforma EN61000-3-2. La fel ca si solutia precedenta, are o palpair semnificativa [+/- 1.3ms in jurul trecerii prin zero a tensiunii retelei adica o pauza totala de iluminat de 2.6ms] si un factor de creasta mai mare de 1.41.

În scopul alimentarii modulelor cu LED-uri este cunoscuta solutia de alimentare de la reteaua publica de tensiune descrisa in documentatia familiei de circuite integrate Acrich 2, produse de compania coreana Seoul Semiconductors. Solutia folosita de compania Seoul Semiconductors este si ea o solutie de modulare discreta in amplitudine, care aproximeaza forma sinusoidală a curentului absorbit tot in trepte. Declarativ se pare ca este o solutie conforma EN61000 dar care insa prezinta aceeasi palpair semnificativa [+/- 1.3ms in jurul trecerii prin zero a tensiunii retelei] si un factor de creasta mai mare decat 1.41.

În scopul alimentarii modulelor cu LED-uri este cunoscuta solutia de alimentare de la reteaua publica de tensiune descrisa in documentatia familiei de module LMC 10-11 produse de compania japoneza Citizen. Solutia folosita de Citizen este o solutie de modulare in amplitudine [MA] discreta, realizata conform patentului US20110273098 si a referintelor asociate. Chiar daca solutia sintetizeaza sau aproximeaza forma sinusoidală a curentului absorbit din doua trepte, ea este o solutie liniara si din aceasta cauza eficienta ei este mai scazuta [cca 65%] decat a solutiilor precedente. In plus, factorul de creasta al acestei solutii este mult mai mare de 1.41. Si aceasta solutie are o palpair semnificativa, cca +/- 1.5ms in jurul trecerii prin zero a tensiunii retelei.

Solutia tehnica dezvaluita in patentul US20110273102 rezolva elegant conformarea cu EN61000 prin plasarea in serie cu segmentele de LED-uri comutate a unei surse de curent comandate in tensiune [VCCS], sinusoidale. Si aceasta solutie este o solutie de modulare in amplitudine a curentului absorbit. Forma pur sinusoidală a curentului prin sursa de curent face ca si aceasta solutie sa prezinte o palpair semnificativa iar factorul de forma oferit de aceasta solutie este egal cu 1.41.

Solutia propusa aplica extensiv principiile si aparatul matematic dezvoltate de disciplina „prelucrarea optima a semnalelor” pentru semnale radar complexe, modeland parametrii teoretic obtinabili din forme de unda specifice, variantele de implementare practica devenind simple formalitati.

Data fiind caracteristica lor curent-tensiune exponentiala, LEDurile curentul ideal cu care trebuie alimentare LED-urile este continuu. Folosind ca sursa de putere reteaua publica de tensiune alternativa, curentul ideal absorbit din retea, trebuie sa fie sinusoidal. Sursa de alimentare, indiferent de tehnologia in care este realizata, face practic o adaptare intre forma curentului absorbit din retea si forma curentului pompat in LEDuri, asa cum se vede in Figura 1 in care am considerat redresarea bialternanta ca implicita. In acest punct trebuie facuta o observatie importanta si anume ca factorul de creasta [Crest Factor sau CF] are valoarea de 1.41 in cazul curentului sinusoidal absorbit din retea respectiv este egal cu 1 in cazul curentului continuu, pompat in LEDuri. CF este un parametru extrem de important in economia eficientei optice a LEDurilor deoarece de exemplu la dublarea curentului eficienta optica scade cu cca 10%. Notez cu [1] conditia de eficienta modelata mai sus.

Nivelul maxim al armonicilor care pot fi injectate in reteaua publica este stabilit de standardul EN61000-3-2, valorile maxim admisne fiind indicate in Figura 3. Din aceasta perspectiva, EN61000 stabeleste limitele armonice maxim acceptate de catre producatorii si

transportorii energiei electrice in interiorul carora consumatorul putandu-si face orice optimizari dupa orice criterii ii sunt lui de folosinta.

Pentru identificarea formei curentului absorbit de aparat in domeniul timp acceptabila din perspectiva EN61000, aplic transformarea Fourier inversa unui curent caracterizat de amplitudinile armonicilor maxim acceptate de EN61000. Transformarea Fourier inversa atunci cand nu exista informatii despre faza armonicilor ci numai despre amplitudinea lor [iar in EN61000 sunt impuse exclusiv amplitudinile armonicilor] are mai multe solutii. Variind amplitudinile armonicilor intre 0 si valorile lor maxim acceptate respectiv variind fazele lor intre 0 si 360, cea mai apropiata forma de unda din domeniul timp de forma ideală a curentului prin LED-uri este aceea care se obtine prin insumarea fundamentală in faza cu armonica a III-a de amplitudine 30% din fundamentală si respectiv in faza cu armonica a V-a de amplitudine 10% din fundamentală; forma de unda rezultata este prezentata in Figura 4. In acest moment se poate afirma ca daca graficul curentului absorbit in domeniul timp din retea este situat intre curbele „ $i_1+i_3+i_5$ ” si „ i sinus”, atunci amplitudinile armonicilor lui se incadreaza in limitele impuse de EN61000-3-2. Deoarece palparea scade prin deplasarea formei curentului absorbit de la dreapta catre stanga, palparea minima SI acceptabila din perspectiva EN61000 se obtine atunci cand forma de variatie a curentului absorbit este identica cu limita din stanga a locului geometric identificat mai sus. Orice indepartare catre dreapta fata de aceasta limita se face pe costul cresterii palpairii. Aleg forma de unda a curentului absorbit din retea ca fiind forma de unda simplificata si notata „ i trapez” din Figura 4. Aceasta forma de unda trapezoidală are un factor de creasta de 1.12. Deoarece si factorul de creasta scade si prin deplasarea formei curentului de la dreapta catre stanga, forma de unda care asigura palparea minima asigura si factorul de creasta minim. Orice indepartare catre dreapta fata de aceasta limita/ orice reducere a pantei de variatie a curentului se fac pe costul cresterii factorului de creasta, respectiv orice deplasare catre stanga/ crestere a pantei curentului va scoate semnalul din limitele impuse de EN61000. Notez cu [2] conditia de conformare modelata mai sus.

Din conditiile cumulative [1] respectiv [2] se contureaza si solutia de realizare fizica a sursei din doua module functionale independente, astfel: un modul responsabil cu formarea cu eficienta dorita a unui impuls dreptunghiular de curent si respectiv un modul de conformare cu standardul EN61000-3-2 prin decuparea unor pante din impulsul dreptunghiular prin modularea curentului absorbit de sursa de curent.

Solutia propusa pentru realizarea modulului responsabil de eficienta transferului de energie este separarea unui numar de $N \times M$ LEDuri in N segmente a cate M LED-uri fiecare si introducerea sau scoaterea lor succesiva in/din serie in/din circuit, pe masura ce caderea de tensiune la bornele sursei de curent depaseste o anumita valoare, prestabilita. Alegerea nivelurilor de tensiune a pragurilor de comutare stabileste nivelurile de tensiune maxime la bornele sursei de curent si deriva direct in eficienta energetica totala. Schema electrica de principiu este prezentata in Figura 5. Schema produce cel mai eficient teoretic posibil un impuls dreptunghiular de curent , simetric centrat pe 5ms si avand fronturile cat mai apropiate de 0 respectiv de 10ms, pentru fiecare semialternanta a tensiunii alternative a retelei cu frecventa de 50Hz.

Conformarea cu EN61000-3-2 se face prin imprimarea variatiei curentului absorbit de dispozitiv a unui profil trapezoidal. Ea poate fi realizata prin modularea curentului absorbit de sursa de curent, metodele distincte de modulare conducand la solutii tehnice distincte, propuse si analizate in continuare:

Metoda 1, modularea in amplitudine: anvelopa curentului absorbit din retea este modificata continuu/liniar prin varierea amplitudinii curentului absorbit in domeniul timp, curentul absorbit de sursa de curent variind astfel: crescator intre 0 si 1.4ms cu o panta de $2 \times$ mai mare decat panta functiei $\sin(50Hz)$, constant intre 1.4ms si 8.6ms respectiv descrescator intre 8.6ms si 10ms cu o panta de $2 \times$ mai mare decat panta functiei $\sin(50Hz)$ pe acelasi interval de timp.

Metoda 2, modularea PWM: anvelopa curentului absorbit din retea este modulata prin chopparea cu impulsuri de durata variabila [Pulse Width Modulation] pe intervalele 0-1.4ms respectiv 8.6-10ms, cu legea de variatie a duratei impulsurilor liniara, cu pantele de $2 \times$ mai

mari decat pantele functiei $\sin(50Hz)$ pe aceleasi intervale de timp.

Metoda 3, modularea PWM intrinseca: tinand cont ca impulsul dreptunghiular de curent este construit dintr-o suma de impulsuri, este posibil ca prin alegerea potrivita a pragurilor de cumutare in intervalele 0-1.4ms respectiv 8.6-10ms schema echipata cu sursa de curent constant sa genereze intrinsec trenuri de impulsuri modulate in durata dupa o lege aproximativ liniara si cu panta dubla fata de panta functiei $\sin(50Hz)$ in intervalele 0-1.4ms respectiv 8.6-10ms.

Metoda 4, modularea aleatoare: anvelopa curentului absorbit din retea este variata prin modularea aleatoare a fronturilor impulsului dreptunghiular original. Prin alegerea potrivita a legii de distributie a probabilitatii se poate obtine ORICE forma de varietate a anvelopei, inclusiv sinusoidala; pentru ca scopul principal este asigurarea unui CF cat mai apropiat de 1, legea de distributie care asigura formarea unor impulsuri trapezoidale are densitatea de probabilitate uniforma in intervalele 0-1.4ms respectiv 8.6-10ms. Astfel schema absoarbe un curent a carui anvelopa este trapezoidala, asa cum este ea determinata si indicata in Figura 4.

Problema tehnica

pe care o rezolvă inventia este alimentarea eficienta si cu un curent constant a modulelor cu LED-uri direct din reteaua publica de 230Vca [asa zisa solutie direct AC] asigurand palpaira minim posibila de atins teoretic cu solutiile direct AC.

Circuitul conform inventiei:

înlătură dezavantajele din stadiul tehnicii cunoscute prin aceea că minimizeaza palpaira asociata si efectul stroboscopic inherente tuturor solutiilor „direct AC” pana la nivelul minim posibil teoretic de atins de catre solutiile direct AC conforme cu standardul de poluare armonica EN61000-2-3, respectiv asigura LEDurilor un regim de lucru in curent cvasi constant cu un factor de creasta de doar 1.14 [adica prin LEDuri trece un curent cu doar 14% mai mare decat curentul mediu], exploatand caracterul discret al LEDurilor, genereaza armonici inferioare nivelului maxim impus de EN61000, in conditiile unei eficiente de pana la 99%, nu contine condensatoare chimice [electrolitice], astfel incat durata ei de viata este mai mare decat durata de viata a LEDurilor, nu contine reactante inductive astfel incat dimensiunile lui transversale sunt minime [sub 3mm].

Metoda conform inventiei înlătură dezavantajele prezентate în stadiul tehnicii prin aceea că permite dimensionarea si verificarea rapida prin calcule naturale de energie, permite optimizarea independenta a eficientei, a palpairii si a conformarii cu EN61000, este total adaptata caracterului discret al sursei de lumina realizate dintr-o multitudine de LEDuri permitand modelarea virtual a oricarei eficiente pana la 99%, are dimensiuni transversale minime [sub 3mm grosime] pretandu-se astfel la realizarea aparatelor de iluminat de mare putere ultra subtiri si/sau integrate in modulul cu LED-uri, genereaza un nivel al armonicilor inferior limitelor stabilite prin EN61000-3-2 si permite realizarea de surse de lumina care nu contin condensatoare electrolitice, avand astfel durata de viata similara sau mai mare decat durata de viata a LED-urilor.

Astfel inventia prezinta urmatoarele avantaje:

Permite alimentarea modulelor cu LED-uri direct de la reteaua publica de 230V_{ca};

Alimenteaza LEDurile cu un curent constant si cu doar 14% mai mare decat curentul mediu;

Permite dimensionarea independenta a efectului stroboscopic/ a palpairii pana la valoarea minim posibila de atins prin solutiile functionale „direct AC” conforme cu EN61000-3-2;

Permite dimensionarea independenta a eficientei pana la 99%;

Permite dimensionarea independenta a armonicilor generate, a distorsiunilor armonice totale [THD] si subsevent a factorului de putere;

Nu contine bobine, transformatoare sau condensatoare electrolitice ci exclusiv elemente de circuit miniatura/miniatuzabile [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 reteaua publica de tensiune alternativa.

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

Metoda pastreaza urmatoarele dezavantaje prezente la toate solutiile offline [alimentate direct

de la reteaua publica de joasa tensiune], „direct AC”:

Nu respecta standardul de securitate in munca la tensiuni continue [SELV], tensiunile continue din interiorul sau atingand valori de pana la 400Vcc, motiv pentru care modulele trebuie incapsulate in asa fel incat sa nu permita atingerea accidentală a elementelor de circuit aflate sub tensiune.

Nu este separata galvanic de reteaua de joasa tensiune, existand riscul de electrocutare la lucrul sub tensiune. Pentru aceasta este interzis a se lucra in aparat/ a demonta modulul cu LEDuri in timp ce este alimentat.

Pentru o valoare a tensiunii retelei publice data [110V/230V/277V] numarul de LED-uri este fix.

Descrierea detaliată a inventiei

Se da in continuare un exemplu de dimensionare si realizare a circuitului pentru un curent de 400mA în legătură cu figurile care reprezentă:

Figura 1. Formele de unda ideale ale curentilor absorbiti din retea respectiv pompati in LED-uri

Figura 2. Caracteristica curent/tensiune a unui LED alb HB-HP

Figura 3. Valorile maxim admise ale armonicilor curentului absorbit din reteaua publica, conform EN61000-3-2

Figura 4. Formele curentilor absorbiti din retea acceptabili din perspectiva armonica EN61000-3-2

Figura 5. Schema electrica de principiu a modulului complet

Figura 6. Formele de unda ale curentului prin circuit cu sursa de curent nemodulata

Figura 7. Formele de unda ale curentului prin aparat moduland sursa de curent in amplitudine

Figura 8. Spectrul curentului absorbit de aparat moduland sursa de curent in amplitudine, in conditii de CF_{minim} .

Figura 9. Spectrul curentului absorbit de aparat moduland sursa de curent in amplitudine, in conditii de eficienta maxima

Figura 10. Formele de unda ale curentului prin aparat moduland PWM sursa de curent

Figura 11. Spectrul curentului absorbit de aparat moduland PWM sursa de curent in conditii de CF_{minim} .

Figura 12. Spectrul curentului absorbit de aparat moduland PWM sursa de curent in conditii de eficienta maxima

Figura 13. Formele de unda ale curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM intrinseca

Figura 14 Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM intrinseca in conditii de CF_{minim} .

Figura 15. Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM intrinseca in conditii de eficienta maxima.

Figura 16. Schema electrica simplificata - PWM intrinseca stabilizata

Figura 17. Formele de unda ale curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM intrinseca stabilizata

Figura 18. Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM intrinseca stabilizata in conditii de CF_{minim} .

Figura 19 Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM intrinseca stabilizata in conditii de eficienta maxima

Figura 20 Formele de unda ale curentului absorbit moduland aleator sursa de curent

Figura 21 Spectrul curentului absorbit de aparat moduland aleator in conditii de CF_{minim}

Figura 22 Spectrul curentului absorbit de aparat moduland aleator in conditii de eficienta maxima

Schema electrica de principiu din Figura 5 include o punte redresoare a carei iesire „plus” este conectata in serie la anodul unei surse de curent constant, al carei catod este conectat in serie la anodul unui sir de LED-uri legate in serie si impartite in mai multe segmente, al carui catod este conectat in serie la iesirea „minus” a puntii redresoare, un numar de comutatoare comandate de un numar egal de circuite comparatoare montate in paralel pe fiecare segment mai putin pe segmentul proxim sursei de curent, un divizor rezistiv montat intre iesirile „plus” si „minus” ale puntii redresoare care stabileste pragurile de tensiune la care sunt actionate comutatoarele, un circuit de generare a tensiunii de referinta a comparatoarelor,

un circuit de modulare a sursei de curent si un circuit de imprastiere a spectrului prin modularea referintei de tensiune a comparatoarelor.

La cuplarea unei tensiuni alternative de $230V_{eff}$ intre bornele A si B ale circuitului, tensiunea alternativa este redresata de puntea redresoare si aplicata sirului de $N \times M$ diode luminiscente [LED] montate in serie si grupate in N siruri a cate M diode. Valoarea maxima pozitiva [U_{max}] a tensiunii pulsatorii redresate si aplicata prin sursa de curent sirului de LED-uri montate in serie este de cca $350V_{vv}$ [$250V_{ac} \times 1.41$] ea determinand numarul total [$N \times M]_{min}$ de LED-uri necesar pentru functionarea schemei.

Tinand cont ca tensiunea care cade pe un LED HB-HP de culoare alba la un curent de 1A este in jur de 3.6-3.7V si luand in calcul driftul termic [negativ] de cca -3mV/grd Celsius, rezulta ca pentru functionarea sigura pana la o temperatura a jonctiunii $T_j=100$ grade Celsius $[N \times M] = 96$. Aleg $[N \times M] = 100$ LED-uri pe care le grupez in 10 segmente a 10 LED-uri fiecare, alegerea fiind sustinuta de existenta curenta a surselor de lumina constituite din 100 LED-uri si grupate intr-un dispozitiv unic COB [Chip On Board]. Dimensionarea numarului de segmente rezulta dintr-un calcul de eficienta care nu face obiectul acestei aplicatii si conform caruia cat numarul de segmente scade, cu atat eficienta scade si ea, sursa de curent preluand o tensiune efectiva/medie mai mare si pentru durate de timp mai lungi. Cu titlu de inventar, pentru 100 LED-uri impartite in 5 segmente egale eficienta maxima teoretica tinde la 95% iar pentru 100 LED-uri impartite in 10 segmente egale, ea tinde la 99.99%.

Tinand cont ca tensiunea minima de deschidere a unui LED alb HB-HP este de cca 2.4V si alegand numarul de LED-uri din segmentul proxim sursei de curent si numerotat S10 egal cu 10, am stabilit in fapt momentul de timp dupa trecerea prin zero a tensiunii de alimentare, la care aparatul incepe sa lumineze si anume in momentul in care tensiunea U_{AB} devine mai mare decat tensiunea de prag a segmentului S10; acest moment este la 0.28ms de la trecerea prin zero a tensiunii de alimentare sinusoidale.

Pentru descrierea functionarii, consider ca sursa de curent este nemodulata astfel incat absoarbe un curent de valoare fixa de 400mA, circuitul de imprastiere a spectrului prin modularea referintei de tensiune a comparatoarelor este inactiv, precum si ca la cuplarea tensiunii de alimentare la bornele AB, tensiunea alternativa trece prin zero. De asemenea, consider ca la bornele AB se aplica o tensiune sinusoidală alternativa cu valoarea efectiva de $230V_{ef}$ si cu frecventa de 50Hz.

La cresterea tensiunii U_{AB} , de la 0 si pana la atingerea valorii de prag de 28.5V [10 LED $\times 2.85V = 28.57V$], curentul absorbit de schema din retea este zero. In continuare deoarece tranzitorul Q6 care sunteaza segmentele S1...S9 este saturat deschis, schema este formata din puntea redresoare conectata in serie cu sursa de curent si un singur segment S10 format din 10 LEDuri, curentul prin aparat care este egal cu curentul prin segmentul S10 creste exponential odata cu tensiunea aplicata, pana la valoarea de 400mA, limitat de sursa de curent. Prezenta in serie cu S10 a sursei de curent cu valoarea fixa de 400mA, limiteaza tensiunea maxima pe segmentul S10 la cca 34V care este caderea de tensiune pe 10 LEDuri legate in serie si prin care trec 400mA. Astfel, pentru U_{AB} intre 0 si 28.5V, intreaga tensiune prezenta la bornele AB se regaseste pe S10; pe masura ce U_{AB} depaseste 29V, tensiunea la bornele segmentului S10 creste pana la 34V dupa care ramane constanta si egala cu cca 34V, diferenta de tensiune fiind preluata de sursa de curent.

In momentul in care tensiunea la bornele AB atinge primul prag de comutare stabilit de divizorul rezistiv R10 si R9+...+R1 comparatorul C9 pune poarta lui Q9 la potential zero, blocandu-l. Blocarea lui Q9 introduce teoretic toate segmentele S9-S1 in serie cu S10; in fapt, segmentele S8-S1 fiind suntate de Q8 care este saturat deschis, blocarea lui Q9 introduce numai segmentul S9 in serie cu S10; curentul prin circuit va fi mai mic decat 400mA si va fi stabilit de tensiunea U_{AB} de la momentul comutarii, impartita la 20 de diode luminiscente montate in serie respectiv de caracteristicile lor curent/tensiune.

La cresterea in continuare a tensiunii U_{AB} , curentul prin S10+S9 creste exponential, pana cand atinge valoarea de 400mA, fiind limitat de sursa de curent. Dupa ce curentul prin S10+S9 a atins 400mA, tensiunea la bornele S10+S9 ramane constanta si limitata la cca 68V, intreaga crestere in continuare a tensiunii U_{AB} fiind preluata de sursa de curent. La depasirea valorii de prag stabilite de rezistentele R10+R9 si R8 + ... +R1 comparatorul C8 blocheaza

tranzistorul Q8 si astfel introduce segmentul S8 in serie cu S10 si S9.

In continuare, la depasirea succesiva a valorilor de prag stabilite de R1, ... R10 schema introduce succesiv in serie cu segmentele deja existente, segmente suplimentare care preiau o parte din sarcina de reglare a curentului indeplinita de sursa de curent.

La variația negativă a tensiunii la borne U_{AB} procesul se desfășoară în sens invers, la scaderea tensiunii U_{AB} sub nivelurile de prag prestabilite, schema scotând succesiv câte un segment de LED-uri din seria de LEDuri prin suntarea lui cu transisitorul corespunzător.

Introducerea respectiv scoaterea din circuit a segmentelor S1... S9 se poate face prin mai multe metode, principiu de funcționare ramanand același. Optional, valoarea rezistenței R10 poate avea un coeficient de temperatură pozitiv care să compenseze driftul negativ cu temperatura al caderilor de tensiune pe LEDuri.

Prin dimensionarea pragurilor de comutare, CF glisează de la CF_{maxim} la CF_{minim}, astfel: prin stabilirea primului prag la 2 x 34V și a următoarelor din 34V în 34V CF=CF_{minim} = 1.12 iar eficiența teoretică a conversiei este de 92,65%. Micsorând progresiv primul prag de la 68V până la 34V și pastrând următoarele praguri din 34V în 34V față de acesta, eficiența teoretică crește către 99,98% pe cheltuiala CF care se înrautătestă până la 2,25. Pentru curentul prin sursa de curent de 400mA, puterea absorbită din rețea variază de la 81,84W pentru CF=1,12 până la 40,88W pentru CF=2,25.

În urma comutării succesive descrise mai sus am asigurat că prin LED-uri trec trenuri de impulsuri de curent de amplitudine constantă și egală cu 400mA, aproximativ dreptunghiulare, începând de la cca 0,3ms și până la cca 9,7-9,8ms ale fiecarei semiperioade de 10ms a tensiunii de alimentare slternative sinusoidale cu frecvență de 50Hz. Formele curentului absorbit în cele două cazuri extreme și anume eficiența maximă respectiv CF maxim sunt prezentate în Figura 6.

Dar pentru încadrarea în EN61000-3-2 variația anvelopei curentului absorbit din rețea trebuie să fie descrisă de legea de variație „i trapez” din Figura 4. Aceasta variație poate fi obținută modulând curentul sursei de curent în cale 4 feluri indicate mai sus și a căror realizare și funcționare este detaliată în continuare:

Pentru varierea anvelopei curentului absorbit de sursa de curent prin modificarea liniară în timp a amplitudinii curentului se modulează curentul absorbit de sursa prin multiplicarea lui cu „i trapez”. Soluțiile de modulare în amplitudine sunt clasice, ele putându-se realiza analogic sau digital, controlat cu microprocesor și în fază cu tensiunea retelei. Variația în timp a curentului absorbit din rețea în urma modularii în amplitudine [MA] este reprezentată în Figura 7. Spectrul curentului absorbit de aparat în condiții de CF_{minim} este prezentat în Figura 8 iar spectrul curentului absorbit de aparat în condiția de eficiență maximă este prezentat în Figura 9.

Eficiența energetică maximă teoretică și calculată a aparatului este de 99,94% pentru CF = 2,27 și respectiv pentru o putere absorbită din rețea de 40,61W și scade până la 93,10% pentru CF_{minim} = 1,16, caz în care puterea absorbită din rețea crește la 79,55W. Coeficientul total de distorsiuni armonice [THD] al semnalului din Figura 8 este de 26,5% și subsevent factorul de putere FP=0,97

Asa cum se observă în Figura 9, spectrul curentului absorbit din rețea în condiții de eficiență maximă nu este conform cu rigorile EN61000-3-2, el prezentând armonici cu amplitudine mai mare decât limitele impuse de standard în zona 1-3kHz, motiv pentru care trebuie să luate măsuri suplimentare de micsorare a lor. Având în vedere că frecvența armonicilor este de frecvență relativ redusă, filtrarea este ineficientă [filtre sunt mari, voluminoase și scumpe] astfel încât cea mai comodă soluție de micsorare este prin imprăștirea spectrului. Imprăștirea [a] se realizează tehnic foarte ușor, prin modularea tensiunii de referință cu o frecvență necorelată cu frecvența retelei și care astfel din punct de vedere statistic este o modulare cu un semnal aleator, respectiv este [b] deosebit de eficientă, ea reducând amplitudinile armonicilor cu cca 8dB, adică suficient pentru încadrarea în limitele legale.

Anvelopa curentului absorbit de sursa de curent poate fi variată prin modularea PWM pe intervalele 0-1,4ms respectiv 8,6ms-10ms ale fiecarei semialternante ale tensiunii de alimentare alternative și sinusoidale, cu frecvență de 50Hz, pastrând constantă amplitudinea

currentului absorbit. Legea de variație a duratei impulsurilor liniara, cu pantele de $2 \times$ mai mare decât pantele funcției $\sin(50\text{Hz})$ pe aceeași intervale de timp, lege reprezentată de „trapez” în Figura 4. Curentul absorbit din rețea este prezentat în Figura 10 iar spectrele în cele două condiții extreme, de CF maxim respectiv de eficiență maximă sunt prezentate în Figura 11 respectiv în Figura 12. Deoarece frecvența de modulare PWM este cu mult mai mare [zeci de kHz, MHz] decât cea mai mare armonica urmarita de EN61000-3-2 [armonica 39 sau 4kHz], spectrele curentilor absorbiți din rețea sunt identice în joasă frecvență cu spectrele curentilor absorbiți din rețea de către aparatul cu modularea în amplitudine a curentului sursei.

Eficiența energetică maximă calculată a aparatului este de 99.98% pentru un CF = 2.26 și pentru o putere absorbită din rețea de 40.61W respectiv scade până la 92.50% pentru $CF_{minim} = 1.16$ și o putere absorbită din rețea de 79.55W. Coeficientul total de distorsiuni armonice [THD] al semnalului din Figura 11 este de 26.5% și subsevent factorul sau de putere FP=0.97

Că și în cazul modularii în amplitudine a curentului absorbit de sursa de curent, spectrul curentului absorbit de montajul proiectat pentru eficiență maximă nu este conform EN61000-3-2 în zona 1-3kHz, motiv pentru care trebuie să fie luate aceeași măsuri suplimentare de micșorare a componentelor armonice prin imprăștierarea spectrului lor. Suplimentar față de modulația în amplitudine, modulația PWM produce armonici de înaltă frecvență [la frecvența de modulație și la multiplii ai acesteia], armonici care trebuie să fie filtrate.

Observând că impulsul dreptunghiular de curent absorbit de aparat este construit prin insumarea a 10 impulsuri individuale și observând că rigorile EN61000-3-2 pot fi satisfăcute prin modularea energiei absorbite din rețea cu pante crescătoare și duble fata de pantă funcției $\sin(50\text{Hz})$ între 0 și 1.4ms respectiv descrescătoare între 8.6 și 10ms pentru fiecare semialternanță a tensiunii retelei, rezultă imediat că prin alegerea potrivită a primelor 3 praguri de comutare schema poate produce trenuri de căte 3 impulsuri cu durată variabilă, exact în intervalele de interes și anume 0 la 1.4ms și 8.6 la 10ms. Acest modus vivendi este în fapt o „modulație PWM întrinsecă”.

Formele de undă ale curentului absorbit de aparat din rețea în cele două cazuri, CF_{minim} sau eficiență maximă sunt prezentate în Figura 13 iar spectrele lor, în Figura 14 respectiv Figura 15. Eficiența energetică maximă calculată este de 99.98% pentru un CF = 2.25 și o putere de 40.88W respectiv eficiența calculată scade până la 93.97% pentru $CF_{minim} = 1.20$, caz în care puterea absorbită este de 76.53W. Coeficientul total de distorsiuni armonice [THD] al semnalului din Figura 14 este de 28% și subsevent factorul de putere FP=0.96

Desi soluția de aranjare potrivită a primelor 3 praguri de comutare a segmentelor [modulare PWM întrinsecă] este simplă și atractivă, sensibilitatea mare a pantei energiei absorbite în portiunile de interes pentru conformarea cu EN61000-3-2 face ca rezultatele [eficiență, CF și conformarea cu standardul de emisie armonici] să fie sensibile cu variația temperaturii și a tensiunii efective a retelei. Pentru insensibilizarea schemei la cele două cauze de variație, introduc în serie primele 3 comutătoare care pot fi realizate cu tranzistoare MOS, ca în schema de principiu propusă, căte un rezistor calculat potrivit, astă cum este prezentat în schema simplificată - insensibilizată din Figura 16. Prin inserarea R71, R81 și R91 cu drenurile MOS-urilor forma de undă a curentului absorbit în cazul CF_{minim} devine pronuntat trapezoidală, indiferent de variația pragului de comutare și este prezentată în Figura 17; respectiv spectrele curentilor în cazurile CF_{minim} respectiv eficiență maximă sunt prezentate în Figura 18 respectiv în Figura 19. Pentru $U_{LED} < 3.0\text{V}$ trebuie introduse 4 rezistoare și nu doar 3.

Eficiența energetică maximă calculată a aparatului este de 99.58% pentru un CF=2.27 și pentru o putere absorbită de 41.58W respectiv eficiența calculată scade până la 93.57% pentru $CF_{minim}= 1.17$ și pentru o putere absorbită de 78.76W. Coeficientul total de distorsiuni armonice [THD] al semnalului din Figura 18 [CF_{minim}] este tot de 26.5% și subsevent factorul de putere FP=0.97

Așa cum se observă, în continuare spectrele în cazul eficienței maxime nu sunt conforme cu rigorile EN61000-3-2, motiv pentru care trebuie să fie luate măsuri suplimentare de micșorare a componentelor armonice, soluția de micșorare fiind aceeași ca în variantele anterioare, prin imprăștierarea lor prin modulare aleatoare.

Ultima posibilitate identificată pentru varierea energiei curentului absorbit din rețea cu

pante crescatoare si duble fata de panta functiei $\sin(50Hz)$ intre 0 si 1.4ms respectiv descrescatoare intre 8.6 si 10ms pentru fiecare semialternanta a tensiunii retelei este modularea duratei impulsului de curent dreptunghiular creeat de schema aleator, cu o lege de distributie constanta intre 0 si 1.4ms respectiv intre 8.6 si 10ms, pentru fiecare semialternanta a tensiunii sinusoidale de 50Hz.

Formele de unda a curentului prin aparat sunt prezentate in Figura 20 respectiv spectrele lor, in Figura 21 respectiv Figura 22.

Eficiența energetică maximă calculată a aparatului este de 99.98% pentru $CF = 2.26$ și respectiv o putere absorbită din rețea de 40.6W și scade până la 94.16% pentru $CF_{minim} = 1.15$, caz în care puterea absorbită din rețea crește la 80.10W.

Spectrele în cazul eficienței maxime nu sunt conforme cu rigorile EN61000-3-2, motiv pentru care trebuie luate aceleasi masuri de micsorare a componentelor armonice, prin imprăstierea spectrului.

In sinteza, parametrii maxim obtinabili teoretic prin cele 4+1 variante de modulare, sunt:

	i sursa [mA]	CF	rândament [%]	putere la i=400mA [W]
Impuls de baza	400	1.12	92.65	81.84
modulare în amplitudine	400	1.16	93.10	79.55
modulare PWM	400	1.16	92.50	79.55
modulare PWM intrinsec	400	1.20	93.97	76.53
modulare PWM intrinsec stabilizată	400	1.17	93.57	78.76
modulare aleatoare	400	1.15	94.16	80.10

Impuls de baza	400	2.25	99.98	40.88
modulare în amplitudine	400	2.27	99.94	40.61
modulare PWM	400	2.26	99.90	40.61
modulare PWM intrinsec	400	2.25	99.98	40.88
modulare PWM intrinsec stabilizată	400	2.27	99.58	41.58
modulare aleatoare	400	2.26	99.98	40.61

Asa cum era de asteptat, impunand CF sa fie minim, cei mai buni parametri se obtin la modularea aleatoare a fronturilor impulsului dreptunghiular de baza in intervalele 0-1.4ms si respectiv 8.6-10ms ale fiecarei semisinusoide a tensiunii de retelei cu frecventa de 50Hz. Se mai observa de asemenea ca indiferent de metoda de modulare, CF variaza strans intre 1.12 si 1.2, respectiv randamentul intre 92.65% si 94.16% si puterea absorbita intre 76.53W si 81.84W. In aceste conditii este clar ca decizia de alegere a uneia sau a alteia dintre variantele de modulare este economica, bazata pe simplitatea schemei si a masurilor suplimentare de filtrare necesare sau nu. In opinia mea varianta de modulatie intrinseca stabilizata este castigatoare, implementarea practica la preturi de retail a componentelor costand undeva in jurul a 5USD.

Si pentru eventualitatea unui CF mare acceptabil se observa ca parametrii sunt grupati, CF intre 2.25 si 2.27, eficientele toate peste 99.5% si puterile absorbite intre 40.6W si 41.6W. In aceasta varianta in care obligatoriu trebuie prevazuta schema de imprastiere a spectrului armonicilor prin modularea independenta a tensiunii de referinta, castigatoare este varianta modularii aleatoare a fronturilor impulsului dreptunghiular de baza in intervalele 0-1.4ms si respectiv 8.6-10ms ale fiecarei semisinusoide a tensiunii de retelei cu frecventa de 50Hz. Trebuie facuta o mentiune speciala ca pentru a obtine 40W LED-urile trebuie sa suporte un curent de 2.25 x mai mare decat curentul necesar obtinerii celor 40W daca ar fi alimentate cu surse de curent clasice. Acest lucru nu este limitativ pentru puteri mici, de pana la 70W [in care curentii sunt sub 700mA] insa este un factor limitator pentru puteri mai mari de 80W.

Pentru situatia in care prin aplicatie, in afara de CF_{minim} se impune si un PF mai mare de 0.97, solutia este simpla: se monteaza in paralel peste sirul comandat de LED-uri un sir format din 90-100 de LEDuri in serie, caz in care curentul total absorbit din retea are forma mai

apropiata de forma sinusoidală și implicit PF mai mare de 0.97.

60

10

0 - 2 0 1 2 - 0 0 4 9 0 - -
0 3 -07- 2012

REVENDICARI

Circuit „direct AC” eficient, digital si functional de alimentare a unui modul format din N segmente a cate M LED-uri fiecare montate in serie caracterizat prin aceea ca in serie cu segmentele de LEDuri conectate direct la iesirea unei punti redresoare se afla o sursa de curent constant iar in paralel pe fiecare segment mai putin pe segmentul proxim sursei de curent se afla cate un comutator, caracterizat prin aceea ca pragurile de tensiuni de actionare ale comutatoarelor rezulta in urma unui calcul riguros de dimensionare generala de eficiența energetica sau de factor de creasta [CF] si prin aceea ca sursa de curent este fixa sau poate fi modulata MA sau MF dupa o lege de modulatie determinista sau aleatoare si care are ca affect o variație trapezoidală a curentului absorbit din retea pe intervalele de la 0 la 1.4ms si respectiv de la 8.6 la 10ms pentru fiecare semialternanta a tensiunii alternative a retelei cu frecventa de 50Hz, consistenta cu calculele rezultate in urma transformarii Fourier inverse a unui semnal acceptabil conform EN61000-3-2 si a rezolvarii unei conditii de minim local a palpairii.

Metodă de dimensionare optima a unei surse de alimentare eficienta, digitala, functionala, conforma cu EN61000-3-2 si cu palpairie minim posibila teoretic a modulelor cu LEDuri, direct din reteaua publica de 230V_{ac} caracterizată prin aceea că utilizează circuitul conform revendicărilor și care se realizează prin:

Circuitul absoarbe din reteaua de curent alternativ un impuls dreptunghiular de curent dimensionat in functie de eficiența dorita sau de factorul de creasta dorit, si care ulterior este modulat [in amplitudine, in impulsuri cu durata variabila, intrinsec sau aleator] astfel incat spectrul rezultatului modularii sa se incadreze in limitele impuse de EN61000-3-2.

In circuit este prezent intotdeauna cel putin un segment format din M LEDuri legate in serie si o sursa de curent constant legate in serie la iesirile unei punti redresoare. La cresterea tensiunii la bornele circuitului peste tensiunile de prag calculate, comutatoarele introduc succesiv in serie cu sursa de curent si cu segmentele deja prezente in serie cate un segment suplimentar format din cate M LEDuri conectate la randul lor in serie si care preiau in parte sau in tot caderea de tensiune de pe sursa de curent.

La scaderea tensiunii la bornele circuitului sub aceleasi praguri de tensiune calculate anterior, comutatoarele scurtcircuiteaza cate un segment format din M LEDuri legate in serie, scotandu-l astfel din circuit, curentul prin segmentele ramase in circuit crescand pana la maxim limita curentului absorbit de sursa de curent.

Curentul sursei de curent poate fi fix sau modulat in amplitudine, in impulsuri de inalta frecventa cu durata variabila [PWM], in joasa frecventa [PWM intrinsec] sau in joasa frecventa aleator si cu legea de distributie constanta pe intervalele de la 0 la 1.4ms si respectiv de la 8.6 la 10ms pentru fiecare semialternanta a tensiunii retelei cu frecventa de 50Hz, astfel incat anvelopa rampelor curentului absorbit din retea sa aiba o forma trapezoidală cu pantele de 2 ori mai mari decat pantele functiei sinus(50Hz) pe aceleasi intervale de timp.

In cazul dimensionarii pentru eficiența maxima chiar daca factorul de putere PF este mai bun de 0.95, spectrul nu este conform cu rigorile EN61000-3-2 pentru aparate de iluminat asa incat pentru puteri mai mari de 25W trebuie luate masuri suplimentare de reducere a amplitudinii armonicilor. A fost identificata metoda de reducere a armonicilor prin imprastierea spectrului prin modularie aleatoare a nivelurilor tensiunilor de prag si implicit a momentelor de timp ale fronturilor cazatoare sau posterioare ale impulsurilor constitutive.

0-2012-00490--

DESENE EXPLICATIVE

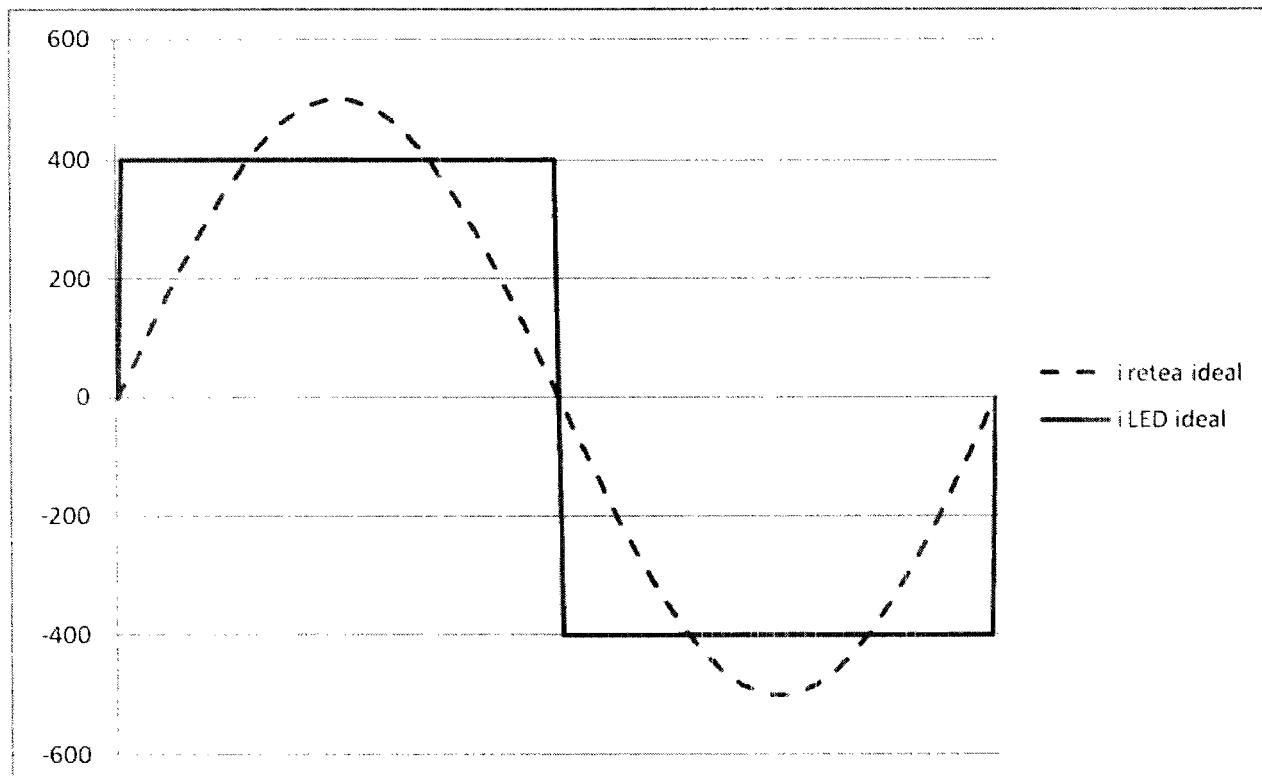


Figura 1. Formele de undă ideale ale curentilor absorbiți din rețea respectiv pompati în LED-uri

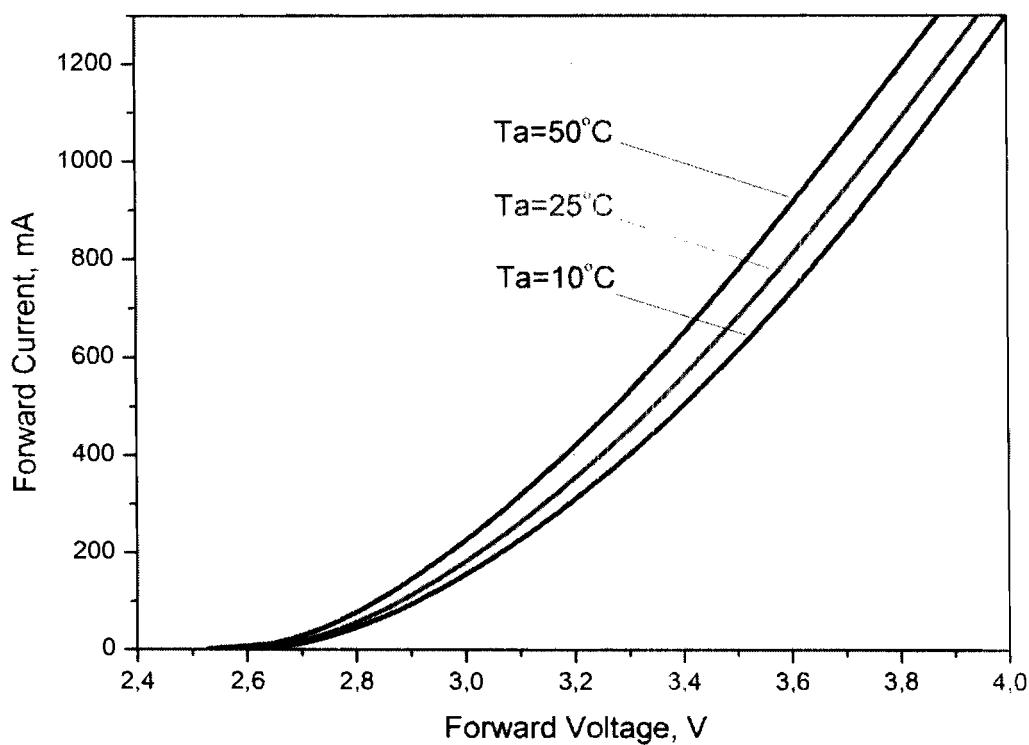


Figura 2. Caracteristica curent/tensiune a unui LED alb HB-HP

EN61000

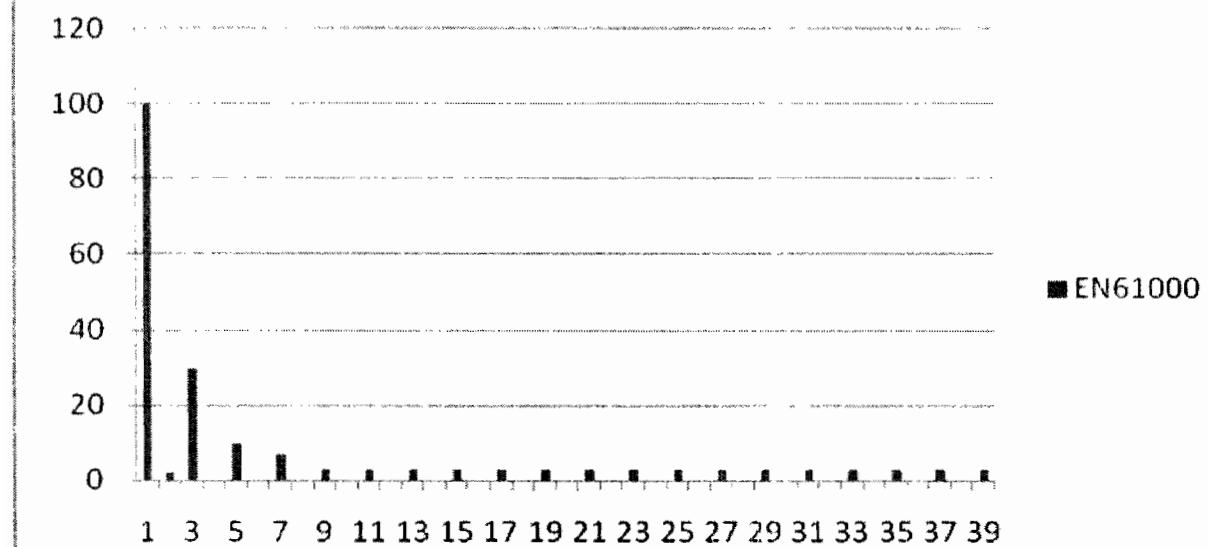
57


Figura 3. Valorile maxim admise ale armonicilor curentului absorbit din retea publica, conform EN61000-3-2

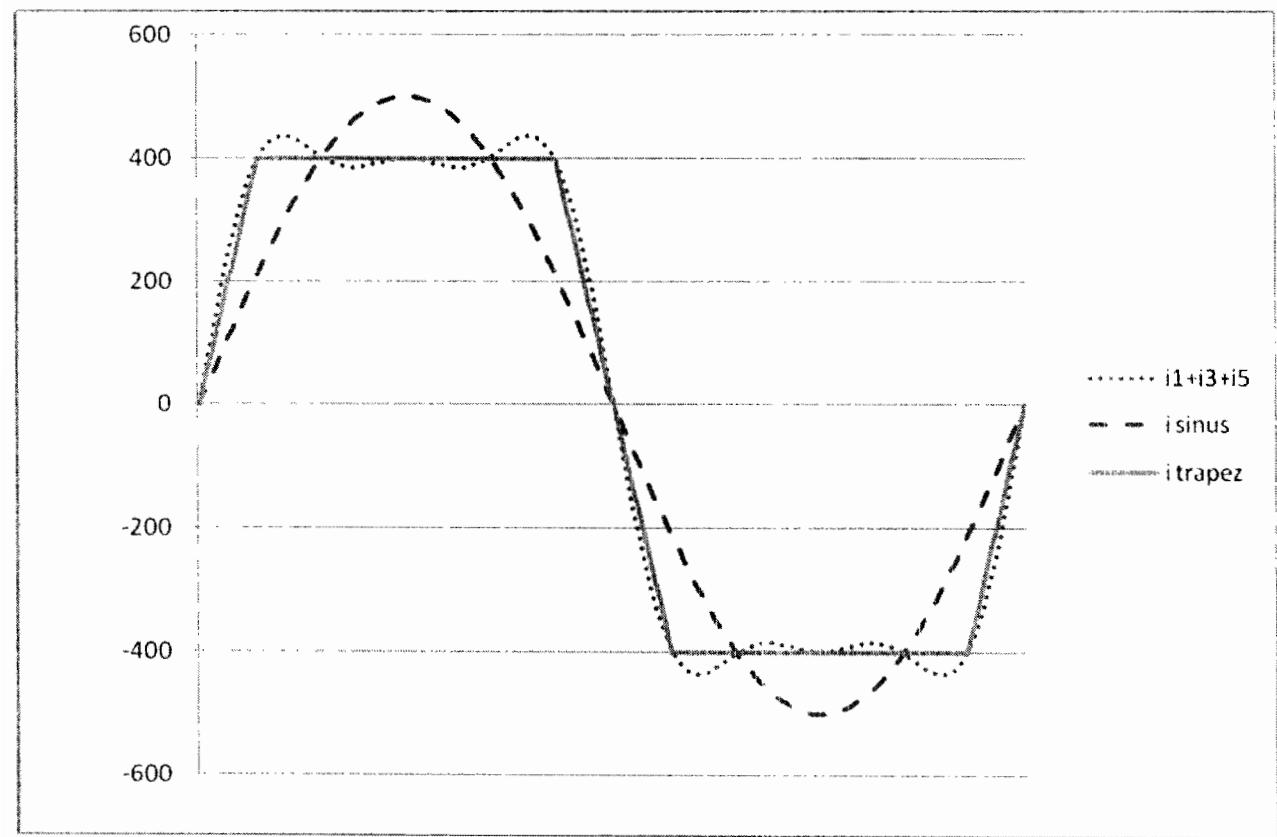


Figura 4. Formele curentilor absorbuti din retea acceptabili din perspectiva armonica EN61000-3-2

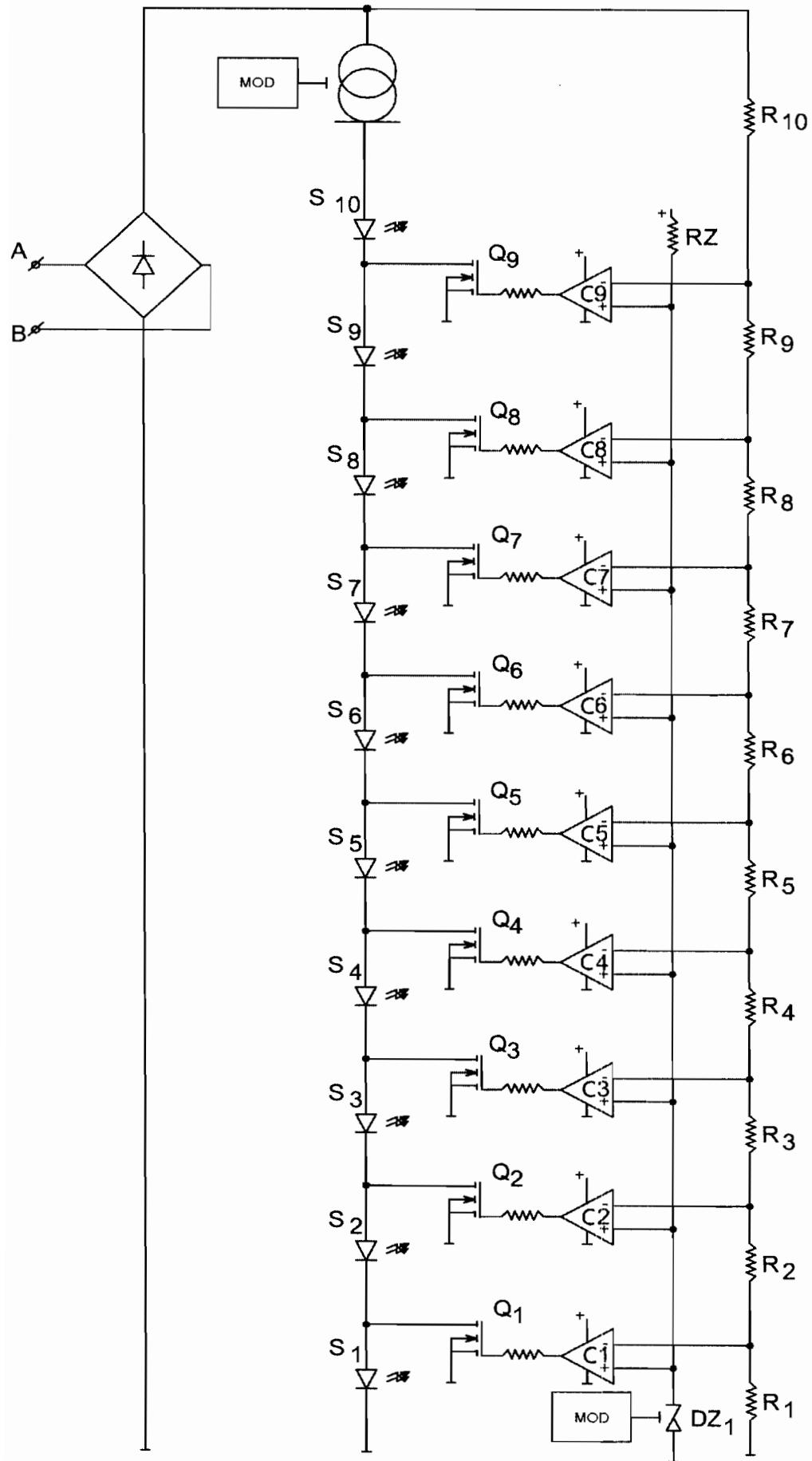


Figura 5. Schema electrica de principiu a circuitului complet

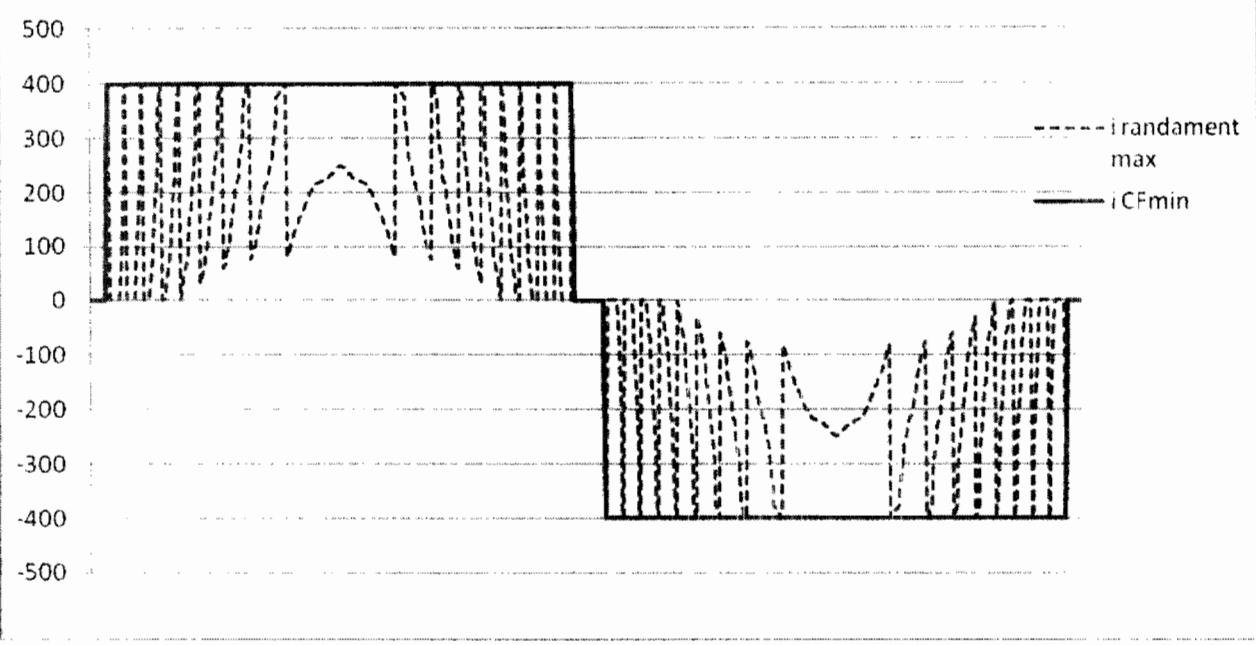


Figura 6 Formele de undă ale curentului prin circuit cu sursa de curent nemodulată

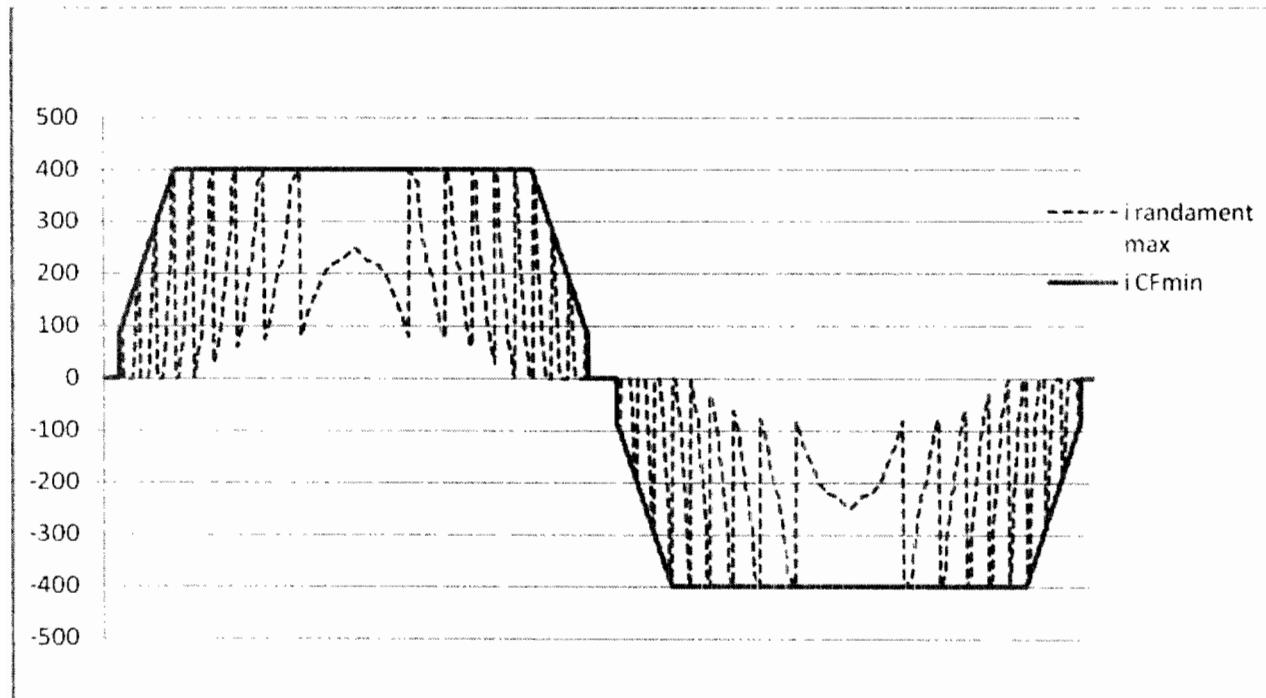


Figura 7 Formele de undă ale curentului prin aparat modulând sursa de curent în amplitudine [MA]

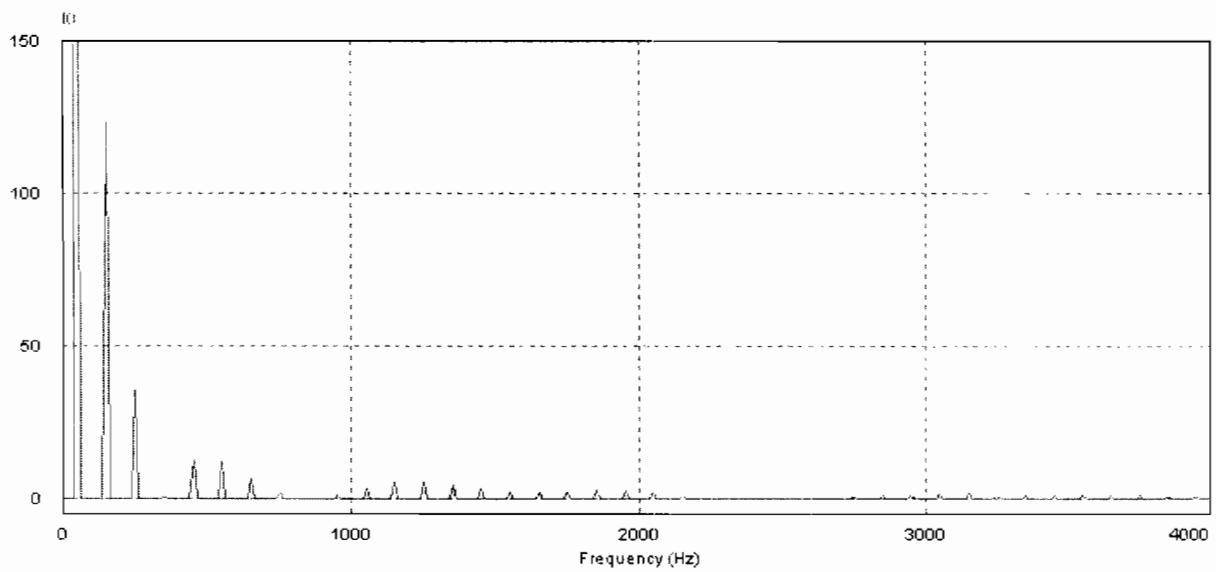


Figura 8 Spectrul curentului absorbit de aparat moduland sursa de curent in amplitudine, in conditii de CF_{minim} . NOTA: amplitudinea fundamentala este 500mA

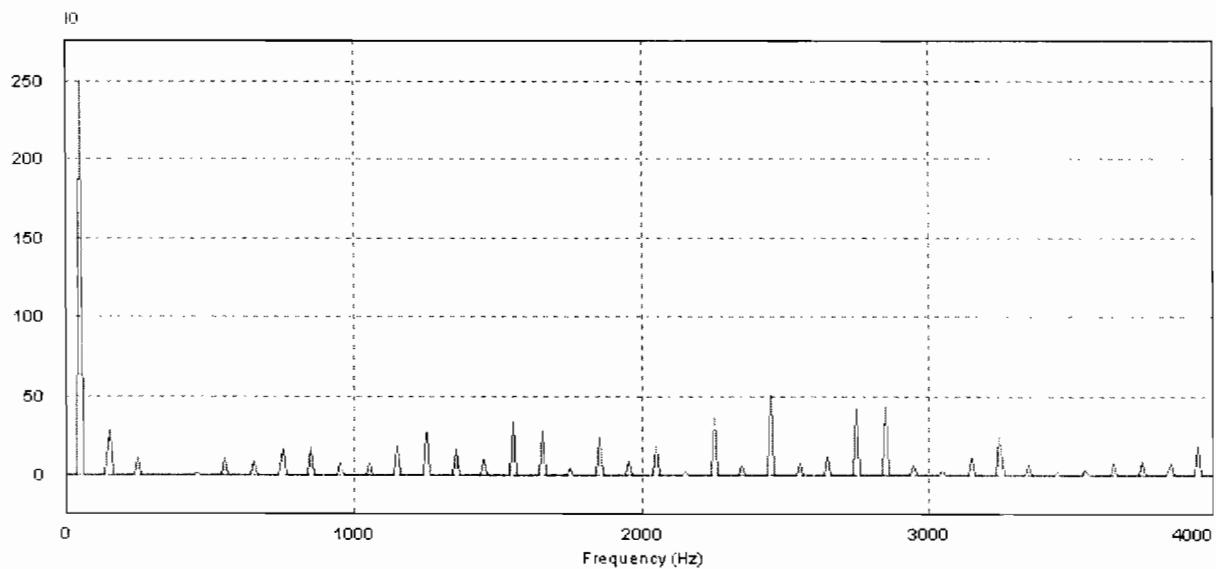


Figura 9 Spectrul curentului absorbit de aparat moduland sursa de curent in amplitudine, in conditii de eficienta maxima

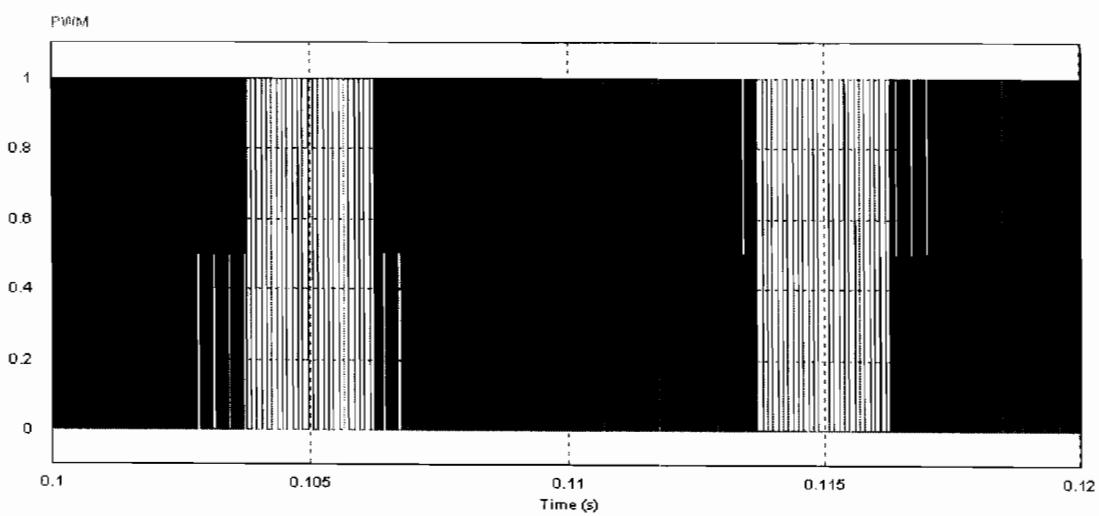


Figura 10 Formele de unda ale curentului prin aparat moduland PWM sursa de curent

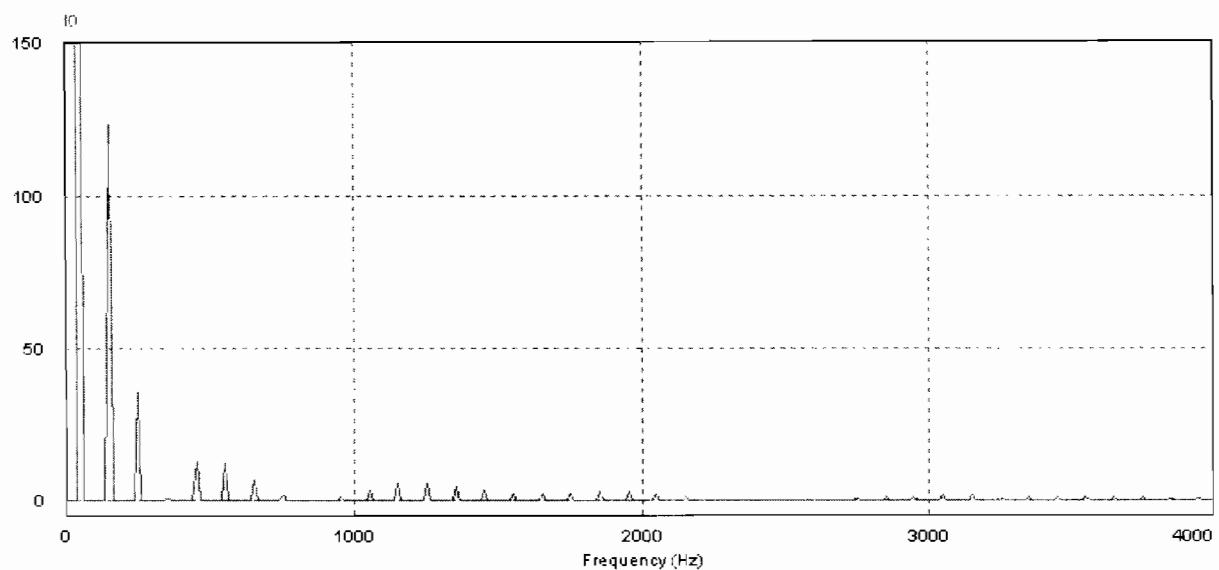


Figura 11 Spectrul curentului absorbit de aparat moduland PWM sursa de curent in conditii de CF_{minim} . NOTA: amplitudinea fundamentaliei este 500mA

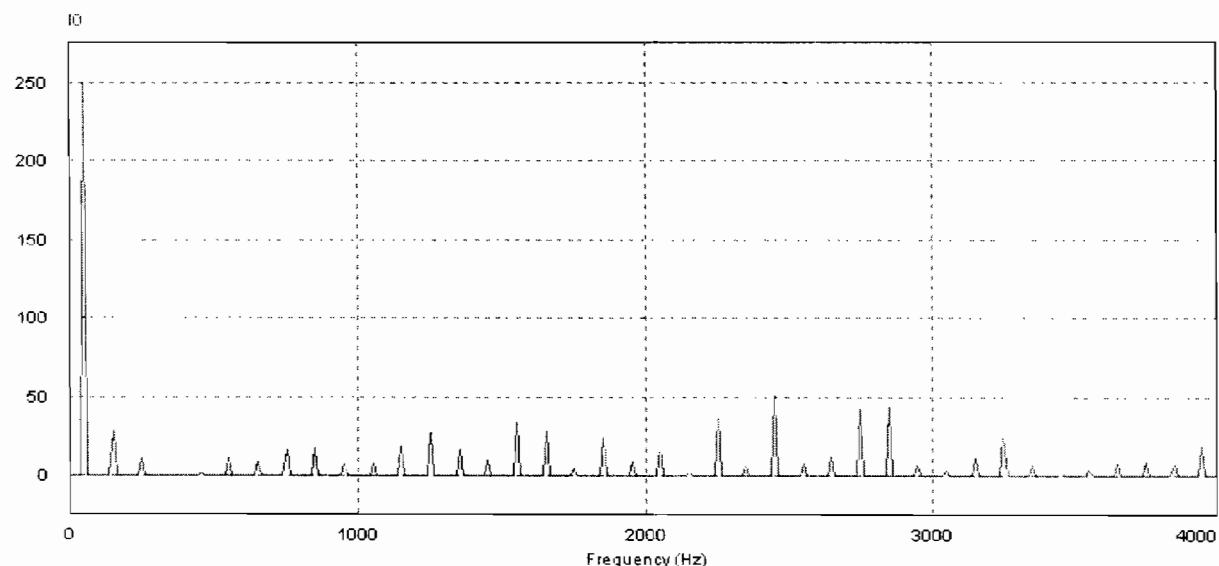


Figura 12 Spectrul curentului absorbit de aparat moduland PWM sursa de curent in conditii de eficienta maxima

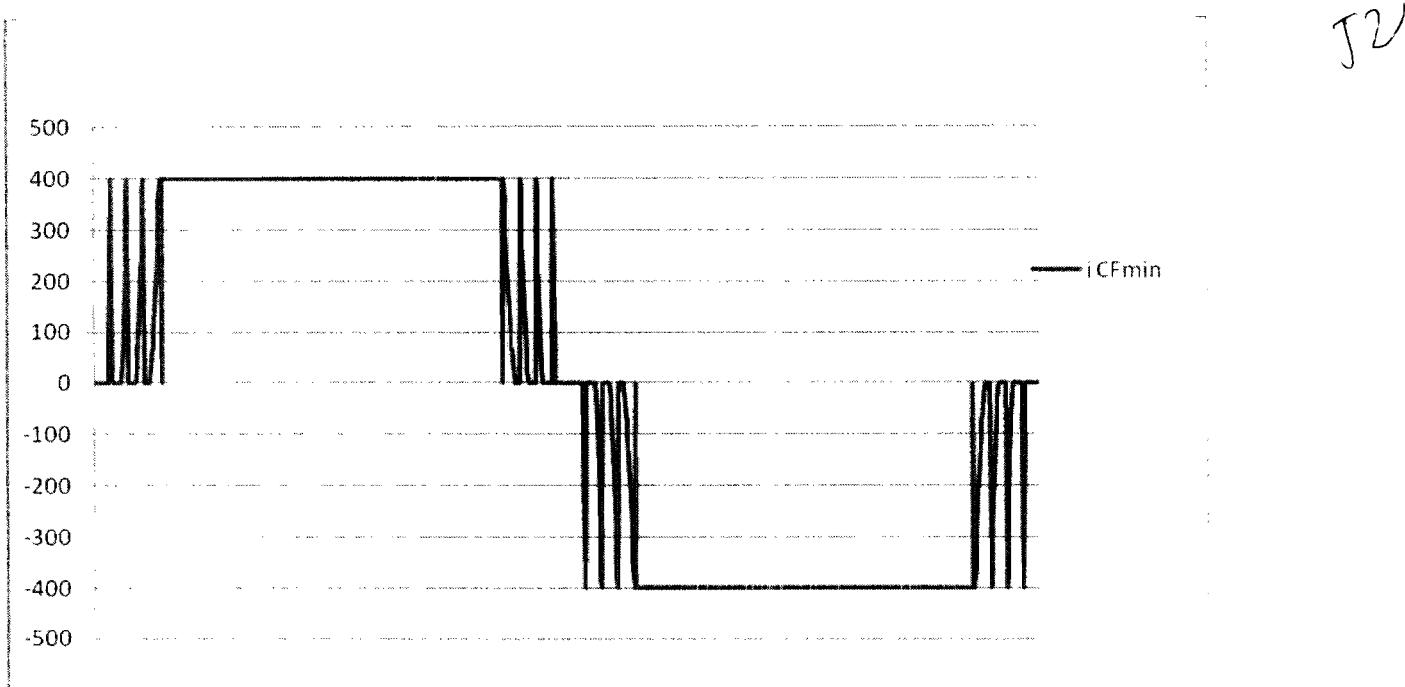


Figura 13 Formele de unda ale curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM intrinseca

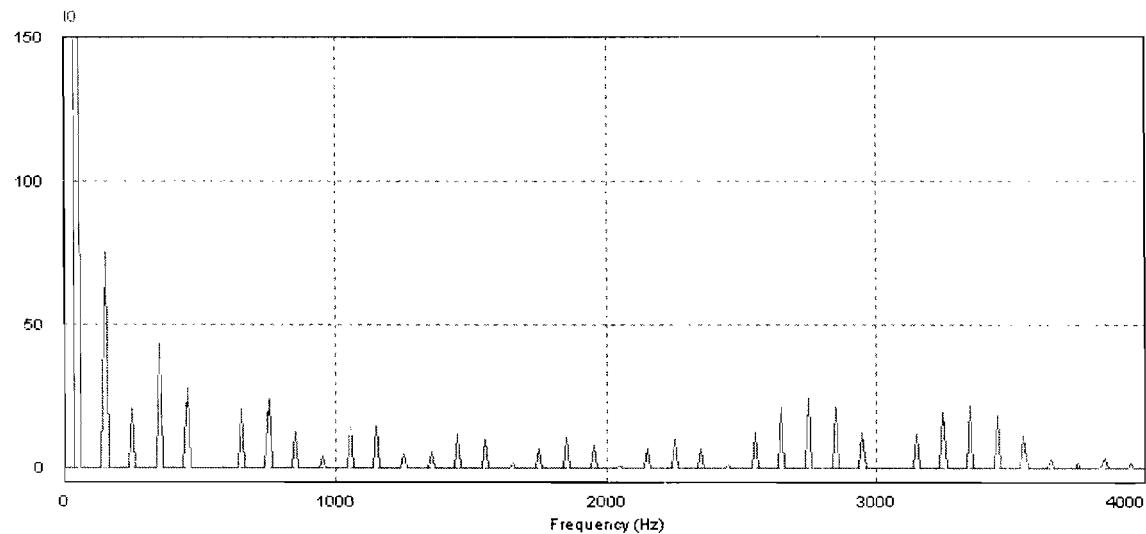


Figura 14 Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM instrinseca in conditii de CF_{minim}. NOTA amplitudinea fundamentala este 470mA

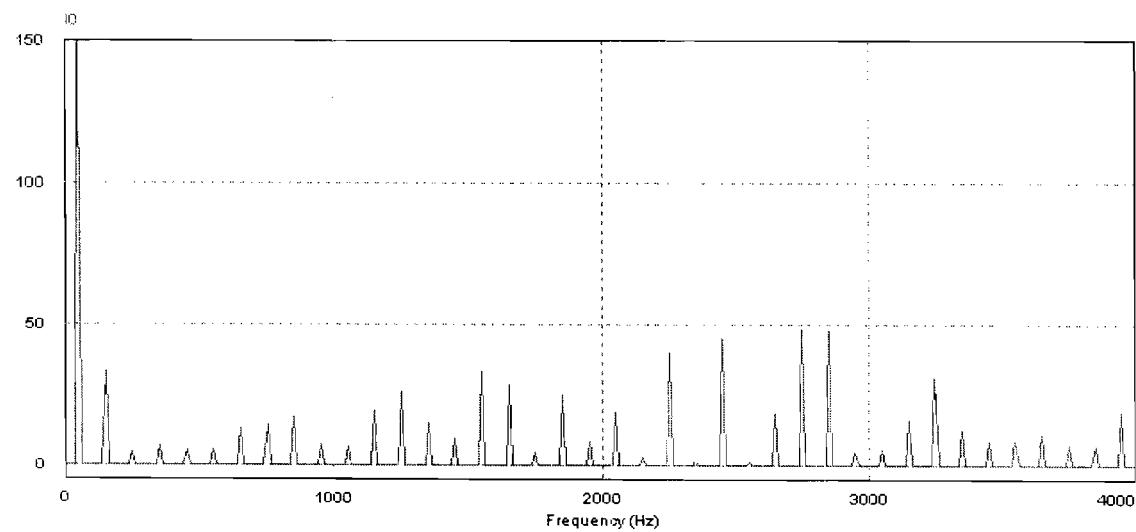


Figura 15 Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM instrinseca in conditii de eficienta maxima. NOTA amplitudinea fundamentala este 250mA.

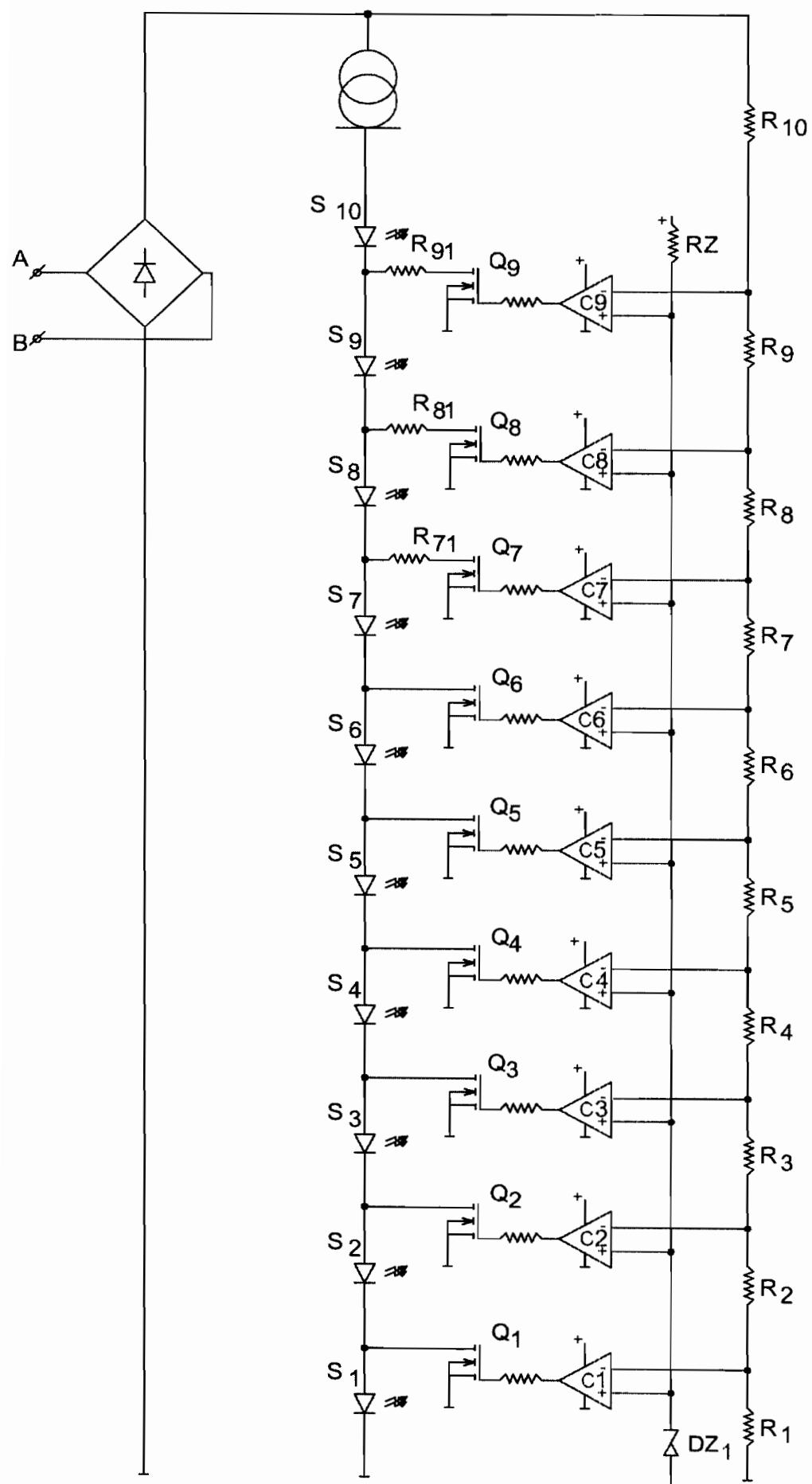


Figura 16. Schema electrica simplificata-stabilizata

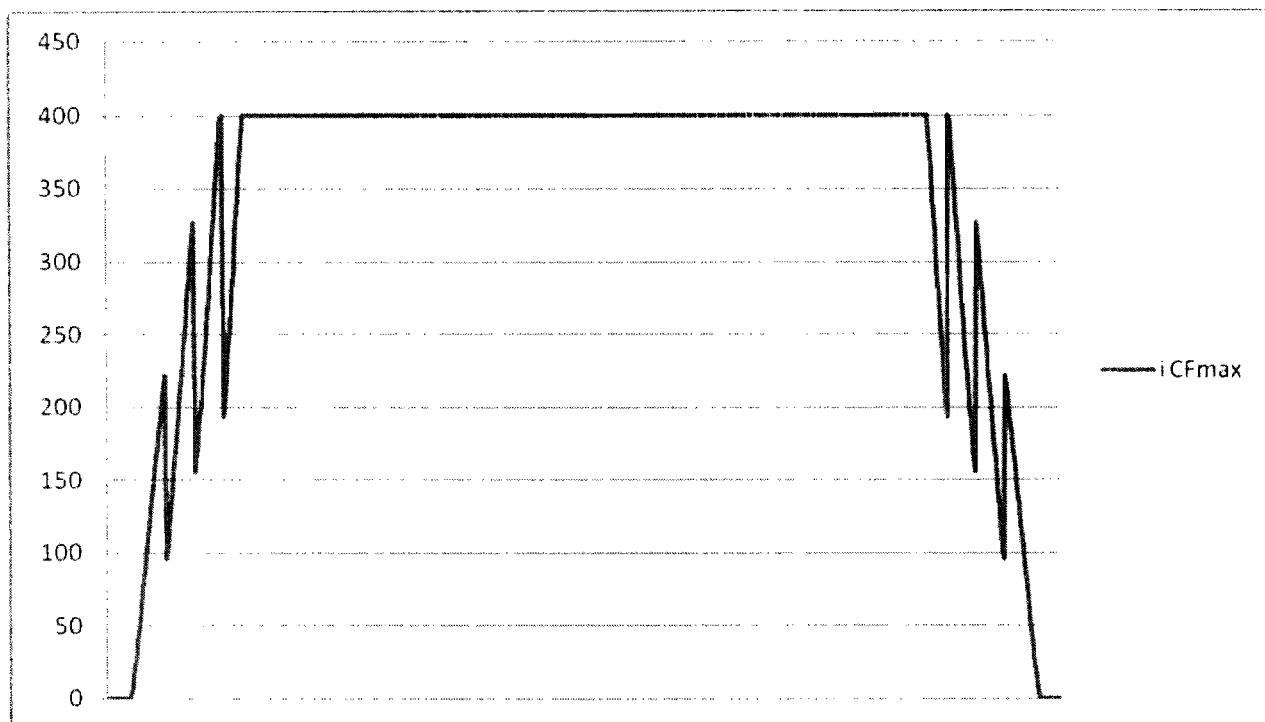


Figura 17. Formele de unda ale curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM intrinseca stabilizata

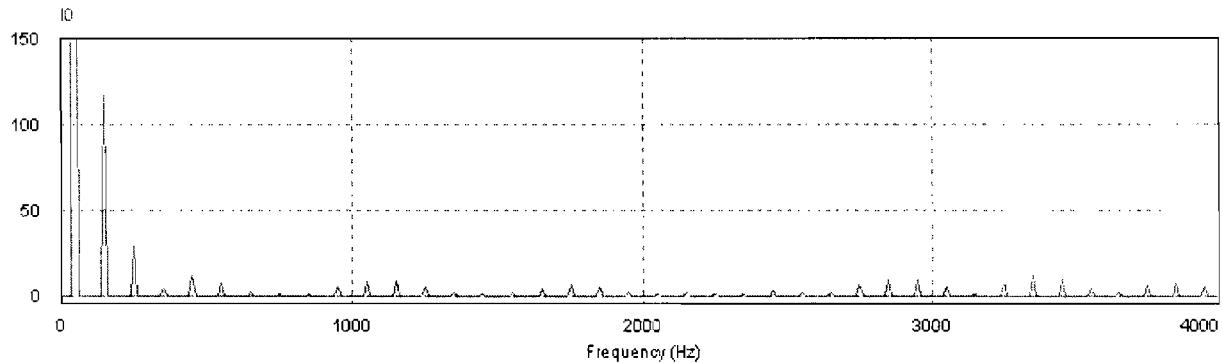


Figura 18 Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM instrinseca stabilizata in conditii de CF_{minim} . NOTA: amplitudinea fundamentaliei este 500mA

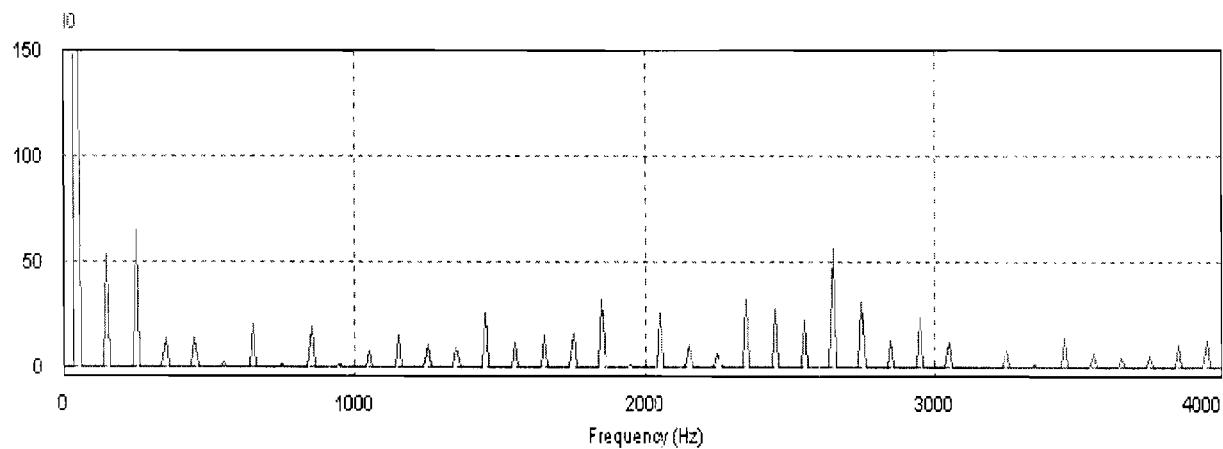


Figura 19 Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatie PWM instrinseca stabilizata in conditii de eficienta maxima

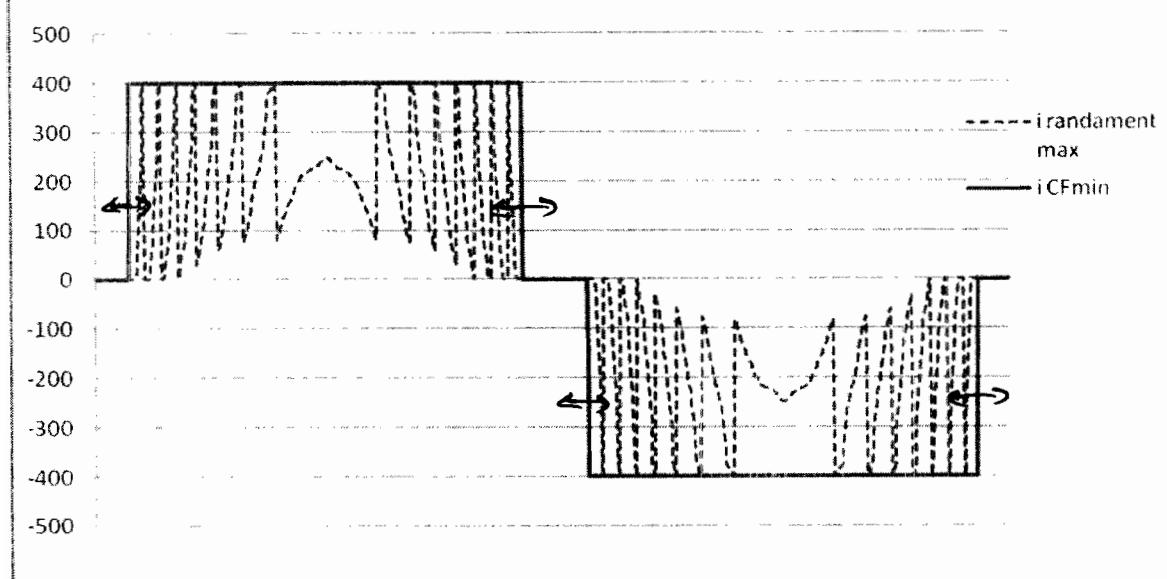


Figura 20 Formele de unda ale curentului prin aparat moduland aleator sursa de curent

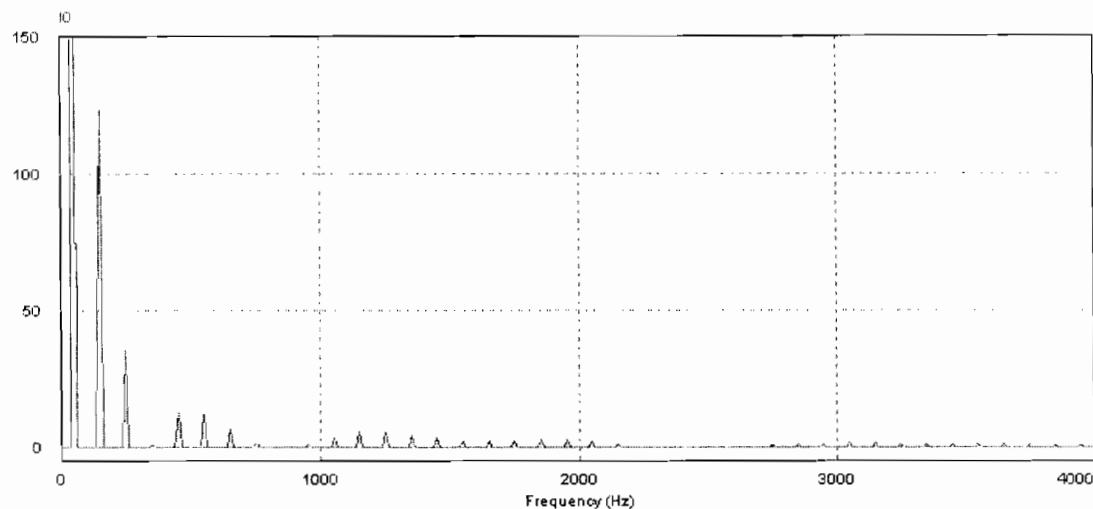


Figura 21 Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatia aleatoare in conditii de CF_{minim}
NOTA amplitudinea fundamentalei este 470mA

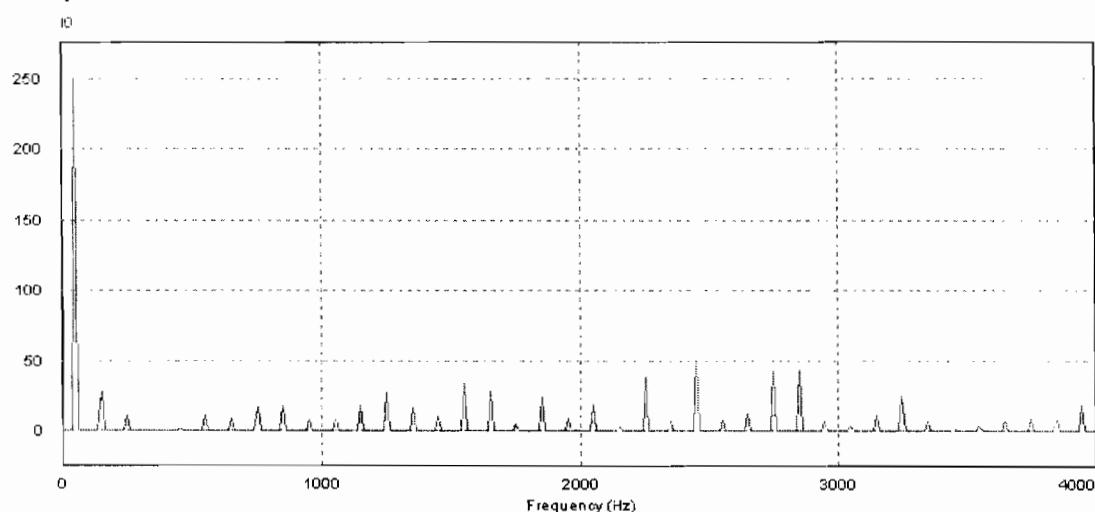


Figura 22 Spectrul curentului absorbit de aparat cu modulatia aleatoare in conditii de eficienta maxima