



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00850**

(22) Data de depozit: **12/11/2014**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/01/2020** BOPI nr. 1/2020

(41) Data publicării cererii:
29/07/2016 BOPI nr. 7/2016

(73) Titular:
• **FLORICĂU DAN,**
STR. SG. MAJOR NEDELEANU ION NR. 10,
BL. P60, SC. 2, AP. 33, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• **FLORICĂU DAN,**
STR. SG. MAJOR NEDELEANU ION NR. 10,
BL. P60, SC. 2, AP. 33, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO

(56) Documente din stadiul tehnicii:
RO 129323 A0; KOLAR, H. ERTL, F. ZACH,
"DESIGN AND EXPERIMENTAL
INVESTIGATION OF A THREE- PHASE
HIGH POWER DENSITY HIGH EFFICIENCY
UNITY POWER FACTOR PWM (VIENNA)
RECTIFIER EMPLOYING A NOVEL
INTEGRATED POWER SEMICONDUCTOR
MODULE", IEEE POWER ELECTRONICS
SOCIETY ANNUAL CONFERENCE; 11th,
APPLIED POWER ELECTRONICS, SAN
JOSE, PP. 514-523, 1996

(54) **REDRESOR DE PUTERE MULTICELULAR**



1 Invenția se referă la un circuit redresor de putere multicelular, utilizat pentru conversia
statică a energiei electrice între o sursă de curent alternativ și o sursă de tensiune continuă.

3 În domeniul conversiei statice a energiei electrice, numeroase aplicații necesită o
funcționare de tip redresor de putere ridicător, cu absorbție de curenți cvasi-sinusoidali în
5 fază cu tensiunea sursei alternative de alimentare, astfel încât să se obțină un factor de
putere cât mai aproape de 1 (unu), cu un randament energetic optim și/sau să se respecte
7 normele de calitate impuse consumatorilor conectați la rețelele de distribuție. Astfel de
circuite sunt denumite și corectoare ale factorului de putere (PFC - acronimul Power Factor
9 Correction, după terminologia anglo-saxonă).

Dezvoltările din domeniul electronicii de putere au scos în evidență performanțele
11 convertoarelor alternativ-continuu (AC/DC) de tipul redresoarelor de putere ridicătoare,
comandate pe principiul modulării pulsurilor în durată (PWM - acronimul Pulse Width
13 Modulation, după terminologia anglo-saxonă). Aceste circuite se bazează, în principal, pe
dispozitive semiconductoare de putere, comandate pe principiul PWM pentru a regla fluxul
15 de putere absorbit de la rețeaua alternativă de alimentare. De asemenea, aceste circuite
permit reglarea tensiunii continue de ieșire, în vederea alimentării altor convertoare continuu-
17 continuu (DC/DC) sau continuu-alternativ (DC/AC).

Cea mai populară structură PFC de tip multicelular este cunoscută sub numele de
19 *Vienna Rectifier* și asigură un transfer de putere AC/DC de tip unidirecțional. Acest circuit a
fost prezentat pentru prima dată în 1994 de către **Johann W. Kolar în cadrul conferinței**
21 **Record of the 16th IEEE International Telecommunications Energy Conference care a**
avut loc în Vancouver, Canada, Oct. 30 - Nov. 3, "A Novel Three-phase Utility Interface
23 **Minimizing Line Current Harmonics of High-Power Telecommunications Rectifier**
Modules", pp. 367-373 [1].

25 Redresorul monofazat Vienna se bazează pe suprapunerea a două celule de
comutație care utilizează un tranzistor comun și prezintă trei niveluri (3L) de tensiune
27 continuă ($-V_{dc}/2$, 0 și $V_{dc}/2$) pe partea alternativă de alimentare (V_{dc} - reprezintă tensiunea
continuă de la ieșirea redresorului). Tranzistorul comun este un întrerupător static de putere
29 cu două stări (închis/deschis), cu comutație comandată atât la intrarea în conducție - starea
închis, cât și la blocare - starea deschis. Acest circuit funcționează la o frecvență aparentă
31 de comutație F_{ap} corespunzătoare frecvenței de repetiție a comenzii F_{sw} pentru tranzistorul
comun.

33 Recent, structura redresorului de putere 3L-Vienna a fost îmbunătățită prin
conectarea în serie a celulelor de comutație utilizând două condensatoare intermediare
35 suprapuse (SFC - acronimul *Stacked Flying Capacitors*, după terminologia anglo-saxonă).
Circuitul monofazat prezintă cinci niveluri de tensiune continuă ($-V_{dc}/2$, $-V_{dc}/4$, 0, $V_{dc}/4$ și
37 $V_{dc}/2$) pe partea alternativă de alimentare (5L). Acesta a fost publicat în 2011, în cadrul tezei
de doctorat ***Contribution à l'étude de nouveaux convertisseurs sécurisés à tolérance***
39 ***de panne pour systèmes critiques à haute performance. Application à un PFC Double-***
Boost 5 Niveaux, elaborată la Universitatea din Toulouse de către L. Pham [2].

41 Din literatură (de exemplu, **WO/2009/109714** [3]) se cunoaște și o altă soluție de
redresor multicelular 5L de tip boost (ridicător), corector al factorului de putere, care să
43 utilizeze conectarea celulelor de comutație în serie. Spre deosebire de acesta, redresorul
5L-Vienna-SFC, prezentat în referința [2], are avantajul unui număr redus de tranzistoare,
45 și dezavantajul de a nu fi fost generalizat pentru mai mult de cinci niveluri de tensiune
utilizând un număr redus de tranzistoare.

În fig. 1 s-a reprezentat circuitul monofazat al redresorului de putere 5L-*Vienna*-SFC care este alimentat de la sursa de curent alternativ 2. Acesta este alcătuit dintr-un ansamblu de comutație 100 format din două grupuri de comutație suprapuse, fiecare grup având două celule de comutație unidirecționale de tip boost, care sunt conectate în serie, între celule fiind conectate condensatoarele intermediare 60 și 62. Celulele de comutație conțin două tranzistoare comune 30_1 și 30_2 comandate la frecvența de comutație F_{sw} , diodele 16, 18, 20_i , 22_i ($i = 1$ și 2), două surse intermediare de tensiune continuă sub forma condensatoarelor intermediare 60 și 62, și două surse de tensiune continuă de ieșire sub forma a două condensatoare de ieșire 104 și 114. Condensatoarele 60 și 62 sunt suprapuse (SFC), pentru a se reduce energia stocată în acestea. Prin intermediul comenzii condensatoarele intermediare se încarcă la o tensiune egală cu jumătate din tensiunea la care se încarcă condensatoarele de ieșire 104 și 114. Tranzistoarele comune 30_1 și 30_2 asigură circularea curentului într-un singur sens, așa cum se arată în fig. 1. Condensatoarele de ieșire 104 și 114 sunt conectate între cele două borne de ieșire 33a și 33b și au o bornă comună O.

Ansamblul de comutație 100 este legat la sursa de tensiune alternativă de alimentare 4 prin intermediul a două diode de redresare 12 și 14 și o inductanță 6.

În cazul aplicațiilor de puteri mari (de ordinul MW, cum este cazul turbinelor eoliene bazate pe generatoare sincrone cu magneți permanenți), pierderile în dispozitivele semiconductoare de putere din cadrul structurii de redresare 5L-*Vienna*-SFC cresc foarte mult. În cadrul diodelor de redresare 12 și 14 apar doar pierderi în conducție, în timp ce în dispozitivele semiconductoare de putere care alcătuiesc celulele de comutație unidirecționale apar atât pierderi în conducție, cât și pierderi în comutație. Dintre acestea, cele mai solicitate dispozitive semiconductoare de putere din punct de vedere termic sunt tranzistoarele comune 30_1 și 30_2 . Aceste tranzistoare comută curentul i_r al sursei de curent alternativ 2 cu frecvența de comutație F_{sw} pe întreaga perioadă a tensiunii alternative de alimentare 4, în timp ce tensiunea comutată de acestea este o fracțiune din tensiunea continuă de ieșire egală cu $V_{dc}/4$.

Pentru aplicațiile de curenți mari și tensiuni mari solicitările termice ale întrerupătoarelor active (tranzistoare) pot să conducă la reducerea frecvenței de comutație F_{sw} și/sau la creșterea inductanțelor de linie 6 conectate în serie cu sursele alternative de alimentare 4. Aceste inconveniente antrenează creșterea volumului și a prețului de cost, reducând astfel domeniul de aplicabilitate al circuitului 5L-*Vienna*-SFC. De asemenea, reducerea frecvenței de comutație F_{sw} are ca efect și creșterea condensatoarelor intermediare (60 și 62) și a condensatoarelor de ieșire (104 și 114), pentru a menține aceleași solicitări în tensiune pentru tranzistoare, și aceleași ondulații ale tensiunii de ieșire.

Invenția își propune să rezolve aceste dezavantaje oferind două circuite de redresoare de putere unidirecționale în structură multicelulară (cu mai multe celule de comutație), de tip boost (ridicătoare), corectoare ale factorului de putere, în configurații serie și serie-paralel, cu cel puțin șapte niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare, și un număr minim de tranzistoare. Primul circuit de redresor multicelular în configurație serie este alcătuit dintr-un ansamblu de comutație format din două grupuri de comutație suprapuse, conținând cel puțin trei tranzistoare comune, fiecare grup având cel puțin trei celule de comutație unidirecționale, de tip boost, care sunt conectate în serie. Între celulele de comutație se conectează condensatoare intermediare (FC - acronimul Flying Capacitor după terminologia anglo-saxonă) care beneficiază de avantajele SFC de reducere a energiei stocate în acestea și, deci, a volumului lor. Ansamblul de comutație este conectat la o sursă de curent alternativ prin intermediul a două diode redresoare. Pe partea de ieșire circuitul este conectat la bornele terminale a două condensatoare de ieșire înseriate și la borna lor comună.

Al doilea circuit de redresor multicelular în configurație serie-paralel constă în conectarea în paralel a cel puțin două redresoare în configurație serie, prin intermediul unui grup de inductanțe cuplate magnetic, conținând cel puțin două inductanțe cuplate magnetic (CI - acronimul Coupled Inductor, după terminologia anglo-saxonă). În acest caz redresoarele în configurație serie au în alcătuire ansambluri de comutație formate din câte două grupuri de comutație suprapuse, care au cel puțin două tranzistoare comune. Grupurile de comutație sunt formate din cel puțin două celule de comutație de tip boost unidirecționale, care sunt conectate în serie. Între aceste celule se conectează condensatoare intermediare (FC) care formează surse intermediare de tensiune continuă. Condensatoarele FC beneficiază de avantajul suprapunerii lor (SFC), care înseamnă reducerea energiei stocate în acestea și, deci, a volumului lor. Circuitele redresoarelor în configurație serie fiind conectate în paralel, împart aceleași condensatoare terminale de ieșire, și aceeași bornă comună a acestora.

Circuitele se diferențiază prin modul de realizare de tip serie cu minimum trei întreruptoare active (tranzistoare), sau de tip serie-paralel cu minim patru întreruptoare active (tranzistoare).

Conform invenției, tensiunea comutată de tranzistoarele care alcătuiesc redresoarele în configurație serie este redusă cu cel puțin 33% și, astfel, pierderile în comutație la nivelul fiecărui tranzistor sunt reduse cu cel puțin 33%, în comparație cu circuitul de redresor unidirecțional 5L-*Vienna*-SFC. În același timp, frecvența aparentă de comutație F_{ap} pe partea alternativă de alimentare este egală cu cel puțin $3 \cdot F_{sw}$ și, astfel, inductanțele serie sunt mai mici ca valoare, volum și preț de cost.

În comparație cu redresorul generalizat din referința [3], circuitul de redresor multicelular în configurație serie are avantajul, conform invenției, reducerii numărului total de întreruptoare active (tranzistoare) la jumătate. Circuitul de redresor multicelular în configurație serie-paralel are avantajul, conform invenției, reducerii curentului comutat de către dispozitivele semiconductoare din ansamblul de comutație.

În cazul circuitului de redresor unidirecțional multicelular în configurație serie-paralel, tranzistoarele care alcătuiesc celulele de comutație comută cu frecvența de comutație F_{sw} cel mult jumătate din curentul i_R și, astfel, pierderile în comutație în tranzistoare sunt reduse cu 50%, în comparație cu circuitul de redresor unidirecțional multicelular 5L-*Vienna*-SFC sau cu circuitul din referința [3]. În același timp, frecvența aparentă de comutație pe partea alternativă crește de cel puțin două ori, și inductanțele serie sunt mai mici ca valoare, volum și preț de cost.

Invenția conține două redresoare multicelulare în configurație serie și în configurație serie-paralel, pentru conversia statică a energiei electrice între o sursă de curent alternativ și o sursă de tensiune continuă, conform oricăreia dintre configurațiile prezentate mai jos.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu fig. 1...6, ce reprezintă:

- fig. 1, circuit de redresor unidirecțional cu cinci niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare, din stadiul actual al tehnicii;

- fig. 2, schema electronică de principiu a redresorului multicelular în configurație serie pentru conversia unidirecțională a energiei electrice;

- fig. 3, schema electronică de principiu a redresorului multicelular în configurație serie, după un mod particular de realizare a dispozitivului prezentat în fig. 2;

- fig. 4, exemplu de redresor multicelular în configurație serie cu alimentare trifazată, care utilizează modul particular de realizare a dispozitivului prezentat în fig. 3;

- fig. 5, schema electronică de principiu a redresorului multicelular în configurație serie-paralel, pentru conversia unidirecțională a energiei electrice; 1

- fig. 6, schema electronică de principiu a redresorului multicelular în configurație serie-paralel, după un mod particular de realizare a dispozitivului prezentat în fig. 5; 3

În fig. 2 s-a reprezentat un exemplu circuit de redresor de putere în configurație serie generalizat **40**, ce are în alcătuire un ansamblu de comutație **100** format din două grupuri de comutație suprapuse, conținând cel puțin trei tranzistoare comune **30_i** ($i = 1, 2, \dots, p, p \geq 3$) comandate cu frecvența de comutație F_{sw} . În raport cu circuitul din fig. 1, acest redresor permite trecerea de la cinci niveluri de tensiune la cel puțin șapte niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare. De asemenea, frecvența aparentă de comutație F_{ap} se modifică de la valoarea $2 \cdot F_{sw}$ la valoarea $p \cdot F_{sw}$, unde F_{sw} este frecvența de comutație a tranzistoarelor, și p reprezintă numărul tranzistoarelor comune din grupurile de comutație suprapuse. 5 7 9 11 13

Circuitului generalizat din fig. 2 i se aplică o sursă de curent de intrare **2** obținută dintr-o tensiune alternativă **4** care este înseriată cu o inductanță de intrare **6**, formând astfel o bornă de alimentare **10** pentru circuitul redresorului de putere. Ansamblul de comutație **100** este conectat la această sursă de curent alternativ prin intermediul a două diode de redresare **12** și **14**. 15 17

Primul grup de comutație este alcătuit din cel puțin trei celule de comutație de tip N (curentul intră în celulă) conectate în serie, conținând diodele **20_i** ($i = 1, 2, \dots, p, p \geq 3$), tranzistoarele **30_i** ($i = 1, 2, \dots, p, p \geq 3$), condensatoarele intermediare **60_j** ($j = 1, 2, \dots, p-1, p \geq 3$) conectate între celule, dioda **18** și condensatorul de ieșire **104**. 19 21

Al doilea grup de comutație este alcătuit tot din cel puțin trei celule de comutație, dar de tip P (curentul iese din celulă), conectate în serie, conținând diodele **22_i** ($i = 1, 2, \dots, p, p \geq 3$), tranzistoarele **30_i** ($i = 1, 2, \dots, p, p \geq 3$), condensatoarele intermediare **62_j** ($j = 1, 2, \dots, p-1, p \geq 3$) conectate între celule, dioda **16** și condensatorul de ieșire **114**. 23 25

Condensatoarele de ieșire **104** și **114** sunt conectate între cele două borne de ieșire **33_a** și **33_b**, și au o bornă comună **O**, conform invenției. 27

Diodele de redresare **12** și **14** sunt în conducție în același sens cu celulele de comutație care formează cele două grupuri. Astfel, dioda **12** este în conducție în același sens cu celulele de comutație de tip N, în timp ce dioda **14** este în conducție în același sens cu celulele de comutație de tip P. Diodele **16** și **18** au o bornă comună care se conectează la borna comună a condensatoarelor de ieșire **O**, conform invenției. 29 31 33

Circuitul **40** este conectat la intrare la o bornă **R** a sursei de alimentare prin intermediul bornei comune a diodelor de redresare **12** și **14**. Pe partea de ieșire circuitul **40** este conectat la o primă bornă de ieșire **33_a**, care este comună cu o bornă a condensatorului **104** și cu o bornă a diodei **20_p**. Circuitul **40** este conectat la o a doua bornă de ieșire **33_b**, care este comună cu o bornă a condensatorului **114** și cu o bornă a diodei **22_p**. Condensatoarele **104** și **114** au o bornă comună **O**, conform invenției. 35 37 39

Dioda de redresare **12** se conectează la borna comună a celor două întreruptoare **20₁** și **30₁**, care formează prima celulă de comutație de tip N, și la o bornă a diodei **16**, în timp ce dioda de redresare **14** se conectează la borna comună a celor două întreruptoare **20_p** și **30_p**, care formează celula p de comutație de tip P, și la o bornă a diodei **18**. 41 43

Tranzistoarele **30_i** ($i = 1, 2, \dots, p, p \geq 3$) sunt întreruptoare unidirecționale în curent și unidirecționale în tensiune, fiind comandate prin unul sau mai multe dispozitive de comandă cunoscute, care se bazează pe principiul comenzilor PWM cu fază defazată (PS - acronimul Phase Shifted, după terminologia anglo-saxonă). De exemplu, semnalul 45 47

de comandă pentru întreruptorul activ **30_i**, corespunde comenzii redresorului Vienna cu 3 niveluri de tensiune, și semnalele de comandă pentru celelalte întreruptoare active sunt defazate între ele cu $360/p$ (p reprezintă numărul tranzistoarelor comune).

Circuitul generalizat din fig. 2 permite obținerea a $N = 2 \cdot p + 1$ niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare, la o frecvență aparentă de comutație egală cu $p \cdot F_{sw}$. Conform invenției, dispozitivele semiconductoare active, de tip tranzistor, care alcătuiesc celulele de tip P, respectiv, de tip N, comută cu frecvența de comutație F_{sw} numai o fracțiune din tensiunea continuă de ieșire egală cu $V_{dc}/(2 \cdot p)$. Componentele semiconductoare pe partea de redresare 12 și 14 sunt parcurse de curentul i_R și comută la frecvență joasă egală cu frecvența tensiunii alternative 4, pierderile în comutație putând fi neglijate.

În fig. 3 s-a reprezentat un exemplu de redresor multicelular în configurație serie cu un ansamblu de comutație **100** care este alcătuit din două grupuri de comutație suprapuse, conținând trei tranzistoare comune **30_i** ($i = 1, 2$ și 3), fiecare grup fiind alcătuit din câte trei celule de comutație de tip boost, unidirecționale în curent, în conexiune serie cu condensatoare intermediare. În raport cu circuitul din fig. 1, acest redresor permite trecerea de la cinci niveluri de tensiune la șapte niveluri de tensiune continuă ($N = 7$) pe partea alternativă de alimentare ($-V_{dc}/2, -V_{dc}/3, -V_{dc}/6, 0, V_{dc}/6, V_{dc}/3$ și $V_{dc}/2$), și de la o frecvență aparentă de comutație F_{ap} egală cu de două ori frecvența de comutație a tranzistoarelor ($2 \cdot F_{sw}$) la o frecvență aparentă de comutație multiplicată cu de trei ori frecvența de comutație a tranzistoarelor ($3 \cdot F_{sw}$).

Circuitului din fig. 3 i se aplică la intrare o sursă de curent **2** obținută dintr-o tensiune alternativă **4** care este înseriată cu o inductanță de intrare **6**, formând astfel o bornă de alimentare **10** pentru circuitul 40 al redresorului de putere.

În comparație cu redresorul 5L-Vienna-SFC din fig. 1, circuitul 40 din fig. 3 prezintă un ansamblu de comutație 100 ce are două grupuri de comutație suprapuse, conținând trei tranzistoare comune **30_i** ($i = 1, 2$ și 3). Ansamblul de comutație 100 este conectat la sursa de curent alternativ **2** prin intermediul a două diode redresoare **12** și **14**, care dispun de o bornă comună **10**.

Primul grup de comutație este alcătuit din trei celule de comutație, de tip N, care sunt conectate în serie, conținând diodele **20_i** ($i = 1, 2$ și 3), tranzistoarele **30_i** ($i = 1, 2$ și 3), condensatoarele intermediare **60_j** ($j = 1$ și 2) conectate între celule, dioda **18** și condensatorul de ieșire **104**.

Al doilea grup de comutație este alcătuit tot din trei celule de comutație, de tip P, care sunt conectate în serie, conținând diodele **22_i** ($i = 1, 2$ și 3), tranzistoarele **30_i** ($i = 1, 2$ și 3), condensatoarele intermediare **62_j** ($j = 1$ și 2) conectate între celule, dioda **16** și condensatorul de ieșire **114**.

Condensatoarele de ieșire **104** și **114** sunt conectate între cele două borne de ieșire **33_a** și **33_b** și au o bornă comună **O**, conform invenției.

Diodele de redresare **12** și **14** sunt în conducție în același sens cu celulele de comutație care formează cele două grupuri. Astfel dioda **12** este în conducție în același sens cu celulele de comutație de tip N, în timp ce dioda **14** este în conducție în același sens cu celulele de comutație de tip P. Diodele **16** și **18** au o bornă comună care se conectează la borna comună a condensatoarelor de ieșire **O**, conform invenției. Tranzistoarele care intră în componența circuitului pot fi orice tip de întreruptoare statice de putere cu două stări (închis/deschis), cu comutație comandată atât la intrarea în conducție - starea închis, cât și la blocare - starea deschis.

Circuitul **40** este conectat la intrare la o bornă **R** a sursei de alimentare prin intermediul bornei comune a diodelor de redresare **12** și **14**. Pe partea de ieșire circuitul **40** este conectat la o primă bornă de ieșire **33_a**, care este comună cu o bornă a condensatorului **104** și cu o bornă a diodei **20₃**. Circuitul **40** este conectat la o a doua bornă de ieșire **33_b**, care este comună cu o bornă a condensatorului **114** și cu o bornă a diodei **22₁**. Condensatoarele **104** și **114** au o bornă comună **O**, conform invenției.

Dioda de redresare **12** se conectează la borna comună a celor două întreruptoare **20₁** și **30₁**, care formează prima celulă de comutație de tip N, și la o bornă a diodei **16**, în timp ce dioda de redresare **14** se conectează la borna comună a celor două întreruptoare **20₃** și **30₃**, care formează a treia celulă de comutație de tip P, și la o bornă a diodei **18**.

Tranzistoarele **30_i** ($i = 1, 2$ și 3) sunt întreruptoare unidirecționale în curent și unidirecționale în tensiune, fiind comandate prin unul sau mai multe dispozitive de comandă cunoscute, care se bazează pe principiul comenzilor PWM cu fază defazată (PS). De exemplu, semnalul de comandă pentru întreruptorul activ **30₁** corespunde comenzii redresorului Vienna cu 3 niveluri de tensiune, și semnalele de comandă pentru celelalte întreruptoare active **30₂** și **30₃** sunt defazate cu 120° și, respectiv, 240° .

Circuitul redresorului din fig. 3 permite obținerea a șapte niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare ($-V_{dc}/2$, $-V_{dc}/3$, $-V_{dc}/6$, 0 , $V_{dc}/6$, $V_{dc}/3$ și $V_{dc}/2$), la o frecvență aparentă de comutație egală cu $3 \cdot F_{sw}$, utilizând un număr minim de tranzistoare $p = 3$. Conform invenției, dispozitivele semiconductoare de putere active (de tip tranzistor), care alcătuiesc celulele de tip P, respectiv, de tip N, comută cu frecvența de comutație F_{sw} numai o fracțiune din tensiunea continuă de ieșire egală cu $V_{dc}/6$. Componentele semiconductoare pe partea de redresare **12** și **14** sunt parcurse de curentul i_R și comută la frecvență joasă egală cu frecvența tensiunii alternative **4**, pierderile în comutație putând fi neglijate.

În fig. 4 se prezintă circuitul **50** care face obiectul invenției, pentru o sursă de alimentare **4** polifazăată, în particular trifazăată.

Redresorul de putere în configurație serie pentru o alimentare trifazăată **50** conține trei circuite de redresor în configurație serie **40₁**, **40₂** și **40₃** care sunt legate la fazele **4₁**, **4₂** și **4₃** de la sursa alternativă de alimentare **4**, prin intermediul unor inductanțe serie **6₁**, **6₂** și **6₃**.

Ansamblurile de comutație **40₁**, **40₂** și **40₃** sunt conectate la intrare la bornele **10₁**, **10₂** și **10₃** ale sursei de alimentare prin intermediul diodelor de redresare. Pe partea de ieșire circuitele **40₁**, **40₂** și **40₃** sunt conectate la o primă bornă de ieșire **33_a**, care este comună cu o bornă a condensatorului **104**, și la o a doua bornă de ieșire **33_b**, care este comună cu o bornă a condensatorului **114**.

Condensatoarele de ieșire **104** și **114** sunt conectate între cele două borne de ieșire **33_a** și **33_b**, și au o bornă comună **O**, conform invenției.

Întreruptoarele active (de tip tranzistor) au o poziție identică în fiecare dintre cele trei circuite **40₁**, **40₂**, **40₃** și sunt comandate printr-o modulație PWM defazată cu același unghi ca defazajul fazelor sursei alternative de alimentare, în cazul trifazat fiind 120° electrice.

În fig. 5 s-a reprezentat un exemplu de redresor de putere multicelular în configurație serie-paralel generalizat **70**, conținând cel puțin două redresoare de putere în configurație serie **40_k** ($k = 1, 2, \dots, n$, $n \geq 2$) conectate în paralel prin intermediul unui grup de inductanțe cuplate magnetic **80**. Redresoarele în configurație serie **40_k** sunt alcătuite din două grupuri de comutație suprapuse, care au cel puțin două tranzistoare comune ($p \geq 2$) comandate cu frecvența de comutație F_{sw} . În raport cu circuitul din fig. 1, acest redresor permite trecerea de la cinci niveluri de tensiune la cel puțin nouă niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare. De asemenea, frecvența aparentă de comutație (F_{ap}) se modifică de la $F_{ap} = 2 \cdot F_{sw}$ la o frecvență aparentă de comutație egală cu cel puțin $4 \cdot F_{sw}$.

RO 131301 B1

Circuitului în configurație serie-paralel generalizat **70** din fig. 5 i se aplică la intrare o sursă de curent **2**. Aceasta este obținută dintr-o tensiune alternativă **4** care este înseriată cu o inductanță de intrare **6**, formând astfel o bornă de alimentare **R** pentru circuitul redresorului de putere în configurație serie-paralel. Pe partea de ieșire, circuitele redresoarelor multicelulare în configurație serie (**40_k**, $k = 1, 2, \dots, n$, $n \geq 2$) sunt conectate în paralel și împart aceleași condensatoare terminale (**104** și **114**) care sunt conectate între cele două borne de ieșire **33_a** și **33_b** și au o bornă comună **O**, conform invenției.

Grupul de inductanțe cuplate magnetic **80** are o bornă de intrare și cel puțin două borne de ieșire. Borna de intrare este conectată la borna **R** a sursei de curent alternativ **2**, în timp ce bornele de ieșire sunt conectate la bornele de intrare **10_k** ($k = 1, 2, \dots, n$, $n \geq 2$) ale redresoarelor în configurație serie **40_k** ($k = 1, 2, \dots, n$, $n \geq 2$).

Redresoarele în configurație serie **40_k** ($k = 1, 2, \dots, n$, $n \geq 2$) conțin cel puțin două întreruptoare active (de tip tranzistor), unidirecționale în curent și unidirecționale în tensiune, fiind comandate prin unul sau mai multe dispozitive de comandă cunoscute, care se bazează pe principiul comenzilor PWM cu fază defazată (PS). De exemplu, semnalele de comandă pentru redresorul în configurație serie **40₁** sunt defazate între ele cu $360^\circ/p$, și semnalele de comandă pentru celelalte redresoare în configurație serie conectate în paralel sunt defazate cu $360^\circ/n$. Astfel, circuitul redresorului permite obținerea a $N = 2 \cdot n \cdot p + 1$ niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare, la o frecvență aparentă de comutație egală cu $n \cdot p \cdot F_{sw}$, utilizând un număr minim de tranzistoare. Conform invenției, toate dispozitivele semiconductoare de putere care alcătuiesc redresoarele în configurație serie **40_k** ($k = 1, 2, \dots, n$, $n \geq 2$) comută cu frecvența de comutație F_{sw} numai o fracțiune din curentul i_R egală cu i_R/n .

În fig. 6 s-a reprezentat un exemplu de redresor de putere multicelular în configurație serie-paralel **70**, conținând numai două redresoare de putere în configurație serie **40₁** și **40₂** conectate în paralel ($n = 2$) prin intermediul a două inductanțe cuplate magnetic **80**. Redresoarele în configurație serie **40₁** și **40₂** sunt alcătuite din ansambluri de comutație cu celule de comutație suprapuse, conținând câte două tranzistoare comune ($p = 2$), comandate cu frecvența de comutație F_{sw} . În raport cu circuitul din fig. 1, acest redresor permite trecerea de la cinci niveluri de tensiune la nouă niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare ($-V_{dc}/2$, $-3 \cdot V_{dc}/8$, $-V_{dc}/4$, $-V_{dc}/8$, 0 , $V_{dc}/8$, $V_{dc}/4$, $3 \cdot V_{dc}/8$ și $V_{dc}/2$). De asemenea, frecvența aparentă de comutație (F_{ap}) se modifică de la $F_{ap} = 2 \cdot F_{sw}$ la o frecvență aparentă de comutație $F_{ap} = 4 \cdot F_{sw}$.

Circuitului în configurație serie-paralel **70** din fig. 6 i se aplică la intrare o sursă de curent **2**. Aceasta este obținută dintr-o tensiune alternativă **4** care este înseriată cu o inductanță de intrare **6**, formând astfel o bornă de alimentare **R** pentru circuitul redresorului de putere. Pe partea de ieșire, circuitele redresoarelor multicelulare în configurație serie **40₁** și **40₂** sunt conectate în paralel și împart aceleași condensatoare terminale **104** și **114** care sunt conectate între cele două borne de ieșire **33_a** și **33_b** și au o bornă comună **O**, conform invenției.

Inductanțele cuplate magnetic **80** au o bornă de intrare și două borne de ieșire. Borna de intrare este conectată la borna **R** a sursei de curent alternativ **2**, în timp ce bornele de ieșire sunt conectate la bornele de intrare **10₁** și **10₂** ale redresoarelor în configurație serie **40₁** și **40₂**.

Condensatoarele de ieșire **104** și **114** sunt conectate între cele două borne de ieșire **33_a** și **33_b** și au o bornă comună **O**, conform invenției.

Redresoarele în configurație serie **40₁** și **40₂** conțin întreruptoare active (de tip tranzistor), unidirecționale în curent și unidirecționale în tensiune, fiind comandate prin unul sau mai multe dispozitive de comandă cunoscute, care se bazează pe principiul comenzilor PWM cu fază defazată (PS). De exemplu, semnalele de comandă pentru redresorul în configurație serie **40₁** sunt defazate între ele cu 180° electrice, și semnalele de comandă pentru celălalt redresor **40₂** în configurație serie conectate în paralel sunt defazate tot cu 180° electrice. Astfel, semnalele de comandă PWM pentru cele patru tranzistoare sunt defazate între ele cu câte 90° electrice.

Circuitul redresorului din fig. 6 permite obținerea a nouă niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare ($-V_{dc}/2$, $-3*V_{dc}/8$, $-V_{dc}/4$, $-V_{dc}/8$, 0, $V_{dc}/8$, $V_{dc}/4$, $3*V_{dc}/8$ și $V_{dc}/2$), la o frecvență aparentă de comutație egală cu $4*F_{sw}$, utilizând un număr minim de patru tranzistoare ($p*n = 4$). Conform invenției, toate dispozitivele semiconductoare de putere care alcătuiesc redresoarele în configurație serie **40₁** și **40₂** comută cu frecvența de comutație F_{sw} numai o fracțiune din curentul i_R egală cu $i_R/2$.

Tranzistoarele care intră în componența circuitelor pot fi orice tip de întreruptoare statice de putere cu două stări (închis/deschis) cu comutație comandată atât la intrarea în conducție-starea închis, cât și la blocare-starea deschis, care să asigure funcționarea circuitelor conform invenției.

Exemplele precedente nu sunt decât moduri de realizare a invenției, care nu se limitează aici.

Bibliografie

1. J. W. Kolar and F. C. Zach, *A Novel Three-phase Utility Interface Minimizing Line Current Harmonics of High-Power Telecommunications Rectifier Modules*, Record of the 16th IEEE International Telecommunications Energy Conference, Vancouver, Canada, Oct. 30 - Nov. 3, pp. 367-374 (1994).
2. L. Pham, *Contribution à l'étude de nouveaux convertisseurs sécurisés à tolérance de panne pour systèmes critiques à haute performance. Application à un PFC Double - Boost 5 Niveaux*, PhD thesis - University of Toulouse, Nov. 2011 (<http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001725/01/pham.pdf>).
3. M. Iturriz, F. Richardeau, T. Meynard and H. Helali, *Power rectifying circuit and systems, associated method, and aircraft including such circuit or systems*, Patent no. WO/2009/109714, data de publicare 11.09.2009.

Revendicări

1. Circuit de redresor de putere multicelular (40), care se conectează între o sursă de curent alternativ (2) și o sursă de tensiune continuă (8), **caracterizat prin aceea că** este alcătuit din:

- două diode de redresare (12 și 14) având o bornă comună (10) conectată la o bornă a sursei de curent alternativ de alimentare (2), celelalte borne ale diodelor redresoare fiind conectate la un ansamblu de comutație (100), ce conține două grupuri de comutație suprapuse, care au cel puțin trei tranzistoare comune (30_i): primul grup de comutație este alcătuit din cel puțin trei celule de comutație de tip N, conectate în serie, conținând diode (20_i), tranzistoare (30_i), condensatoare intermediare (60_i) conectate între celule, o diodă (18) și condensatorul de ieșire (104); al doilea grup de comutație este alcătuit din trei celule de comutație de tip P conectate în serie, conținând diode (22_i), tranzistoare (30_i), condensatoare intermediare (62_i) conectate între celule, o diodă (16) și condensatorul de ieșire (114);

- diodele (16 și 18) au o bornă comună care se conectează la borna comună a condensatoarelor de ieșire (O);

- partea de ieșire a circuitului (40) este conectată la o primă bornă de ieșire (33_a) care este comună cu o bornă a condensatorului (104) și cu o bornă a diodei (20_p); circuitul (40) este conectat la o a doua bornă de ieșire (33_b), care este comună cu o bornă a condensatorului (114) și cu o bornă a diodei (22_i);

- dioda de redresare (12) este conectată la borna comună a celor două întreruptoare (20₁ și 30₁) conținute de prima celulă de comutație de tip N, și la o bornă a diodei (16), în timp ce dioda de redresare (14) se conectează la borna comună a celor două întreruptoare (20_p și 30_p) conținute de celula de comutație de tip P, și la o bornă a diodei (18);

- două condensatoare de ieșire (104 și 114) sunt conectate între cele două borne de ieșire (33_a și 33_b), având o bornă comună (O).

2. Circuit de redresor de putere (50), conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, pentru o alimentare trifazată, este alcătuit din trei circuite de redresoare (40₁, 40₂ și 40₃) ce se conectează la bornele de alimentare (10₁, 10₂ și 10₃) ale fazelor de curent polifazat (2₁, 2₂ și 2₃), și care împart aceleași condensatoare terminale (104 și 114) care au o bornă comună (O), sursele de curent (2₁, 2₂ și 2₃) fiind obținute prin înserierea unor inductanțe (6₁, 6₂ și 6₃) cu fazele (4₁, 4₂ și 4₃) sursei alternative de alimentare (4).

3. Circuit de redresor de putere multicelular, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, pentru o configurație serie-paralel, cel puțin două redresoare de putere (40) sunt conectate în paralel prin intermediul unui grup de inductanțe cuplate magnetic (80);

4. Circuit de redresor de putere, conform revendicărilor 1 și 3, **caracterizat prin aceea că** cele două inductanțe cuplate magnetic (80) au o bornă de intrare și două borne de ieșire, borna de intrare fiind conectată la o bornă a sursei de curent alternativ (2), în timp ce bornele de ieșire sunt conectate la bornele de intrare (10₁ și 10₂) ale redresoarelor (40₁ și 40₂), astfel încât fiecare redresor conține câte două grupuri de comutație suprapuse, iar fiecare grup este alcătuit din cel puțin două celule de comutație care au cel puțin două tranzistoare comune.

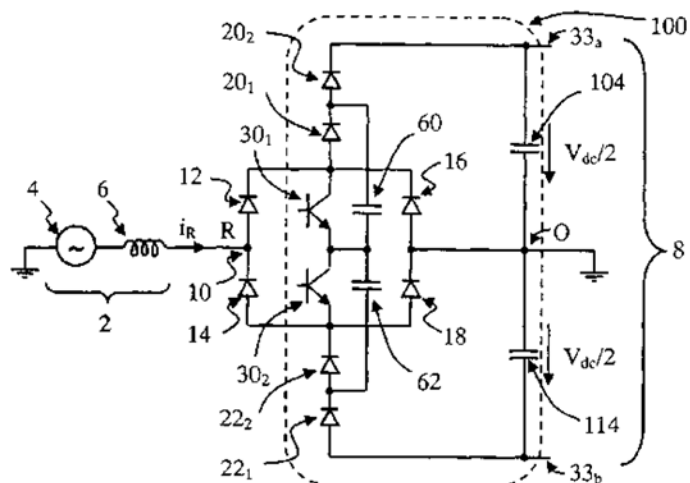


Fig. 1

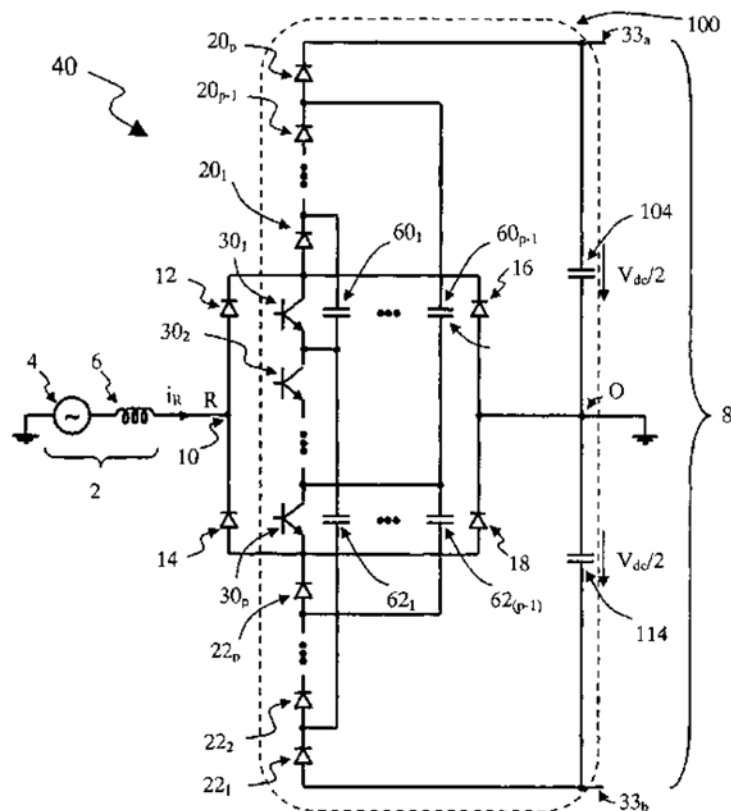


Fig. 2

(51) Int.Cl.

H02M 7/04 (2006.01).

H02M 7/217 (2006.01)

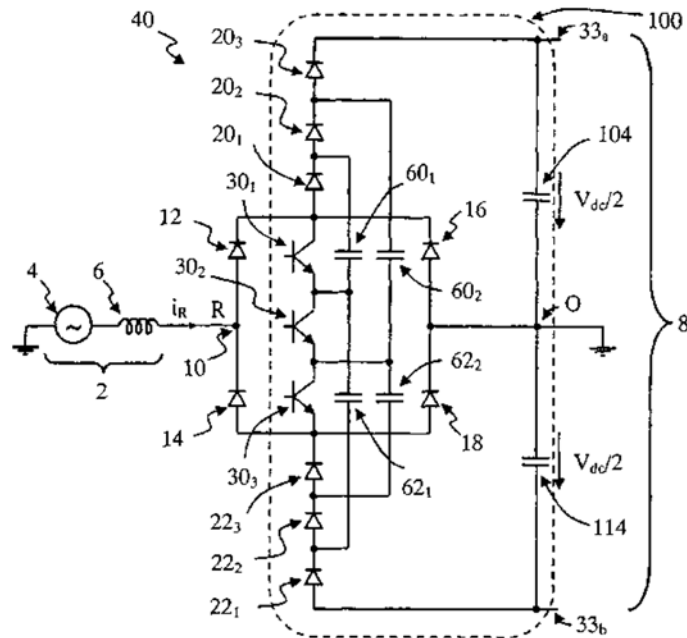


Fig. 3

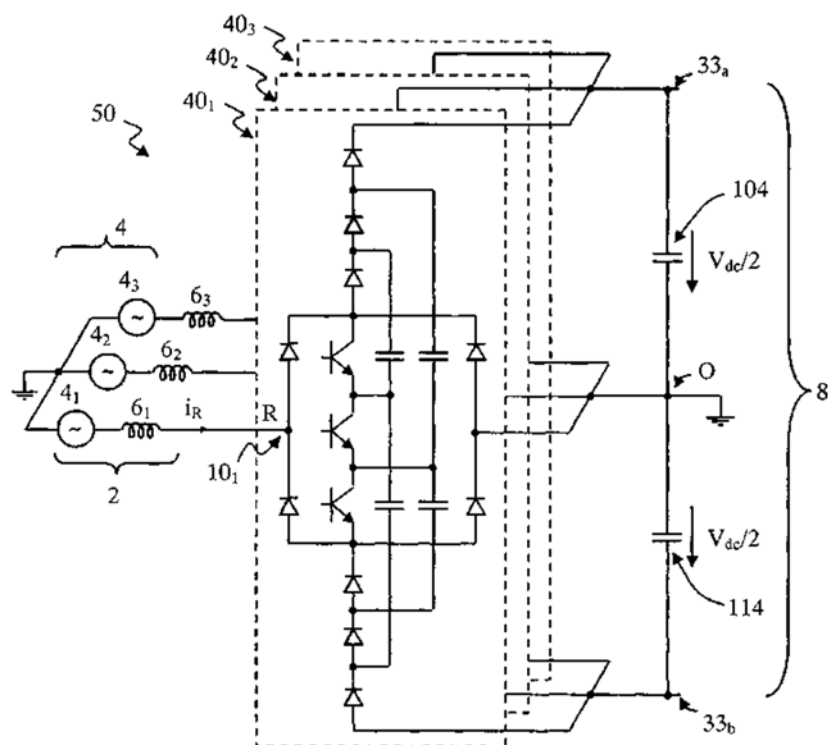


Fig. 4

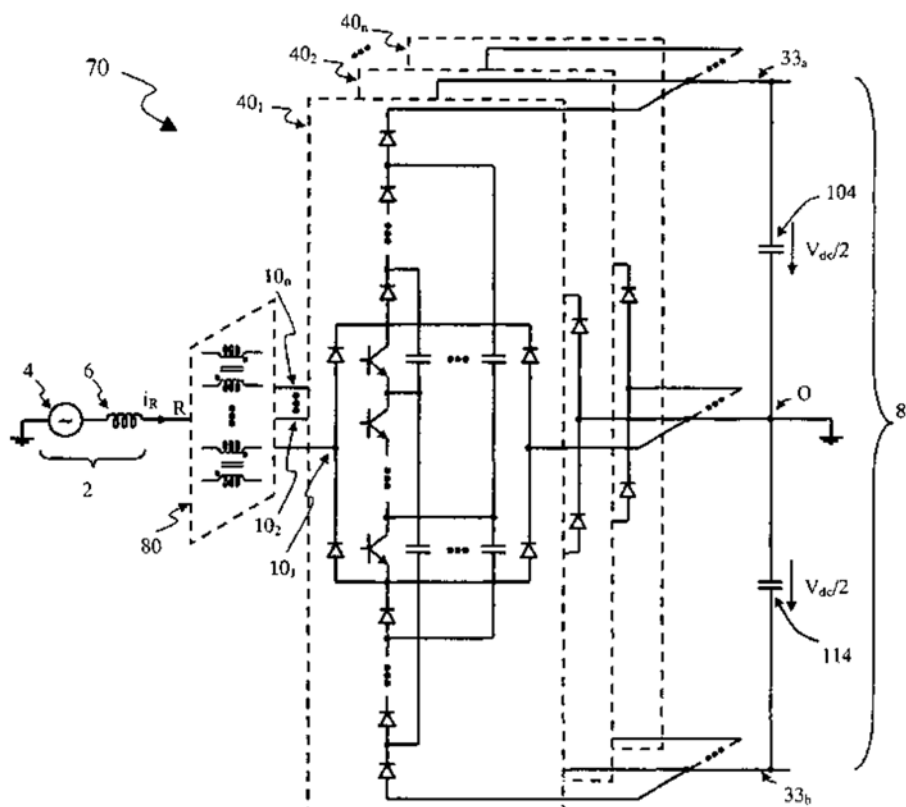


Fig. 5

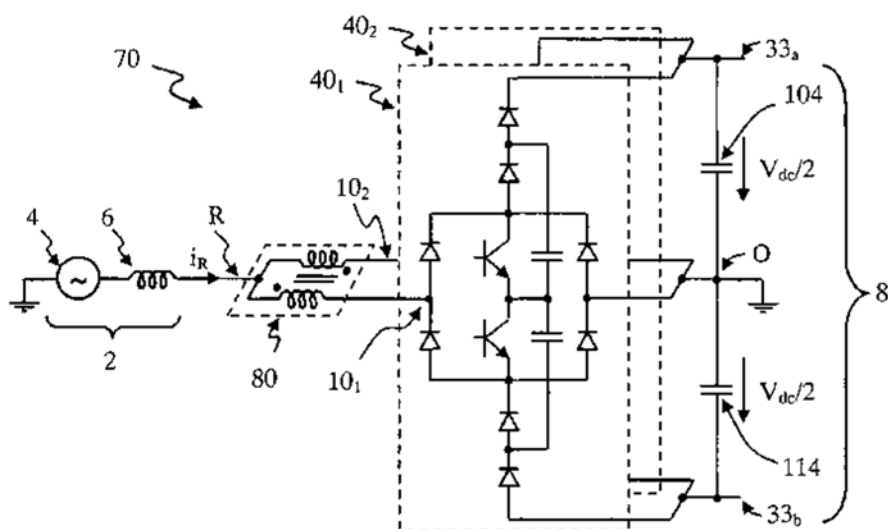


Fig. 6

