

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2014 00850

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

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

(71) Solicitant:  
• 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. NEDELEANU ION  
NR. 10, BL. P60, SC. 2, AP. 33, SECTOR 5,  
BUCUREȘTI, B, RO

(54) REDRESOARE DE PUTERE MULTICELULARE ÎN  
CONFIGURAȚII SERIE ȘI SERIE-PARALEL

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un redresor de putere multicelular, de tip ridicător, corector al factorului de putere, utilizat pentru conversia statică a energiei electrice între o sursă de curent alternativ și o sursă de tensiune continuă. Redresorul (40) conform invenției, în configurație serie, este alcătuit din două diode (12, 14) de redresare, un ansamblu (100) de comutație ce conține două grupuri de comutație suprapuse, care au cel puțin trei tranzistoare comune, primul grup de comutație fiind alcătuit din cel puțin trei celule de comutație conectate în serie, conținând diode (20<sub>i</sub>, 18), tranzistoare (30<sub>i</sub>), condensatoare (60<sub>i</sub>) intermediare, conectate între celule, și un condensator (104) de ieșire, al doilea grup de comutație fiind alcătuit din cel puțin trei celule de comutație conectate în serie, conținând diode (22<sub>i</sub>, 16), tranzistoare (30<sub>i</sub>), condensatoare (62<sub>i</sub>) intermediare conectate între celule, și un condensator (114) de ieșire, partea de ieșire a circuitului fiind conectată la o primă bornă (33<sub>a</sub>) de ieșire care este comună cu o bornă a condensatorului (104) și cu o bornă a diodei (20<sub>p</sub>), a doua bornă (33<sub>b</sub>) a circuitului fiind conectată la o a doua bornă (33<sub>b</sub>) care este comună cu o bornă a condensatorului (114) și cu o bornă a diodei (22<sub>i</sub>); diodele (16, 18) au o bornă comună, care se conectează la o bornă (O) comună a condensatoarelor de ieșire, iar

condensatoarele (104, 114) de ieșire sunt conectate între cele două borne (33<sub>a</sub>, 33<sub>b</sub>) de ieșire având borna (O) comună.

Revendicări: 5  
Figuri: 6

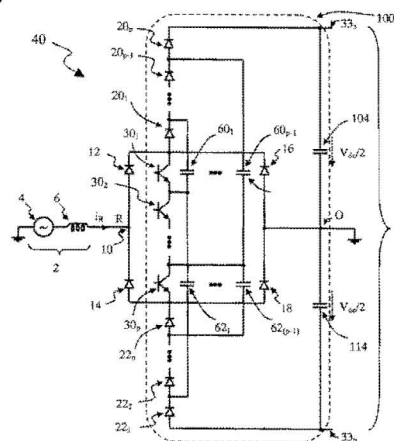


Fig. 2



## DESCRIERE

Invenția se referă la două redresoare de putere multicelulare în configurații *serie* și *serie-paralel* utilizate pentru conversia statică a energiei electrice între o sursă de curent alternativ și o sursă de tensiune continuă.

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 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 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 Correction* după terminologia anglo-saxonă).

Dezvoltările din domeniul electronicii de putere au scos în evidență performanțele convertoarelor alternativ-continuu (AC/DC) de tipul redresoarelor de putere ridicătoare comandate pe principiul modulării pulsurilor în durată (PWM - acronimul *Pulse Width Modulation* după terminologia anglo-saxonă). Aceste circuite se bazează, în principal, pe dispozitive semiconductoare de putere comandate pe principiul PWM pentru a regla fluxul 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-continuu (DC/DC) sau continuu-alternativ (DC/AC).

Cea mai populară structură PFC de tip multicelular este cunoscută sub numele de *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 *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 Minimizing Line Current Harmonics of High-Power Telecommunications Rectifier Modules", pp. 367-373 [1].

Redresorul monofazat *Vienna* se bazează pe suprapunerea a două celule de comutație care utilizează un tranzistor comun și prezintă *trei* niveluri (3L) de tensiune 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 întreruptor static de putere 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 de comutație  $F_{ap}$  corespunzătoare frecvenței de repetiție a comenzii  $F_{sw}$  pentru tranzistorul comun.

Recent, structura redresorului de putere 3L-*Vienna* a fost îmbunătățită prin conectarea în serie a celulelor de comutație utilizând două condensatoare intermediare 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  $V_{dc}/2$ ) pe partea alternativă de alimentare (5L). Acesta a fost publicat pentru prima dată în 2011 în cadrul tezei de doctorat *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*, elaborată la Universitatea din Toulouse de către L. Pham [2].

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

În **figura 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 **figura 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 intreruptoarelor 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 ansamble 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 minim *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 crește cu cel puțin 50% și 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 din configurațiile prezentate mai jos.

Caracteristicile și avantajele prezentei invenții vor fi mai clare după lectura unui mod preferat de realizare ilustrat pe baza desenelor anexate, după cum urmează:

- **figura 1** reprezintă un circuit de redresor unidirecțional cu *cinci* niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare din stadiul actual al tehnicii;
- **figura 2** reprezintă schema electronică de principiu a redresorului multicelular în configurație *serie* pentru conversia unidirecțională a energiei electrice;
- **figura 3** reprezintă schema electronică de principiu a redresorului multicelular în configurație *serie* după un mod particular de realizare a dispozitivului prezentat în **figura 2**;
- **figura 4** reprezintă un exemplu de redresor multicelular în configurație *serie* cu alimentare trifazată care utilizează modul particular de realizare a dispozitivului prezentat în **figura 3**;

- **figura 5** reprezintă schema electronică de principiu a redresorului multicelular în configurație *serie-paralel* pentru conversia unidirecțională a energiei electrice;
- **figura 6** reprezintă schema electronică de principiu a redresorului multicelular în configurație *serie-paralel* după un mod particular de realizare a dispozitivului prezentat în **figura 5**;

În **figura 2** s-a reprezentat un exemplu circuit de redresor de putere în configurație *serie* generalizat 40, care 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 **figura 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 reprezintă numărul tranzistoarelor comune din grupurile de comutație suprapuse.

Circuitului generalizat din **figura 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 aceasta sursă de curent alternativ prin intermediul a *două* diode de redresare 12 și 14.

*Primul* grup de comutație este alcătuit din cel puțin *trei* celule de comutație de tip P (curentul iese din 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.

*Al doilea* grup de comutație este alcătuit tot din cel puțin *trei* celule de comutație, dar de tip N (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.

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 P, în timp ce dioda 14 este în conducție în același sens cu celulele de comutație de tip N. Diodele 16 și 18 au o bornă comună care se conectează la borna comună a condensatoarelor de ieșire O, conform invenției.

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  $22_1$ . Condensatoarele 104 și 114 au o bornă comună O, conform invenției.

Dioda de redresare 12 se conectează la borna comună a celor *două* întreruptoare  $20_1$  și  $30_1$  care formează **prima** celulă de comutație de tip P 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 N și la o bornă a diodei 18.

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 de comandă pentru întreruptorul activ  $30_1$  corespunde comenzii redresorului *Vienna* cu 3 niveluri de tensiune și

semnalele de comandă pentru celelalte întreruptoare active sunt defazate între ele cu  $360^\circ/p$  ( $p$  - reprezintă numărul tranzistoarelor comune).

Circuitul generalizat din **figura 2** permite obținerea a  $N=2*p+1$  niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare la o frecvență aparentă de comutație egală cu  $p*F_{sw}$ . 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  $V_{dc}/(2*p)$ . 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 **figura 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 **figura 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 ( $2*F_{sw}$ ) la o frecvență aparentă de comutație multiplicată cu de *trei* ori frecvența de comutație a tranzistoarelor ( $3*F_{sw}$ ).

Circuitului din **figura 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 **figura 1**, circuitul 40 din **figura 3** prezintă un ansamblu de comutație 100 care 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 P, 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 N, 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 P, în timp ce dioda 14 este în conducție în același sens cu celulele de comutație de tip N. Diodele 16 și 18 au o bornă comună care se conectează la borna comună a condensatoarelor de ieșire O, conform invenției.

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  $20_3$ . 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  $22_1$ . Condensatoarele 104 și 114 au o bornă comună O, conform invenției.

Dioda de redresare 12 se conectează la borna comună a celor două întreruptoare 20<sub>1</sub> și 30<sub>1</sub> care formează **prima** celulă de comutație de tip P și la o bornă a diodei 16, în timp ce dioda de redresare 14 se conectează la borna comună a celor două întreruptoare 20<sub>3</sub> și 30<sub>3</sub> care formează celula **a treia** de comutație de tip N și la o bornă a diodei 18.

Tranzistoarele 30<sub>i</sub> (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 30<sub>1</sub> corespunde comenzii redresorului *Vienna* cu 3 niveluri de tensiune și semnalele de comandă pentru celelalte întreruptoare active 30<sub>2</sub> și 30<sub>3</sub> sunt defazate între ele cu 120° electrice.

Circuitul redresorului din **figura 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 **figura 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* 40<sub>1</sub>, 40<sub>2</sub> și 40<sub>3</sub> care sunt legate la fazele 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub> și 4<sub>3</sub> de la sursa alternativă de alimentare 4 prin intermediul unor inductanțe serie 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub> și 6<sub>3</sub>.

Ansambele de comutație 40<sub>1</sub>, 40<sub>2</sub> și 40<sub>3</sub> sunt conectate la intrare la bornele 10<sub>1</sub>, 10<sub>2</sub> și 10<sub>3</sub> ale sursei de alimentare prin intermediul diodelor de redresare. Pe partea de ieșire circuitele 40<sub>1</sub>, 40<sub>2</sub> și 40<sub>3</sub> sunt conectate la o primă bornă de ieșire 33<sub>a</sub> care este comună cu o bornă a condensatorului 104 și la o a doua bornă de ieșire 33<sub>b</sub> care este comună cu o bornă a condensatorului 114.

Condensatoarele de ieșire 104 și 114 sunt conectate între cele două borne de ieșire 33<sub>a</sub> și 33<sub>b</sub> și au o bornă comună O, conform invenției.

Întreruptoarele active (de tip tranzistor) au o poziție identică în fiecare din cele *trei* circuite 40<sub>1</sub>, 40<sub>2</sub>, 40<sub>3</sub> 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 **figura 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<sub>k</sub> (k=1, 2, ..., n, n≥2) conectate în *paralel* prin intermediul unui grup de inductanțe cuplate magnetic 80. Redresoarele în configurație *serie* 40<sub>k</sub> sunt alcătuite din *două* grupuri de comutație suprapuse care au cel puțin *două* tranzistoare comune (p≥2) comandate cu frecvența de comutație  $F_{sw}$ . În raport cu circuitul din **figura 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  $4 \cdot F_{sw}$ .

Circuitului în configurație *serie-paralel* generalizat 70 din **figura 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<sub>k</sub>, k=1, 2, ..., n, n≥2) sunt conectate în *paralel* și împart aceleași

condensatoare terminale (104) și (114) care sunt conectate între cele două borne de ieșire 33<sub>a</sub> și 33<sub>b</sub> 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<sub>k</sub> (k=1, 2, ..., n, n≥2) ale redresoarelor în configurație serie 40<sub>k</sub> (k=1, 2, ..., n, n≥2).

Redresoarele în configurație serie 40<sub>k</sub> (k=1, 2, ..., n, n≥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 40<sub>1</sub> sunt defazate între ele cu 360°/p și semnalele de comandă pentru celelalte redresoare în configurație serie conectate în paralel sunt defazate cu 360°/n. Astfel, circuitul redresorului permite obținerea a N=2\*n\*p+1 niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare la o frecvență aparentă de comutație egală cu n\*p\*F<sub>sw</sub>, utilizând un număr minim de tranzistoare. Conform invenției, toate dispozitivele semiconductoare de putere care alcătuiesc redresoarele în configurație serie 40<sub>k</sub> (k=1, 2, ..., n, n≥2) comută cu frecvența de comutație F<sub>sw</sub> numai o fracțiune din curentul i<sub>R</sub> egală cu i<sub>R</sub>/n.

În figura 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 40<sub>1</sub> și 40<sub>2</sub> conectate în paralel (n=2) prin intermediul a două inductanțe cuplate magnetic 80. Redresoarele în configurație serie 40<sub>1</sub> și 40<sub>2</sub> sunt alcătuite din ansamble de comutație cu celule de comutație suprapuse conținând câte două tranzistoare comune (p=2) comandate cu frecvența de comutație F<sub>sw</sub>. În raport cu circuitul din figura 1, acest redresor permite trecerea de la cinci niveluri de tensiune la nouă niveluri de tensiune continuă pe partea alternativă de alimentare (-V<sub>dc</sub>/2, -3\*V<sub>dc</sub>/8, -V<sub>dc</sub>/4, -V<sub>dc</sub>/8, 0, V<sub>dc</sub>/8, V<sub>dc</sub>/4, 3\*V<sub>dc</sub>/8 și V<sub>dc</sub>/2). De asemenea, frecvența aparentă de comutație (F<sub>ap</sub>) se modifică de la F<sub>ap</sub>=2\*F<sub>sw</sub> la o frecvență aparentă de comutație F<sub>ap</sub>=4\*F<sub>sw</sub>.

Circuitului în configurație serie-paralel 70 din figura 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 40<sub>1</sub> și 40<sub>2</sub> sunt conectate în paralel și împart aceleași condensatoare terminale 104 și 114 care sunt conectate între cele două borne de ieșire 33<sub>a</sub> și 33<sub>b</sub> 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 10<sub>1</sub> și 10<sub>2</sub> ale redresoarelor în configurație serie 40<sub>1</sub> și 40<sub>2</sub>.

Condensatoarele de ieșire 104 și 114 sunt conectate între cele două borne de ieșire 33<sub>a</sub> și 33<sub>b</sub> și au o bornă comună O, conform invenției.

Redresoarele în configurație serie 40<sub>1</sub> și 40<sub>2</sub> 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 40<sub>1</sub> sunt defazate între ele cu 180° electrice și semnalele de comandă pentru celelalte redresoare în configurație serie conectate în paralel sunt defazate 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<sub>dc</sub>/2, -3\*V<sub>dc</sub>/8, -V<sub>dc</sub>/4, -V<sub>dc</sub>/8, 0, V<sub>dc</sub>/8, V<sub>dc</sub>/4, 3\*V<sub>dc</sub>/8 și V<sub>dc</sub>/2) la o frecvență aparentă de comutație egală cu 4\*F<sub>sw</sub>, utilizând un număr minim de patru



tranzistoare ( $p \cdot n=4$ ). Conform invenției, toate dispozitivele semiconductoare de putere care alcătuiesc redresoarele în configurație serie  $40_1$  și  $40_2$  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 ale invenției care nu se limitează aici.

### REFERINTE

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 în configurație serie (40) care se conectează între o sursă de curent alternativ (2) și o sursă de tensiune continuă (8) conținând:

- 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 ( $30_i$ ,  $i=1, 2, \dots, p$ ,  $p \geq 3$ );
- primul grup de comutație fiind alcătuit din cel puțin trei celule de comutație de tip P conectate în serie, conținând diodele ( $20_i$ , 18,  $i=1, 2, \dots, p$ ,  $p \geq 3$ ), 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);
- al doilea grup de comutație fiind alcătuit din cel puțin trei celule de comutație de tip N conectate în serie, conținând diodele ( $22_i$ , 16,  $i=1, 2, \dots, p$ ,  $p \geq 3$ ), 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);
- 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) fiind 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 ( $22_1$ );
- dioda de redresare (12) fiind conectată la borna comună a celor două întreruptoare ( $20_1$ ) și ( $30_1$ ) conținute de prima celulă de comutație de tip P 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 p de tip N și la o bornă a diodei (18);
- două condensatoare de ieșire (104) și (114) fiind conectate între cele două borne de ieșire ( $33_a$ ) și ( $33_b$ ) având o bornă comună (O);
- 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.

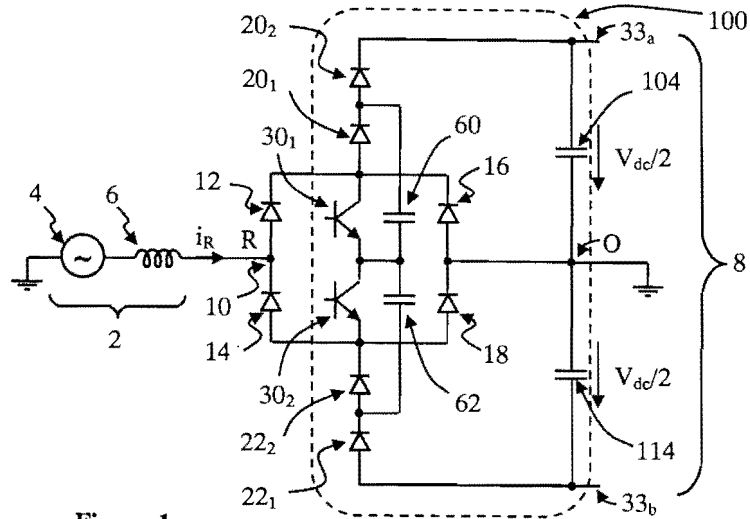
2. Circuit de redresor de putere multicelular în configurație serie (40) conform revendicării precedente cu particularitatea că ansamblul de comutație (100) conține două grupuri de comutație suprapuse care au numai trei tranzistoare comune ( $30_1$ ,  $30_2$  și  $30_3$ ), fiecare grup având câte trei celule de comutație ( $p=3$ ).

3. Redresor de putere multicelular pentru o alimentare polifazăată (50), în particular alimentare trifazăată, alcătuit din trei circuite de redresoare în configurație serie ( $40_1$ ,  $40_2$  și  $40_3$ ) conform cu oricare din revendicările 1 și 2, conținând:

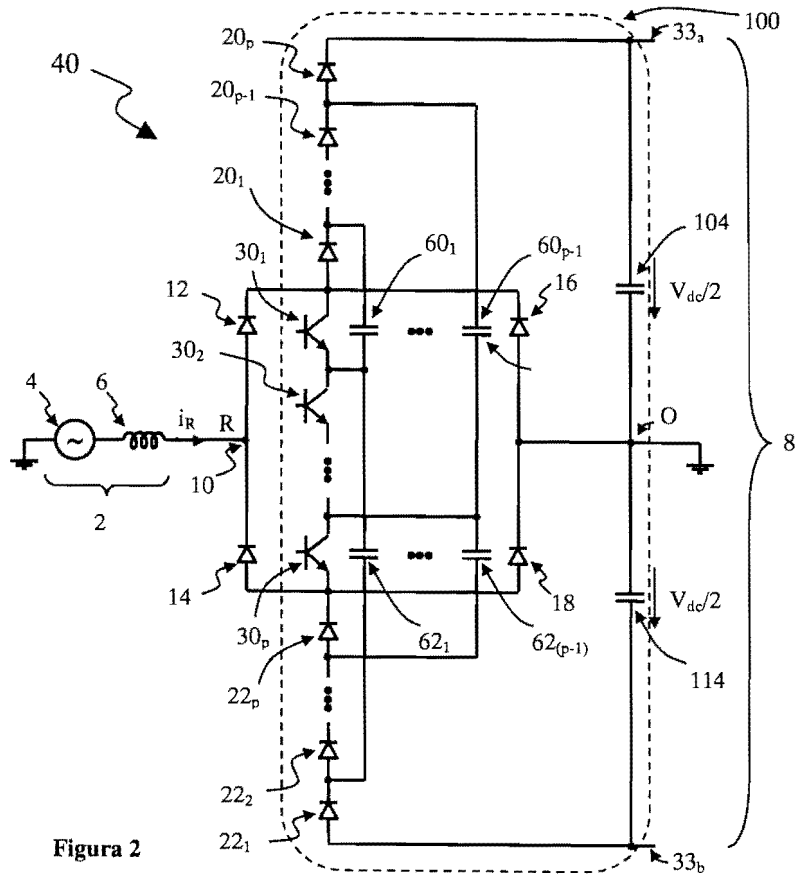
- circuitele ( $40_1$ ,  $40_2$  și  $40_3$ ) care se conectează la bornele de alimentare ( $10_1$ ,  $10_2$  și  $10_3$ ) ale fazelor de curent polifazăat ( $2_1$ ,  $2_2$  și  $2_3$ ) și care împart aceleași condensatoare terminale (104 și 114) care au o bornă comună (O);

- sursele de curent ( $2_1$ ,  $2_2$  și  $2_3$ ) care sunt obținute prin înserierea unor inductanțe ( $6_1$ ,  $6_2$  și  $6_3$ ) cu fazele ( $4_1$ ,  $4_2$  și  $4_3$ ) ale sursei alternative de alimentare (4).
4. Circuit de redresor de putere multicelular în configurație serie-paralel (70) care se conectează între o sursă de curent alternativ (2) și o sursă de tensiune continuă (8) conținând:
- cel puțin două redresoare de putere în configurație serie ( $40_k$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ ,  $n \geq 2$ ) conform cu oricare din revendicările 1, 2 și 3, conectate în paralel prin intermediul unui grup de inductanțe cuplate magnetic (80);
  - redresoarele în configurație serie ( $40_k$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ ,  $n \geq 2$ ) au particularitatea că sunt alcătuite din ansamble de comutație (100) cu câte două grupuri de comutație suprapuse care au cel puțin două tranzistoare comune ( $p \geq 2$ ) și fiecare grup de comutație este alcătuit din cel puțin două celule de comutație în conexiune serie cu condensatoare intermediare;
  - grupul de inductanțe cuplate magnetic (80) prezentând o bornă de intrare și cel puțin 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 ( $10_k$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ ,  $n \geq 2$ ) ale redresoarelor serie ( $40_k$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ ,  $n \geq 2$ );
  - circuitele redresoarelor în configurație serie ( $40_k$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ ,  $n \geq 2$ ) fiind conectate în paralel împart aceleași condensatoare terminale (104) și (114);
  - două condensatoare de ieșire (104) și (114) care sunt conectate între cele două borne de ieșire ( $33_a$ ) și ( $33_b$ ) având o bornă comună (O).
5. Circuit de redresor de putere în configurație serie-paralel (70) conform revendicării precedente 4 având particularitățile următoare:
- se conectează în paralel numai două redresoare în configurație serie ( $40_1$ ) și ( $40_2$ ), conform cu oricare din revendicările 1, 2 și 3, cu particularitatea că sunt alcătuite din ansamble de comutație cu două grupuri de comutație suprapuse care au numai două tranzistoare comune și fiecare grup de comutație este alcătuit din două celule de comutație în conexiune serie cu condensatoare intermediare;
  - conectarea în paralel a redresoarelor de putere în configurație serie ( $40_1$ ) și ( $40_2$ ) se face prin intermediul unui grup de două inductanțe cuplate magnetic (80) cu 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 ( $10_1$ ) și ( $10_2$ ) ale redresoarelor serie ( $40_1$ ) și ( $40_2$ ).

**DESENE**



**Figura 1**



**Figura 2**

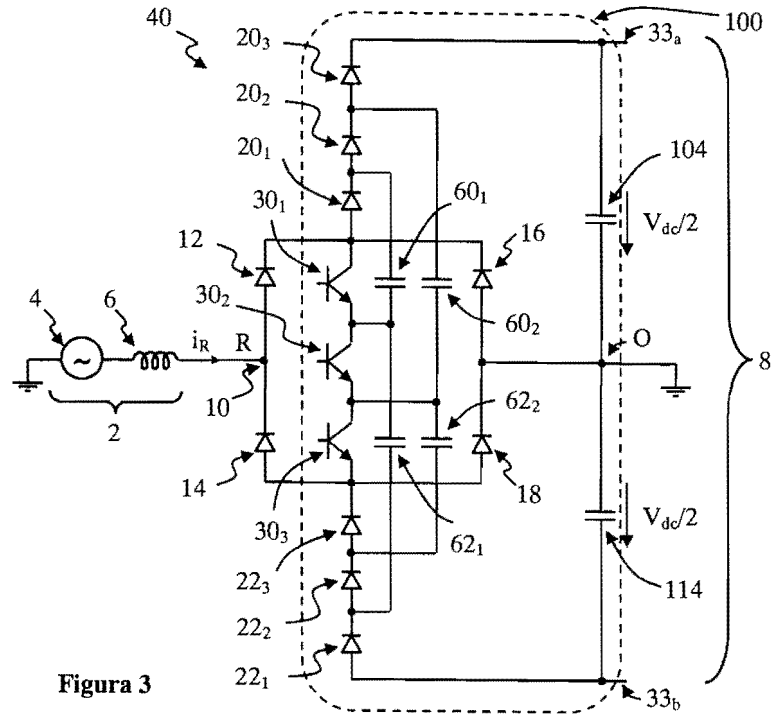


Figura 3

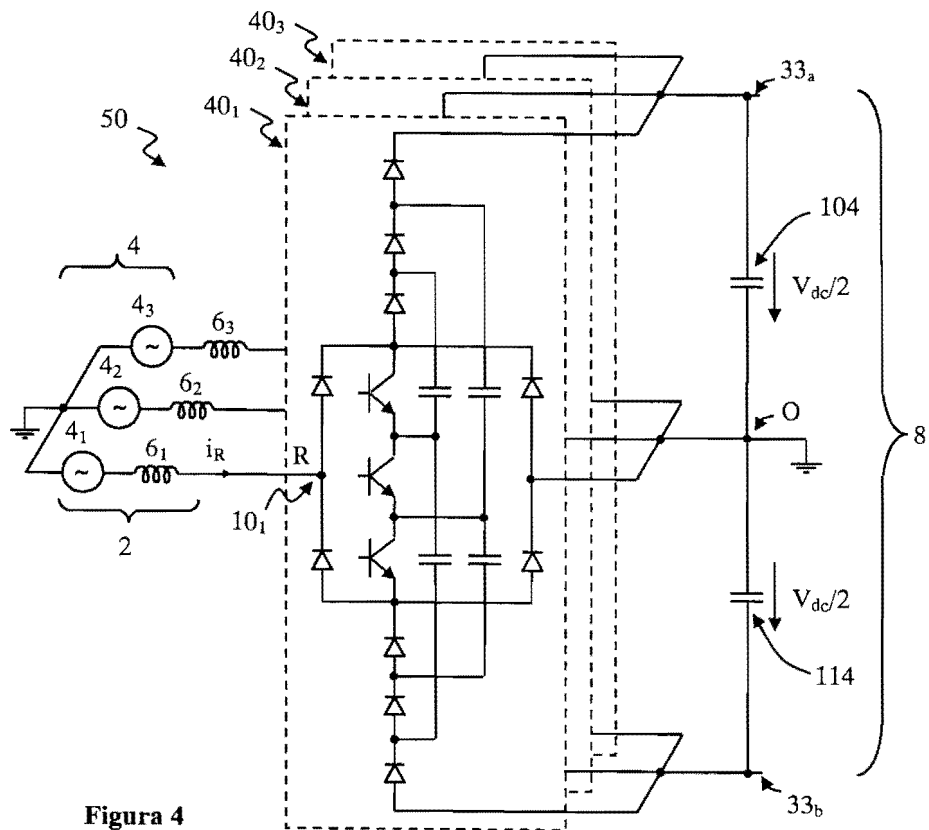


Figura 4

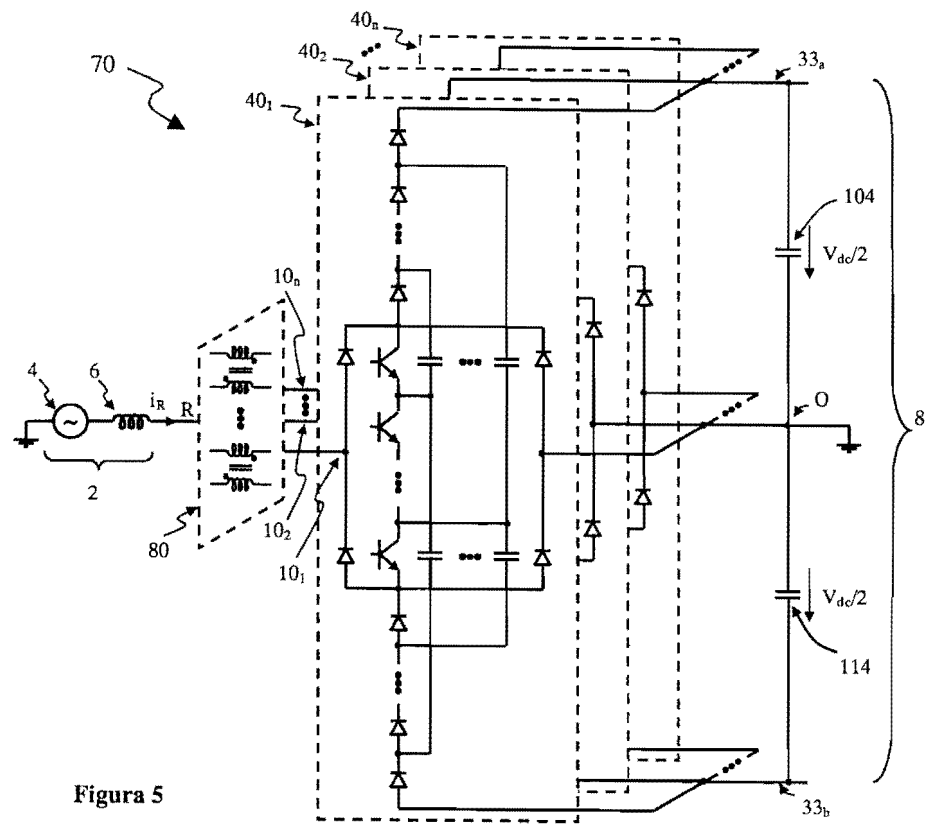


Figure 5

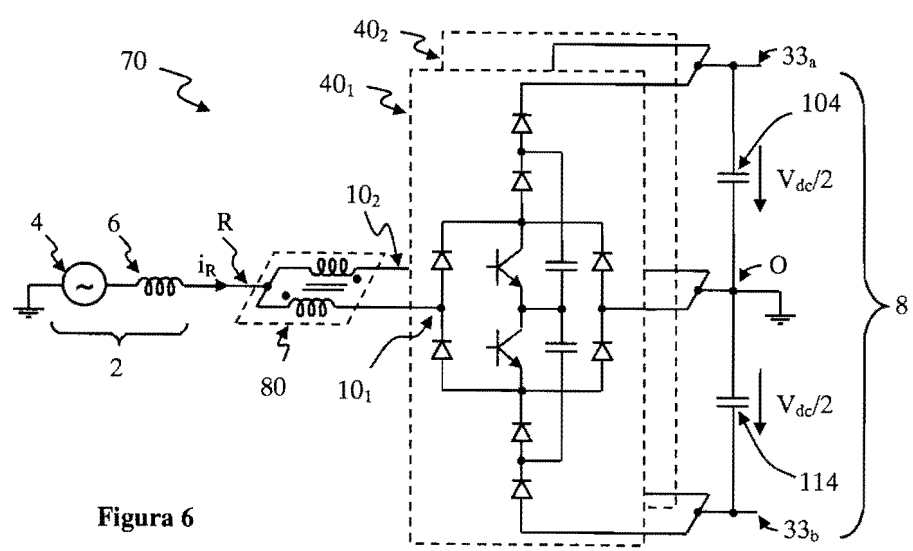


Figure 6