



**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00785/17

(22) Anmeldedatum: 16.06.2017

(43) Anmeldung veröffentlicht: 28.12.2018

(24) Patent erteilt: 29.01.2021

(45) Patentschrift veröffentlicht: 29.01.2021

(73) Inhaber:  
ETH Zürich, ETH Transfer, HG E 47-49 Rämistrasse 101  
8092 Zürich ETH Zentrum (CH)

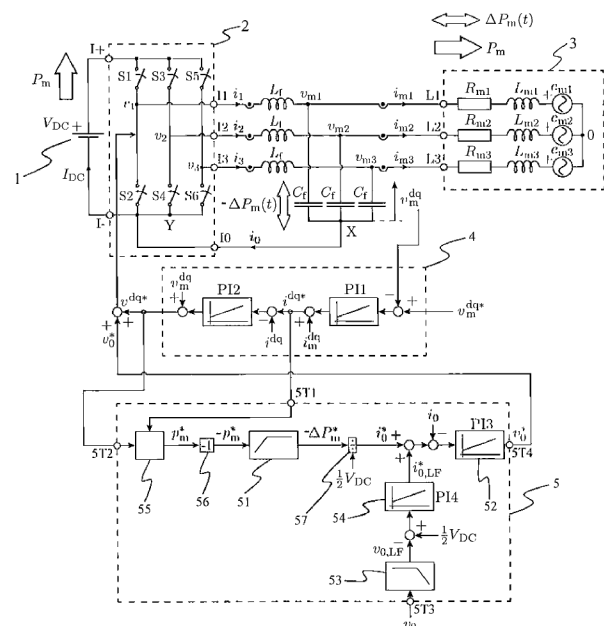
(72) Erfinder:  
Spasoje Miric, 8008 Zürich (CH)  
Arda Tüysüz, 8051 Zürich (CH)  
Johann Walter Kolar, 8044 Zürich (CH)

(74) Vertreter:  
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach  
8032 Zürich (CH)

(54) **Elektrischer Gleichstrom- Wechselstrom-leistungsumrichter.**

(57) Ein erfindungsgemässe elektrischer DC-AC-Leistungsumrichter umfasst einen Wechselrichter (2) und ein AC-Filter ( $L_f, C_f$ ), wobei das AC-Filter ( $L_f, C_f$ ) zwischen den Phasenanschlüssen (I1, I2, I3) des Wechselrichters (2) und den Lastanschlüssen (L1, L2, L3) angeordnet ist und Ausgangskondensatoren ( $C_f$ ) in einer Sternkonfiguration mit einem Sternpunkt (X), mit einem den Sternpunkt (X) und einen der DC-Anschlüsse des Wechselrichters (2) verbindenden Ausgleichsstrompfad, aufweist.

Ein Gleichtaktregler (5) ist ausgelegt zum Erzeugen einer Gleichtaktspannungsreferenz ( $v_0^*$ ), um Lastleistungsoszillationen auszugleichen, die an den Lastanschlüssen (L1, L2, L3) auftreten, und wobei entweder die Gleichtaktspannungsreferenz ( $v_0^*$ ) mit einem Spannungswert zum Steuern eines Schaltbetriebs des Wechselrichters (2) kombiniert wird, oder die Gleichtaktspannungsreferenz ( $v_0^*$ ) als ein Sollwert zum Steuern einer in dem Ausgleichspfad angeordneten Spannungsquelle (6) verwendet wird.



## Beschreibung

[0001] Leistungspulsierungspuffer werden üblicherweise in Einphasen-Gleichstrom-Wechselstrom-Umrichtern bzw. Einphasen-DC-AC-Umrichtern (Einphasen-Wechselrichtern) verwendet, die von einer DC-Spannung-Leistungsquelle, z. B. einem photovoltaischen Panel (PV) oder Batterien, gespeist werden. Da das Multiplizieren einer sinusförmigen Wellenform mit einer anderen sinusförmigen Wellenform mit derselben Frequenz die Überlagerung eines DC-Terms mit einer dritten sinusförmigen Wellenform der zweifachen Frequenz ergibt, weist die AC-Seitenleistung von Einphasen-Wechselrichtern eine DC-Komponente (mittlere Leistung) und eine Komponente, die mit der zweifachen Ausgangsspannungsfrequenz oszilliert, auf. Diese Leistungspulsierung ist natürlich auch in der DC-Quellenleistung sichtbar, falls es keinen Energiezwischenpeicher in dem Wechselrichter gibt. Leistungsoszillation auf der DC-Seite ist im Allgemeinen unerwünscht, da sie das Altern der Batterien beschleunigt oder das Verfolgen des Punkts maximaler Leistung in PV-Systemen verhindert. Somit muss jede momentane Leistungsoszillation auf der AC-Seite des Wechselrichters von der DC-Seite entkoppelt werden.

[0002] Eine Möglichkeit, dieses Pulsierungsentkoppeln zu erreichen, besteht darin, einen Energiezwischenpeicher bereitzustellen, welcher mit Überschuss-/Defizit-Leistung geladen und entladen wird, welcher als die Differenz der momentanen AC-Seitenleistung und der mittleren AC-Seitenleistung definiert werden kann. In diesem Falle ist die Leistung auf der DC-Seite konstant und gleich einer mittleren Leistung der AC-Seite (Wechselrichterverluste werden zwecks Vereinfachung dieser Beschreibung vernachlässigt). Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht in der Verwendung von Kondensatoren auf der DC-Seite des Wechselrichters, wobei diese Lösung aber zu einem großen Volumen dieser Kondensatoren führen würde, da die zulässige Spannungsvariation auf der DC-Seite üblicherweise begrenzt ist, was die Stärke des Leistungspulsierens begrenzt, die ein vorgegebener Kondensator puffern kann. Eine andere Möglichkeit wäre es, einen dedizierten Leistungspuffer zu bauen, d. h. einen Hilfsumrichter auf der DC-Seite des Wechselrichters. Dieser Hilfsumrichter kann als ein DC-DC-Umrichter gebaut werden, der als Schnittstelle zwischen einer Hilfskondensatorbank und der DC-Seite des Hauptumrichters dient, wo die Spannung der Hilfskondensatoren einen großen Hub aufweisen kann, um die Leistung, die durch die Hilfskondensatorbank gepuffert werden kann, zu maximieren [Neumayr]. Der Nachteil derartiger Systeme besteht darin, dass zusätzliche Leistungselektronik nötig ist, welche Kosten und Komplexität erhöht und die Zuverlässigkeit des Systems herabsetzt. [Serban] schlägt einen alternativen Leistungspulsierungspuffer vor, der keine zusätzliche Leistungselektronik benötigt. Dies wird durch Modifizieren des Steuerschemas eines Einphasen-Wechselrichters erreicht, um die Kondensatoren des AC-Seitenfilter als den Energiespeicher zu verwenden.

[0003] Dreiphasen-Wechselrichter, die mit symmetrischen Dreiphasen-Lasten belastet werden, weisen eine konstante Ausgangsleistung auf; somit enthält die DC-Seitenleistung keine Pulsierung. Daher gibt es in diesem Fall keine Notwendigkeit für die oben erwähnte Leistungsentkopplung. Allerdings gibt es einige Anwendungen, bei denen auch ein Dreiphasen-Wechselrichter Leistungspulsieren unterliegt. Ein Beispiel sind Wechselrichter, die Elektromaschinen mit Drehmomentoszillationen bei konstanter Drehzahl (Geschwindigkeit) antreiben. Ein weiteres häufig auftretendes Beispiel sind nichtausgeglichene Dreiphasenlasten. Das Leistungspulsieren in diesen Beispielen breitet sich auf die DC-Seite aus, falls keine Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden.

[Neumayr] D. Neumayr, D. Bortis, J. W. Kolar, „Ultra Compact Power Pulsation Buffer for Single-Phase DC/AC Converter Systems“, in Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Power Electronics and Motion Control Conference, Hefei, China, May 22-25, 2016.

[Serban] I. Serban, „Power Decoupling Method for Single-Phase H-Bridge Inverters With No Additional Power Electronics“, in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 8, pp. 4805-4813, Aug. 2015.

[0004] Daher ist es das Ziel dieser Erfindung, einen Leistungsumrichter zum Entkoppeln von Leistungsoszillationen in einem Dreiphasen-Wechselrichter bereitzustellen.

[0005] Das Ziel wird durch einen Leistungsumrichter gemäß den Patentansprüchen erreicht.

[0006] Der Leistungsumrichter verwendet einen Gleichtaktpfad des Wechselrichter-Ausgangsfilters als einen Energiespeicher, womit das Leistungsentkoppeln auf der AC-Seite vorgenommen wird. Die Leistung des Gleichtaktpfads wird durch die Gleichtaktspannung des Wechselrichters gesteuert und es gibt keine Notwendigkeit für zusätzliche Leistungselektronik. Falls die Gleichtaktspannung allerdings nicht ausreicht, um genügend Energie in den AC-Seiten-Filterkondensatoren zu speichern (in Fällen, in denen das Verhältnis der DC-Spannung zu der AC-Spannung gering ist), kann ein zusätzlicher, preisgünstiger Niederleistungs-Hilfsumrichter eingesetzt werden, um die erforderliche Gleichtaktspannung zu erzeugen.

[0007] Die Erfindung wird mithilfe von Ausführungsbeispielen nachfolgend ausführlich beschrieben, welche in den angehängten Figuren veranschaulicht sind:

**Figur 1** Dreiphasen-Wechselrichter mit unausgeglichener Last und dem vorgeschlagenen Entkopplungssteuerungsverfahren durch den Gleichtaktpfad (der Pfad, der durch Verbinden der X- und Y-Knoten ausgebildet ist.).

**Figur 2** Die Gleichtakt-Ersatzschaltung, die durch Verbinden der Knoten X und Y des Wechselrichtersystems von Figur 1 ausgebildet ist.

**Figur 3** Momentane Leistungen;  $p_m(t)$  - momentane Dreiphasen-Leistung der Last 3 aus Figur 1;  $P_{DC}(t)$  - momentane Leistung der DC-Quelle 1 aus Figur 1;  $P_0(t)$  - momentane berechnete Gleichtaktleistung an den Ausgangsanschlüssen I0, I1, I2, I3 des Wechselrichters 2 aus Figur 1.

**Figur 4** Entkoppeln von Leistungszosillationen unter Verwendung eines Hilfsumrichters 6 zum Steuern der Gleichtaktspannung  $v_0$ .

**[0008]** In Figur 1 und Figur 4 ist ein elektrischer DC-AC-Leistungsumrichter gezeigt, der einen Wechselrichter 2 und ein AC-Filter  $L_f$ ,  $C_f$  umfasst. Der Wechselrichter 2 umfasst einen positiven DC-Anschluss I+ und einen negativen DC-Anschluss I- sowie Phasenanschlüsse I1, I2, I3 und Schalter S1-S6 in einer Brückenausgestaltung. Das AC-Filter ist zwischen den Phasenanschlüssen I1, I2, I3 und den Lastanschlüssen L1, L2, L3 angeordnet, wobei jede Phase jeweils eine Serieninduktivität  $L_f$  und Ausgangskondensatoren  $C_f$  in einer Sternkonfiguration mit einem Sternpunkt X aufweist. Ein Ausgleichstrompfad verbindet den Sternpunkt X und einen der DC-Anschlüsse, in diesem Fall am Punkt Y. Der Leistungsumrichter kann auf der DC-Seite mit einer DC-Quelle 1 und auf der AC-Seite mit einer Mehrphasenlast verbunden sein, die jeweils Phasenwiderstände  $R_{m1}$ ,  $R_{m2}$ ,  $R_{m3}$ , -induktivitäten  $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$ ,  $L_{m3}$  und -spannungsquellen  $e_{m1}$ ,  $e_{m2}$ ,  $e_{m3}$  aufweist.

**[0009]** Eine Hauptsteuerung 4 gemäß dem Stand der Technik ist ausgelegt zum Erzeugen einer Wechselrichtersteuerungsreferenz  $v_m^{dq*}$  zum Regeln von Ausgangsspannungen  $v_m^{dq}$  des Umrichters zum Folgen einer Ausgangsspannungsreferenz  $v_m^{dq*}$ . Dies wird mittels eines ersten PI-Reglers PI1 vorgenommen, welcher die Differenz zwischen der Ausgangsspannungsreferenz  $v_m^{dq*}$  und der gemessenen Ausgangsspannung  $v_m^{dq}$  als Eingabe nimmt und den Referenzwert für den Strom durch den Kondensator  $C_f$  bestimmt. Der gemessene Laststrom  $i_m^{dq}$  wird zu diesem Wert hinzuaddiert und die Wechselrichter-Ausgangsstromreferenz  $i_m^{dq*}$  wird bestimmt ( $i_{m1}$ ,  $i_{m2}$ ,  $i_{m3}$  werden gemessen und auf deren dq transformiert, das entsprechend als  $i_m^{dq}$  bezeichnet wird. Diese Transformation ist in der Figur weggelassen, da sie hinreichend bekannt ist). Der gemessene Wert dieses Stroms  $i_m^{dq}$  (Ströme  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  werden gemessen und auf deren dq transformiert, das entsprechend als  $i_m^{dq}$  bezeichnet wird) wird subtrahiert und dem Regler PI2 unterworfen, der die Referenzspannung über den Induktivitäten  $L_f$  bestimmt. Die gemessene Spannung über den Ausgangskondensatoren  $v_m^{dq}$  wird zu diesem Wert hinzuaddiert und die Wechselrichter-Ausgangsspannungsreferenz  $v_m^{dq*}$  wird bestimmt.

**[0010]** Entkoppeln von Lastleistungsoszillationen von der DC-Seite in einem Dreiphasen-Wechselrichtersystem ist in Figur 1 gezeigt. In diesem System wird die Spannung an den Ausgangskondensatoren  $C_f$ , d. h. die Potentiale  $v_{m1}$ ,  $v_{m2}$  und  $v_{m3}$  mit Bezug auf den Sternpunkt X des Ausgangskondensators, durch eine Hauptsteuerung 4 gesteuert. Da das Dreiphasensystem mit nur einem Vektor im dq-Raum vollständig beschrieben werden kann, werden diese Spannungen als  $v_m^{dq}$  bezeichnet und die Hauptsteuerung 5 ist derartig realisiert, dass sie d- und q-Komponenten dieser Spannungen steuert (wie bei praktischer Steuerung von Leistungselektronik bestens bekannt ist, üblicherweise werden zwei unabhängige Steuerungen für d- und q-Achsen verwendet. Die Figur zeigt nur eine Steuerung, die sowohl auf die d- als auch auf die q-Achse wirkt). Dieselbe Notationkonvention gilt für die Dreiphasen-Ströme in dem System. Die Notation der Transformation von abc- auf dq-Werte und umgekehrt ist in der Figur weggelassen, da sie hinreichend gut bekannt ist.

**[0011]** Die Last 3 weist eine Momentanleistung auf, die oszilliert, was in Figur 1 durch Pfeile gekennzeichnet ist. Die momentane Gesamtleistung der Last ist gleich der Summe der zwei Komponenten:  $P_m + \Delta P_m(t)$ . Die erste Komponente  $P_m$  ist zeitlich konstant und die zweite  $\Delta P_m(t)$  repräsentiert die Leistungszosillation an der Last. Der in dem die Knoten X und Y verbindenden Draht fließende Gleichtaktstrom (in Figur 1 als  $i_0$  bezeichnet) wird derart gesteuert, dass die Leistung der DC-Quelle 1 konstant und gleich der konstanten Komponente der momentanen Lastleistung  $P_m$  ist. Die Leistung an den Wechselrichter-Ausgangsanschlüssen I1, I2, I3 ist gleich der Summe von zwei Leistungen, der Leistung der Last und der Leistung in der Gleichtakt-Ersatzschaltung, die in Figur 2 gezeigt ist. Um eine konstante Leistung der DC-Quelle 1 zu erhalten, d. h., die konstante Leistung an den Wechselrichter-Eingangsanschlüssen I+ und I-(vergl. Figur 1), soll die Wechselrichter-Ausgangsleistung konstant sein. Hieraus folgt, dass die Leistung der Gleichtaktschaltung gleich  $-\Delta P_m(t)$  ist, so dass die Lastleistungsoszillation durch die Leistung von der Gleichtaktschaltung ausgeglichen wird.

**[0012]** Die Gleichtaktsteuerung 5 in Figur 1 steuert die Leistung der Gleichtaktschaltung. Deren Eingänge sind die Anschlüsse 5T1, 5T2 und 5T3. Anschluss 5T4 ist der Ausgang und er ist die Referenz für die Gleichtaktspannung  $v_0^*$  des Wechselrichters 2. Der erste Teil der Gleichtaktsteuerung 5 dient dem Schätzen der Leistung der Last. Diese wird in Block 55 berechnet, indem die Eingangssignale 5T1 und 5T2 verwendet werden, die die Referenzen des Laststroms  $i_m^{dq*}$  und der Lastspannung  $v_m^{dq*}$  repräsentieren. Die geschätzte Leistung  $p_m^*$  wird dann in dem Invertierer 56 invertiert und dem Hochpass-Filter 51 unterworfen. Das Ausgangssignal  $-\Delta P_m^*$  des Hochpassfilters 51 repräsentiert die negative Oszillationskomponente der Lastleistung. Dieses Signal wird weiter in Block 57 durch die Hälfte der Spannung des DC-Zwischenkreises  $0,5 V_{DC}$  dividiert. Die Ausgabe des Blocks 57 ist der Hochfrequenzteil der Gleichtaktstromreferenz  $i_0^*$ . Der Niederfrequenzteil des Gleichtaktstromreferenzsignals wird als  $i_{0,LF}^*$  bezeichnet und wird verwendet zum Halten der DC-Komponente auf der Gleichtaktspannung gleich  $0,5 V_{DC}$ . Das Referenzsignal  $i_{0,LF}^*$  wird unter Verwendung des Signals von Eingang 5T3 erhalten, das die Gleichtaktspannung  $v_0$  an dem Ausgang des Wechselrichters in Figur 1 ist.  $v_0$  in der entsprechenden Gleichtakt-Ersatzschaltung ist in Figur 2 gezeigt. Diese Spannung wird unter Verwendung der Spannungsmessung an dem Ausgang des

Wechselrichters berechnet, wo die Potentiale  $v_1$ ,  $v_2$  und  $v_3$  relativ zu dem Knoten  $Y=X$  gemessen werden, und die Gleichtaktspannung ergibt sich als:  $v_0 = (v_1 + v_2 + v_3)/3$ . Dieses Signal wird dann dem Tiefpass-Filter 53 in Figur 1 unterworfen, welches an seinem Ausgang die DC-Komponente, bezeichnet als  $v_{0,LF}$ , ausgibt. Dieses Signal wird dann von  $0,5V_{DC}$  subtrahiert und dem PI-Regler 54 in Fig. 1 unterworfen. Die Ausgabe dieses Reglers ist die Niederfrequenzkomponente der Gleichtaktstromreferenz  $i_{0,LF}^*$ , welche gewährleistet, dass die DC-Komponente gleich  $0,5 V_{DC}$  ist. Die Gesamtreferenz für den Gleichtaktstrom wird durch Addieren der zwei Teile der Referenz erhalten. Bei weiterer Verarbeitung wird die Gleichtaktstromgesamtreferenz mit dem tatsächlichen Gleichtaktstrom  $i_0$  verglichen (das heißt, der tatsächliche Gleichtaktstrom wird von der Gleichtaktstromgesamtreferenz subtrahiert) und dann dem PI-Regler 52 in Figur 1 unterworfen. Die Ausgabe des Reglers 52 in Figur 1  $v_0^*$  ist das Referenzsignal für die Gleichtaktspannung des Wechselrichters 2 in Figur 1.

**[0013]** In Figur 3 sind die Leistungswellenformen mit und ohne die vorgeschlagene Leistungsentkopplung gezeigt. Die Situation, in welcher keine Leistungsentkopplung vorhanden ist, ist in Figur 3 gezeigt, d. h., dass es in Figur 1 und  $v_0^* = 1/2V_{DC}$  kein Regelungsteil 5 gibt. In diesem Falle gibt es keine Leistungsentkopplung und die Leistungsoszillationen von der Last 3 in Figur 1 breiten sich auf die DC-Quelle aus, d. h.  $P_{DC}(t) = p_m(t)$ . Die Gleichaktleistung ist gleich null. Die Oszillationen der Lastleistung können (falls die Last eine Elektromaschine ist) aufgrund von Drehmomentoszillationen einer Elektromaschine oder einer unausgewogenen Last auftreten. Im Falle einer unausgewogenen Last ist die Frequenz der Leistungsoszillation gleich dem Zweifachen der Grundfrequenz des Systems. In Figur 3b ist der Regler 5 von Figur 1 im Einsatz. In diesem Fall gleicht die Gleichaktleistung die Oszillationen der Lastleistung aus und die DC-Quellenleistung bleibt konstant.

**[0014]** Die Grenzen der obigen Regelung betreffen den Spannungsbereich, der zum Erzeugen der gewünschten Gleichtaktspannung verfügbar ist. Dieser Bereich wird durch die DC-Zwischenkreisspannung  $V_{DC}$  und die gewünschte Phasen-spannung am Ausgang des Wechselrichters 2 aus Figur 1 begrenzt:

$$v_{1-X} + v_0 \leq V_{DC}$$

$$v_{2-X} + v_0 \leq V_{DC}$$

$$v_{3-X} + v_0 \leq V_{DC}$$

**[0015]** In dem Falle, wenn eine ausreichende Gleichtaktspannung nicht mit dem Wechselrichter 2 aus Figur 1 erzeugt werden kann, wie in Figur 4 gezeigt ist, ein Hilfsrichter 6 verwendet werden. Der Hilfsrichter 6 ist zum Erzeugen einer Spannung zwischen den Knoten X und Y eingerichtet. Der Wechselrichter 1 aus Figur 4 regelt nur die Phasenspannungen  $v_{m1}$ ,  $v_{m2}$  und  $v_{m3}$  bezüglich dem Knoten X, ohne dass  $v_0^*$  hinzuaddiert wird. Die Spannungsquelle des Hilfsrichters 6 aus Figur 4 erhält ihre Spannungsreferenz aus dem Spannungsreferenzsignal  $v_0^*$  von dem Gleichtaktregler 5 in Figur 4, welcher der gleiche wie der Gleichtaktregler 5 in Figur 1 ist.

**[0016]** Bei anderen Ausführungsformen, mit der gleichen Struktur wie Figur 4, fungiert der Hilfsrichter 6 wie oben erläutert und der Wechselrichter 2 wird zum Addieren einer weiteren Gleichtaktspannung geregelt. Diese weitere Gleichtaktspannung wird nicht zum Leistungspuffern hinsichtlich Leistungspulsierungen verwendet, sondern zum Erreichen einer höheren Ausgangsspannung.

**[0017]** Bei anderen Ausführungsformen bestimmen die Regler eine gewünschte Gleichtaktgesamtspannung, die eine Komponente zum Leistungspuffern und eine Komponente zum Erreichen einer höheren Ausgangsspannung aufweist. Die Regler teilen das Erzeugen der Gleichtaktgesamtspannung über den Wechselrichter 2 und den Hilfsrichter 6 auf.

## Patentansprüche

1. Elektrischer DC-AC-Leistungsumrichter, umfassend einen Wechselrichter (2) und ein AC-Filter ( $L_f$ ,  $C_f$ ), wobei der Wechselrichter (2) Folgendes umfasst: einen positiven DC-Anschluss (1+) und einen negativen DC-Anschluss (1-) und Phasenanschlüsse (I1, I2, I3), wobei das AC-Filter zwischen den Phasenanschlüssen (I1, I2, I3) und Lastanschlüssen (L1, L2, L3) angeordnet ist und Ausgangskondensatoren ( $C_f$ ) in einer Sternkonfiguration mit einem Sternpunkt (X), einen den Sternpunkt (X) und einen der DC-Anschlüsse verbindenden Ausgleichstrompfad aufweist, wobei eine Hauptsteuerung (4) ausgelegt ist zum Erzeugen einer Wechselrichterregelungsreferenz ( $v^{dq*}$ ) zum Regeln von Ausgangsspannungen ( $v_m^{dq}$ ) des Umrichters zum Folgen einer Ausgangsspannungsreferenz ( $v_m^{dq*}$ ), ein Gleichtaktregler (5) ausgelegt ist zum Erzeugen einer Gleichtaktspannungsreferenz ( $v_0^*$ ) zum Erzeugen eines Gleichaktleistungsflusses in den Wechselrichter (2), der Lastleistungsoszillationen ausgleicht, die an den Lastanschlüssen (L1, L2, L3) auftreten, und wobei der elektrische DC-AC-Leistungsumrichter dazu ausgebildet ist, entweder die Wechselrichterregelungsreferenz ( $v^{dq*}$ ) und die Gleichtaktspannungsreferenz ( $v_0^*$ ) zu kombinieren und diese Kombination als Sollwert zum Steuern des Schaltbetriebs des Wechselrichters (2) zu verwenden, oder die Wechselrichterregelungsreferenz ( $v^{dq*}$ ) als ein Sollwert zum Steuern des Schaltbetriebs des Wechselrichters (2) zu verwenden und die Gleichtaktspannungsreferenz ( $v_0^*$ ) als Sollwert zum Steuern einer in dem Ausgleichstrompfad angeordneten Spannungsquelle (6) zu verwenden.
2. Leistungsumrichter nach Anspruch 1, wobei der Gleichtaktregler (5) ausgelegt ist zum Erzeugen der Gleichtaktspannungsreferenz ( $v_0^*$ ) aus einer Gesamtreferenz für einen Gleichtaktstrom, wobei diese Gesamtreferenz, auch Gleichaktstromreferenz genannt, die Summe eines Hochfrequenzteils und eines Niederfrequenzteils ist,

## CH 713 936 B1

zum Bestimmen des Hochfrequenzteils der Gleichtaktstromreferenz ( $i_0^*$ ) aus einer Schätzung einer oszillierenden Leistungskomponente ( $\Delta P_m^*$ ) eines Leistungsflusses an den Lastanschlüssen (L1, L2, L3), und zum Bestimmen des Niederfrequenzteils der Gleichtaktstromreferenz ( $i_{0,LF}^*$ ) zum Regeln einer DC-Komponente der Gleichtaktspannung auf einen vorgegebenen Wert.

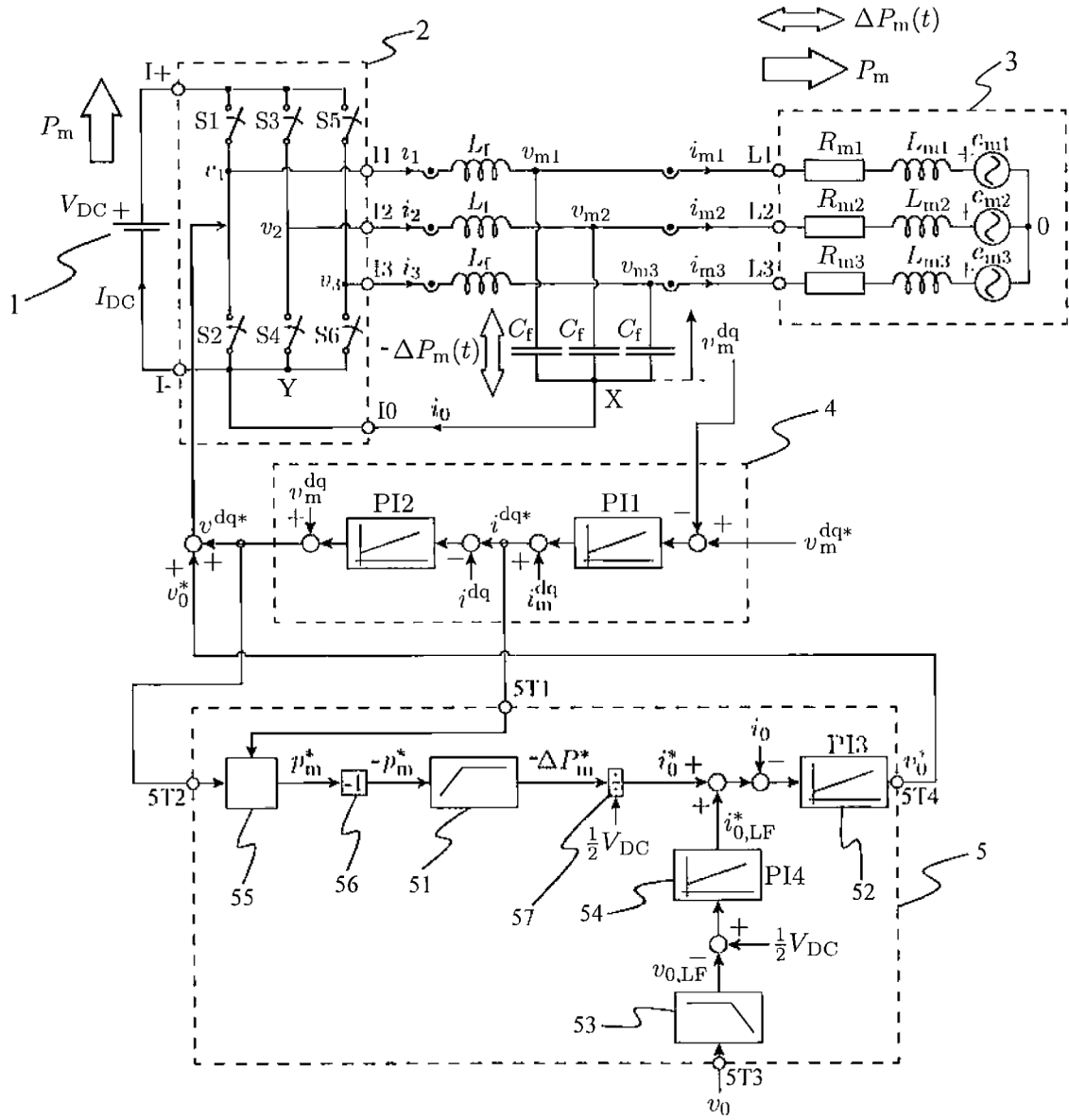


Fig. 1

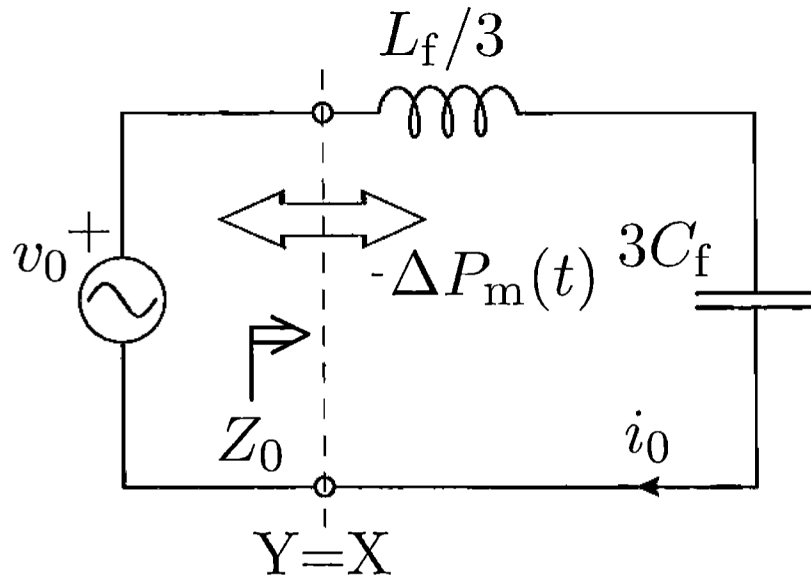


Fig. 2

Fig. 3a

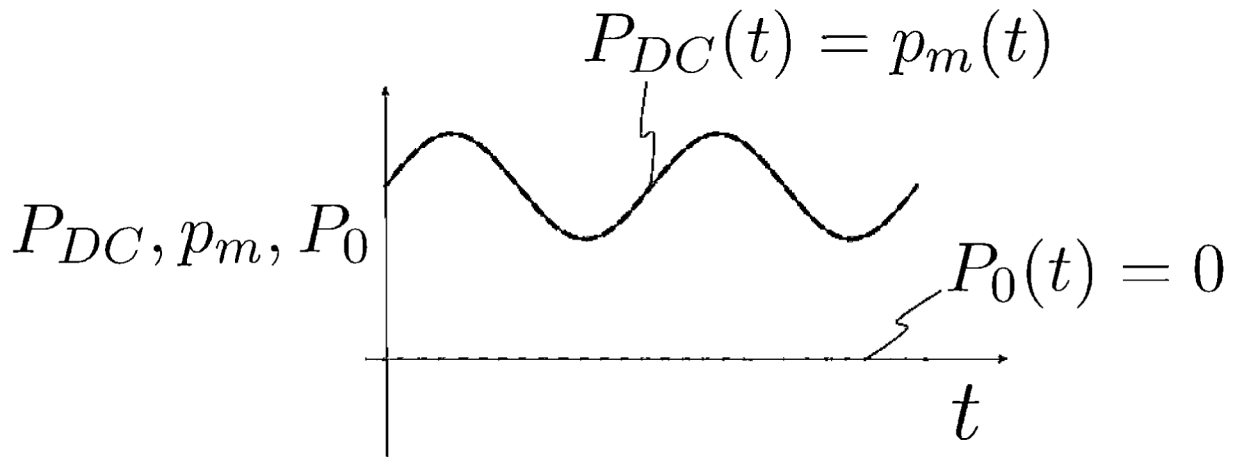


Fig. 3b

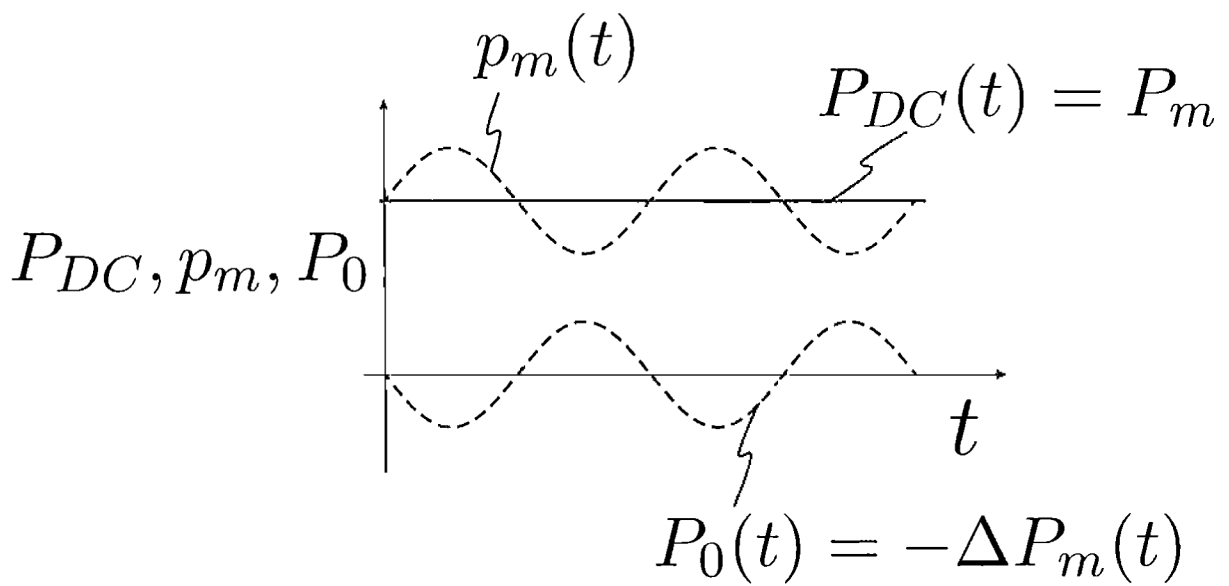


Fig. 3



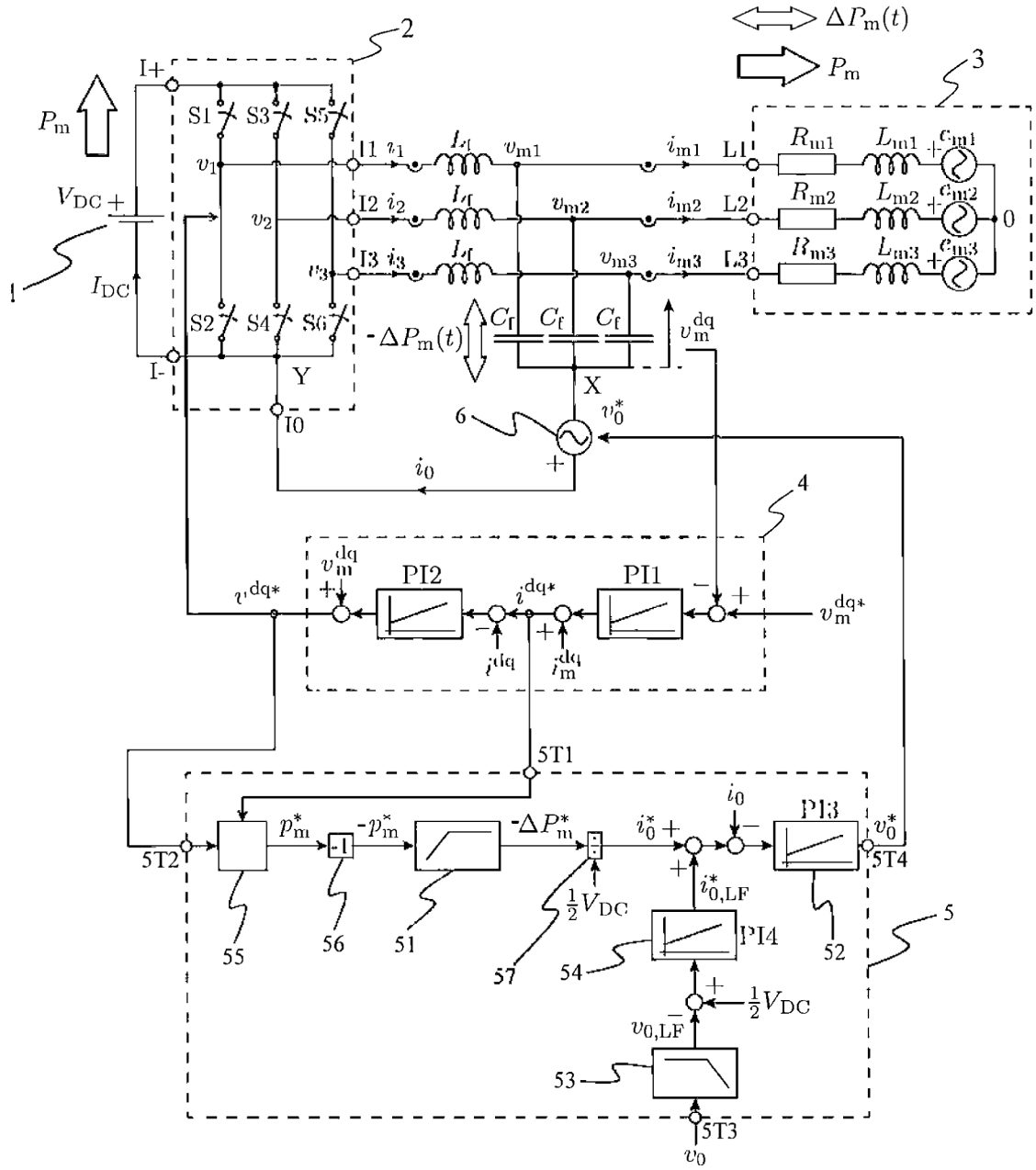


Fig. 4