



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)

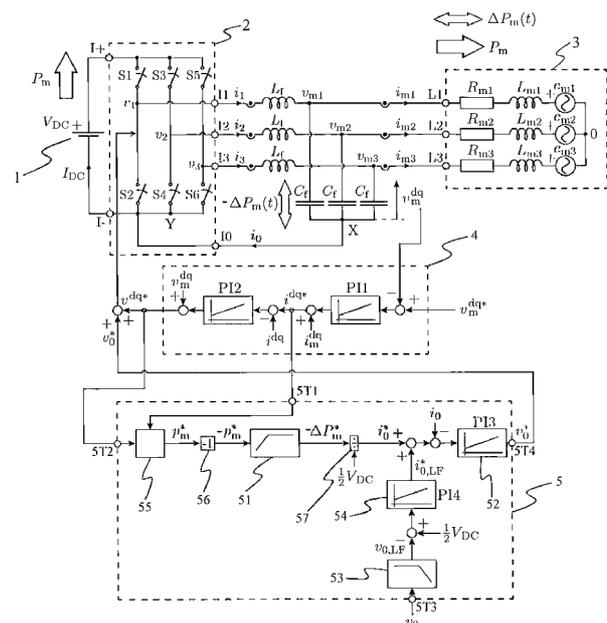
(72) Erfinder:
Spasoje Miric, 8008 Zürich (CH)
Arda Tüysüz, 8051 Zürich (CH)
Johann Walter Kolar, 8044 Zürich (CH)

(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 Energiezwischenspeicher 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 Energiezwischenspeicher 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 8th 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 und 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 Lastleitung 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 Phasenspannung 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 Gleichaktregler 5 in Figur 4, welcher der gleiche wie der Gleichaktregler 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

- 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_t) in einer Sternkonfiguration mit einem Sternpunkt (X), einen den Sternpunkt (X) und einen der DC-Anschlüsse verbindenden Ausgleichstropfad 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 Gleichaktregler (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 Ausgleichstropfad angeordneten Spannungsquelle (6) zu verwenden.
- Leistungsumrichter nach Anspruch 1, wobei der Gleichaktregler (5) ausgelegt ist zum Erzeugen der Gleichtaktspannungsreferenz (v_0^*) aus einer Gesamtreferenz für einen Gleichtaktstrom, wobei diese Gesamtreferenz, auch Gleichtaktstromreferenz 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 (ΔP_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.

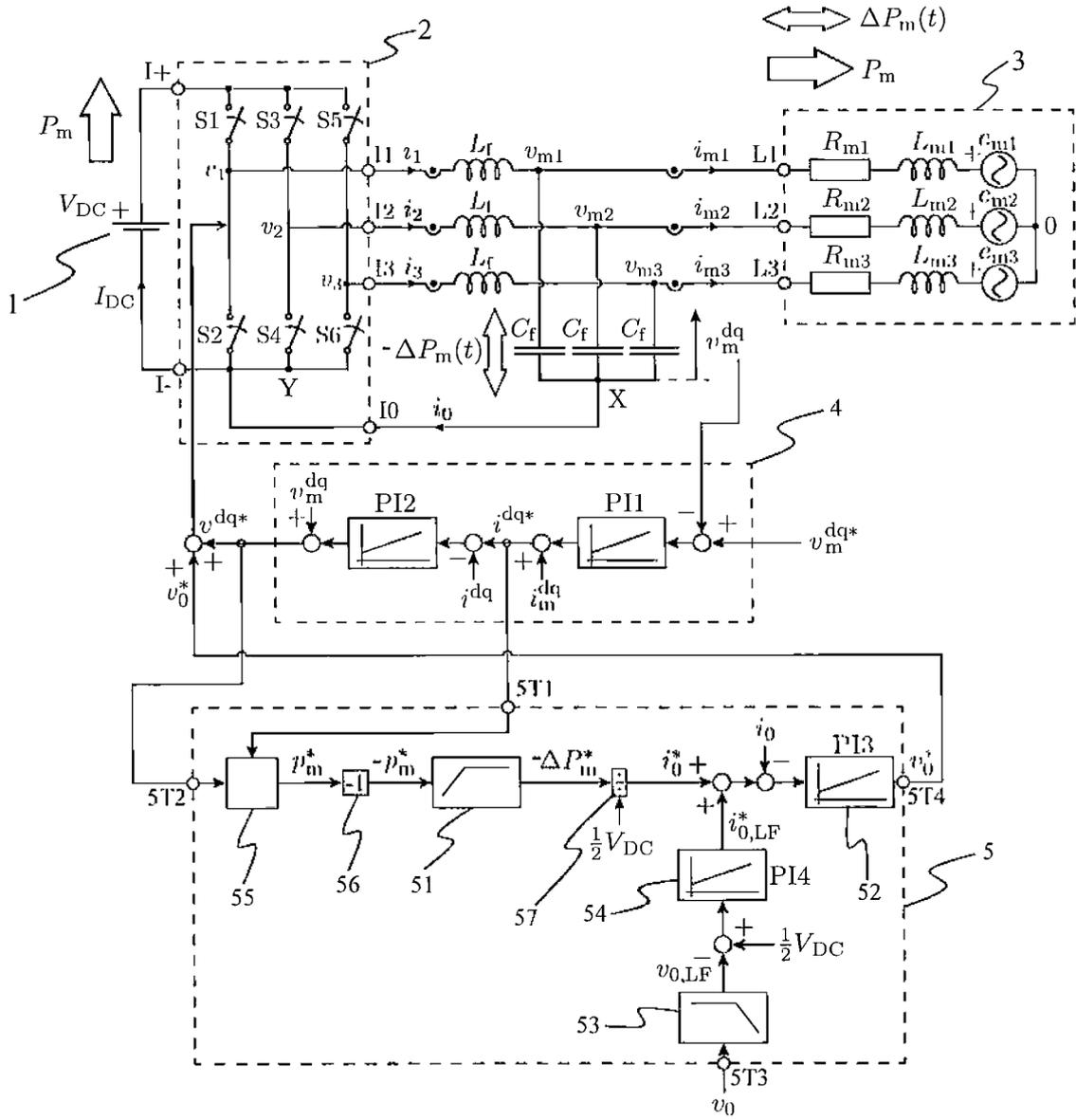


Fig. 1

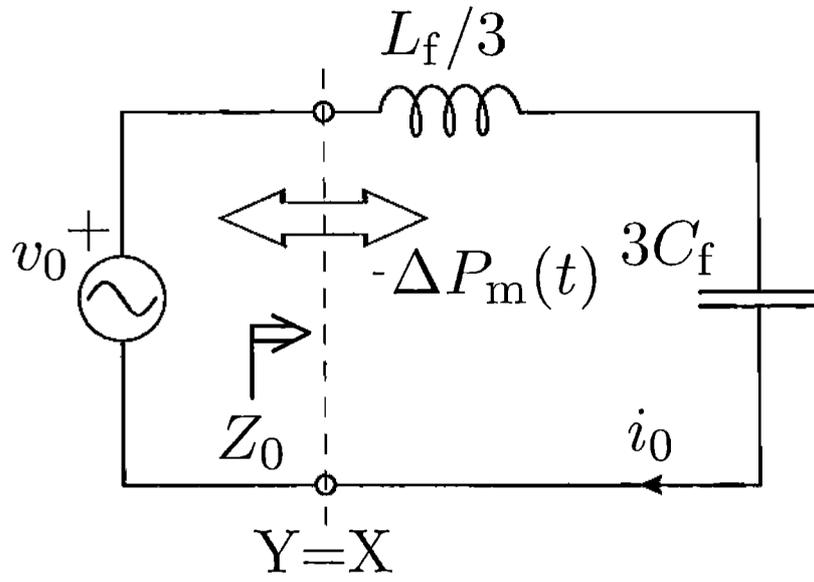


Fig. 2

Fig. 3a

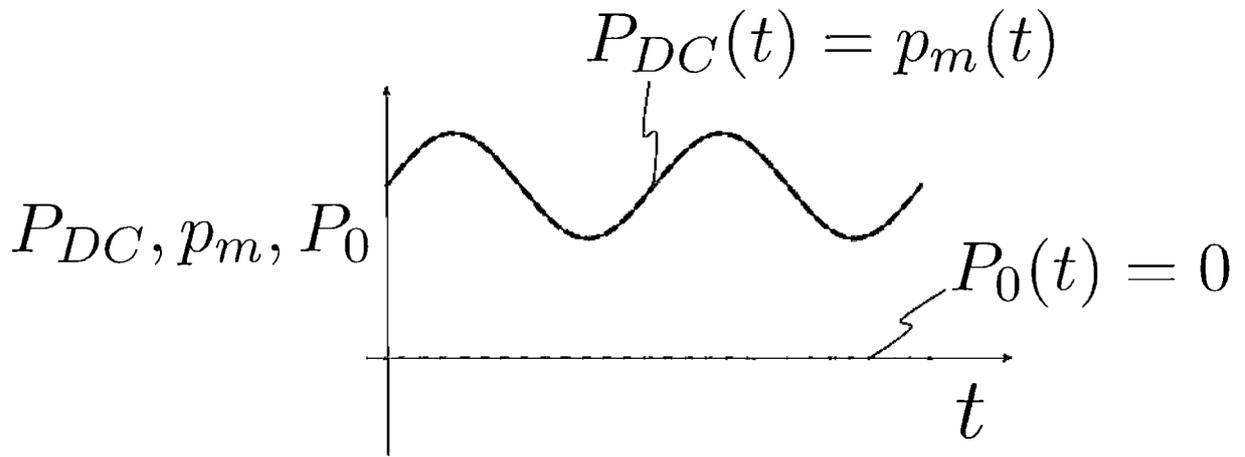


Fig. 3b

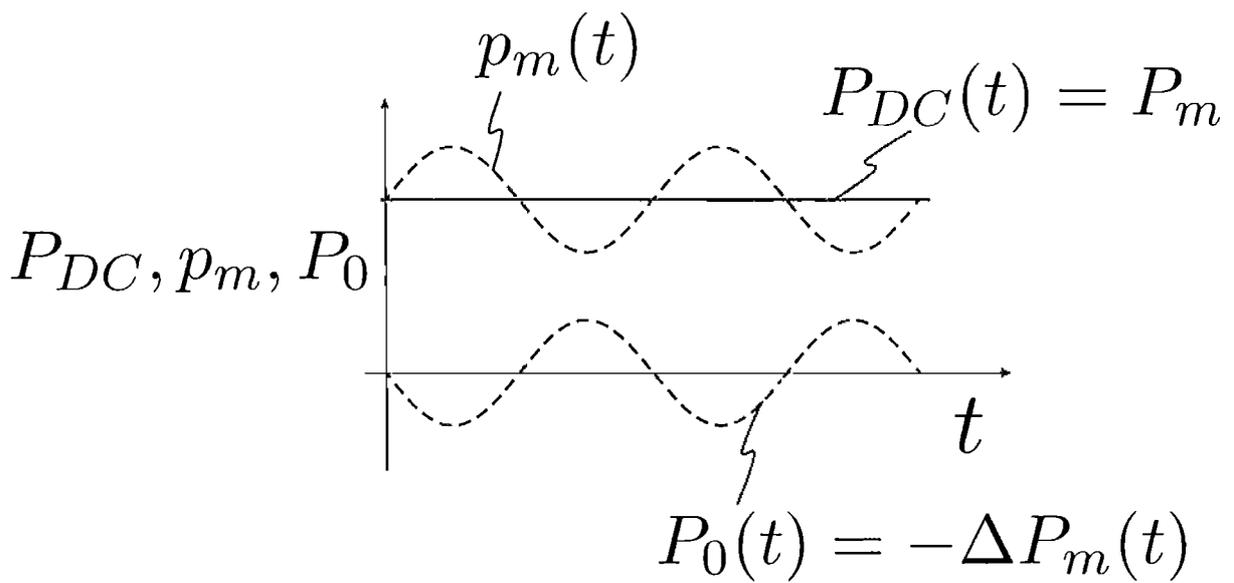


Fig. 3

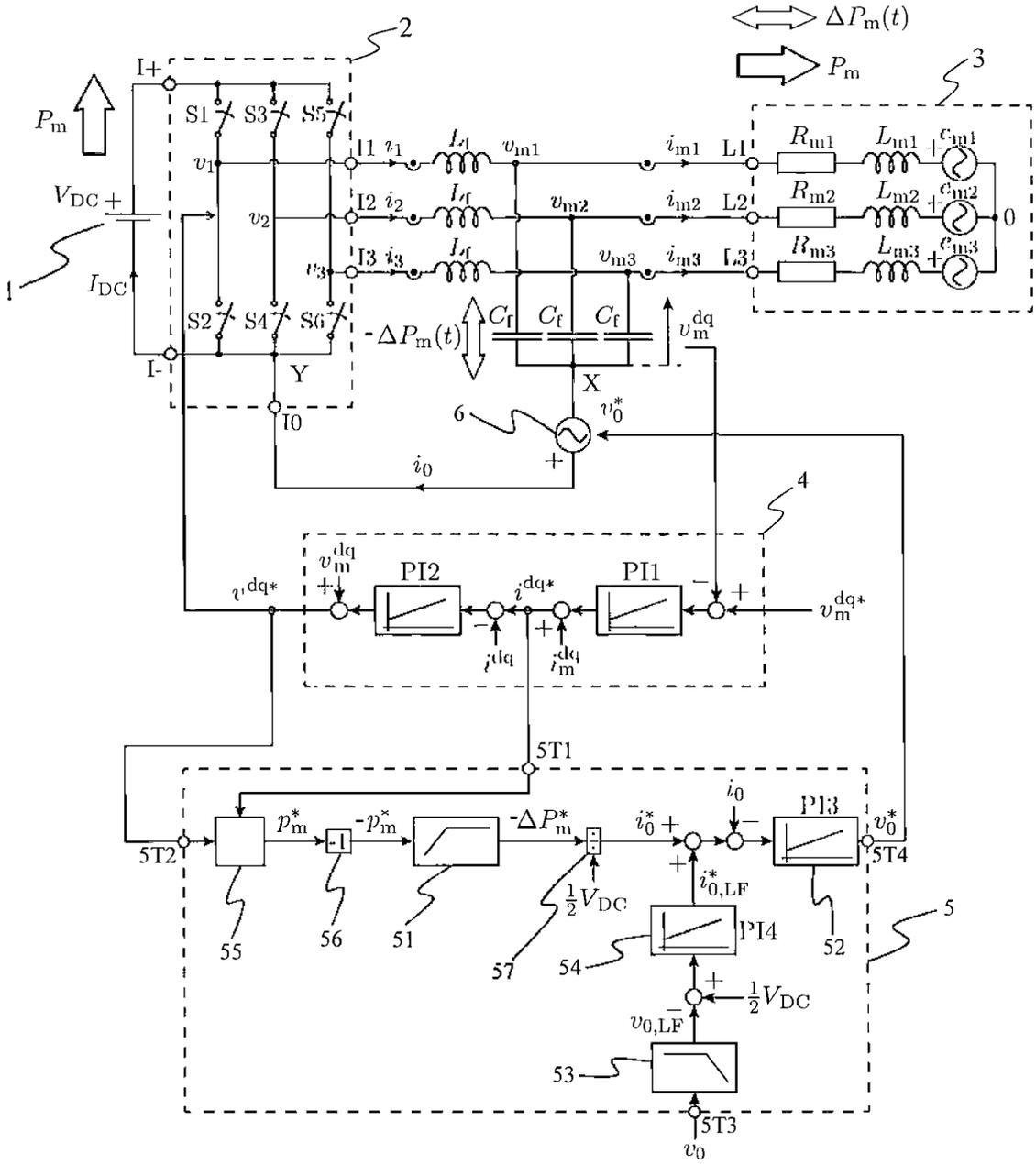


Fig. 4