



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinerischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01043/04

(73) Inhaber:
ETH Zürich, ETH transfer, Rämistrasse 101
8092 Zürich (CH)

(22) Anmeldedatum: 21.06.2004

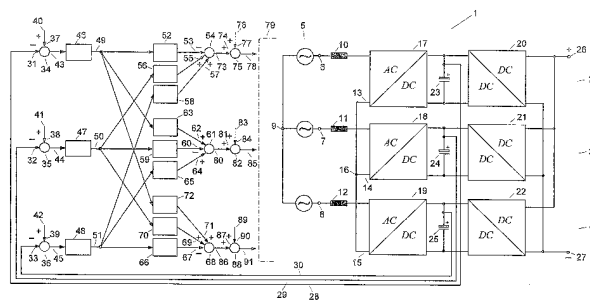
(24) Patent erteilt: 29.05.2009

(45) Patentschrift veröffentlicht: 29.05.2009

(72) Erfinder:
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)

(54) **Vorrichtung zur symmetrisierenden Netzstromsollwertvorgabe.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur symmetrisierenden Netzstromsollwertvorgabe der Zwischenkreisspannungsregelungen einer Sternschaltung (1) einphasiger Stromversorgungsmodule (2, 3, 4) mit offenem Sternpunkt (16) mit dem Ziel der Regelung der Zwischenkreisspannungen auf vorgegebene Sollwerte (40, 41, 42). Jedes Stromversorgungsmodul wird durch eine Pulsgleichrichtereingangsstufe (17, 18, 19) mit Hochsetzstellercharakteristik, einen Gleichspannungszwischenkreis und einen ausgangsseitigen Gleichspannungsgleichspannungswandler (20, 21, 22) mit hochfrequenter Potentialtrennung gebildet. Erfindungsgemäss wird die Regelabweichung (43) oder (44) oder (45) der Zwischenkreisspannung eines Phasenmoduls (2) oder (3) oder (4) durch Änderung (74) und (81) und (87) der Stromsollwerte (76, 83, 89) aller Phasen (6, 7, 8) korrigiert. Um die Ausgangsleistung eines Moduls zu erhöhen, also die zu geringe Zwischenkreisspannung eines Moduls anzuheben, wird der Sollwert der Amplitude des zugehörige Phasenstromes im Gegensatz zu konventioneller Regelung verringert und die Sollwerte der Amplituden der beiden anderen Module, auch wenn diese keine Regelabweichung ihrer Ausgangsspannung aufweisen, erhöht. Dadurch wird erreicht, dass nur die gewünschte Änderung der Ausgangsleistung des, die Regelabweichung aufweisenden Moduls erfolgt und trotz der durch den freien Sternpunkt (16) der Phasenmodule bzw. der zu Null gezwungenen Summe der Eingangsphasenströme gegebenen Kopplung die Ausgangsleistungen der übrigen Module unbeeinflusst bleiben.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Netzstromsollwertvorgabe der Zwischenkreisspannungsregelungen einer Sternschaltung einphasiger Stromversorgungsmodule mit Pulsleichrichter-Eingangsstufe und offenem Sternpunkt wie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben.

Stand der Technik

[0002] Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden netzrückwirkungsarme Stromversorgungen hoher Leistung mit Dreiphaseneingang vielfach durch Stern- oder Dreieckschaltung von Einphasen-Stromversorgungsmodulen ausgeführt. Jedes Stromversorgungsmodul wird hierbei durch eine Pulsleichrichtereingangsstufe mit Hochsetzstellercharakteristik (AC/DC-Konverter), einen Gleichspannungszwischenkreis und einen ausgangsseitigen Gleichspannungs-Gleichspannungswandler (DC/DC-Konverter) mit hochfrequenter Potentialtrennung gebildet. Die Ausgänge der DC/DC-Konverter werden vielfach parallel geschaltet und die Zwischenkreisspannungen durch Zwischenkreiskondensatoren gestützt. Die eingangsseitige Sternschaltung weist gegenüber einer Dreieckschaltung den Vorteil einer geringeren Zwischenkreisspannung und damit geringeren Sperrspannungsbeanspruchung der Leistungshalbleiter auf und erlaubt somit höhere Taktfrequenzen bzw. eine kompaktere Realisierung. Allerdings ist nachzeitigem Stand der Technik zwingend eine Verbindung des Sternpunktes mit dem Mittelpunktleiter des Netzes vorzusehen um ein konstantes Niveau der Zwischenkreisspannungen sicherstellen zu können.

[0003] Demgemäss ist das System bei Dreileiternetzen mit fehlendem Mittelpunktsteiter nicht einsetzbar bzw. muss der Sternpunkt künstlich durch magnetische Vorrichtungen gebildet werden, womit ein relativ hoher Realisierungsaufwand bzw. eine Verringerung der Leistungsdichte verbunden ist.

Detaillierte Darstellung der Erfindung

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zur Bildung von Sollwerten der Amplituden der Eingangsströme für die Stromregelung der Phasenmodule derart zu schaffen, dass ein konstantes Niveau der Zwischenkreisspannungen auch bei Betrieb an einem Dreileiternetz sichergestellt werden kann.

[0005] Erfindungsgemäss wird dies durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht.

[0006] Grundgedanke der Erfindung ist, eine Regelabweichung der Zwischenkreisspannung eines Phasenmoduls durch Änderung der Stromsollwerte aller Phasen zu korrigieren. Dadurch kann die durch den freien Sternpunkt der Phasenmodule gegebene Kopplung der Phasen bzw. die zu Null gezwungene Summe der Phasenströme gezielt dazu genutzt werden, die Leistungslieferung der die Regelabweichung aufweisenden Phase ohne Beeinflussung der beiden anderen Phasen zu ändern. Würde die Regelung so realisiert, dass nur der Eingangsstromsollwert der jeweiligen die Regelabweichung aufweisenden Phase mit dem Ziel einer Erhöhung oder Verringerung der in den Zwischenkreis gelieferten Leistung geändert würde, wäre kein stabiler Betrieb des Systems möglich.

[0007] Dies erklärt sich aus der Betrachtung von zwei in Serie geschalteten DC/DC-Hochsetzstellern mit getrennten Ausgangsspannungen. Beide Hochsetzsteller sollen einen überlagerten Ausgangsspannungsregler und einen unterlagerten, den zugehörigen Eingangsstromsollwert definierenden Stromregler aufweisen. Aufgrund der Serienschaltung weisen beide Systeme denselben Eingangsstrom auf. Zeigt nun die Ausgangsspannung des ersten Hochsetzstellers einen zu geringen Wert, wird bei konventioneller Regelung der Eingangsstromsollwert des ersten Hochsetzstellers erhöht um den Leistungsfluss an den zugehörigen Ausgang zu erhöhen. Im Versuch diesen höheren Sollwert einzustellen, wird nun der Stromregler des ersten Hochsetzstellers die relative Einschaltzeit des Leistungstransistors des ersten Hochsetzstellers erhöhen, wodurch vorerst weniger Leistung an den Ausgang geliefert und die Spannung über dem zweiten Hochsetzsteller erhöht wird. Demgemäss erhöht sich der Leistungsfluss an den Ausgang des zweiten Hochsetzstellers dessen Stromsollwert in Folge dessen entsprechend verringert wird, was eine weitere Verringerung der relativen Einschaltzeit des Leistungstransistors des zweiten Hochsetzstellers und damit eine weitere Erhöhung der Leistungslieferung an dessen Ausgang verursacht. Diese positive Rückkopplung ist in grundsätzlich gleicher Form auch für eine Sternschaltung von drei Modulen gegeben, wo vereinfacht ein Modul als in Serie mit der Parallelschaltung der beiden anderen Module liegend gesehen werden kann.

[0008] Erfindungsgemäss wird nun die vorstehend beschriebene Querkopplung der Module gezielt zur Regelung der Zwischenkreisspannungen genutzt. Um die Ausgangsleistung eines Moduls zu erhöhen, also eine zu geringe Ausgangsspannung eines Moduls anzuheben, wird die Amplitude des zugehörigen sinusförmigen Stromsollwertes verringert (und nicht, wie für konventionelle Regelung erhöht) und die Amplituden der Stromsollwerte der beiden anderen Module, welche keine Regelabweichung ihrer Ausgangsspannung aufweisen, erhöht. Dadurch wird erreicht, dass nur die gewünschte Änderung der Ausgangsleistung des die Regelabweichung aufweisenden Moduls erfolgt und die Ausgangsleistungen der beiden anderen Module unbeeinflusst bleiben. Das hierfür erforderliche Mass der Verringerung bzw. Erhöhung, d.h. die erforderliche Verstärkung der Zwischenkreisspannungsregelabweichung kann einfach über grundlegende regelungstechnische Betrachtungen ermittelt werden.

Aufzählung der Zeichnungen

[0009] Die Erfindung wird im Weiteren anhand einer Zeichnung näher erläutert.

[0010] In Fig. 1 ist eine Sternschaltung einphasiger Stromversorgungsmodulen mit offenem Sternpunkt in Verbindung mit der erfindungsgemässen Vorrichtung nach Patentanspruch 1 zur Generierung der Sollwerte der Eingangsstromregelkreise der Phasen gezeigt.

Ausführung der Erfindung

[0011] Die in Fig. 1 gezeigte Sternschaltung 1 von Einphasen-Stromversorgungsmodulen 2, 3, 4, wird aus einem Dreiphasennetz 5, repräsentiert durch eine Sternschaltung von Wechselspannungsquellen mit Phasenklappen 6, 7, 8 und Sternpunkt 9 gespeist. Entsprechend der Hochsetzstellercharakteristik weist jedes Modul 2,3,4 eingangsseitig eine Induktivität 10, 11, 12 auf, welche jeweils an eine Netzphase 6, 7, 8 gelegt wird. Die jeweils zweiten Eingänge 13, 14, 15 der Phasenmodule werden zu einem freien, d.h. nicht mit dem Sternpunkt 9 des Netzes 5 verbundenen Sternpunkt 16 geführt. Jedes Stromversorgungsmodul 2, 3, 4 wird durch einen Eingangsteil 17, 18, 19 und einen Ausgangsteil 20, 21, 22 gebildet wobei die Ausgangsgleichspannung des Eingangsteils 17 durch einen Zwischenkreiskondensator 23 gestützt und an den Eingang des Ausgangsteils 20 gelegt wird, und weiters die Ausgangsgleichspannung des Eingangsteils 18 durch einen Zwischenkreiskondensator 24 gestützt und an den Eingang des Ausgangsteils 21 gelegt wird, und die Ausgangsgleichspannung des Eingangsteils 19 durch einen Zwischenkreiskondensator 25 gestützt wird und am Eingang des Ausgangsteils 21 liegt. Die Gleichspannungsausgänge der eine hochfrequente Potentialtrennung aufweisenden Ausgangsteile 20, 21, 22 werden parallel geschaltet, womit das Gesamtsystem eine gemeinsame, zwischen einer positiven Ausgangsklemme 26 und einer negativen Ausgangsklemme 27 auftretende Ausgangsgleichspannung aufweist.

[0012] Die Spannungen der Zwischenkreiskondensatoren 23, 24, 25 werden nun über Messleitungen 28, 29, 30 abgegriffen und jeweils an den negativen Eingang 31, 32, 33 von den Phasen 6, 7, 8 zugeordneten Subtraktionsgliedern 34,35,36 geführt, an deren jeweils zweiten positiven Eingängen 37, 38, 39 die Sollwerte 40, 41, 42 der Spannungen der Zwischenkreiskondensatoren 23, 24, 25 liegen. Die Ausgänge 43, 44, 45 der Subtraktionsglieder 34, 35, 36 stellen somit die Regelabweichungen der Zwischenkreisspannung der Phasen 6, 7, 8 dar und werden jeweils Zwischenkreisspannungsreglern 46, 47, 48 mit Ausgängen 49, 50, 51 zugeführt.

[0013] Erfindungsgemäss wird nun der Ausgang 49 des Zwischenkreisspannungsreglers 46 von Phase 6 über ein Verstärkungselement 52 negativ an den Eingang 53 einer Summierstelle 54 geführt an deren zweitem Eingang 55 über ein Verstärkungselement 56 bewertet der Ausgang 50 des Zwischenkreisspannungsreglers 47 der Phase 7 positiv liegt und an dessen dritten Eingang 57 der Ausgang 51 des Zwischenkreisspannungsreglers 48 der Phase 8 über ein Verstärkungselement 58 geführt wird. In analoger Form wird der Ausgang 50 des Zwischenkreisspannungsreglers 47 von Phase 7 über ein Verstärkungselement 59 negativ an den Eingang 60 einer Summierstelle 61 geführt an deren zweitem Eingang 62 über ein Verstärkungselement 63 bewertet der Ausgang 49 des Zwischenkreisspannungsreglers 46 der Phase 6 positiv liegt und an dessen dritten Eingang 64 der Ausgang 51 des Zwischenkreisspannungsreglers 48 der Phase 8 über ein Verstärkungselement 65 geführt wird. Schliesslich wird analog der Ausgang 51 des Zwischenkreisspannungsreglers 48 von Phase 8 über ein Verstärkungselement 66 negativ an den Eingang 67 einer Summierstelle 68 geführt an deren zweitem Eingang 69 über ein Verstärkungselement 70 bewertet der Ausgang 50 des Zwischenkreisspannungsreglers 47 der Phase 7 positiv liegt und an dessen dritten Eingang 71 der Ausgang 49 des Zwischenkreisspannungsreglers 46 der Phase 6 über ein Verstärkungselement 72 gelegt wird.

[0014] Der Ausgang 73 der Summierstelle 54 wird nun an den Eingang 74 einer Summierstelle 75 gelegt und definiert die zur Korrektur der Zwischenkreisspannungsregelabweichungen 43, 44, 45 der Phasen 6, 7, 8 vorzunehmende Änderung des Sollwertes 76 der Amplitude des Eingangsstromes in Phase 6 der an den zweiten Eingang 77 der Summierstelle 75 gelegt und so gewählt wird, dass ideal die über die Eingangsstufe 17 in den Zwischenkreis der Phase 6 gelieferte Leistung die seitens der DC/DC-Konverter-Ausgangsstufe 20 benötigte Leistung deckt. Der Gesamtsollwert der Amplitude des Eingangsstromes in Phase 6 tritt dann am Ausgang 78 der Summierstelle auf und wird einer an sich bekannten Regeleinrichtung 79 zugeführt, welche einen entsprechenden, netzspannungsproportionalen Sollwert bildet und einer Stromregelung zuführt. Die Stromregelung kann gemäss dem Stand der Technik realisiert werden und soll daher nicht näher beschrieben werden.

[0015] In gleicher Weise wird der Ausgang 80 der Summierstelle 61 an den Eingang 81 einer Summierstelle 82 gelegt und definiert die zur Korrektur der Zwischenkreisspannungsregelabweichungen 43, 44, 45 der Phasen 6, 7, 8 vorzunehmende Änderung des Sollwertes 83 der Amplitude des Eingangsstromes in Phase 7 der an den zweiten Eingang 84 der Summierstelle 82 gelegt und so gewählt wird, dass ideal die über die Eingangsstufe 18 in den Zwischenkreis der Phase 7 gelieferte Leistung die seitens der DC/DC-Konverter-Ausgangsstufe 21 benötigte Leistung deckt. Der Gesamtsollwert der Amplitude des Eingangsstromes in Phase 7 tritt dann am Ausgang 85 der Summierstelle auf und wird einer an sich bekannten Regeleinrichtung 79 zugeführt, welche einen entsprechenden, netzspannungsproportionalen Sollwert bildet und einer Stromregelung zuführt.

[0016] Schliesslich wird der Ausgang 86 der Summierstelle 68 an den Eingang 87 einer Summierstelle 88 gelegt und definiert die zur Korrektur der Zwischenkreisspannungsregelabweichungen 43, 44, 45 der Phasen 6, 7, 8 vorzunehmende Änderung des Sollwertes 89 der Amplitude des Eingangsstromes in Phase 8 der an den zweiten Eingang 90 der Summier-

stelle 88 gelegt und so gewählt wird, dass ideal die über die Eingangsstufe 19 in den Zwischenkreis der Phase 8 gelieferte Leistung die seitens der DC/DC-Konverter-Ausgangsstufe 22 benötigte Leistung deckt. Der Gesamtsollwert der Amplitude des Eingangstromes in Phase 8 tritt dann am Ausgang 91 der Summierstelle auf und wird einer an sich bekannten Stromregelung 79 zugeführt, welche einen entsprechenden, netzspannungsproportionalen Sollwert bildet und einstellt.

[0017] Es wird somit die Regelabweichung 43 oder 44 oder 45 der Zwischenkreisspannung eines Phasenmoduls 2 oder 3 oder 4 durch Änderung 74 und 81 und 87 der Stromsollwerte 76, 83, 89 der Amplituden der Ströme aller Phasen 6, 7, 8 korrigiert. Um die Ausgangsleistung eines Moduls zu erhöhen, also die zu geringe Zwischenkreisspannung eines Moduls anzuheben, wird der zugehörige Amplitudensollwert im Gegensatz zu konventioneller Regelung verringert; die Amplitudensollwerte der beiden anderen Module werden erhöht, auch wenn diese keine Regelabweichung ihrer Ausgangsspannung aufweisen. Wie eine nähere regelungstechnische Analyse zeigt, kann dadurch erreicht werden, dass nur die gewünschte Änderung der Ausgangsleistung des die Regelabweichung aufweisenden Moduls auftritt und trotz der, durch den freien Sternpunkt 16 der Phasenmodule bzw. der zu Null gezwungenen Summe der Eingangsphasenströme gegebenen Kopplung die Ausgangsleistungen der beiden anderen Module unbeeinflusst bleiben.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur symmetrisierenden Netzstromsollwertvorgabe der Zwischenkreisspannungsregelungen einer Sternschaltung einphasiger Stromversorgungsmodule (2,3,4) mit drei Pulsgleichrichter-Eingangsstufen (17,18,19) und offenem Sternpunkt (16), welche drei Zwischenkreisspannungsregler (46,47,48) und eine unterlagerte Eingangsstromregelung (79) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang (49) eines ersten Zwischenkreisspannungsreglers (46) einer ersten Phase (6) über ein erstes Verstärkungselement (52) negativ an einen ersten Eingang (53) einer ersten Summierstelle (54) geführt ist, an deren zweitem Eingang (55), über ein zweites Verstärkungselement (56) bewertet, der Ausgang (50) eines zweiten Zwischenkreisspannungsreglers (47) einer zweiten Phase (7) positiv liegt, und an dessen drittem Eingang (57) der Ausgang (51) eines dritten Zwischenkreisspannungsreglers (48) einer dritten Phase (8) über ein drittes Verstärkungselement (58) geführt wird, und in analoger Form der Ausgang (50) des zweiten Zwischenkreisspannungsreglers (47) der zweiten Phase (7) über ein viertes Verstärkungselement (59) negativ an den ersten Eingang (60) einer zweiten Summierstelle (61) geführt wird, an deren zweitem Eingang (62), über ein fünftes Verstärkungselement (63) bewertet, der Ausgang (49) des ersten Zwischenkreisspannungsreglers (46) der ersten Phase (6) positiv liegt, und an dessen dritten Eingang (64) der Ausgang (51) des dritten Zwischenkreisspannungsreglers (48) der dritten Phase (8) über ein sechstes Verstärkungselement (65) geführt wird, und der Ausgang (51) des dritten Zwischenkreisspannungsreglers (48) der dritten Phase (8) über ein siebtes Verstärkungselement (66) negativ an den ersten Eingang (67) einer dritten Summierstelle (68) geführt wird, an deren zweitem Eingang (69), über ein achttes Verstärkungselement (70) bewertet, der Ausgang (50) des zweiten Zwischenkreisspannungsreglers (47) der zweiten Phase (7) positiv liegt, und an dessen dritten Eingang (71) der Ausgang (49) des ersten Zwischenkreisspannungsreglers (46) der ersten Phase (6) über ein neuntes Verstärkungselement (72) gelegt wird, wobei weiters der Ausgang (73) der ersten Summierstelle (54) an einen ersten Eingang (74) einer fünften Summierstelle (75) gelegt wird, wobei der Sollwert (76) der Amplitude des Eingangstromes der ersten Phase (6) am zweiten Eingang (77) einer vierten Summierstelle (75) liegt, und schliesslich der Gesamtsollwert der Amplitude des Eingangstromes der ersten Phase (6) am Ausgang (78) der vierten Summierstelle (75) auftritt, welcher einer Stromregeleinrichtung (79) zugeführt wird, und in gleicher Weise der Ausgang (80) der zweiten Summierstelle (61) an den ersten Eingang (81) einer fünften Summierstelle (82) gelegt wird, und der Sollwert (83) der Amplitude des Eingangstromes der zweiten Phase (7) am zweiten Eingang (84) der fünften Summierstelle (82) liegt, und schliesslich der Gesamtsollwert der Amplitude des Eingangstromes der zweiten Phase (7) am Ausgang (85) der fünften Summierstelle auftritt, welcher wiederum der Stromregeleinrichtung (79) zugeführt wird, und der Ausgang (86) der dritten Summierstelle (68) an den ersten Eingang (87) einer sechsten Summierstelle (88) gelegt wird, wobei der Sollwert (89) der Amplitude des Eingangstromes der dritten Phase (8) am zweiten Eingang (90) der sechsten Summierstelle (88) liegt, und schliesslich der Gesamtsollwert der Amplitude des Eingangstromes der dritten Phase (8) am Ausgang (91) der sechsten Summierstelle auftritt, welcher wiederum der Stromregeleinrichtung (79) zugeführt wird, wobei ferner die drei Sollwerte (76,83,89) der Eingangsstromamplituden so gewählt werden, dass die Leistungen, die über drei, den einzelnen Phasen zugeordnete Eingangsstufen (17,18,19) in je entsprechende Zwischenkreise (6,7,8) geliefert werden, die benötigten Leistungen von drei DC/DC-Konverter-Ausgangsstufen (20, 21, 22) decken, und wobei die Vorrichtung zur Korrektur einer positiven Zwischenkreisspannungsregelabweichung (43, 44, 45) einer der drei Phasen (6, 7, 8) durch Absenken des Sollwertes der Amplitude des zugehörigen Phasenstromes und Anheben der Sollwerte der beiden anderen Phasen, und entsprechend zur Korrektur einer negativen Zwischenkreisspannungsregelabweichung (43, 44, 45) einer der drei Phasen (6, 7, 8) durch Anheben des Sollwertes der Amplitude des zugehörigen Phasenstromes und Absenken der Sollwerte der beiden anderen Phasen eingerichtet ist.

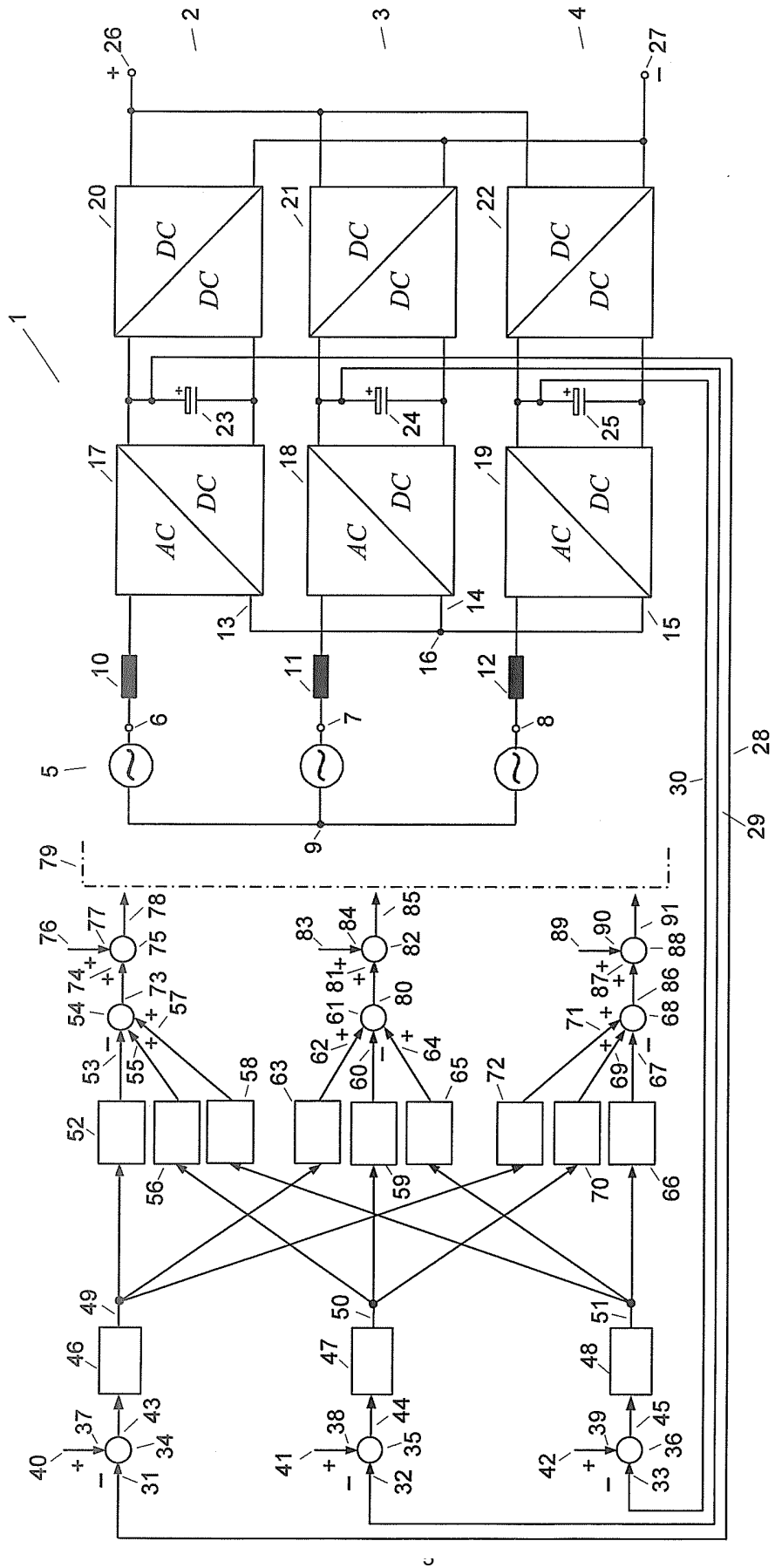


Fig.1