

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50038/2018
(22) Anmeldetag: 18.01.2018
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2019

(51) Int. Cl.: **G01R 31/40** (2014.01)

(56) Entgegenhaltungen:
CN 104852616 A
CN 106487240 A
CN 107196537 A
CN 106468882 A

(73) Patentinhaber:
AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
GMBH
1220 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
Makoschitz Markus Dipl.Ing. Dr.
2305 Eckartsau (AT)
Jonke Peter Dipl.Ing.
1180 Wien (AT)

(74) Vertreter:
Wildhack & Jellinek Patentanwälte OG
1030 Wien (AT)

(54) Netzsimulator

(57) Die Erfindung betrifft einen Netzsimulator (10) zum Testen von an ein Wechselspannungsnetz mit einer vorgegebenen Netzennspannung und Netzennfrequenz anschließbaren Geräten, insbesondere Wechselrichtern, Verbrauchern oder Generatoren, umfassend:

- einen Großsignalgenerator (11) zur Erzeugung eines Großspannungssignals an seinem Ausgang, dessen Amplitude im Wesentlichen der Netzennspannung entspricht, und
- einen Kleinsignalgenerators (12) zur Erzeugung eines Kleinspannungssignals an seinem Ausgang, dessen Amplitude kleiner ist als 50 %, insbesondere kleiner als 25%, der Netzennspannung,
- wobei der Ausgang des Großsignalgenerators (11) und der Ausgang des Kleinsignalgenerators (12) voneinander galvanisch entkoppelt sind,
- wobei ein Pol des Ausgangs des Großsignalgenerators (11) an einen Pol des Ausgangs des Kleinsignalgenerators (12) angeschlossen ist und die jeweiligen beiden anderen Pole den Ausgang des Netzsimulators (10) bilden,
- wobei der Kleinsignalgenerator (11), gegebenenfalls auch der Großsignalgenerator (12), über zumindest einen Steuereingang zur Vorgabe zumindest eines Steuersignals verfügt, und wobei der Kleinsignalgenerator (12), gegebenenfalls auch der Großsignalgenerator (11), dazu ausgebildet ist, ein Spannungssignal an in Abhängigkeit von einem im

Steuersignal enthaltenen Parameter, insbesondere der Amplitude und/oder der Frequenz zu erstellen.

Erfindungsgemäß ist eine Regeleinheit (126) vorgesehen, die dazu ausgebildet ist, einen Strommesswert für den Strom am Ausgang des Netzsimulators (10) oder des Kleinsignalgenerators (12), insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, zu messen, und

- den Kleinsignalgenerator (12) mit nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Strommesswert, gegebenenfalls auch von weiteren ermittelten Messwerten, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen anzusteuern.

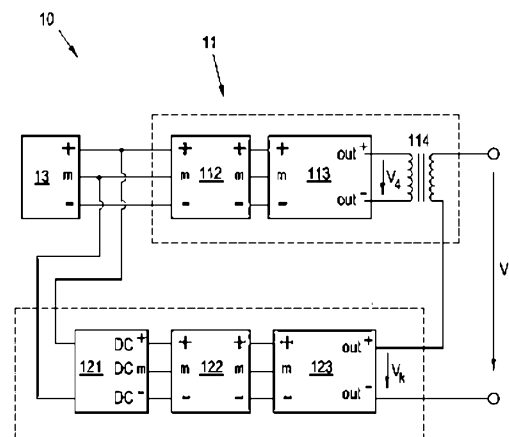


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Netzsimulator zum Testen von an ein Wechselspannungsnetz anschließbaren Geräten wie beispielsweise Wechselrichtern, Verbrauchern oder Generatoren. Vorzugsweise kann mit einem erfindungsgemäßen Netzsimulator auch ein Netz mit einer vorgegebenen Impedanz simuliert werden. Weiters betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Testen eines solchen Geräts.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind unterschiedliche Netzsimulatoren bekannt, mit denen es insbesondere möglich ist, bestimmte, fehlerhafte oder fehlerfreie, Netzkonstellationen für einzelne an das betreffende Netz anzuschließende Geräte zu simulieren. Derartige Netzsimulatoren sind beispielsweise aus der CN 104852616 A und der CN 106487240 A bekannt. Hintergrund eines solchen Tests ist es, das Auftreten bestimmter problematischer Situationen zu testen bzw. die Auswirkungen solcher Situationen auf die Geräte zu testen, wenngleich solche Situationen aufgrund der hohen Qualität der öffentlichen Netze in der Regel nicht auftreten.

[0003] Nur beispielhaft sei etwa die Situation angeführt, dass der Innenwiderstand des öffentlichen Netzes einen nicht vernachlässigbaren Wert aufweist, was letztlich dazu führt, dass mit der Entnahme von Strom aus dem öffentlichen Netz eine nicht unerhebliche Absenkung der Netzspannung einhergeht.

[0004] Darüber hinaus können auch andere Netzsituationen wie beispielsweise Änderungen der Netzfrequenz oder ähnliches mit einem erfindungsgemäßen Netzsimulator bzw. einem erfindungsgemäßen Verfahren simuliert werden.

[0005] Bei aus dem Stand der Technik bekannten Netzsimulatoren besteht in der Regel das Problem, dass die für die Nachbildung bzw. Emulation der Netzspannung herangezogenen Bauteile, hierbei handelt es sich insbesondere um Leistungstransistoren, für große Spannungshübe, wie sie im Rahmen der Netzsimulation erforderlich sind, nur eine geringe Stellgeschwindigkeit aufweisen, sodass die Vorgabe eines bestimmten Spannungsverlaufs regelmäßig dazu führt, dass im Großsignalbereich für die gewünschte Emulation die Schaltfrequenz der einzelnen Schalttransistoren überschritten werden müsste und dementsprechend der gewünschte bzw. für die Simulation erforderliche Spannungsverlauf nicht vorgegeben werden kann.

[0006] Der im Rahmen der Erfindung typische Anwendungsfall einer nicht vernachlässigbaren großen Netzimpedanz setzt jedoch voraus, dass die Netzspannung sehr rasch auf die Detektion der Entnahme eines Netzstroms reagiert. Vorzugsweise sollte erreicht werden, dass eine Netzsimulation schon in sehr kurzen Zeitspannen, die insbesondere kürzer sind als $500\sim\mu\text{s}$ (2kHz), reagiert.

[0007] Die Erfindung macht sich in diesem Zusammenhang auch den Umstand zu Nutze, dass Spannungsabfälle und Spannungsüberhöhungen, die im Rahmen des Nachstellens der Netzspannung gegenüber einer reinen Sinusnetzspannung erforderlich sind, in der Regel lediglich gering sind, d.h. Spannungsdifferenzen aufweisen, die je nach Anschluss- und Kurzschlussleistung typischerweise kleiner sind als 50%, insbesondere kleiner sind als 20%, der Netznennspannung.

[0008] Die Erfindung löst die eingangs gestellte Aufgabe mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1 bei einem Netzsimulator der eingangs genannten Art.

[0009] Die Erfindung löst die eingangs gestellte Aufgabe mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 9 bei einem Verfahren der eingangs genannten Art.

[0010] Erfindungsgemäß ist bei einem Netzsimulator vorgesehen, dass - eine Regeleinheit die dazu ausgebildet ist,

- einen Strommesswert für den Strom am Ausgang des Netzsimulators oder des Kleinsignalgenerators; insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, zu messen, und
- den Kleinsignalgenerator mit nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittel-

ten Strommesswert, gegebenenfalls auch von weiteren ermittelten Messwerten, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen anzusteuern.

[0011] Um eine besonders einfache und effiziente Regelung des Kleinsignalgenerators zu erreichen, kann vorgesehen sein, dass die Regeleinheit weiters dazu ausgebildet ist,
- einen Spannungsmesswert für die Spannung am Ausgang des Netzsimulators oder des Kleinsignalgenerators, insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, zu messen, und
- den Kleinsignalgenerator mit nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Strommesswert sowie vom ermittelten Spannungsmesswert, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen anzusteuern.

[0012] Um eine besonders einfache und effiziente Regelung des Großsignalgenerators zu erreichen, kann vorgesehen sein, dass eine weitere Regeleinheit für den Großsignalgenerator vorgesehen ist, die weiters dazu ausgebildet ist,
- einen Spannungsmesswert für die Spannung am Ausgang des Netzsimulators oder des Großsignalgenerators, insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, zu messen, und
- den Großsignalgenerator mit nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Strommesswert sowie vom ermittelten Spannungsmesswert, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen anzusteuern.

[0013] Um eine besonders stabile Koppelung der Regeleinheiten des Kleinsignalgenerators und des Großsignalgenerators zu erreichen, kann vorgesehen sein, dass die Regeleinheit und die weitere Regeleinheit synchronisiert sind und dazu ausgebildet sind, Spannungs- und Strommesswerte jeweils gleichzeitig zu messen und Steuersignale gleichzeitig vorzugeben.

[0014] Ein modularer Aufbau des Kleinsignalgenerators kann erreicht werden, indem dass die Regeleinheit ausschließlich zur Bestimmung von Strömen ausgebildet ist, die an Anschlüssen des Kleinsignalgenerators auftreten oder die an einzelnen Bauteilen des Kleinsignalgenerators auftreten, und/oder dass die Regeleinheit ausschließlich zur Bestimmung von Spannungen ausgebildet ist, die zwischen Anschlussknoten oder Knoten innerhalb des Kleinsignalgenerators auftreten.

[0015] Um zusätzlich Modifikationen im Großsignalbereich vornehmen zu können, beispielsweise die Netzfrequenz zu ändern oder größere Einbrüche der Netzspannung zu simulieren, kann vorgesehen sein, dass die Regeleinheit dazu ausgebildet ist, den Kleinsignalgenerator derart anzusteuern, dass die am Anschluss des Netzsimulators anliegende Spannung in vorgegebener Weise von dem am Anschluss des Netzsimulators fließenden Strom abhängt, insbesondere derart, dass der Netzsimulator wie eine Spannungsquelle mit der vorgegebenen Netznennspannung und einer dazu in Serie geschalteten Impedanz wirkt.

[0016] Dabei kann insbesondere vorgesehen sein, dass die weitere Regeleinheit dazu ausgebildet das vom Großsignalgenerator erstellte Großspannungssignal hinsichtlich einzelner Großsignal-Parameter vorzugeben, insbesondere die Amplitude und/oder die Frequenz des Großspannungssignals vorzugeben.

[0017] Eine vorteilhafte und mit geringem Aufwand einfach durchführbare Maßnahme zur Erstellung eines Großsignals sieht vor, dass der Großsignalgenerator durch ein vorgegebenes, insbesondere öffentliches Stromnetz, ausgebildet ist, wobei der Großsignalgenerator gegebenenfalls noch einen zusätzlichen, dem öffentlichen Stromnetz nachgeschalteten Gleichspannungszwischenkreis zur Stabilisierung der Wechselspannung im Spannungsbereich der Netznennspannung und im Frequenzbereich der Netznennfrequenz aufweist.

[0018] Zur einfachen und vorteilhaften Vorgabe von Kleinsignalen kann vorgesehen sein, dass
- zur Energieversorgung des Netzsimulators eine Gleichspannungsquelle vorgesehen ist,
- der Großsignalgenerator und der Kleinsignalgenerator jeweils einen Wechselrichter umfassen, und

- die galvanische Entkopplung von Großsignalgenerator und Kleinsignalgenerator dadurch erfolgt,
 - dass einer der Signalgeneratoren, insbesondere des Großsignalgenerators, an seinem Ausgang einen Transformator aufweist, dessen Primäranschluss an den Wechselrichter dieses Signalgenerators angeschlossen ist und dessen Sekundäranschluss den Ausgang des jeweiligen Signalgenerators bildet, und/oder
 - dass am Eingang eines der Signalgeneratoren, insbesondere des Kleinsignalgenerators, ein galvanisch getrennter, zumindest zweiquadrantenfähiger DC/DC-Wandler vorgesehen ist, der den Ausgang der Gleichspannungsquelle vom Wechselrichter des jeweiligen Signalgenerators galvanisch trennt.

[0019] Eine besonders vorteilhafte konkrete Ausbildung eines Netzsimulators, der mit lediglich einer einzigen externen Spannungsversorgung auskommt, sieht vor, dass zur Energieversorgung des Netzsimulators eine Gleichspannungsquelle vorgesehen ist,

- dass der Großsignalgenerator und der Kleinsignalgenerator jeweils einen Wechselrichter umfassen, wobei eine galvanische Entkopplung von Großsignalgenerator und Kleinsignalgenerator vorgesehen ist.

[0020] Zur galvanischen Trennung des Großsignalgenerators und des Kleinsignalgenerators können die beiden folgenden Maßnahmen vorgesehen sein:

- dass einer der Signalgeneratoren, insbesondere des Großsignalgenerators, an seinem Ausgang einen Transformator aufweist, dessen Primäranschluss an den Wechselrichter dieses Signalgenerators angeschlossen ist und dessen Sekundäranschluss den Ausgang des jeweiligen Signalgenerators bildet, und/oder
- dass am Eingang eines der Signalgeneratoren (11, 12), insbesondere des Kleinsignalgenerators (12), ein galvanisch getrennter, zumindest zweiquadrantenfähiger DC/DC-Wandler vorgesehen ist, der den Ausgang der Gleichspannungsquelle vom Wechselrichter des jeweiligen Signalgenerators galvanisch trennt.

[0021] Eine besonders einfache Implementierung der Wechselrichter sieht vor, dass der Wechselrichter des Großsignalgenerators und/oder des Kleinsignalgenerators durch eine Halbbrücke oder H-Brücke von der Regelungseinheit gesteuerter Leistungstransistoren realisiert ist.

[0022] Neben der einphasigen Realisierung ermöglicht die Erfindung auch die Erstellung eines Mehrphasennetzsimulators, der mit einer einzigen Gleichspannungsquelle auskommt. Will man einen solchen Mehrphasennetzsimulator mit nur einer einzigen Gleichspannungsquelle implementieren, kann zur Vermeidung von im Netzsimulator auftretenden Überlastungen vorgesehen sein, dass - wobei für jeden Phasenanschluss jeweils vorgesehen ist:

- ein Großsignalgenerator zur Erzeugung eines Großspannungssignals an seinem Ausgang, dessen Amplitude im Wesentlichen der Netznominalspannung entspricht, und
- ein Kleinsignalgenerator zur Erzeugung eines Kleinspannungssignals an seinem Ausgang, dessen Amplitude kleiner ist als 50 %, insbesondere kleiner als 25%, der Netznominalspannung,
- wobei die Ausgänge der einander zugeordneten Großsignalgeneratoren und Kleinsignalgeneratoren voneinander galvanisch entkoppelt sind,
- wobei jeweils ein Pol des Ausgangs des Großsignalgenerators an einen Pol des Ausgangs des jeweiligen Kleinsignalgenerators angeschlossen ist, wobei der andere Pol des Kleinsignalgenerators am Neutralleiter (N) angeschlossen ist und der jeweils andere Pol des Großsignalgenerators den Phasenausgang (L_1 , L_2 , L_3) bildet,
- wobei jeder Kleinsignalgenerator, gegebenenfalls auch jeder Großsignalgenerator, über zumindest einen Steuereingang zur Vorgabe zumindest eines Steuersignals verfügt, und wobei der Kleinsignalgenerator, gegebenenfalls auch der Großsignalgenerator, dazu ausgebildet ist, ein Spannungssignal an in Abhängigkeit von einem im Steuersignal enthaltenen Parameter, insbesondere der Amplitude und/oder der Frequenz zu erstellen,
- wobei für die einzelnen Kleinsignalgeneratoren eine oder jeweils eine Regeleinheit vorgesehen ist, die dazu ausgebildet ist,

- einen Strommesswert für den Strom am Ausgang des Netzsimulators oder eines Kleinsignalgenerators, insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, zu messen, und
- den Kleinsignalgenerator mit nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Strommesswert, gegebenenfalls auch von weiteren ermittelten Messwerten, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen anzusteuern.

[0023] Ein erfindungsgemäßes Verfahren sieht vor, dass

- ein Spannungsmesswert für die Spannung am Ausgang des Netzsimulators, insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, gemessen wird,
- ein Strommesswert für den Strom am Ausgang des Netzsimulators, insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, gemessen wird, und
- die Großsignal-Parameter und die Kleinsignal-Parameter nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Spannungsmesswert und Strommesswert, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten festgelegt werden.

[0024] Zur Simulation einer nicht verschwindenden bzw. relevanten Netzimpedanz kann vorgesehen sein, dass die Parameter des Kleinsignalgenerators derart angesteuert werden, dass die am Anschluss des Netzsimulators anliegende Spannung in vorgegebener Weise von dem am Anschluss des Netzsimulators fließenden Strom abhängt, insbesondere derart, dass der Netzsimulator wie eine Spannungsquelle mit der vorgegebenen Netznominalspannung und einer dazu in Serie geschalteten Impedanz wirkt

[0025] Zur Ansteuerung des Kleinsignalnetzsimulators kann insbesondere vorgesehen sein, dass die Kleinsignal-Parameter in Form von diskreten Spannungswerten für eine Anzahl von Zeitpunkten vorgegeben werden, wobei vorzugsweise während einer Signalperiode der Netznominalfrequenz über 10000 Spannungswerte vorgegeben werden, und/oder dass die Großsignal-Parameter in Form von diskreten Spannungswerten für eine Anzahl von Zeitpunkten vorgegeben werden, wobei vorzugsweise während einer Signalperiode der Netznominalfrequenz über 100 Spannungswerte vorgegeben werden.

[0026] Anhand der folgenden Zeichnungfiguren werden im Folgenden mehrere Ausführungsformen der Erfindung näher dargestellt:

- [0027]** Fig. 1 zeigt eine erste Ausführungsform der Erfindung bei einem einphasigen System.
- [0028]** Fig. 2 zeigt eine erste mögliche Ausbildung eines Gleichspannungszwischenkreises des Großspannungsgenerators.
- [0029]** Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform des Wechselrichters eines Großsignalgenerators mit Brückenschaltung.
- [0030]** Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform einer Regeleinheit für einen Großsignalgenerator.
- [0031]** Fig. 5 zeigt eine Ausführungsform eines DC/DC-Wandlers.
- [0032]** Fig. 6 zeigt eine erste mögliche Ausbildung eines Gleichspannungszwischenkreises des Kleinspannungsgenerators.
- [0033]** Fig. 7 zeigt eine Ausführungsform des Wechselrichters eines Kleinsignalgenerators mit Brückenschaltung.
- [0034]** Fig. 8 zeigt eine Ausführungsform einer Regeleinheit für einen Kleinsignalgenerator.
- [0035]** Fig. 9 zeigt eine bevorzugte Schaltung zur konkreten Realisierung eines solchen Mehrphasennetzsimulators im Überblick.
- [0036]** Fig. 10 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des Großsignalteils des in Fig. 9 dargestellten Mehrphasennetzsimulators.
- [0037]** Fig. 11 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des Großsignalteils des in Fig. 9 dargestellten Mehrphasennetzsimulators.

[0038] In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Netzsimulators 10 dargestellt. Der Netzsimulator 10 hat die Aufgabe, grundsätzlich ein Netz mit einer vorgegebenen Netznominalspannung und einer vorgegebenen Netznominalfrequenz bereitzustellen.

[0039] Dieser verfügt über einen Großsignalgenerator 11 und einen Kleinsignalgenerator 12. Sowohl der Großsignalgenerator 11 als auch der Kleinsignalgenerator 12 sind an eine Gleichspannungsquelle 13 angeschlossen. Die beiden Ausgänge des Großsignalgenerators 11 und des Kleinsignalgenerators 12 sind miteinander in Serie geschaltet und bilden den Ausgang des Netzsimulators 10.

[0040] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel handelt es sich bei der Gleichspannungsquelle 13 um eine symmetrische Gleichspannungsquelle, deren Ausgang einen Mittenanschluss m, einen positiven Pol + und einen negativen Pol - aufweist. Abhängig vom jeweiligen zu simulierenden Netz, wird zwischen dem positiven Pol + und dem Mittenanschluss m sowie zwischen dem Mittenanschluss m und dem negativen Pol - eine Zwischenkreisspannung in Form Gleichspannung gewählt, die etwa im Bereich der Spitzen-Netznominalspannung liegt.

[0041] Der an die Gleichspannungsquelle 13 angeschlossene Großsignalgenerator 11 umfasst im vorliegenden Ausführungsbeispiel einen Gleichspannungszwischenkreis 112 vorgesehen, deren Aufbau näher in Fig. 2 dargestellt ist. Der hier verwendete Gleichspannungszwischenkreis 112 weist einen Eingang und einen Ausgang mit jeweils drei Anschlüssen auf, nämlich jeweils einem positiven Pol, einem negativen Pol und einem Mittenanschluss. Der positive Pol, der negative Pol und der Mittenanschluss der Eingangsseite sind an die entsprechenden Anschlüsse der Gleichspannungsquelle 13 angeschlossen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die einzelnen Anschlüsse des Eingangs jeweils unmittelbar zum Ausgang des Gleichspannungszwischenkreises 112 geführt.

[0042] Zwischen dem positiven Pol + und dem Mittenanschluss m ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel die folgenden Elemente zueinander parallel geschaltet:

- ein Widerstand R_1
- einen Kondensator C_1
- eine Messeinheit $V_{m,1}$, deren Messergebnis als Ist-Wert für die weiter unten beschriebene Regelung von der Regeleinheit 116 (Fig. 1) verwendet werden kann.

[0043] Zwischen dem Mittenanschluss m und dem negativen Pol - ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel die folgenden Elemente zueinander parallel geschaltet:

- ein Widerstand R_2
- einen Kondensator C_2
- eine Messeinheit $V_{m,2}$, deren Messergebnis als Ist-Wert für die weiter unten beschriebene Regelung von der Regeleinheit 116 (Fig. 1) verwendet werden kann.

[0044] Die in Fig. 2 dargestellten Kapazitäten bzw. Widerstände sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel wie folgt dimensioniert:

[0045] $R_1 = 220\text{k}\Omega$

[0046] $R_2 = 220\text{k}\Omega$

[0047] $C_1 = 64\mu\text{F}$

[0048] $C_2 = 64\mu\text{F}$

[0049] Zweck des Gleichspannungszwischenkreises 112 ist es, die am Ausgang der Gleichspannungsquelle bzw. des Gleichspannungszwischenkreises 112 bzw. die am Eingang des der Gleichspannungszwischenkreises 112 nachgeschalteten Wechselrichters 113 möglichst konstant zu halten, damit am Ausgang des Wechselrichters 113 eine möglichst präzise Vorgabe von Spannungswerten erfolgen kann.

[0050] Dem Gleichspannungszwischenkreis 112 ist ein Wechselrichter 113 nachgeschaltet, der in Fig. 3 näher dargestellt ist. Der Wechselrichter 113 verfügt im Wesentlichen über zwei steuerbare Leistungstransistoren 113a, 113b, die zueinander in Serie geschaltet sind.

[0051] Dabei umfasst der Wechselrichter 113 des Großsignalgenerators 11 zwei Leistungstransistoren 113a, 113b. Der erste Schalteingang des ersten Leistungstransistors 113a ist an den positiven Pol bzw. Eingang des Wechselrichters 112 angeschlossen. Der zweite Schalteingang des zweiten Leistungstransistors 113b ist an den negativen Pol bzw. Eingang des Wechselrichters 112 angeschlossen. Die anderen beiden Anschlüsse der beiden Leistungstransistoren 113a, 113b sind miteinander verbunden und über eine Induktivität L_1 , die im vorliegenden Fall 0,340 mH aufweist, an den Ausgang Out+ des Wechselrichters 113 geführt. Bei den beiden Leistungstransistoren 113a, 113b handelt es sich beispielsweise um Silizium-, Silizium-Karbid oder Gallium-Nitrid MOSFETs oder IGBT (insulated gate bipolar transistor).

[0052] Die beiden Steuereingänge der Leistungstransistoren 113a, 113b sind von einer Regeleinheit 116, wie später näher beschrieben, gesteuert (Fig. 4). Darüber hinaus weist der Wechselrichter 113 in dieser vorliegenden Ausführungsform eine zwischen dem positiven Pol + des Eingangs und dem Ausgang Out+ liegende Serienschaltung auf, die zwei Kondensatoren C_3 , C_4 umfasst.

[0053] Weiters weist der Wechselrichter 113 eine zwischen dem negativen Pol - des Eingangs und dem Ausgang Out+ liegende Serienschaltung auf, die zwei Kondensatoren C_5 , C_6 umfasst.

[0054] Die in Fig. 3 dargestellten Kapazitäten bzw. Widerstände sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel wie folgt dimensioniert:

[0055] $C_3 = 520\text{nF}$

[0056] $C_4 = 520\text{nF}$

[0057] $C_5 = 520\text{nF}$

[0058] $C_6 = 520\text{nF}$

[0059] $L_1 = 0,340\text{ mH}$

[0060] Die beiden Kondensatoren C_4 und C_6 werden im vorliegenden Fall dazu verwendet, die an den einzelnen Kondensatoren auftretenden Spannungen zu reduzieren und können gegebenenfalls weggelassen werden, wenn jeweils ein Kondensator mit passender Spannungsfestigkeit verwendet wird.

[0061] Weiters weist der Wechselrichter 113 eine Anzahl von Spannungs- und Strommeseinrichtungen auf, die dazu ausgebildet sind, die folgenden Spannungen und Ströme zu messen:

- Die Spannungsmesseinheit $V_{m,1}$ misst die Spannung V_1 zwischen dem Mittenanschluss m und dem Ausgang Out+.
- Die Spannungsmesseinheit $V_{m,2}$ misst die Spannung V_2 zwischen positiven Pol + und dem Ausgang Out+.
- Die Spannungsmesseinheit $V_{m,3}$ misst die Spannung V_G zwischen negativen Pol und dem Ausgang Out+.
- Die Strommeseinheit $A_{m,1}$ misst den Strom I_1 durch die zwischen dem positiven Pol + des Eingangs und dem Ausgang Out+ liegende Serienschaltung der Kondensatoren C_1 , C_2 .
- Die Strommeseinheit $A_{m,2}$ misst den Strom I_2 durch die zwischen dem negativen Pol - des Eingangs und dem Ausgang Out+ liegende Serienschaltung der Kondensatoren C_3 , C_4 .
- Die Strommeseinheit $A_{m,3}$ misst den Strom durch die Induktivität L_3 , bzw den vom Wechselrichter 113 abgegebenen Strom I_G .

[0062] Die Ausgangsseite des Wechselrichters 113 bilden der bereits genannte Ausgang Out+ sowie der Mittenanschluss m. Durch Ansteuerung der beiden Steuereingänge der Leistungstransistoren 113a, 113b kann die Spannung am Ausgang des Wechselrichters, dh zwischen dem Ausgang Out+ und dem Mittenanschluss m vorgegeben werden.

[0063] Wie bereits zuvor erwähnt, steuert die Regeleinheit 116 daraufhin die einzelnen Steuereingänge der Signalgeneratoren 11, 12 bzw. deren Wechselrichter 113, 123 an, um bestimmte

Netzsituationen näher zu simulieren. Typischerweise erstellen die einzelnen in diesem Zusammenhang verwendeten Messgeräte periodisch zu vorgegebenen Zeitpunkten, insbesondere auch synchron und gegebenenfalls getaktet, jeweils Messwerte, die anschließend der Regeleinheit 16 zugeführt sind. Die Regeleinheit 16 ist beispielsweise dazu ausgebildet, diese periodisch einlangenden Messsignale jedenfalls zu wiederkehrenden Zeitpunkten weiterzuverarbeiten und die einzelnen, den Wechselrichtern vorgegebenen Steuerparametern derart einzustellen, dass die zu simulierende Netzsituation erzeugt wird.

[0064] Insbesondere werden die für die Regelung erforderlichen Spannungs- und Strommesswerte des Großsignalgenerators 11, zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, gemessen. Die Regeleinheit 126 steuert anschließend den Großsignalgenerator 11 mit nach einem der vorstehend genannten Kriterien in Abhängigkeit von den ermittelten Messwerten, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen an.

[0065] Die Messung der einzelnen Spannungs- und Stromwerte erfolgt durch die Regeleinheit 116 in regelmäßigen zeitlichen Abständen. Bei einer vorgegebenen Bandbreite, die etwa dem 40fachen der Netznennfrequenz, beispielsweise also von etwa 2 kHz liegt, werden etwa 200000 Werte pro Sekunde, dh 100 Werte pro Periodendauer einer durch die maximale Bandbreite festgelegten Schwingung ermittelt. Der Regler erstellt nach der Ermittlung der betreffenden Messwerte auch Steuersignale auch mit derselben Frequenz, dh etwa 200000 Steuersignale pro Sekunde.

[0066] Die Regeleinheit 116 des Großsignalgenerators 11 weist in der in Fig. 4 dargestellten Ausführungsform Anschlüsse für die beiden ermittelten Ströme I_1 , I_2 , für die Spannung am Ausgang des Wechselrichters 113 sowie für eine vorgegebene Sollspannung V_G^* auf, die den Soll-Spannungsverlauf am Ausgang des Großsignalgenerators vorgibt. Dieser Soll-Spannungsverlauf V_G^* wird im Wesentlichen durch die Netznennspannung sowie die Netznennfrequenz bestimmt und kann aufgrund vorgegebener Testkriterien abweichend vorgegeben werden.

[0067] Ausgehend von den im Gleichspannungszwischenkreis 122 des Kleinsignalgenerators (Fig. 2) ermittelten Spannungen V_{Z1} , V_{Z2} wird ein Normierungsfaktor nf ermittelt, der als Bezugsgröße für die Spannung am Ausgang des Kleinsignalgenerators V_K sowie für die Sollspannung V_K^* dient.

[0068] In den beiden Multiplikationselementen 501, 502 werden der Spannungswert V_G am Ausgang des Wechselrichters 113 des Großsignalgenerators 11 sowie die Sollspannung V_G^* jeweils mit dem Normierungsfaktor nf gewichtet. Die beiden so erhaltenen Ergebnisse werden in der Differenzbildungseinheit 503 voneinander abgezogen. Der so erhaltene Differenzwert wird anschließend einem PI-Glied 504 zugeführt, das wie folgt dimensioniert ist. $KP=0,25$, $KI=16000$ $Ts=5\mu s^1$. Der Ausgang des PI-Glieds ist der Differenzbildungseinheit 508 zugeführt.

[0069] Die beiden ermittelten Ströme I_1 , I_2 an den Kondensatoren C_3 , C_4 bzw C_5 , C_6 sind dem Addierer 505 zugeführt, dessen Ausgang einer Dämpfungseinheit 506 zugeführt ist. Die Dämpfungseinheit emuliert einen Serienwiderstand zur Filterspule und verhält sich damit bei der Resonanzfrequenz des Filters dämpfend. Der Ausgang der Dämpfungseinheit 506 wird mit dem Multiplikationselement 507 mit dem Normierungsfaktor nf gewichtet. Der so erhaltene Wert, der am Ausgang des Multiplikationselements 507 anliegt, ist der Differenzbildungseinheit 508 zugeführt.

[0070] Das von der Differenzbildungseinheit 508 ermittelte Resultat wird ebenso wie der Ausgang des Multiplikationselements 502 einer Additionseinheit 509 zugeführt. Dem so von durch Addition mittels Additionseinheit 509 erhaltenen Wert wird in einer weiteren Additionseinheit 510 ein vorgegebener konstanter Wert c ($c=0,5$) hinzugezählt, damit der PWM Modulation nur positive Werte im Bereich von 0 -1 zugeführt werden.

[0071] Der Ausgang der Additionseinheit 510 ist einer Schaltung 511 mit Sättigungswirkung zugeführt, deren Aufgabe es ist, die am Ausgang der Additionseinheit 510 anliegende Stellgröße in ihrer Größe zu beschränken, da die für die PWM Modulation nur der Wertebereich 0-1

zulässig ist..

[0072] Die so errechnete Stellgröße wird anschließend einer Pulsweitenmodulation 512 zugeführt um die Leistungstransistoren 113a, 113b des Großsignalgenerators 11 mit den Steuersignalen s_a , s_b anzusteuern. Die von der Pulsweitenmodulation 512 bereitgestellten Steuersignale s_a , s_b sind dabei jeweils gegengleich angesteuert.

[0073] Der Großsignalgenerator 11 umfasst weiters noch einen Transformator 114 (Fig. 1), dessen Primärseite an den Ausgang des Wechselrichters 113 des Großsignalgenerators 11 angeschlossen ist und dessen Sekundärseite den Ausgang des Großsignalgenerators 11 bildet.

[0074] In einer separaten Schaltanordnung ist der Gleichspannungsquelle 13 ein Kleinsignalgenerator 12 nachgeschaltet, der über einen zwei- oder vierquadrantenfähigen DC/DC-Konverter 121, einen Gleichspannungszwischenkreis 122 sowie einen Wechselrichter 123 verfügt.

[0075] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird ein zweiquadrantfähiger DC/DC-Konverter 121 verwendet, der in Fig. 5 näher dargestellt ist. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel weist der Eingang zwei Anschlüsse auf, die an die beiden Pole + und - des Gleichstromgenerators 13 angeschlossen sind. Der Ausgang des DC/DC-Konverters 121 weist drei Anschlüsse, nämlich einen positiven Pol DC^+ einen negativen Pol DC^- und einen Mittenanschluss m auf. Im vorliegenden Beispiel weist die Spannung zwischen den beiden Polen DC^+ und DC^- einen Wert von etwa 100V auf, zwischen den Polen DC^+ und DC_m etwa 50V.

[0076] Bei dieser Ausführungsform der Erfindung handelt es sich um eine Brückenschaltung umfassend insgesamt vier Leistungstransistoren, von denen jeweils zwei in Serie geschaltet sind, wobei diese beiden Serienschaltungen der Leistungstransistoren zwischen dem positiven und negativen Eingang des Wechselrichters angeschlossen sind. Die beiden Mittenpunkte der Serienschaltungen der Leistungstransistoren sind jeweils über eine Induktivität zu jeweils einem der Ausgänge des Wechselrichters geführt, wobei einer dieser Ausgänge einen Mittenanschluss und der andere einen positiven Pol bildet. Der negative Ausgangspol entspricht bei dieser Ausführungsform dem negativen Eingangspol des Wechselrichters.

[0077] Der DC/DC-Konverter 121 verfügt dabei über eine Anzahl von Schalttransistoren 31a, 31b; 32a, 32b. Diese sind dabei in Serie geschaltet, die beiden Serienschaltungen der Leistungstransistoren 31a, 31b; 32a, 32b liegen dabei am positiven Pol + bzw negativen Pol - an. Die Steuereingänge der Leistungstransistoren 31a, 31b; 32a, 32b sind von einer Steuereinheit 129 gesteuert, die durch Abgabe von Steuerimpulsen bzw durch Einstellung eines Tastverhältnisses ein jeweils pulswertenmoduliertes Signal erstellt, das zwischen den jeweils in Serie geschalteten Schalttransistoren 31a, 31b; 32a, 32b anliegt. Das pulswertenmodulierte Signal wird jeweils über eine Spule L_2 , L_3 zu den Spannungsausgängen DC^+ bzw DC_m des DC/DC-Konverters 121 geleitet. Die Ausgänge sind jeweils über einen Kondensator C mit dem negativen Pol - verbunden, der auch an den Ausgang des DC/DC-Konverters 121 geführt ist.

[0078] Zur Ansteuerung der Schalttransistoren wird eine Steuereinheit 129 verwendet, der auch noch die Messergebnisse einer Anzahl von Strom- und Spannungsmesseinheiten zugeführt ist. Dabei wird mit einzelnen Messeinheiten $V''_{m,1}$, $V''_{m,2}$, $V''_{m,3}$, $A''_{m,1}$, $A''_{m,2}$ einzelne Ströme und Spannungen gemessen und die so erhaltenen Messwerte der Steuereinheit 129 zugeführt. Aufgrund der ermittelten Ströme und Spannungen kann die Steuereinheit für die Schalttransistoren eine Ansteuerung ermitteln, mit denen die Spannungen an den Ausgängen DC^+ , DC_m einen möglichst konstanten, vorgegebenen Wert aufweisen.

[0079] Dem DC/DC-Konverter 121 ist ein Gleichspannungszwischenkreis 122 nachgeschaltet, die im Wesentlichen dem Gleichspannungszwischenkreis 112 des Großsignalgenerators 11 entspricht und in Fig. 6 dargestellt ist.

[0080] Der Gleichspannungszwischenkreis 122 ist ein Wechselrichter 123 (Fig. 7) nachgeschaltet, dessen Aufbau im Wesentlichen dem Aufbau des Wechselrichters 113 des Großsignalgenerators 11 (Fig. 3) entspricht. Wiederum werden die beiden Kondensatoren C_4 und C_6 im vorlie-

genden Fall dazu verwendet, die an den einzelnen Kondensatoren auftretenden Spannungen zu reduzieren und können gegebenenfalls weggelassen werden, wenn jeweils ein Kondensator mit passender Spannungsfestigkeit verwendet wird.

[0081] Aufgrund der eingesetzten schnellschaltenden (hohe Spannungssteilheit) Leistungstransistoren ist der Wechselrichters 123 dazu in der Lage, raschere Umschaltungen vorzunehmen und höherfrequente Signale an seinem Ausgang zur Verfügung zu stellen als der Wechselrichter 113 des Großsignalgenerators 11. Der Ausgang des Wechselrichters 123 bildet den Ausgang des Kleinsignalgenerators 12.

[0082] Die Regeleinheit 126 des Kleinsignalgenerators 12 weist im einfachsten Fall eine einzige Strommesseinheit 15 auf, die den durch den am Ausgang des Kleinsignalgenerators 12 fließenden Strom I_K ermittelt und ausgehend von diesem ermittelten Stromwert einen Spannungswert V_K' ermittelt, der eine Ausgangsspannung vorgibt, die am Ausgang des Kleinsignalgenerators 12 anliegen soll. Im einfachsten Fall kann auf diese Weise ein Zusammenhang zwischen Strom und Spannung am Kleinsignalgenerator hergestellt werden und derart eine, lineare oder nichtlineare Impedanz simuliert werden.

[0083] Darüber hinaus ist es auch möglich, dass der Kleinsignalgenerator auf Basis der bisher ermittelten Stromwerte sowie der bisher vorgegebenen Spannungswerte zeitliche Änderungsraten bzw. Ableitungen ermittelt und auf Grundlage dieser Werte nach vorgegebenen Kriterien einen Spannungswert ermittelt. Dabei kann beispielsweise das Verhalten einer linearen oder nichtlinearen Impedanz simuliert werden.

[0084] Eine weitere Verbesserung kann erzielt werden, indem neben dem durch den Kleinsignalgenerator 12 fließenden Strom I_K zusätzlich noch die am Kleinsignalgenerator 12 anliegende Spannung U_K gemessen wird. In diesem Fall kann der Kleinsignalgenerator 12 eine Regelung dahingehend vornehmen, dass die von ihm vorgegebenen Steuersignale tatsächlich am Ausgang des Kleinsignalgenerators 12 eine Spannung bewirken, die der vorgegebenen Spannung entspricht. Zudem können mit einer Spannungsmesseinheit am Ausgang des Kleinsignalgenerators 12 zeitliche Ableitungen der ermittelten Spannung genauer berechnet werden, da diese nicht den konkret ermittelten Spannungen und nicht den vom Kleinsignalgenerator 12 vorgegebenen Spannungen entsprechen.

[0085] Schließlich ist es auch noch möglich, zur präziseren Steuerung des vom Kleinsignalgenerator 12 abgegebenen Spannungssignals weitere separate Messeinheiten vorzusehen, wie dies beispielsweise in Fig. 3 gezeigt ist. Wie hier ersichtlich ist, werden die durch die beiden Kondensatoren C_3, C_4, C_5, C_6 fließende Ströme I_1, I_2 sowie die an den beiden Serienschaltungen von Kondensatoren C_3, C_4, C_5, C_6 anliegenden Spannungen V_1, V_2 sowie die am Ausgang des Kleinsignalgenerators 12 anliegende Spannung V_K gemessen. Die von der Regeleinheit 126 vorgenommene Regelungsfunktion ist schematisch in Fig. 8 dargestellt.

[0086] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel kann zur Regelung eine Soll-Ausgangsspannung V_K^* vorgegeben werden, die in dem Fall, dass kein Strom durch den Kleinsignalgenerator 12 fließt, am Ausgang des Kleinsignalgenerators 12 anliegt. Sofern die Soll-Ausgangsspannung gleich null sein soll, können die Komponenten in Fig. 8 dargestellten Komponenten 604, 605, 611 entfallen.

[0087] In einem ersten Schritt wird der am Ausgang des Kleinsignalgenerators 12 gemessene Strom I_K einem PDT₁-Element 601 zugeführt, das im vorliegenden Fall wie folgt dimensioniert ist $KP=Rv=1$ $KD=800e-6$, $T=1,59e-5$, wobei in diesem Fall beispielsweise ein Widerstand mit $R=1 \Omega$ sowie eine Induktivität mit $L=800 \text{ pH}$ emuliert wird. Der daraus erhaltene Wert wird anschließend im Additionselement 602 zu der am Ausgang des Kleinsignalgenerators 12 gemessenen Spannung addiert.

[0088] Ausgehend von den im Gleichspannungszwischenkreis 122 des Kleinsignalgenerators (Fig. 2) ermittelten Spannungen V_{Z1}, V_{Z2} wird ein Normierungsfaktor nf ermittelt, der als Bezugsgröße für die Spannung am Ausgang des Kleinsignalgenerators V_K sowie für die Sollspannung V_K^* dient. In den beiden Multiplikationselementen 603, 604 werden der Spannungswert

am Ausgang des Additionselements 602 sowie die Sollspannung jeweils mit dem Normierungsfaktor gewichtet. Die beiden so erhaltenen Ergebnisse werden in der Differenzbildungseinheit 605 voneinander abgezogen. Der so erhaltene Differenzwert wird anschließend einem PI-Glied 606 zugeführt, das wie folgt dimensioniert ist. <Bitte angeben> Der Ausgang des PI-Glieds ist der Differenzbildungseinheit 610 zugeführt.

[0089] Die beiden ermittelten Ströme I_1 , I_2 an den Kondensatoren C_3 , C_4 bzw. C_5 , C_6 sind dem Addierer 607 zugeführt, dessen Ausgang einer Dämpfungseinheit 608 zugeführt ist. Die Dämpfungseinheit emuliert einen Serienwiderstand zur Filterspule und verhält sich damit bei der Resonanzfrequenz des Filters dämpfend. Der Ausgang der Dämpfungseinheit 608 wird mit dem Multiplikationselement 609 mit dem Normierungsfaktor n_f gewichtet. Der so erhaltene Wert, der am Ausgang des Multiplikationselements 609 anliegt, ist der Differenzbildungseinheit 610 zugeführt.

[0090] Das von der Differenzbildungseinheit 610 ermittelte Resultat wird ebenso wie der Ausgang des Multiplikationselements 604 einer Additionseinheit 611 zugeführt. Dem so erhaltenen Wert wird in einer weiteren Additionseinheit 612 ein vorgegebener konstanter Wert ($c=0,5$) hinzugezählt, damit der PWM Modulation nur positive Werte im Bereich von 0 - 1 zugeführt werden.

[0091] Der Ausgang der Additionseinheit 612 ist einer Schaltung mit Sättigungswirkung zugeführt, deren Aufgabe es ist, die am Ausgang der Additionseinheit anliegende Stellgröße in ihrer Größe zu beschränken, da die für die PWM Modulation nur der Wertebereich 0-1 zulässig ist.

[0092] Die so errechnete Stellgröße wird anschließend einer Pulsweitenmodulation 614 zugeführt um die Leistungstransistoren 123a, 123b des Kleinsignalgenerators 12 mit den Steuersignalen s'_a , s'_b anzusteuern. Die von der Pulsweitenmodulation 614 bereitgestellten Steuersignale s'_a , s'_b sind dabei jeweils gegengleich angesteuert.

[0093] Die Messung der einzelnen Spannungs- und Stromwerte erfolgt durch die Regeleinheit 126 - wie auch bei der Regeleinheit 116 des Großsignalgenerators 11 - in regelmäßigen zeitlichen Abständen, jedoch ist zu beachten, dass der Kleinsignalgenerator typischerweise viel schnellere Reaktionszeiten erreichen kann.

[0094] Insbesondere werden die für die Regelung erforderlichen Spannungs- und Strommesswerte des Kleinsignalgenerators 12, insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, gemessen. Die Regeleinheit 126 steuert anschließend dem Kleinsignalgenerator 12 mit nach einem der vorstehend genannten Kriterien an Abhängigkeit von den ermittelten Messwerten, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen an.

[0095] Bei einer vorgegebenen Bandbreite, die etwa dem 40fachen der Netznennfrequenz, beispielsweise also von etwa 2 kHz liegt, werden etwa 200000 Werte pro Sekunde, dh 100 Werte pro Periodendauer einer durch die maximale Bandbreite festgelegten Schwingung ermittelt. Der Regler erstellt nach der Ermittlung der betreffenden Messwerte auch Steuersignale auch mit derselben Frequenz, dh etwa 200000 Steuersignale pro Sekunde.

[0096] Die Regelung wird stabiler, wenn die Regeleinheiten 116, 126 des Klein- und des Großsignalgenerators miteinander synchronisiert sind. Die beiden Regeleinheiten 116, 126 sind dabei vorzugsweise dazu ausgebildet, Spannungs- und Strommesswerte jeweils gleichzeitig zu messen und Steuersignale gleichzeitig vorzugeben.

[0097] Besonders vorteilhaft ist es im Rahmen der Erfindung, insbesondere zur Erreichung eines modularen Aufbaus, auch möglich, eine Regeleinheit 126 des Kleinsignalgenerators 12 auszubilden, die ausschließlich Spannungs- und Strommesswerte innerhalb der Schaltung des Kleinsignalgenerators abgreift. Die Regeleinheit 126 ist dabei ausschließlich zur Bestimmung von Strömen ausgebildet, die an Anschlüssen des Kleinsignalgenerators 12 auftreten oder die an einzelnen Bauteilen des Kleinsignalgenerators auftreten. Ebenso kann die Regeleinheit 126 ausschließlich zur Bestimmung von Spannungen ausgebildet sein, die zwischen Anschlusskno-

ten oder Knoten innerhalb des Kleinsignalgenerators 12 auftreten.

[0098] Eine im Zusammenhang mit der Erfindung besonders bevorzugte zu simulierende Netz-situation kann darin bestehen, dass die Regeleinheit den Kleinsignalgenerator 12 gegebenenfalls auch den Großsignalgenerator 11 derart ansteuert, dass die am Anschluss des Netzsimulators 10 anliegende Spannung in vorgegebener Weise von dem am Anschluss des Netzsimulators 10 fließenden Strom abhängt. Diese Abhängigkeit kann besonders bevorzugt durch die Vorgabe einer Netzimpedanz beschrieben werden. Dies bedeutet, dass das vom Netzsimulator 10 erzeugte Netz eine Wirkung aufweisen soll, die der Wirkung einer idealen Wechselspannungsquelle, an die eine vorgegebene Impedanz angeschlossen ist, möglichst nahe kommt.

[0099] Bei der Impedanz kann es sich grundsätzlich um jede im Rahmen der Simulation benötigte Impedanz handeln, wobei vorteilhafterweise gewährleistet werden kann, dass sämtliche im Zusammenhang mit der Regelung erforderlichen Steuermaßnahmen ausschließlich durch Ansteuerung des Wechselrichters 123 des Kleinsignal-Netzgenerators 12 erreicht werden.

[00100] Soll beispielsweise ein reales, fehlerhaftes zweiphasiges Netz simuliert werden, das eine relativ hohe Impedanz aufweist, so kann beispielsweise der Großsignalgenerator 11 auf die Netznennspannung gesetzt werden und alle durch den Stromfluss bedingten Änderungen der Spannung durch Änderung der Spannung des Kleinsignalgenerators 12 erzeugt werden. Zu diesem Zweck wird der von der Strommesseinrichtung 15 ermittelte Strom gemessen und abhängig davon jeweils ein Spannungsabfallwert ermittelt, der dem ermittelten Stromwert, multipliziert mit einem vorgegebenen Widerstand entspricht. Aufgrund der Ansteuerung des Kleinsignalgenerators 12 auf die vorgegebene Weise wird ein Spannungsmesswert am Ausgang des Netzsimulators 10 ermittelt, der der idealen Netznennspannung des Großsignalgenerators 11 abzüglich der stromabhängigen Spannung am Kleinsignalgenerator 12 entspricht.

[00101] Darüber hinaus können auch noch andere Netzmodelle simuliert werden, wie beispielsweise Fälle von zusätzlichen oder alleine vorliegenden kapazitiven oder induktiven Lasten. Die Netzmodelle können entweder direkt in der internen Regelung definiert werden oder mit Hilfe externer Regeleinheiten nachgebildet werden.

[00102] An den beiden Ausgängen des Netzsimulators 10 können grundsätzlich unterschiedliche Geräte angeschlossen werden, die konkret einem Test unterzogen werden sollen, für welchen die Netzsimulation benötigt wird. Dabei kann es sich beispielsweise um Wechselrichter, wie sie im Bereich von Photovoltaikanlagen üblich sind, handeln oder um Verbraucher oder Generatoren mit zugehörig leistungselektronischer Beschaltung, deren Verhalten bei ungewöhnlichen Netzsituationen überprüft werden soll.

[00103] Sowohl der Großsignalgenerator 11 als auch die Kleinsignalgenerator 12 weisen im vorliegenden Ausführungsbeispiel jeweils voneinander verschiedene Regeleinheiten 116, 126 auf.

[00104] Alle von den einzelnen Spannungs- bzw. Strommesseinrichtungen erstellten Messwerte können an die Regeleinheit 16 weitergeleitet werden. Diese verarbeitet die Messwerte und erstellt nach vorgegebenen Simulationskriterien Steuerparameter für den Großsignalgenerator 11 und den Kleinsignalgenerator 12. Im vorliegenden Fall handelt es sich bei den Steuerparametern um die, auch als Großsignal-Parameter bezeichneten, beiden Spannungswerte am Eingang der Leistungstransistoren 113a, 113b des Wechselrichters 113 des Großsignalgenerators 11 und die, auch als Kleinsignal-Parameter bezeichneten, beiden entsprechenden Spannungswerte am Eingang der Steuertransistoren des Wechselrichters 123 des Kleinsignalgenerators 12.

[00105] In Fig. 9 bis 11 ist eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Netzsimulators 20 zur Simulation eines Dreiphasennetzes näher dargestellt. Wie auch bei der ersten Ausführungsform der Erfindung wird eine Gleichspannungsquelle 23 verwendet, deren Aufbau auch dem Aufbau der Gleichspannungsquelle 13 entspricht.

[00106] Der Aufbau des Großsignalgenerators 22 (Fig. 10) entspricht auch in weiten Teilen

dem Aufbau des Großsignalgenerators 12 der in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsform der Erfindung.

[00107] Anstelle des einer einzigen Wechselrichteranordnung mit den beiden Leistungstransistoren 213a, 213b umfasst der Wechselrichter in dieser Ausführungsform der Erfindung drei Paare von Wechselrichtern 2131a, 2131b; 2132a, 2132b; 2133a, 2133b, die paarweise in Serie geschaltet sind wobei die jeweiligen Enden der Serienschaltung jeweils an den positiven bzw negativen Pol +, - angeschlossen sind. Die anderen beiden Anschlüsse jedes der Paare von Leistungstransistoren 2131a, 2131b; 2132a, 2132b; 2133a, 2133b sind paarweise miteinander verbunden und über jeweils eine Induktivität L_1 , L_2 , L_3 , an jeweils einen Phasenausgang OutL1, OutL2, OutL3 des Wechselrichters 213 geführt. Der Mittenanschluss ist ebenfalls an den Ausgang des Wechselrichters 213 geführt und bildet den Neutralleiterausgang OutN.

[00108] Der Großsignalgenerator 21 umfasst für jede Phase jeweils einen separaten Transformator 2141, 2142, 2143. An die Primärseite jedes der Transformatoren 2141, 2142, 2143 sind jeweils der Neutralleiterausgang OutL sowie jeweils einer der Phasenausgänge OutL1, OutL2, OutL3 angeschlossen. Die einzelnen Anschlüsse der Sekundärseite der Transformatoren bilden insgesamt den Ausgang des Großsignalgenerators 21.

[00109] Auch der Kleinsignalgenerator 22 des Mehrphasennetzsimulators 20 ist ähnlich aufgebaut wie bei der ersten, in den Fig. 1 bis Fig. 4 dargestellten Ausführungsform der Erfindung. Sowohl der DC/DC-Wandler 221 als auch der Gleichspannungszwischenkreis 222 entsprechen dem im ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendeten DC/DC-Wandler 121 bzw Gleichspannungszwischenkreis 122.

[00110] Dem Gleichspannungszwischenkreis 222 nachgeschaltete Wechselrichter 223 des Kleinsignalgenerators 22 entspricht in seinem grundsätzlichen Aufbau dem Wechselrichter 213 des Großsignalgenerators 21. Insbesondere weist er einen Neutralleiterausgang N bzw Sternpunkt sowie eine der Anzahl der verwendeten Phasen entsprechende Anzahl von Phasenausgängen L_1 , L_2 , L_3 auf.

[00111] Der Neutralleiterausgang N des Kleinsignalgenerators 21 bilden den Neutralleiterausgang N des Netzsimulators 20. Die einzelnen Phasenausgänge L_1 , L_2 , L_3 sind an die Sekundärseite jeweils eines der Transformatoren am Ausgang des Großsignalgenerators angeschlossen. Die Summe der Spannung V_{G1} am Ausgang eines Transformators 2141 des Großsignalgenerators 21 sowie der Spannung V_{k1} zwischen einem Phasenausgang L1 des Kleinsignalgenerators 22 und dem Neutralleiterausgang N des Kleinsignalgenerators 22 bilden zusammen jeweils eine der Phasenspannungen V_1 des Netzsimulators 20.

[00112] Ebenso bildet die Summe der Spannung V_{G2} am Ausgang des zweiten Transformators 2142 des Großsignalgenerators 21 sowie der Spannung V_{k2} zwischen dem zweiten Phasenausgang L2 des Kleinsignalgenerators 22 und dem Neutralleiterausgang N des Kleinsignalgenerators 22 zusammen jeweils die zweite Phasenspannung V_2 des Netzsimulators 20.

[00113] Ebenso bildet die Summe der Spannung V_{G3} am Ausgang des dritten Transformators 2143 des Großsignalgenerators 21 sowie der Spannung V_{k3} zwischen dem dritten Phasenausgang L3 des Kleinsignalgenerators 22 und dem Neutralleiterausgang N des Kleinsignalgenerators 22 zusammen jeweils die dritte Phasenspannung V_3 des Netzsimulators 20.

[00114] In allen vorstehend genannten Ausführungsformen der Erfindung wurde eine galvanische Trennung mittels eines Transformators bewirkt.

[00115] Diese Trennung bewirkt, dass die erzeugten Groß- und Kleinsignale mit demselben Spannungsgenerator 13, 23 erzeugt werden, jedoch durch Serienschaltung addiert werden können, ohne dass aufgrund desselben Bezugspotentials Kurzschlüsse auftreten.

[00116] Anstelle eines Transformators kann auch alternativ ein galvanisch getrennter zwei-quadrantenfähiger DC/DC-Konverter verwendet werden. Dabei ist es zur Entkoppelung alternativ ebenso möglich, nur den Kleinsignalgenerator 12, 22 von der Gleichspannungsquelle 13, 23

durch einen isolierten DC/DC-Wandler 121, 221 zu trennen. Die Transformatoren am Ausgang des Großsignalgenerators 11, 21 können in diesem Fall entfallen.

[00117] Ebenso ist es ausreichend, wenn die Ausgänge des Kleinsignalgenerators 12, 22 und des Großsignalgenerators 11, 21 voneinander, wie hier durch Transformatoren 114, 2141, 2142, 2143 getrennt sind, ohne dass ein isolierter DC/DC-Wandler 121, 221 vorgesehen werden braucht.

[00118] Eine weitere Möglichkeit der gegenseitigen galvanischen Entkopplung von Großsignal- und Kleinsignalgeneratoren kann darin bestehen, als Großsignalgenerator unmittelbar ein zur Verfügung stehendes öffentliches Netz zu verwenden und den Kleinsignalgenerator durch eine davon getrennte Energiequelle, beispielsweise batteriebetrieben, zu speisen oder den Kleinsignalgenerator über einen galvanisch entkoppelten AC/DC-Wandler zu betreiben.

[00119] Weiters ist es bei allen dargestellten Ausführungsformen der Erfindung möglich, dass der Großsignalgenerator anstelle eines Wechselrichters lediglich in den Spannungsanschlüssen eines öffentlichen Stromnetzes besteht, dem gegebenenfalls ein Gleichspannungszwischenkreis 112 nachgeschaltet ist. In diesem Fall besteht die Aufgabe des Gleichspannungszwischenkreises 112 darin, die vom öffentlichen Netz abgegebene Wechselspannung zu stabilisieren und ein möglichst störungsfreies bzw. ideales Großspannungssignal zur Verfügung zu stellen, das einer möglichst idealen Sinusspannung mit einer vorgegebenen Netznennspannung und Netznennfrequenz entspricht.

Patentansprüche

1. Netzsimulator (10) zum Testen von an ein Wechselspannungsnetz mit einer vorgegebenen Netznominalspannung und Netznominalfrequenz anschließbaren Geräten, insbesondere Wechselrichtern, Verbrauchern oder Generatoren, umfassend:
 - einen Großsignalgenerator (11) zur Erzeugung eines Großspannungssignals an seinem Ausgang, dessen Amplitude im Wesentlichen der Netznominalspannung entspricht, und
 - einen Kleinsignalgenerators (12) zur Erzeugung eines Kleinspannungssignals an seinem Ausgang, dessen Amplitude kleiner ist als 50 %, insbesondere kleiner als 25%, der Netznominalspannung,
 - wobei der Ausgang des Großsignalgenerators (11) und der Ausgang des Kleinsignalgenerators (12) voneinander galvanisch entkoppelt sind,
 - wobei ein Pol des Ausgangs des Großsignalgenerators (11) an einen Pol des Ausgangs des Kleinsignalgenerators (12) angeschlossen ist und die jeweiligen beiden anderen Pole den Ausgang des Netzsimulators (10) bilden,
 - wobei der Kleinsignalgenerator (11), gegebenenfalls auch der Großsignalgenerator (12), über zumindest einen Steuereingang zur Vorgabe zumindest eines Steuersignals verfügt, und wobei der Kleinsignalgenerator (12), gegebenenfalls auch der Großsignalgenerator (11), dazu ausgebildet ist, ein Spannungssignal an in Abhängigkeit von einem im Steuersignal enthaltenen Parameter, insbesondere der Amplitude und/oder der Frequenz zu erstellen,

gekennzeichnet durch

 - eine Regeleinheit (126) die dazu ausgebildet ist,
 - einen Strommesswert für den Strom am Ausgang des Netzsimulators (10) oder des Kleinsignalgenerators (12), insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, zu messen, und
 - den Kleinsignalgenerator (12) mit nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Strommesswert, gegebenenfalls auch von weiteren ermittelten Messwerten, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen anzusteuern.
2. Netzsimulator (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regeleinheit (126) weiters dazu ausgebildet ist,
 - einen Spannungsmesswert für die Spannung am Ausgang des Netzsimulators (10) oder des Kleinsignalgenerators (12), insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, zu messen, und
 - den Kleinsignalgenerator (12) mit nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Strommesswert sowie vom ermittelten Spannungsmesswert, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen anzusteuern.
3. Netzsimulator (10) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine weitere Regeleinheit (116) für den Großsignalgenerator (11) vorgesehen ist, die weiters dazu ausgebildet ist,
 - einen Spannungsmesswert für die Spannung am Ausgang des Netzsimulators (10) oder des Großsignalgenerators (12), insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, zu messen, und
 - den Großsignalgenerator (12) mit nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Strommesswert sowie vom ermittelten Spannungsmesswert, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen anzusteuern.
4. Netzsimulator (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regeleinheit (126) und die weitere Regeleinheit (116) synchronisiert sind und da-

zu ausgebildet sind, Spannungs- und Strommesswerte jeweils gleichzeitig zu messen und Steuersignale gleichzeitig vorzugeben.

5. Netzsimulator (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regeleinheit (126) ausschließlich zur Bestimmung von Strömen ausgebildet ist, die an Anschlüssen des Kleinsignalgenerators (12) auftreten oder die an einzelnen Bauteilen des Kleinsignalgenerators auftreten, und/oder dass die Regeleinheit (126) ausschließlich zur Bestimmung von Spannungen ausgebildet ist, die zwischen Anschlussknoten oder Knoten innerhalb des Kleinsignalgenerators (12) auftreten.
6. Netzsimulator (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die weitere Regeleinheit (116) ausschließlich zur Bestimmung von Strömen ausgebildet ist, die an Anschlüssen des Großsignalgenerators (11) auftreten oder die an einzelnen Bauteilen des Großsignalgenerators (11) auftreten, und/oder dass die weitere Regeleinheit (116) ausschließlich zur Bestimmung von Spannungen ausgebildet ist, die zwischen Anschlussknoten oder Knoten innerhalb des Großsignalgenerators (11) auftreten.
7. Netzsimulator (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regeleinheit (126) dazu ausgebildet ist, den Kleinsignalgenerator (12) derart anzusteuern, dass die am Anschluss des Netzsimulators (11) anliegende Spannung in vorgegebener Weise von dem am Anschluss des Netzsimulators fließenden Strom abhängt, insbesondere derart, dass der Netzsimulator (10) wie eine Spannungsquelle mit der vorgegebenen Netznominalspannung und einer dazu in Serie geschalteten Impedanz wirkt.
8. Netzsimulator (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die weitere Regeleinheit (116) dazu ausgebildet das vom Großsignalgenerator erstellte Großspannungssignal hinsichtlich einzelner Großsignal-Parameter vorzugeben, insbesondere die Amplitude und/oder die Frequenz des Großspannungssignals vorzugeben.
9. Netzsimulator (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Großsignalgenerator (11) durch ein vorgegebenes, insbesondere öffentliches Stromnetz, ausgebildet ist, wobei der Großsignalgenerator (11) gegebenenfalls noch einen zusätzlichen, dem öffentlichen Stromnetz nachgeschalteten Gleichspannungszwischenkreis (112) zur Stabilisierung der Wechselspannung im Spannungsbereich der Netznominalspannung und im Frequenzbereich der Netznominalfrequenz aufweist.
10. Netzsimulator (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regeleinheit (126) des Kleinsignalgenerators (12) dazu ausgebildet ist, die Kleinsignal-Parameter in Form von diskreten Spannungswerten für eine Anzahl von Zeitpunkten vorzugeben, und vorzugsweise während einer Signalperiode über 10000 diskrete Spannungswerte vorzugeben, und/oder dass die weitere Regeleinheit (116) des Großsignalgenerators (11) dazu ausgebildet ist, die Großsignal-Parameter in Form von diskreten Spannungswerten für eine Anzahl von Zeitpunkten vorzugeben, und vorzugsweise während einer Signalperiode über 100 diskrete Spannungswerte vorzugeben.
11. Netzsimulator (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
 - dass zur Energieversorgung des Netzsimulators eine Gleichspannungsquelle vorgesehen ist,
 - dass der Großsignalgenerator und der Kleinsignalgenerator jeweils einen Wechselrichter umfassen, und
 - dass die galvanische Entkopplung von Großsignalgenerator und Kleinsignalgenerator dadurch erfolgt,
 - dass einer der Signalgeneratoren, insbesondere des Großsignalgenerators, an seinem Ausgang einen Transformator aufweist, dessen Primäranschluss an den Wechselrichter dieses Signalgenerators angeschlossen ist und dessen Sekundäranschluss den Ausgang des jeweiligen Signalgenerators bildet, und/oder

- dass am Eingang eines der Signalgeneratoren (11, 12), insbesondere des Kleinsignalgenerators (12), ein galvanisch getrennter, zumindest zweiquadrantenfähiger DC/DC-Wandler vorgesehen ist, der den Ausgang der Gleichspannungsquelle vom Wechselrichter des jeweiligen Signalgenerators galvanisch trennt.
12. Netzsimulator (10; 20) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wechselrichter (113, 123) des Großsignalgenerators (11) und/oder des Kleinsignalgenerators (12) durch eine Halbbrücke oder H-Brücke von der Regelungseinheit gesteuerter Leistungstransistoren realisiert ist.
13. Mehrphasen-Netzsimulator (20) nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit einer mit den folgenden Anschlüssen:
- einem Neutralleiter (N),
 - einer Anzahl von Phasenanschlüssen (L_1, L_2, L_3),
- wobei für jeden Phasenanschluss jeweils vorgesehen ist:
- ein Großsignalgenerator (21) zur Erzeugung eines Großspannungssignals an seinem Ausgang, dessen Amplitude im Wesentlichen der Netznominalspannung entspricht, und
 - ein Kleinsignalgenerator (22) zur Erzeugung eines Kleinspannungssignals an seinem Ausgang, dessen Amplitude kleiner ist als 50 %, insbesondere kleiner als 25%, der Netznominalspannung,
 - wobei die Ausgänge der einander zugeordneten Großsignalgeneratoren (21) und Kleinsignalgeneratoren (22) voneinander galvanisch entkoppelt sind,
 - wobei jeweils ein Pol des Ausgangs des Großsignalgenerators (21) an einen Pol des Ausgangs des jeweiligen Kleinsignalgenerators (22) angeschlossen ist, wobei der andere Pol des Kleinsignalgenerators (22) am Neutralleiter (N) angeschlossen ist und der jeweils andere Pol des Großsignalgenerators (21) den Phasenausgang (L_1, L_2, L_3) bildet,
 - wobei jeder Kleinsignalgenerator (21), gegebenenfalls auch jeder Großsignalgenerator (22), über zumindest einen Steuereingang zur Vorgabe zumindest eines Steuersignals verfügt, und wobei der Kleinsignalgenerator (22), gegebenenfalls auch der Großsignalgenerator (21), dazu ausgebildet ist, ein Spannungssignal an in Abhängigkeit von einem im Steuersignal enthaltenen Parameter, insbesondere der Amplitude und/oder der Frequenz zu erstellen,
 - wobei für die einzelnen Kleinsignalgeneratoren eine oder jeweils eine Regeleinheit (126) vorgesehen ist, die dazu ausgebildet ist,
- einen Strommesswert für den Strom am Ausgang des Netzsimulators (10) oder eines Kleinsignalgenerators (12), insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, zu messen, und
- den Kleinsignalgenerator (12) mit nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Strommesswert, gegebenenfalls auch von weiteren ermittelten Messwerten, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten Steuersignalen anzusteuern.
14. Verfahren zum Testen eines an ein Wechselspannungsnetz mit einer vorgegebenen Netznominalspannung und Netznominalfrequenz anschließbaren Geräts, insbesondere eines Wechselrichters, Verbrauchers oder Generators,
- wobei ein Großsignalgenerator an seinem Ausgang ein Großspannungssignal bereitstellt, dessen Amplitude im Wesentlichen der Netznominalspannung entspricht, und
 - ein Kleinsignalgenerator an seinem Ausgang ein Kleinspannungssignal bereitstellt, dessen Amplitude kleiner ist als 50 %, insbesondere kleiner als 20%, der Netznominalspannung,

- wobei der Ausgang des Großsignalgenerators und der Ausgang des Kleinsignalgenerators voneinander galvanisch entkoppelt sind,
- wobei ein Pol des Ausgangs des Großsignalgenerators an einen Pol des Ausgangs des Kleinsignalgenerators angeschlossen ist und die jeweiligen beiden anderen Pole den Ausgang des Netzsimulators bilden,

dadurch gekennzeichnet, dass

- ein Spannungsmesswert für die Spannung am Ausgang des Netzsimulators, insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, gemessen wird,
 - ein Strommesswert für den Strom am Ausgang des Netzsimulators, insbesondere zu vorgegebenen, vorzugsweise periodisch festgelegten, Zeitpunkten, gemessen wird, und
 - die Großsignal-Parameter und die Kleinsignal-Parameter nach vorgegebenen Kriterien an Abhängigkeit von dem ermittelten Spannungsmesswert und Strommesswert, insbesondere laufend und/oder zu, vorzugsweise periodisch, vorgegebenen Zeitpunkten festgelegt werden.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Parameter des Kleinsignalgenerators derart angesteuert werden, dass die am Anschluss des Netzsimulators anliegende Spannung in vorgegebener Weise von dem am Anschluss des Netzsimulators fließenden Strom abhängt, insbesondere derart, dass der Netzsimulator wie eine Spannungsquelle mit der vorgegebenen Netznominalspannung und einer dazu in Serie geschalteten Impedanz wirkt.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Großsignalgenerator durch ein vorgegebenes, insbesondere öffentliches Stromnetz, herangezogen wird, wobei der Großsignalgenerator gegebenenfalls noch zusätzlich stabilisiert wird, um eine stabile Wechselspannung im Spannungsbereich der Netznominalspannung und im Frequenzbereich der Netznominalfrequenz abzugeben.
17. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kleinsignal-Parameter in Form von diskreten Spannungswerten für eine Anzahl von Zeitpunkten vorgegeben werden, wobei vorzugsweise während einer Signalperiode der Netznominalfrequenz über 10000 Spannungswerte vorgegeben werden, und/oder dass die Großsignal-Parameter in Form von diskreten Spannungswerten für eine Anzahl von Zeitpunkten vorgegeben werden, wobei vorzugsweise während einer Signalperiode der Netznominalfrequenz über 100 Spannungswerte vorgegeben werden.

Hierzu 10 Blatt Zeichnungen

1/10

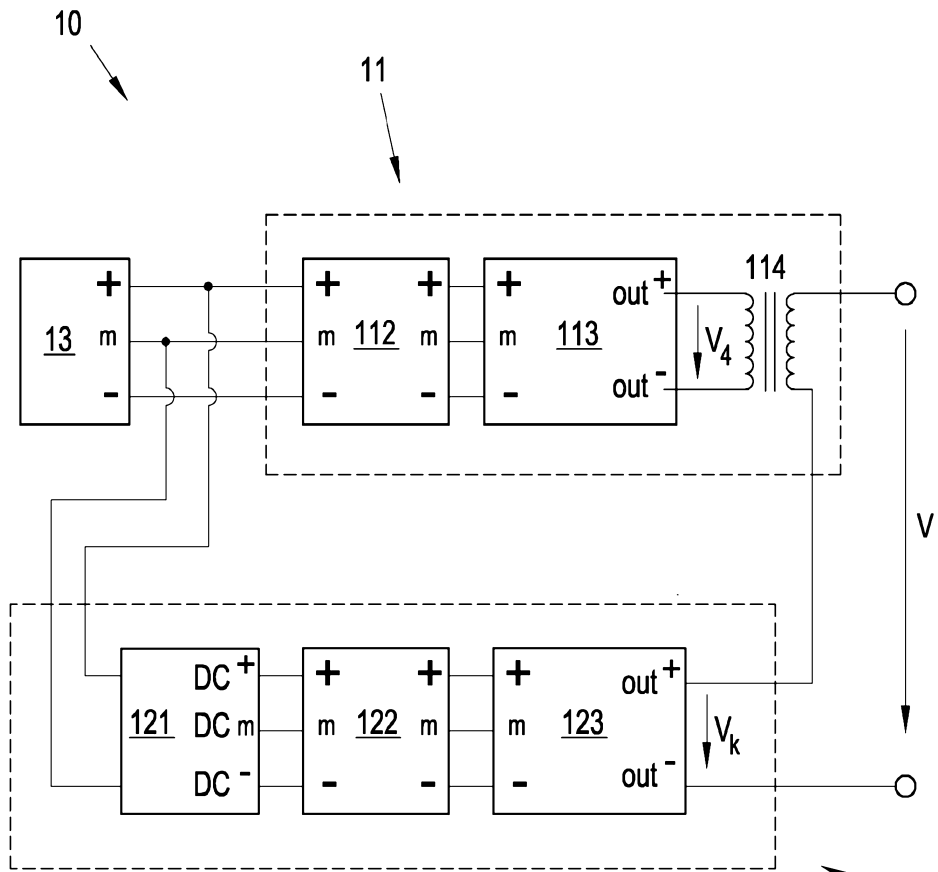


Fig. 1

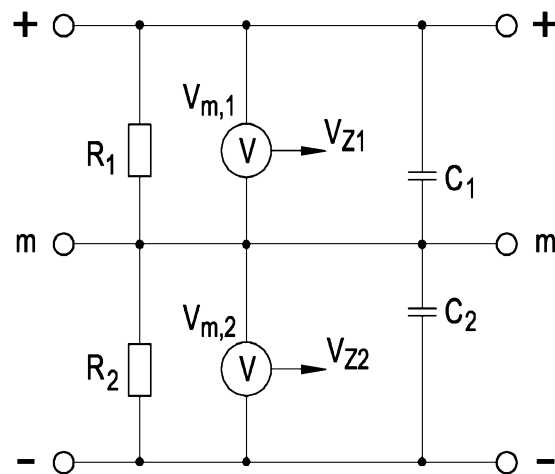


Fig. 2

2/10

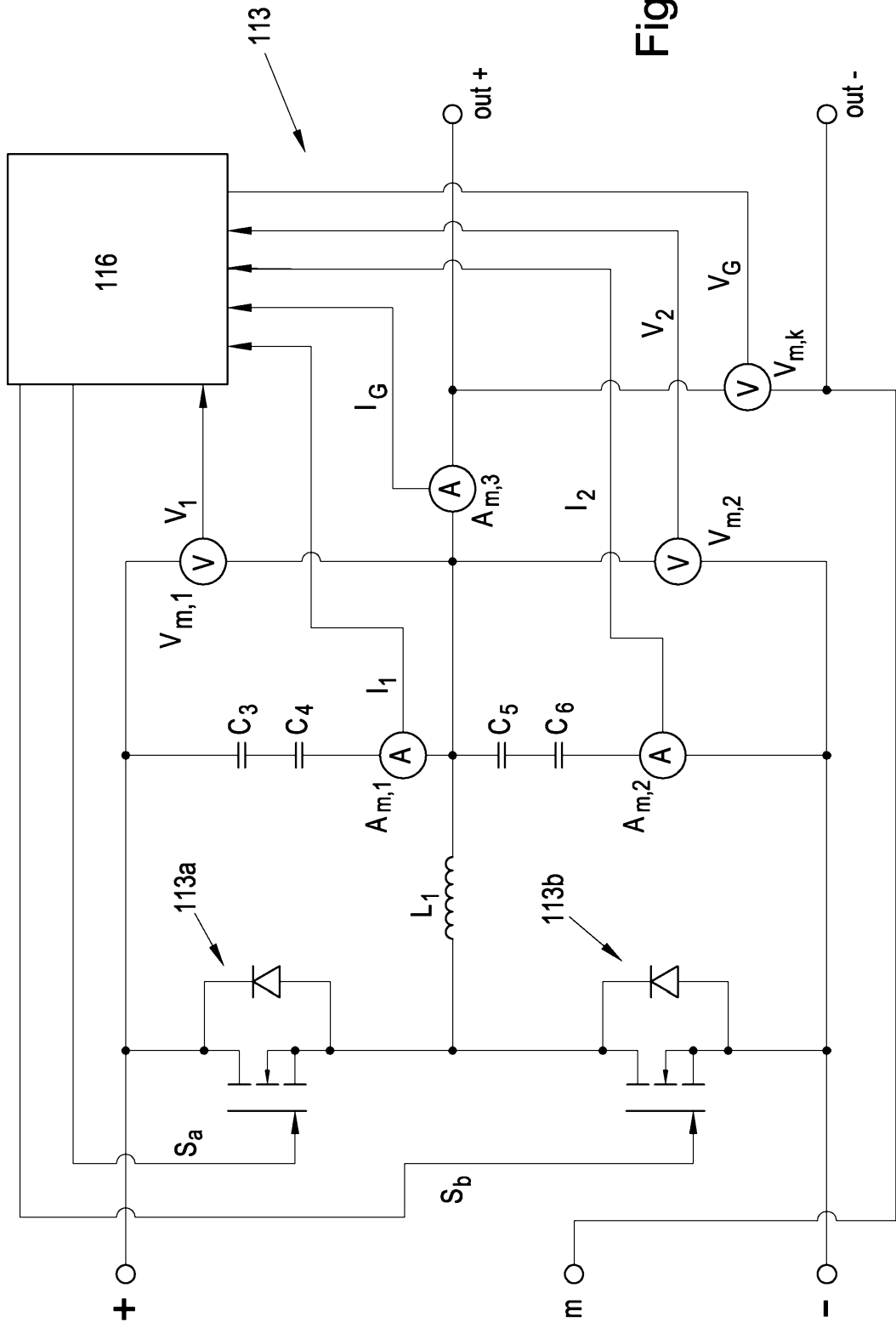


Fig. 3

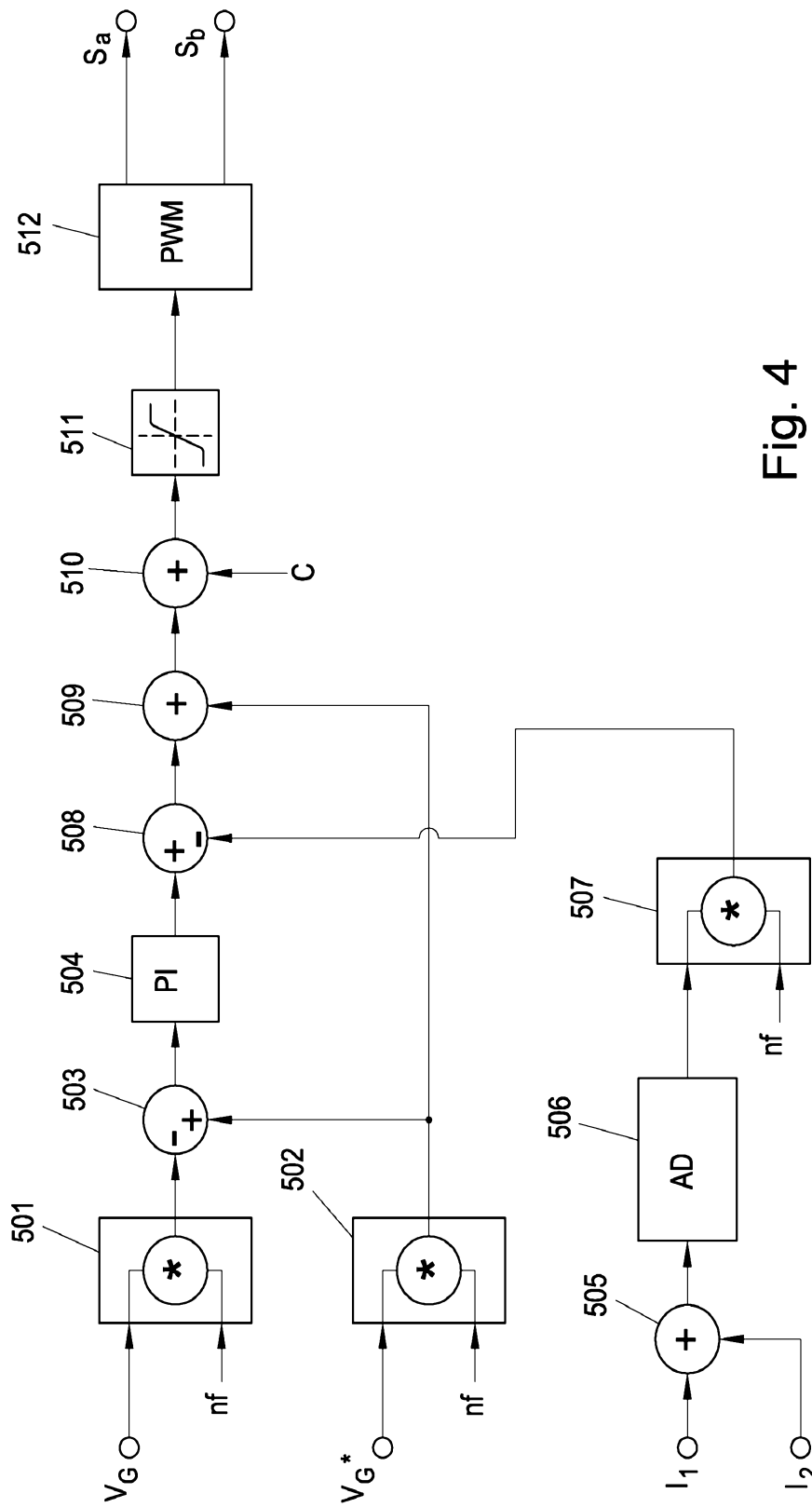


Fig. 4

5/10

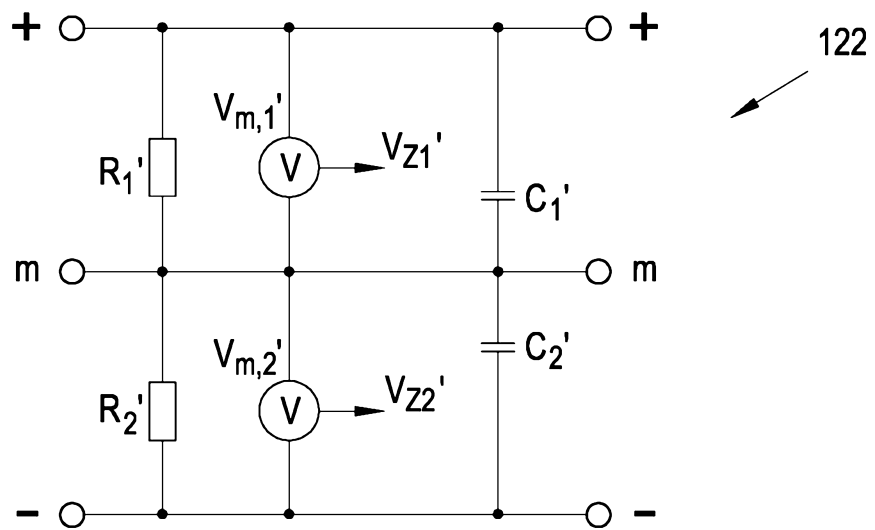


Fig. 6

6/10

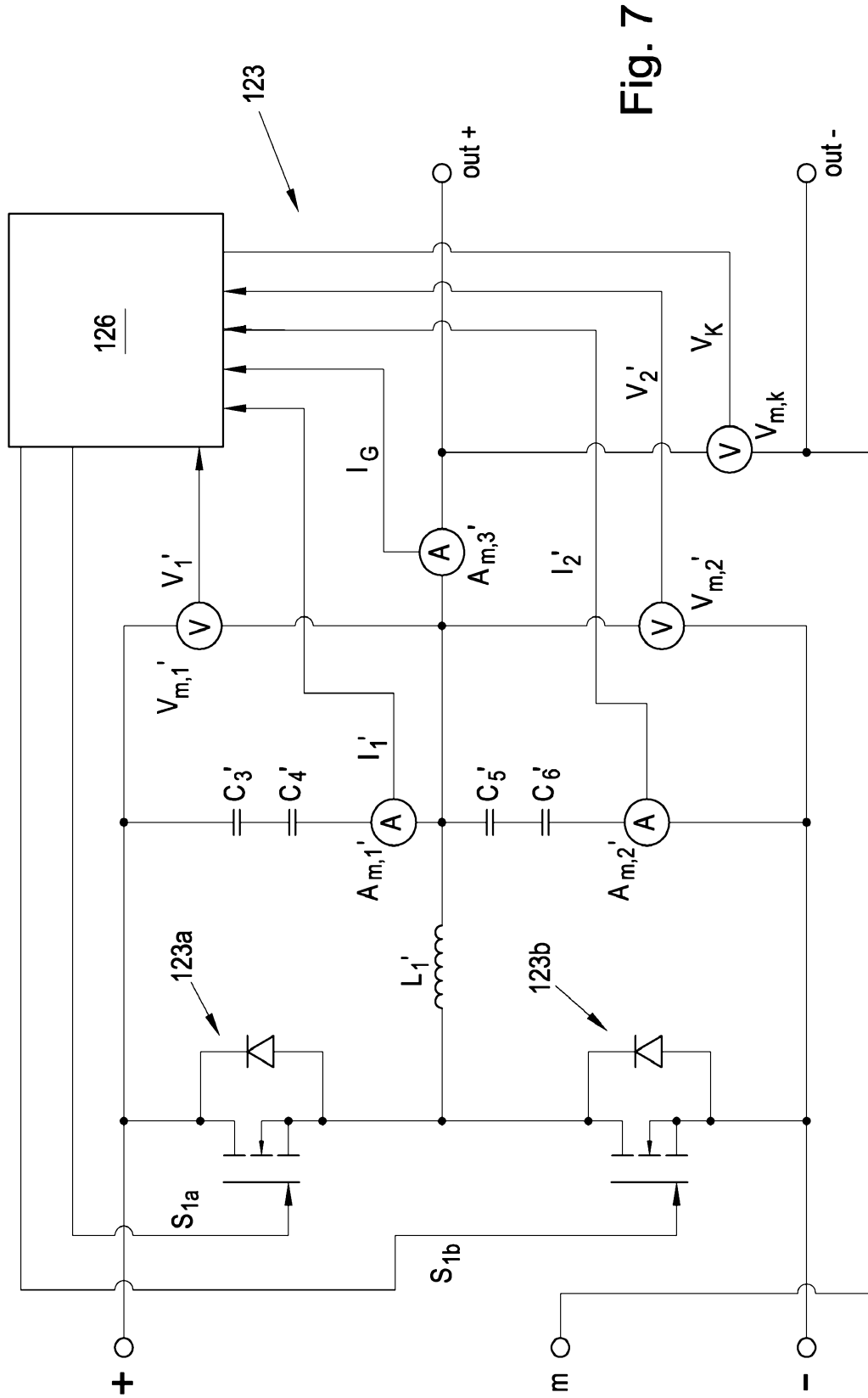


Fig. 7

7/10

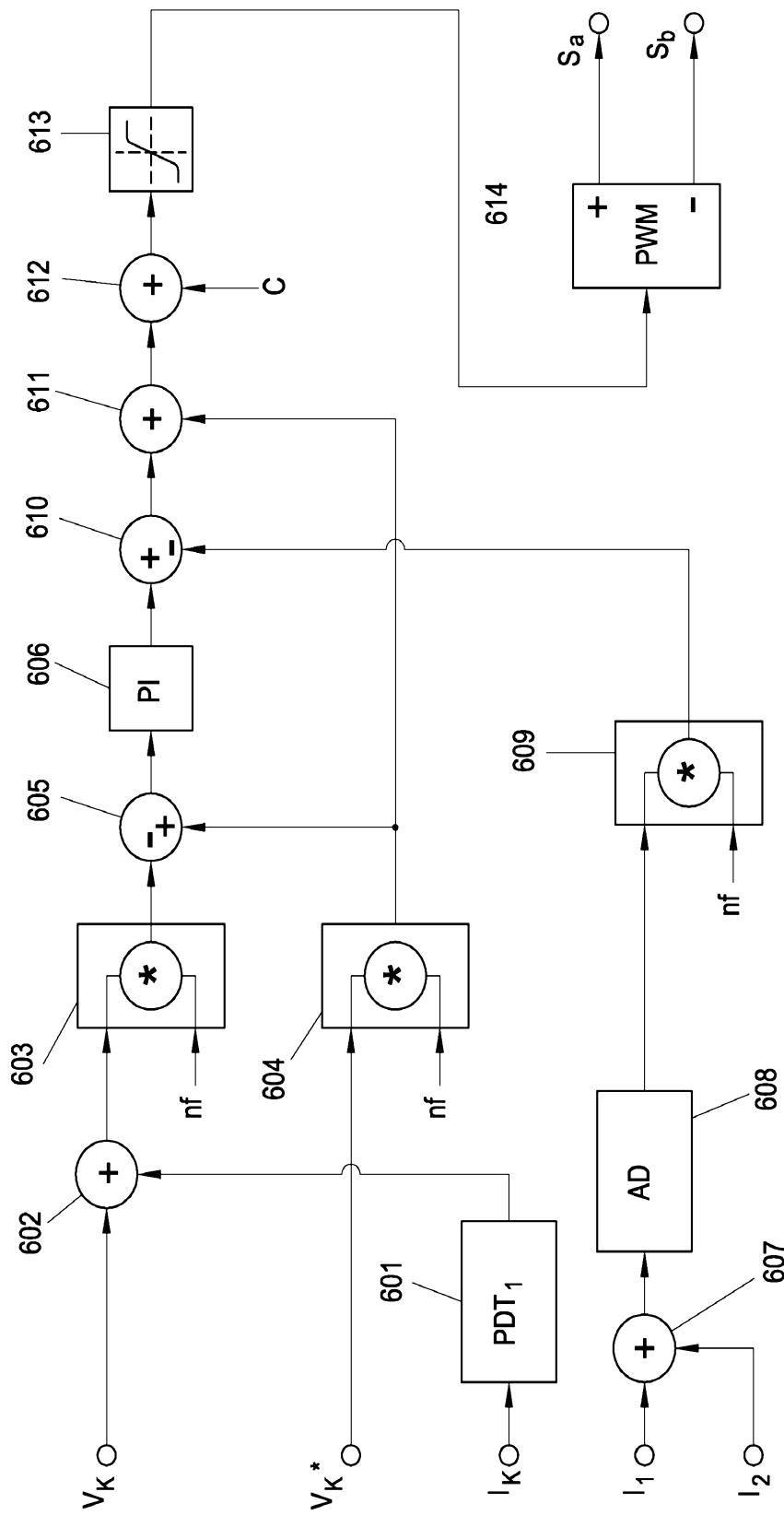


Fig. 8

8/10

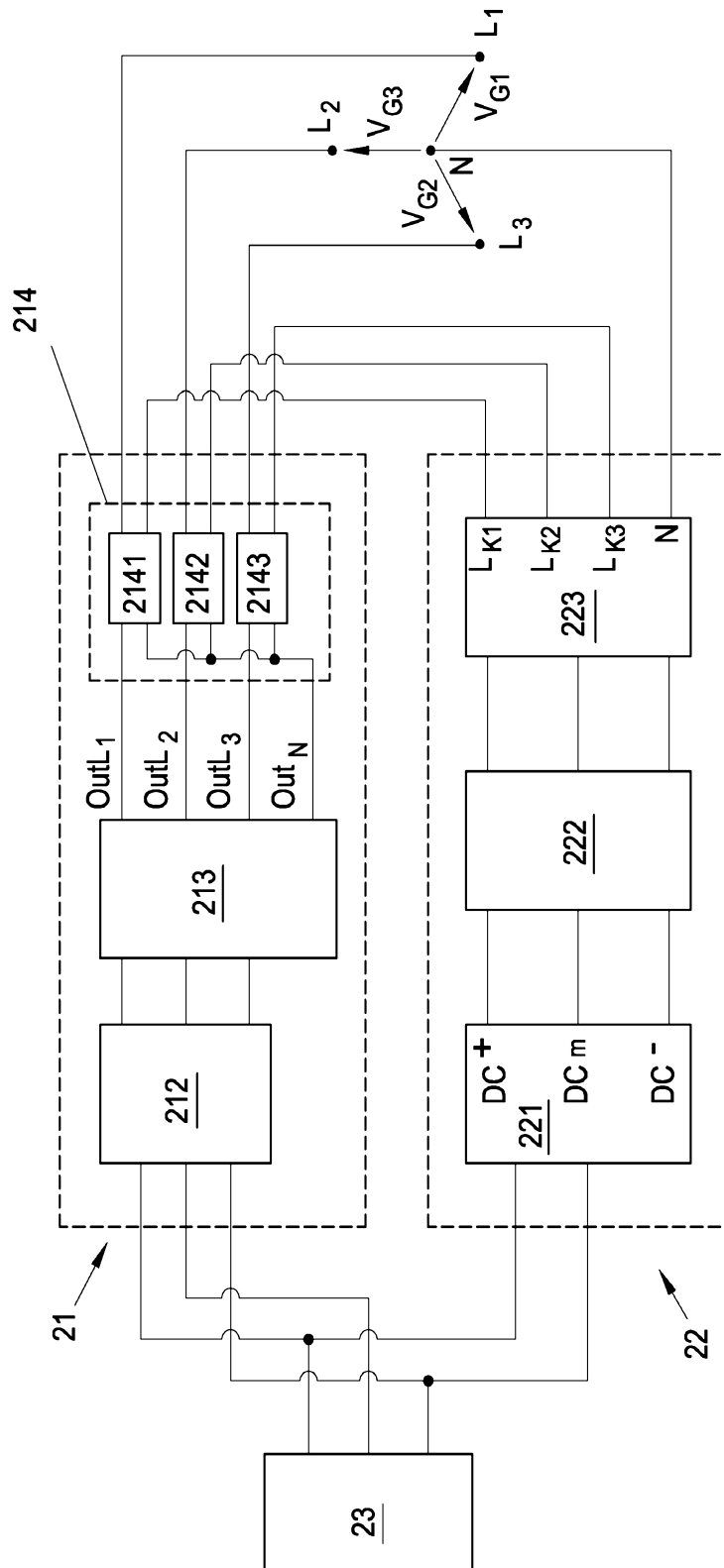


Fig. 9

