



(10) **DE 10 2022 104 015 B4** 2023.08.31

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2022 104 015.1**
(22) Anmeldetag: **21.02.2022**
(43) Offenlegungstag: **24.08.2023**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.08.2023**

(51) Int Cl.: **H02J 3/38** (2006.01)
H02M 7/48 (2007.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
SMA Solar Technology AG, 34266 Niestetal, DE

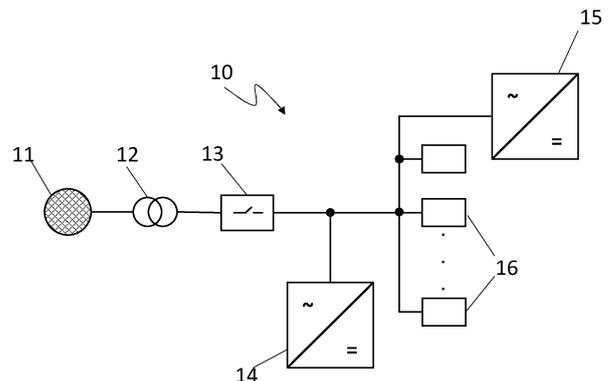
(56) Ermittelter Stand der Technik:
EP 2 003 759 A1

(72) Erfinder:
Winter, Björn Oliver, 38108 Braunschweig, DE

(54) Bezeichnung: **Inselnetzerkennung spannungseinprägender Wechselrichter und Wechselrichter**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Inselnetzerkennung durch einen spannungseinprägenden Wechselrichter (14) beschrieben, umfassend die Schritte:

- Bestimmen einer Frequenz und Phase eines Spannungsverlaufs eines an einem Netzanschlusspunkt des Wechselrichters (14) angeschlossenen Teilnetzes (10),
 - Erzeugen eines Spannungsverlaufs durch eine Brückenschaltung des Wechselrichters (14) mit der bestimmten Frequenz, wobei die Phase des erzeugten Spannungsverlaufs gegenüber der bestimmten Phase eine zeitliche Variation aufweist,
 - Bestimmen einer Korrelation zwischen der zeitlichen Variation und einer zeitlichen Variation einer durch den Wechselrichter (14) mit dem Teilnetz (10) ausgetauschten Leistung, und
 - Erkennen eines Inselnetzes, wenn die bestimmte Korrelation ein vorgegebenes Korrelationsmaß unterschreitet.
- Ein entsprechender spannungseinprägender Wechselrichter (14) ist ebenfalls beschrieben.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Inselnetzerkennung durch einen spannungseinprägenden Wechselrichter, sowie einen derartigen Wechselrichter.

[0002] Die dezentrale Energiegewinnung durch regenerative Energiequellen, insbesondere durch die Photovoltaik, gewinnt zunehmend an Bedeutung für die Energiewende. Hierbei nimmt der Anteil von dezentral erzeugter elektrischer Leistung gegenüber der Leistungserzeugung durch Kraftwerke stetig zu. Ein Bedenken hierbei ist, dass diese Zunahme dezentraler Leistungserzeugung das Risiko von Stromausfällen erhöht. Durch den Einsatz spannungseinprägender beziehungsweise netzbildender Wechselrichter anstelle von netzgeführten Wechselrichtern - letztere werden auch stromeinprägende Wechselrichter oder kurz Stromrichter genannt - kann ein wesentlicher Beitrag zu Stabilisierung der Stromnetze geleistet werden. Spannungseinprägende Wechselrichter sind dazu eingerichtet, ihre Leistungsbereitstellung durch Bereitstellung eines Spannungsverlaufs an ihrem Brückenausgang zu bewirken, der mit einem Spannungsverlauf an einem Netzanschlusspunkt des Wechselrichters laufend synchronisiert wird. Da zwischen Brückenausgang und Netzanschlusspunkt des Wechselrichters eine Entkopplungsimpedanz angeordnet ist, kann durch einen vorgegebenen, laufend, also kontinuierlich oder wiederholend, aktualisierten Phasen- und Amplitudenversatz zwischen den Spannungen an Brückenausgang und Netzanschlusspunkt eine definierte und mit dem Netz ausgetauschte Wirk- und Blindleistung eingeregelt werden. So offenbart EP 2 003 759 A1 ein Verfahren zur Inselnetzerkennung für spannungsgeregelte Wechselrichter, bei dem der Netzfrequenz eine Testspannung überlagert wird, deren Testfrequenz kleiner als die Netzfrequenz ist. Ein Inselnetz wird dann erkannt, wenn ein der Testspannung zugeordneter Blindleistungsanteil ein vorgegebenes Minimum unterschreitet.

[0003] Bei Netzen mit einer Netzimpedanz mit dominierendem induktivem Anteil wird die ausgetauschte Wirkleistung durch eine laufend aktualisierte Phasendifferenz zwischen den Spannungen an Brückenausgang und Netzanschlusspunkt und die Blindleistung durch eine laufend aktualisierte Amplitudendifferenz beider Spannungen eingeregelt beziehungsweise bestimmt. Bei Netzen mit resistiv dominierter Netzimpedanz ist die Rolle von Blindleistung und Wirkleistung typischerweise vertauscht. Mischformen sind ebenfalls denkbar. Hierdurch sind spannungseinprägende Wechselrichter in der Lage, ein Wechselspannungsnetz eigenständig aufzubauen beziehungsweise stabil aufrechtzuerhalten.

[0004] Durch diese Eigenschaft ergibt sich allerdings die Gefahr, dass spannungseinprägende Wechselrichter die Spannung in einem Teilnetz, an dem sie angeschlossen sind, auch dann aufrechterhalten, wenn dieses Teilnetz unerwartet oder erzwungen von einem übergeordneten Netz getrennt wird und für diesen Fall die Aufrechterhaltung der Spannung unerwünscht ist. Sie bilden in diesem Fall ohne weiteres Zutun ein Inselnetz, solange sie in der Lage sind, die hierfür erforderliche Leistung bereitzustellen. Dies kann eine Gefahr darstellen, wenn beispielsweise ein Teilnetz zu Wartungszwecken von einem übergeordneten Netz getrennt wird. Daher kann gefordert sein, dass spannungseinprägende Wechselrichter befähigt werden, innerhalb einer vorgegebenen Zeitdauer selbstständig zu erkennen, dass sie an einem Inselnetz angeschlossen sind, und hierauf geeignet reagieren.

[0005] Eine solche Anforderung einer Inselnetzerkennung ist bei netzgeführten Wechselrichtern üblich und beispielsweise in der technischen Anwendungsregel VDE_AR-N 4105 für Energieerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz beschrieben. Entsprechende Verfahren sind bekannt. Diese können aber nicht ohne Weiteres auf spannungseinprägende Wechselrichter übertragen werden.

[0006] Es ist daher Aufgabe dieser Erfindung, ein Verfahren aufzuzeigen, mit dem spannungsgeführte Wechselrichter zuverlässig erkennen können, ob sie an ein Inselnetz angeschlossen sind.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 beziehungsweise einen spannungseinprägenden Wechselrichter mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 17. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0008] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Inselnetzerkennung durch einen spannungseinprägenden Wechselrichter umfasst die Schritte:

- Bestimmen einer Frequenz und Phase eines Spannungsverlaufs eines an einem Netzanschlusspunkt des Wechselrichters angeschlossenen Teilnetzes,
- Erzeugen eines Spannungsverlaufs durch eine Brückenschaltung des Wechselrichters mit der bestimmten Frequenz, wobei die Phase des erzeugten Spannungsverlaufs gegenüber der bestimmten Phase eine zeitliche Variation aufweist,
- Bestimmen einer Korrelation zwischen der zeitlichen Variation und einer zeitlichen Variation einer durch den Wechselrichter mit dem Teilnetz ausgetauschten Leistung, und

- Erkennen eines Inselnetzes, wenn die bestimmte Korrelation ein vorgegebenes Korrelationsmaß unterschreitet.

[0009] Die durch den Wechselrichter mit dem Teilnetz ausgetauschte Leistung kann hierbei, insbesondere bei Netzen mit einer Netzimpedanz mit dominierendem induktivem Anteil, die Wirkleistung sein. Es kann hierbei aber auch die Scheinleistung verwendet werden, was bei bestimmten Anwendungen die einfachere zu erfassende Größe ist, oder in allgemeiner Form ein gewichtetes quadratisches Mittel von Wirkleistung und Blindleistung, wobei die Mittelungsgewichte in Abhängigkeit von resistivem und induktivem Anteil der Netzimpedanz bestimmt werden. Dies kann eine bessere Erkennungsgenauigkeit des Verfahrens ermöglichen. Im Folgenden wird die Erfindung der Einfachheit halber teilweise mit Bezug auf die Wirkleistung als die für die Korrelation verwendete Größe beschrieben, wobei die anderen beiden Möglichkeiten dadurch nicht ausgeschlossen werden sollen.

[0010] Die zeitliche Variation der Phase ist eine gezielt bewirkte Abweichung der Phasendifferenz zwischen dem Spannungsverlauf am Brückenausgang und dem aus der vorher bestimmten Frequenz und Phase des Spannungsverlaufs am Netzanschlusspunkt extrapolierten Verlauf der Netzanschlusspunktspannung von einer zeitlich konstanten Phasendifferenz $\Delta\varphi$. Ist also der extrapolierte Verlauf der Spannung am Netzanschlusspunkt

$$U_{\text{NAP}}(t) = \hat{U}_{\text{NAP}} * \sin(\omega t),$$

ergibt sich für den am Brückenausgang gestellten Spannungsverlauf

$$U_{\text{Br}}(t) = \hat{U}_{\text{Br}} * \sin(\omega t + \Delta\varphi + \Delta\varphi_{\text{AID}}(t)).$$

[0011] Die Phasenvariation $\Delta\varphi_{\text{AID}}(t)$ kann als periodisches oder auch als nicht-periodisches Signal erzeugt werden und hat eine zu ihr zeitlich korrelierte Leistungskomponente zur Folge, die proportional zur Phasenvariation ist, wenn der Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt exakt dem extrapolierten Verlauf entspricht, der Verlauf der Netzspannung also nicht von der durch den Wechselrichter bereitgestellten Leistung beeinflusst wird. In diesem Fall spricht man von einem starren Netz, da das Netz anschaulich gesprochen auf seiner Phase beharrt. Die Leistungskomponente des starren Netzes lässt sich über die bekannte Induktivität des zwischen Brückenausgang und Netzanschlusspunkt angeordneten Netzfilters in bekannter Weise aus der Phasenvariation berechnen.

[0012] Sofern ein Inselnetz vorliegt, also kein Anschluss an ein starres Netz vorhanden ist, beeinflusst die durch den Wechselrichter bereitgestellte

Leistung den Phasenverlauf der Spannung am Netzanschlusspunkt dahingehend, dass dieser in gewissem Umfang der durch den Wechselrichter erzeugte zeitlichen Variation der Phase folgt, so dass die Phasendifferenz zwischen den Spannungsverläufen am Netzanschlusspunkt und Brückenausgang kleiner als die erzeugte Variation ist und damit kleiner als die Phasendifferenz im Falle eines starren Netzes. Es ist hierbei denkbar, insbesondere wenn der Wechselrichter die einzige spannungseinprägende Komponente eines Teilnetzes bildet, dass die Phase am Netzanschlusspunkt vollständig der erzeugten Phasenvariation folgt, so dass trotz der erzeugten Phasenvariation eine zeitlich konstante Phasendifferenz zwischen Netzanschlusspunkt und Brückenausgang vorliegt. In diesem Fall weist die durch den Wechselrichter bereitgestellte Leistung keine Leistungskomponente auf, die mit der erzeugten Phasenvariation zeitlich korreliert. Hierdurch ist in diesem Fall leicht ein Inselnetz zu erkennen.

[0013] Es kann aber auch die Situation entstehen, in der eine gewisse Phasenbeharrung des Teilnetzes besteht, also die Phase am Netzanschlusspunkt nur teilweise der Phasenvariation folgt. Die Phasendifferenz bildet dann nur abgeschwächt die erzeugte Phasenvariation nach, und eine Leistungskomponente, die mit der erzeugten Phasenvariation zeitlich korreliert, ist kleiner als die Leistungskomponente, die im Falle des oben beschriebenen starren Netzes bewirkt wird. Durch ein geeignet gewähltes Korrelationsmaß, beispielsweise durch ein Verhältnis zwischen einer aus der Korrelation mit der Phasenvariation bestimmten Leistungskomponente und der Leistungskomponente des starren Netzes, kann ein Inselnetz erkannt werden. Je geringer dieses Verhältnis ist, desto wahrscheinlicher liegt ein Inselnetz vor.

[0014] Eine Möglichkeit der Bestimmung eines Korrelationsmaßes K ist durch den Zusammenhang

$$K = \frac{\int \Delta\varphi_{\text{AID}}(t) * P(t) dt}{\int \Delta\varphi_{\text{AID}}^2(t) dt}$$

Gegeben und insbesondere für periodische Phasenvariationen geeignet. Bei diesem Verfahren ist Voraussetzung, dass $\int \Delta\varphi_{\text{AID}}(t) dt = 0$. In der Praxis wird das Korrelationsmaß oft durch eine entsprechende Summenbildung über eine Zeitreihe gemessener Leistungswerte und der zugehörigen erzeugten Phasenvariation ermittelt. Andere Verfahren der Korrelationsbildung sind natürlich auch denkbar, beispielsweise kann mit einem Lock-In-Verstärker die Frequenzkomponente der Leistungsvariation bei der Frequenz der Phasenvariation bestimmt und mit der Amplitude der Phasenvariation ins Verhältnis gesetzt werden, um ein geeignetes Korrelationsmaß zu bestimmen.

[0015] Die Wahl eines Grenzwertes des Korrelationsmaßes, bei dessen Unterschreitung ein Inselnetz erkannt wird, kann der Installationssituation des Wechselrichters angepasst werden. Ist beispielsweise bekannt, dass weitere spannungseinprägende Wechselrichter in einem Netzabschnitt installiert sind, wird das Teilnetz selbst bei Trennung von einem übergeordneten Netz eine gewisse Phasenbeharrung in Reaktion auf die durch das erfindungsgemäße Verfahren erzeugte Phasenvariation aufweisen, die durch die weiteren spannungseinprägenden Wechselrichter bewirkt werden. Diese Wechselrichter werden im Normalbetrieb laufend beziehungsweise in gewissen Zeitabständen, im Folgenden auch als Synchronisationsfrequenz bezeichnet, auf die Phase an ihrem Netzanschlusspunkt synchronisiert. Es ist daher bevorzugt, die Phasenvariation mit einer Variationsfrequenz zu erzeugen, die geringer als die Synchronisationsfrequenz beziehungsweise geringer als der typische Wertebereich der Synchronisationsfrequenz der weiteren Wechselrichter ist, und die besonders bevorzugt ein Bruchteil, beispielsweise die Hälfte, ein Drittel oder ein Viertel der Synchronisationsfrequenz ist, da die Phasenbeharrung hinsichtlich einer derart langsamen Phasenvariation aufgrund der im Normalbetrieb ablaufenden Synchronisation verringert ist.

[0016] Ebenfalls vorteilhaft ist es, die Phasenvariation als periodische Variation mit einer ersten und einer zweiten, gegenüber der ersten Frequenz größeren Frequenz zu erzeugen, von der die erste Variationsfrequenz bevorzugt kleiner als die Synchronisationsfrequenz und die zweite Variationsfrequenz bevorzugt größer als diese ist. Durch einen Vergleich, insbesondere ein Verhältnis der Leistungskomponente bei der ersten Variationsfrequenz relativ zur Leistungskomponente bei der zweiten Variationsfrequenz kann unterschieden werden, ob eine Phasenbeharrung durch ein übergeordnetes Netz oder andere spannungseinprägende Wechselrichter verursacht wird. Wird die Phasenbeharrung durch andere spannungseinprägende Wechselrichter verursacht, wird die Leistungskomponente bei der zweiten Variationsfrequenz geringer ausfallen als bei der ersten, kleineren Variationsfrequenz, das genannte Verhältnis der Leistungskomponenten also größer sein als bei einem noch vorhandenen übergeordneten Netz. Dieses Verhalten kann bei der Erkennung eines Inselnetzes zusätzlich oder alternativ verwendet werden.

[0017] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren in zeitlichen Abständen wiederholt. Sobald ein Inselnetz erkannt wird, trennt sich der Wechselrichter bevorzugt vom Teilnetz. Es ist hierbei denkbar, dass der Wechselrichter nach Erkennung eines Inselnetzes aber vor einer Trennung vom Teilnetz so betrieben wird, dass er eine Amplitude und/oder eine Frequenz des Wechsel-

stromnetzes anstrebt, die außerhalb von zulässigen Netzparametern liegt, um eine Trennung von weiteren an dem Teilnetz angeschlossenen Netzkomponenten zu bewirken. Dies steigert die Sicherheit, dass ein erkanntes Inselnetz zuverlässig spannungsfrei gemacht wird.

[0018] Zusätzlich oder anstelle einer Trennung vom Teilnetz kann der Wechselrichter im Fall einer Erkennung eines Inselnetzes ein Erkennungssignal bereitstellen. Hierzu kann ein eigener Signalausgang vorgesehen sein, oder der Wechselrichter nutzt eine digitale Kommunikationsschnittstelle zur Bereitstellung des Erkennungssignals. Das Erkennungssignal kann auch als ein auf die erzeugte Wechselspannung aufmoduliertes Signal in Form eines Power-Line Communication (PLC-) Signals bereitgestellt und übertragen werden.

[0019] Das so bereitgestellte Erkennungssignal kann an einen Netzbetreiber übermittelt werden und/oder genutzt werden, um ein weiteres, an das Teilnetz angeschlossenes Gerät, insbesondere einen Synchrongenerator, dazu zu veranlassen, Amplitude und/oder Frequenz des Wechselstromnetzes zu Werten außerhalb von zulässigen Netzparametern zu verschieben, um eine Trennung von weiteren an dem Netz angeschlossenen Netzkomponenten zu bewirken.

[0020] In einer Ausführungsform der Erfindung weist die zeitliche Variation der Phase eine periodische Variation mit einer ersten Komponente bei einer ersten Variationsfrequenz auf. Bevorzugt wird ein Inselnetz erkannt, wenn ein Verhältnis zwischen einer Komponente der Wirkleistung bei der ersten Variationsfrequenz und der ersten Komponente der periodischen Variation als Korrelationsmaß einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet (erstes Erkennungskriterium).

[0021] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die zeitliche Phasenvariation zusätzlich zur ersten Komponente bei der ersten Variationsfrequenz eine zweite Komponente mit einer zweiten, gegenüber der ersten Variationsfrequenz höheren Variationsfrequenz auf. Ein Inselnetz wird hierbei beispielsweise erkannt, wenn ein Verhältnis zwischen einer Komponente der Wirkleistung bei der ersten Variationsfrequenz und einer Komponente der Wirkleistung bei der zweiten Variationsfrequenz einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet. Dieses zweite Erkennungskriterium kann als eigenständiges Erkennungskriterium oder in logischer Kombination mit dem ersten Erkennungskriterium eingesetzt werden.

[0022] Um eine Rückwirkung auf die Netzqualität durch das Erkennungsverfahren zu minimieren, kann das Erzeugen des Spannungsverlaufs eine all-

mähliche Steigerung der Amplitude der Phasenvariation aufweisen, wobei das Verfahren abgebrochen wird, ohne ein Inselnetz zu erkennen, wenn die Variation der durch den Wechselrichter mit dem Wechselstromnetz ausgetauschten Wirkleistung einen vorgegebenen Abbruchwert überschreitet. Der Abbruchwert kann als Festwert vorgegeben sein oder in Abhängigkeit einer vor Durchführung des Verfahrens bestimmten Spannungskomponente am Netzanschlusspunkt bei der verwendeten Variationsfrequenz bestimmt sein. Durch Letzteres kann eine potenzielle Wechselwirkung mit anderen spannungseinprägenden Wechselrichtern, die ebenfalls das erfindungsgemäße Verfahren zur Inselnetzerkennung bei der gleichen oder einer nur geringfügig abweichenden Variationsfrequenz durchführen, berücksichtigt werden, so dass sich die Erkennungsverfahren weniger gegenseitig beeinflussen und dadurch zuverlässiger werden. Es ist auch denkbar, den Wert der Amplitude der Phasenvariation, beim Abbruch des Verfahrens zu verwenden, um eine Startamplitude der Phasenvariation für nachfolgende Inselnetzerkennungsverfahren zu definieren. Hierdurch kann eine Rückwirkung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf die Netzqualität verringert werden.

[0023] Um eine solche Wechselwirkung weiter zu berücksichtigen, kann das Bestimmen der Frequenz und Phase eines Spannungsverlaufs des an dem Netzanschlusspunkt des Wechselrichters angeschlossenen Wechselstromnetzes eine Bestimmung einer dritten zeitlichen Variation der Phase umfassen, wobei das Erzeugen des Spannungsverlaufs im Rahmen der Inselnetzerkennung mit einer zeitlichen Phasenvariation erfolgt, die synchron zur vorher bestimmten dritten zeitlichen Variation der Phase ist. Auf diese Weise können mehrere spannungseinprägende Wechselrichter konstruktiv bei der Inselnetzerkennung zusammenwirken und die Erkennungssensibilität erhöhen.

[0024] Das erfindungsgemäße Verfahren kann sowohl durch einen einphasig angeschlossenen Wechselrichter erfolgen als auch durch einen mehrphasig angeschlossenen Wechselrichter mit einem ersten und einer zweiten Phasenleiter. In letzterem Fall kann das Verfahren gleichzeitig oder nacheinander auf dem ersten und dem zweiten Phasenleiter ausgeführt werden, wobei ein Inselnetz erkannt wird, wenn auf mindestens einem der Phasenleiter ein Phasen-Inselnetz erkannt wird. Alternativ kann ein Inselnetz nur dann erkannt werden, wenn sowohl auf dem ersten Phasenleiter als auch auf dem zweiten Phasenleiter ein Phasen-Inselnetz erkannt wird.

[0025] Entsprechend dieser Optionen kann das Verfahren auch auf weitere Phasenleiter ausgedehnt werden, mit dem der Wechselrichter an dem Netz angeschlossen ist.

[0026] In einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst ein spannungseinprägender Wechselrichter:

- eine Messeinheit zur Bestimmung einer Frequenz und Phase eines Spannungsverlaufs eines an einem Netzanschlusspunkt des Wechselrichters angeschlossenen Teilnetz, sowie zur Bestimmung mit dem Teilnetz ausgetauschter Werte von Wirkleistung und Blindleistung,
- eine Steuereinheit zur Erzeugung von Schaltbefehlen für eine Brückenschaltung des Wechselrichters, so dass an einem Ausgangspunkt der Brückenschaltung ein durch die Steuereinheit vorgegebener Spannungsverlauf mit der bestimmten Frequenz erzeugt wird, wobei die Steuereinheit dazu eingerichtet ist, den vorgegebenen Spannungsverlauf mit einer gegenüber der Phase des bestimmten Spannungsverlaufs zeitlichen Variation der Phase zu versehen, und
- einen Korrelator zum Bestimmen einer Korrelation zwischen der zeitlichen Variation der Phase und einer zeitlichen Variation einer durch den Wechselrichter mit dem Teilnetz ausgetauschten Wirkleistung, wobei der Korrelator dazu eingerichtet ist, ein Inselnetz zu erkennen, wenn ein Korrelationsmaß der bestimmten Korrelation einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet.

[0027] Im Folgenden wird die Erfindung mithilfe von Figuren dargestellt, von denen

Fig. 1 ein Installationsbeispiel für ein Teilnetz mit mehreren Wechselrichtern,

Fig. 2 eine Reglerstruktur für einen erfindungsgemäßen Wechselrichter,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Wechselrichters,

Fig. 4 Zeitverläufe von Phasen und ausgetauschter Leistung bei Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Fall einer Verbindung mit einem übergeordneten Netz,

Fig. 5 Zeitverläufe von Phasen und ausgetauschter Leistung bei Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer ersten Ausführungsform im Fall eines Inselnetzes und

Fig. 6 Zeitverläufe von Phasen und ausgetauschter Leistung bei Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer zweiten Ausführungsform im Fall eines Inselnetzes zeigen.

[0028] **Fig. 1** zeigt einen beispielhaften Aufbau eines Teilnetzes 10, das über einen Trennschalter 13 und Mittelspannungstransformator 12 mit einem übergeordneten Netz 11 verbunden ist. Das Teilnetz

10 weist einen spannungseinprägenden Wechselrichter 14, einen weiteren Wechselrichter 15 und eine Anzahl an Lasten 16 auf, die zumindest teilweise von den Wechselrichtern 14, 15 und gegebenenfalls aus dem Netz 11 versorgt werden. Der weitere Wechselrichter 15 kann ebenfalls spannungseinprägend oder alternativ auch netzfolgend ausgebildet sein. Das Teilnetz 10 kann weitere leistungseinspeisende Komponenten aufweisen. Der spannungseinprägende Wechselrichter 14 kann DC-seitig mit einer Batterie und/oder mit Generatoren, beispielsweise mit Photovoltaikgeneratoren, verbunden sein. Es ist auch denkbar, anstelle eines Einspeisers eine Last über den spannungseinprägenden Wechselrichter anzuschließen. Die Wechselrichter 14, 15 können jeweils als rein einspeisende Wechselrichter oder auch als bidirektionale Wechselrichter ausgebildet sein.

[0029] Eine Reglerstruktur eines spannungseinprägenden Wechselrichters gemäß der Erfindung ist in **Fig. 2** gezeigt. Messwerte einer Spannung U_{NAP} am Netzanschlusspunkt des Wechselrichters, gegebenenfalls ergänzt durch Messwerte eines über den Netzanschlusspunkt fließenden Stroms I_{NAP} , werden in einer Phasenauswerteeinheit 20 ausgewertet, um eine Amplitude \hat{U}_0 , eine Frequenz ω und eine Phase φ_0 der Spannung U_{NAP} am Netzanschlusspunkt zu bestimmen. Die Phasenauswerteeinheit kann beispielsweise als Phasenregelschleife (phase lock loop, PLL) ausgebildet sein. Die bestimmten Werte werden einem Pulsweitenmodulations- (PWM) Generator als Eingangsgrößen für eine Erzeugung eines Pulsmusters mit einem Tastgrad d zugeführt, mit dem eine Brückenschaltung 22 betrieben wird, um an seinem Brückenausgang eine Spannung U_{Br} bereitzustellen. Die Brückenschaltung 22 kann hierbei eine einphasige oder auch eine mehrphasige Brückenschaltung sein, wobei für jede der Phasenleiter ein eigenes Pulsmuster erzeugt werden kann. Unterschiedliche Topologien der Brückenschaltung 22 mit einer variierenden Anzahl an Brückenschaltern, insbesondere Mehrleveltopologien sind hierbei denkbar, wobei das Pulsmuster individuelle Schaltbefehle für die jeweiligen Brückenschalter aufweisen kann.

[0030] Die Messwerte der Spannung U_{NAP} am Netzanschlusspunkt, sowie Messwerte des Stroms I_{NAP} am Netzanschlusspunkt werden auch einem Leistungsbestimmer 23 zugeführt, der den genannten Messwerten aktuelle Werte der über den Netzanschlusspunkt fließenden Wirkleistung P_{ist} und Blindleistung Q_{ist} zuordnet. Die Phasenauswerteeinheit 20 und der Leistungsbestimmer 23 sind zu einer Messeinheit 28 zusammengefasst.

[0031] Die über den Netzanschlusspunkt fließenden Werte von Wirkleistung P_{ist} und Blindleistung Q_{ist} werden als Eingangsgrößen einer Kennlinieneinheit

24 zugeführt, die aus den zusätzlichen Eingangsgrößen der durch die Phasenauswerteeinheit 20 bestimmten Amplitude \hat{U}_0 und Frequenz ω Kenngrößen bestimmt, die Sollwerte von Blindleistung und Wirkleistung repräsentieren. Bei der Bestimmung der Sollwerte können selbstverständlich auch weitere Größen Berücksichtigung finden, beispielsweise die Zwischenkreisspannung oder der Ladezustand einer DC-seitig angeschlossenen Batterie. Im gezeigten Fall der **Fig. 2** werden diese Kenngrößen als Amplitudendifferenz ΔU und Phasendifferenz $\Delta\varphi$ erzeugt, die als weitere Eingangsgrößen dem PWM-Generator 21 zugeführt werden, um ein Pulsmuster zu erzeugen, mit dem der von der Brückenschaltung 22 erzeugten Spannungsverlauf U_{Br} eine entsprechende Amplitudendifferenz beziehungsweise Phasendifferenz zum Verlauf der Spannung U_{NAP} am Netzanschlusspunkt aufweist. Amplitudendifferenz ΔU und Phasendifferenz $\Delta\varphi$ werden dabei in Abhängigkeit einer Induktivität einer zwischen Brückenausgang und Netzanschlusspunkt angeordneten Entkopplungsdrossel des spannungseinprägenden Wechselrichters bestimmt. Zur Bestimmung von Sollwerten von Wirkleistung und/oder Blindleistung sind in der Kennlinieneinheit 24 Kennlinien hinterlegt, die beispielsweise einen Sollwert der Wirkleistung aus der Frequenz ω , und einen Sollwert der Blindleistung aus der Amplitude \hat{U}_0 bestimmen. Die Kennlinien können aber auch weitere Parameter enthalten, die fix vorgegeben, aber auch veränderlich ausgeführt sein können, beispielsweise die oben genannte Zwischenkreisspannung oder der Batterie-Ladezustand.

[0032] Während derjenigen Zeitabschnitte, in denen eine Inselnetzerkennung durch den spannungseinprägenden Wechselrichter ausgeführt wird, wird auf die durch die Kennlinieneinheit 24 bestimmte Phasendifferenz $\Delta\varphi$ eine zusätzliche Phasendifferenz $\Delta\varphi_{AID}$ addiert, die als zeitlich variable Größe von einem Generator 26 erzeugt wird. Die zeitlich variable Größe kann hierbei ein periodisches Signal sein, das eine oder mehrere Frequenzkomponenten aufweist. Es ist aber auch denkbar, ein nichtperiodisches Signal, beispielsweise eine Stufenfunktion, zu verwenden. Das nicht-periodische Signal kann bevorzugt aufgrund von kommunizierter Information insbesondere hinsichtlich Form oder Zeitpunkt oder in anderer Weise parametrisiert werden.

[0033] Während derjenigen Zeitabschnitte, in denen keine Inselnetzerkennung durchgeführt wird, ist die zusätzliche Phasendifferenz $\Delta\varphi_{AID}$ Null oder sie wird nicht auf die Phasendifferenz $\Delta\varphi$ addiert.

[0034] Ein Korrelator 25 bestimmt eine zeitliche Korrelation zwischen als Eingangsgrößen zugeführten Werten des Verlaufs der Wirkleistung P_{ist} und der durch den Generator erzeugten Phasendifferenz $\Delta\varphi_{AID}$ und errechnet hieraus ein Korrelationsmaß

zwischen diesen Größen, das mit einem vorgegebenen Grenzwert verglichen wird, um ein Signal S_{AID} zu erzeugen, das als internes oder externes Signal vom spannungseinprägenden Wechselrichter bereitgestellt wird, und das angibt, ob der Wechselrichter ein vorhandenes Inselnetz erkennt. Unterschreitet das errechnete Korrelationsmaß den vorgegebenen Grenzwert, wird ein erkanntes Inselnetz hierdurch angezeigt. Der Wechselrichter selbst, aber auch andere Geräte, die das bereitgestellte Signal S_{AID} empfangen, können auf dieses Signal entsprechend reagieren.

[0035] Der PWM-Generator 21, der Generator 26 und die Kennlinieneinheit 24 sind hierbei Teil einer Steuereinheit 27 des spannungseinprägenden Wechselrichters.

[0036] Die Fig. 3 zeigt einen schematischen Aufbau eines erfindungsgemäßen Wechselrichters. DC-seitige Anschlüsse DC+, DC- sind über einen Zwischenkreis 29 mit einer Brückenschaltung 22 verbunden, an dessen Brückenausgang durch geeignete Ansteuerung der Brückenschalter mit einem Tastgrad d eine gewünschte Brückenausgangsspannung U_{Br} erzeugt wird. Der Brückenausgang ist über eine Entkopplungsdrossel 31, die Teil eines Netzfilters ist, mit einem Netzanschlusspunkt 32 des Wechselrichters verbunden. Weitere Komponenten, die in der Verbindung zwischen Brückenausgang und Netzanschlusspunkt angeordnet sein können, beispielsweise ein Trennrelais, sind der Einfachheit halber nicht eingezeichnet. Durch geeignete Messsensoren werden Strom und Spannung am Netzanschlusspunkt 32 laufend oder periodisch erfasst und die Messwerte werden einer Messeinheit 28 zugeführt und dort zu Netzparametern 30 wie Frequenz, Phase, Amplitude, Blindleistung und Wirkleistung ausgewertet. Diese Netzparameter 30 werden an eine Steuereinheit 27 übertragen, die hieraus den zur Erzeugung der gewünschten Brückenausgangsspannung U_{Br} erforderlichen Tastgrad d zur Ansteuerung der Brückenschalter bestimmt.

[0037] Die Steuereinheit 27 überträgt hierbei die zur Durchführung des erfindungsgemäßen Inselnetzerkennungsverfahrens erzeugte periodisch oder nicht-periodische Phasendifferenz $\Delta\varphi_{PAID}$ an einen Korrelator 25, der eine zeitliche Korrelation der Phasendifferenz $\Delta\varphi_{AID}$ mit einer durch die Messeinheit 28 ermittelten Leistungsgröße ermittelt, hier einer Wirkleistung P_{ist} , und ein entsprechendes Korrelationsmaß zwischen beiden Größen berechnet. Aus dem so berechneten Korrelationsmaß wird beispielsweise durch Vergleich mit einem vorgegebenen Grenzwert ein Erkennungssignal S_{AID} für ein Inselnetz erzeugt und innerhalb des Wechselrichters oder an einem Ausgang oder einer Kommunikationsschnittstelle zur Übertragung bereitgestellt.

[0038] In Fig. 4 sind Zeitverläufe von für ein Verständnis der Erfindung relevanter Größen bei Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Fall einer Verbindung des das Verfahren ausführenden spannungseinprägenden Wechselrichters mit einem übergeordneten Netz gezeigt. In dem oberen Teildiagramm sind hierbei der Zeitverlauf der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt und der Zeitverlauf der entsprechenden Phase φ_{Br} am Brückenausgang gezeigt. Die Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt verläuft in dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel strikt linear mit einer Steigung, die von der Frequenz ω des Netzes abhängt. Die Phase φ_{Br} am Brückenausgang ist hierzu zum einen um eine zeitlich konstante Phasendifferenz $\Delta\varphi$ gegenüber der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt versetzt (gestrichelte Linie), weicht aber periodisch, hier in Form eines Dreieckschwingungsverlaufs mit einer Amplitude $\Delta\varphi_{AID}$ von diesem versetzten Verlauf ab. Dadurch, dass die periodische Abweichung der Phase φ_{Br} am Brückenausgang sich nicht auf den Verlauf der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt überträgt, die Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt also anschaulich gesprochen auf ihrem Verlauf beharrt, weist auch die Differenz zwischen der Phase φ_{Br} am Brückenausgang und der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt einen periodischen Verlauf mit einer Amplitude $\Delta\varphi_{AID}$ auf.

[0039] Im unteren Teildiagramm ist ein Zeitverlauf einer zum Phasenverlauf des oberen Teildiagramms korrespondierenden Wirkleistung P am Netzanschlusspunkt gezeigt. Die Wirkleistung weist einen mit der Differenz zwischen der Phase φ_{Br} am Brückenausgang und der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt korrespondierenden periodischen Verlauf mit einer Amplitude ΔP_{AID} um einen Mittelwert P_0 auf, der wiederum zu der konstanten Phasendifferenz $\Delta\varphi$ korrespondiert. Die Kopplung zwischen dem Verlauf der Wirkleistung P am Netzanschlusspunkt und dem Verlauf der Phase φ_{Br} am Brückenausgang wird durch die zwischen Brückenausgang und Netzanschlusspunkt angeordnete Entkopplungsdrossel des Wechselrichters bewirkt. Ein Verhältnis $K = \Delta P_{AID} / \Delta\varphi_{AID}$ entspricht einem Korrelationsmaß, das zur Erkennung eines Inselnetzes verwendet werden kann. Im vorliegenden Fall einer Verbindung des spannungseinprägenden Wechselrichters mit einem übergeordneten Netz ist dieses Verhältnis größer als ein zur Erkennung eines Inselnetzes vorzuziehender Grenzwert, so dass diese Verbindung mit dem übergeordneten Netz erkannt wird. Es ist aber auch denkbar, das Korrelationsmaß abhängig von Amplitude ΔP_{AID} und Amplitude $\Delta\varphi_{AID}$ durch einen anderen Zusammenhang zu bestimmen.

[0040] In Fig. 5 sind Zeitverläufe von für ein Verständnis der Erfindung relevanter Größen bei Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Fall einer fehlenden oder nur sehr schwachen Verbindung des das Verfahren ausführenden spannungs-

einprägenden Wechselrichters mit einem übergeordneten Netz gezeigt. In dem oberen Teildiagramm sind hierbei wiederum der Zeitverlauf der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt und der Zeitverlauf der entsprechenden Phase φ_{Br} am Brückenausgang gezeigt. Die Phase φ_{Br} am Brückenausgang weicht wiederum periodisch, hier in Form eines Sägezahnverlaufs mit einer Amplitude $\Delta\varphi_{\text{AID}}$ von einem linearen Verlauf (gestrichelte Linie) ab. Anders als im in **Fig. 3** gezeigten Fall verursacht diese Abweichung auch eine Abweichung der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt von einem der Netzfrequenz ω entsprechenden linearen Verlauf, anschaulich gesprochen beharrt die Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt nicht auf dem streng linearen Verlauf, sondern folgt in einem gewissen Grad der Phase φ_{Br} am Brückenausgang.

[0041] Dieses Folgen kann vollständig sein, das heißt die Amplitude der Abweichung der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt von einem rein linearen Verlauf entspräche dann der Amplitude $\Delta\varphi_{\text{AID}}$ der Abweichung der Phase φ_{Br} am Brückenausgang von deren linearen Verlauf und die Differenz zwischen der Phase φ_{Br} am Brückenausgang und der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt wäre zeitlich konstant. Dies kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn in dem vom übergeordneten Netz vollständig getrennten Inselnetz keine weiteren spannungseinprägenden Wechselrichter vorhanden sind.

[0042] Das Folgen der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt kann aber auch nur teilweise sein, das heißt die Amplitude der Abweichung der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt von einem rein linearen Verlauf wäre dann kleiner als die Amplitude $\Delta\varphi_{\text{AID}}$ der Abweichung der Phase φ_{Br} am Brückenausgang von deren linearen Verlauf und die Differenz zwischen der Phase φ_{Br} am Brückenausgang und der Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt würde periodisch variieren mit einer Amplitude, die kleiner als die Amplitude $\Delta\varphi_{\text{AID}}$ der Abweichung der Phase φ_{Br} am Brückenausgang ist. Dieser Fall würde beispielsweise dann auftreten, wenn noch eine schwache Verbindung zum übergeordneten Netz besteht oder wenn in einem Inselnetz weitere spannungseinprägende Wechselrichter in Betrieb sind. Dieser Fall ist der **Fig. 4** zugrunde gelegt.

[0043] Als Konsequenz dieser Situation weist der wiederum im unteren Teildiagramm der **Fig. 4** gezeigte Verlauf der Wirkleistung P eine Amplitude ΔP_{AID} um einen Mittelwert P_0 auf, die kleiner als die in **Fig. 3** für den Fall einer bestehenden niederimpedanten Verbindung mit einem übergeordneten Netz gezeigte Amplitude der Wirkleistung P ist. Entsprechend ist auch ein beispielsweise durch die Relation $K = \Delta P_{\text{AID}} / \Delta\varphi_{\text{AID}}$ bestimmtes Korrelationsmaß gegenüber dem Fall der **Fig. 3** reduziert und ein Grenzwert, bei dessen Unterschreitung ein Inselnetz

erkannt werden soll, kann durch den Fachmann leicht geeignet definiert werden.

[0044] Die **Fig. 6** zeigt beispielhafte Zeitverläufe von für ein Verständnis der Erfindung relevanten Größen bei Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Fall eines vorliegenden Inselnetzes, wobei eine nichtperiodische Variation der Phase φ_{Br} am Brückenausgang, hier eine Stufenfunktion, verwendet wird. Die Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt folgt dieser Stufe nicht instantan, sondern nähert sich nur allmählich der vor dem Zeitpunkt der Stufe herrschenden Phasendifferenz $\Delta\varphi$ wieder an. Entsprechend weist der Verlauf der Wirkleistung P einen zu der Höhe $\Delta\varphi_{\text{AID}}$ der Stufe korrespondierenden Sprung ΔP auf, wobei der Verlauf sich anschließend wieder dem Mittelwert P_0 der Wirkleistung vor dem Sprung annähert. In diesem Fall kann das Korrelationsmaß, mit dem ein Vorliegen eines Inselnetzes detektiert werden kann, beispielsweise bestimmt werden als die Zeitdauer, in der die Abweichung ΔP_{AID} vom Mittelwert P_0 der Wirkleistung wieder unter einen vorgegebenen Prozentsatz der Sprunghöhe ΔP gefallen ist. Andere Bestimmungsmethoden des Korrelationsmaßes sind natürlich auch denkbar.

[0045] Im Fall einer bestehenden niederimpedanten Verbindung des spannungseinprägenden Wechselrichters mit einem übergeordneten Netz würde die Phase φ_{NAP} am Netzanschlusspunkt auf dem linearen Verlauf verharren, so dass der Sprung ΔP in der Wirkleistung, der durch die Stufe in der Phase φ_{Br} am Brückenausgang verursacht wird, nicht oder nur sehr langsam abgebaut wird.

[0046] Zur Detektion eines Inselnetzes können selbstverständlich auch andere periodische oder nicht-periodische Variationen der Phase φ_{Br} am Brückenausgang und darauf angepasste Bestimmungsmethoden für ein Korrelationsmaß beziehungsweise angepasste Grenzwerte für die Unterscheidung zwischen einem Inselnetz und einem ausreichend niederimpedant mit einem übergeordneten Netz verbundenen Teilnetz durch den spannungseinprägenden Wechselrichter Anwendung finden, ohne den Schutzbereich der Ansprüche zu verlassen.

Bezugszeichenliste

10	Teilnetz
11	Netz
12	Transformator
13	Trennschalter
14	Wechselrichter
15	Wechselrichter
16	Last

20	Phasenauswerteeinheit
21	PWM-Generator
22	Brückenschaltung
23	Leistungsbestimmer
24	Kennlinieneinheit
25	Korrelator
26	Generator
27	Steuereinheit
28	Messeinheit
29	Zwischenkreis
30	Netzparameter
31	Entkopplungsdrössel

Patentansprüche

1. Verfahren zur Inselnetzerkennung durch einen spannungseinprägenden Wechselrichter (14), umfassend die Schritte:

- Bestimmen einer Frequenz und Phase eines Spannungsverlaufs eines an einem Netzanschlusspunkt des Wechselrichters angeschlossenen Teilnetzes (10),

- Erzeugen eines Spannungsverlaufs durch eine Brückenschaltung des Wechselrichters (14) mit der bestimmten Frequenz, wobei die Phase des erzeugten Spannungsverlaufs gegenüber der bestimmten Phase eine erste zeitliche Variation aufweist,

- Bestimmen einer Korrelation zwischen der ersten zeitlichen Variation und einer zweiten zeitlichen Variation einer durch den Wechselrichter (14) mit dem Teilnetz (10) ausgetauschten Leistung, und

- Erkennen eines Inselnetzes, wenn die bestimmte Korrelation ein vorgegebenes Korrelationsmaß unterschreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verfahren in zeitlichen Abständen wiederholt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei im Fall, dass ein Inselnetz erkannt wird, der Wechselrichter (14) sich vom Teilnetz (10) trennt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei im Fall, dass ein Inselnetz erkannt wird, der Wechselrichter (14) so betrieben wird, dass er eine Amplitude und/oder eine Frequenz des Teilnetzes (10) anstrebt, die außerhalb von zulässigen Netzparametern liegt, um eine Trennung von weiteren an dem Teilnetz (10) angeschlossenen Netzkomponenten zu bewirken, bevor der Wechselrichter (14) sich vom Teilnetz (10) trennt.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei an einem Signalausgang des Wechselrichters (14) im Fall einer Erkennung eines

Inselnetzes ein Erkennungssignal bereitgestellt wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Wechselrichter (14) im Fall einer Erkennung eines Inselnetzes ein Erkennungssignal als PLC-Signal auf die Spannung am Netzanschlusspunkt aufmoduliert.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die erste zeitliche Variation eine periodische Variation mit einer ersten Komponente bei einer ersten Variationsfrequenz aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei ein Inselnetz erkannt wird, wenn ein Verhältnis zwischen einer Komponente der Wirkleistung bei der ersten Variationsfrequenz und der ersten Komponente der ersten zeitlichen Variation als Korrelationsmaß einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet.

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die erste zeitliche Variation eine zweite Komponente mit einer zweiten, gegenüber der ersten Variationsfrequenz höheren Variationsfrequenz aufweist, wobei ein Inselnetz erkannt wird, wenn ein Verhältnis zwischen einer Komponente der Leistung bei der ersten Variationsfrequenz und einer Komponente der Leistung bei der zweiten Variationsfrequenz einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen des Spannungsverlaufs eine Steigerung einer Amplitude der ersten zeitlichen Variation aufweist, wobei das Verfahren abgebrochen wird, ohne ein Inselnetz zu erkennen, wenn die Variation der durch den Wechselrichter mit dem Teilnetz (10) ausgetauschten Leistung ein vorgegebenes Maß überschreitet.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Amplitude der ersten zeitlichen Variation beim Abbruch des Verfahrens ohne Erkennung eines Inselnetzes verwendet wird, um eine Startamplitude der ersten zeitlichen Variation bei einer nachfolgenden Durchführung des Inselnetzerkennungsverfahrens zu bestimmen.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen der Frequenz und Phase eines Spannungsverlaufs des an dem Netzanschlusspunkt des Wechselrichters (14) angeschlossenen Teilnetzes (10) eine Bestimmung einer dritten zeitlichen Variation der Phase umfasst, wobei das Erzeugen des Spannungsverlaufs mit einer zeitlichen Variation erfolgt, die synchron zur bestimmten dritten zeitlichen Variation der Phase ist.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Teilnetz (10) ein Netz mit

einem ersten und einem zweiten Phasenleiter ist, wobei das Verfahren gleichzeitig oder nacheinander auf dem ersten und dem zweiten Phasenleiter ausgeführt wird, wobei ein Inselnetz erkannt wird, wenn auf mindestens einem der Phasenleiter ein Phasen-Inselnetz erkannt wird.

erkennen, wenn das bestimmte Korrelationsmaß einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Teilnetz (10) ein Netz mit einem ersten und einem zweiten Phasenleiter ist, wobei das Verfahren gleichzeitig oder nacheinander auf dem ersten und dem zweiten Phasenleiter ausgeführt wird, wobei ein Inselnetz nur dann erkannt wird, wenn sowohl auf dem ersten Phasenleiter als auch auf dem zweiten Phasenleiter ein Phasen-Inselnetz erkannt wird.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei für die Bestimmung der Korrelation zwischen der ersten zeitlichen Variation und der zweiten zeitlichen Variation der durch den Wechselrichter (14) mit dem Teilnetz (10) ausgetauschten Leistung die Wirkleistung verwendet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei für die Bestimmung der Korrelation zwischen der ersten zeitlichen Variation und der zweiten zeitlichen Variation der durch den Wechselrichter (14) mit dem Teilnetz (10) ausgetauschten Leistung die Scheinleistung oder ein gewichtetes quadratisches Mittel von Wirkleistung und Blindleistung verwendet wird.

17. Spannungseinprägender Wechselrichter (14), umfassend:

- eine Messeinheit (20) zur Bestimmung einer Frequenz und Phase eines Spannungsverlaufs eines an einem Netzanschlusspunkt des Wechselrichters (14) angeschlossenen Teilnetzes (10), sowie mit dem Teilnetz (10) ausgetauschten Werten von Wirkleistung und Blindleistung,
- eine Steuereinheit (21) zur Erzeugung von Schaltbefehlen für eine Brückenschaltung (22) des Wechselrichters (14), so dass an einem Brückenausgang der Brückenschaltung (22) ein durch die Steuereinheit (21) vorgegebener Spannungsverlauf mit der bestimmten Frequenz erzeugt wird, wobei die Steuereinheit (21) dazu eingerichtet ist, den vorgegebenen Spannungsverlauf mit einer gegenüber der Phase des bestimmten Spannungsverlaufs ersten zeitlichen Variation der Phase zu versehen, und
- einen Korrelator (24) zum Bestimmen eines Korrelationsmaßes zwischen der ersten zeitlichen Variation der Phase und einer zweiten zeitlichen Variation einer durch den Wechselrichter (14) mit dem Teilnetz (10) ausgetauschten Leistung, wobei der Korrelator (24) dazu eingerichtet ist, ein Inselnetz zu

Anhängende Zeichnungen

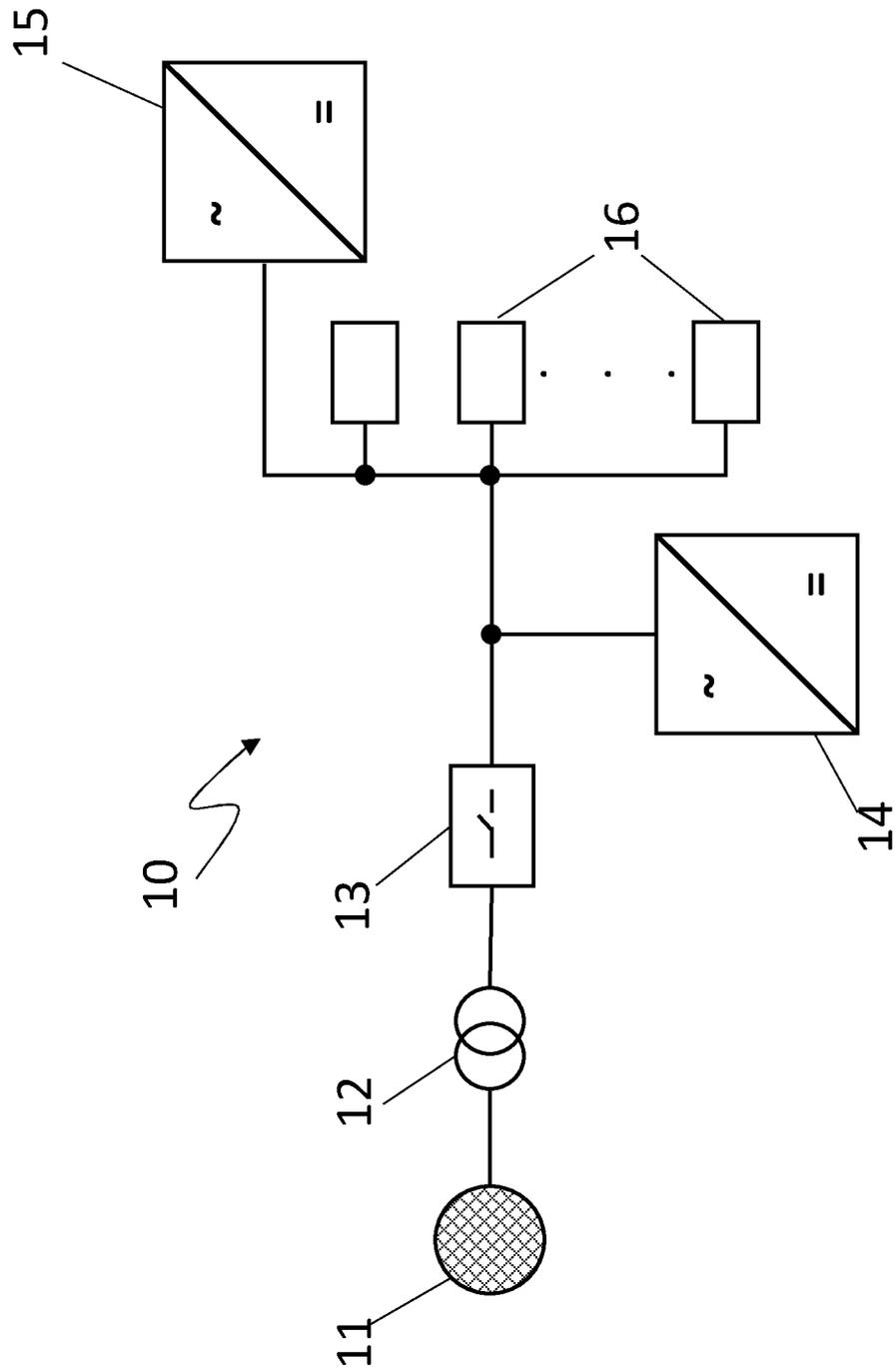


Fig. 1

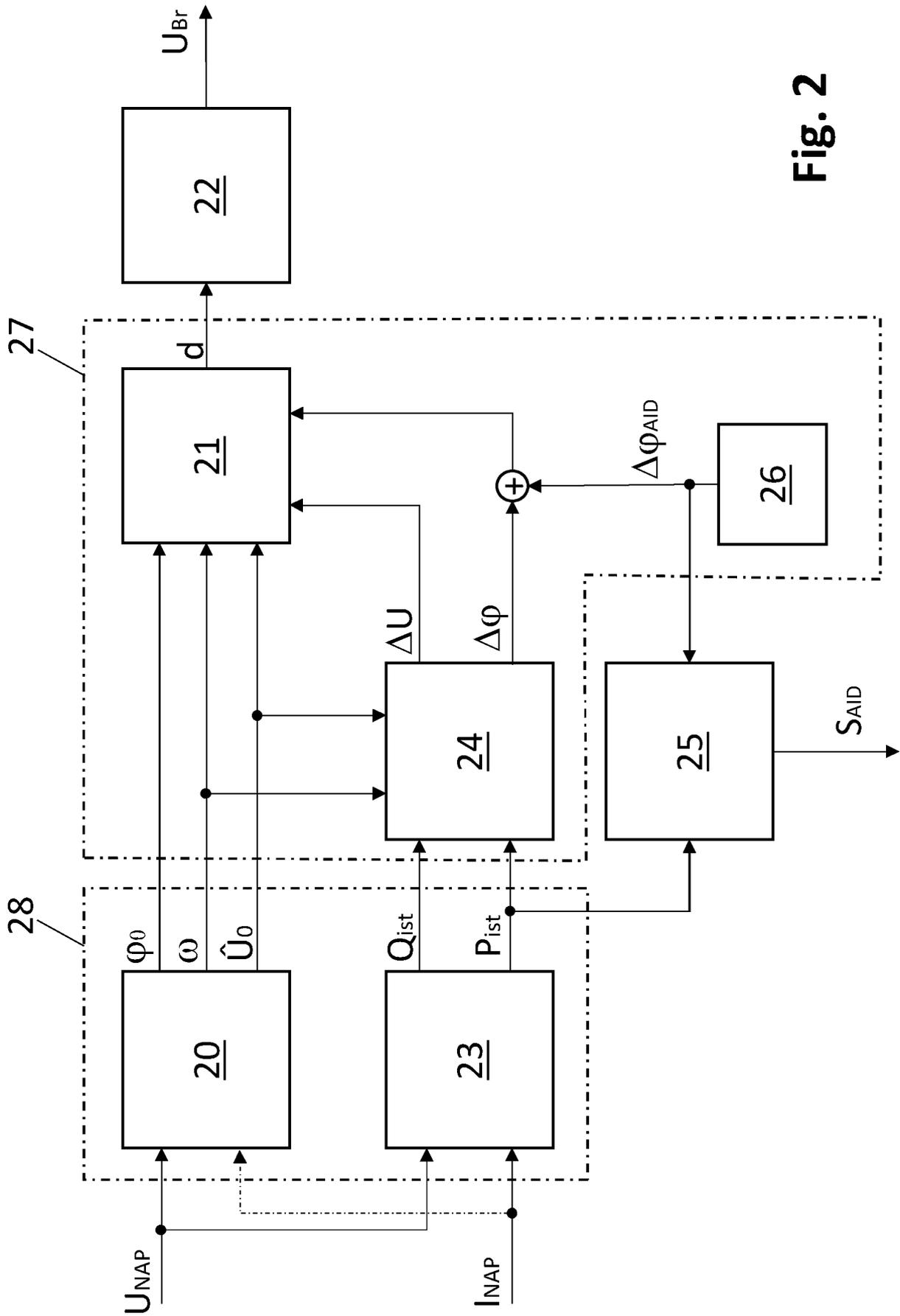


Fig. 2

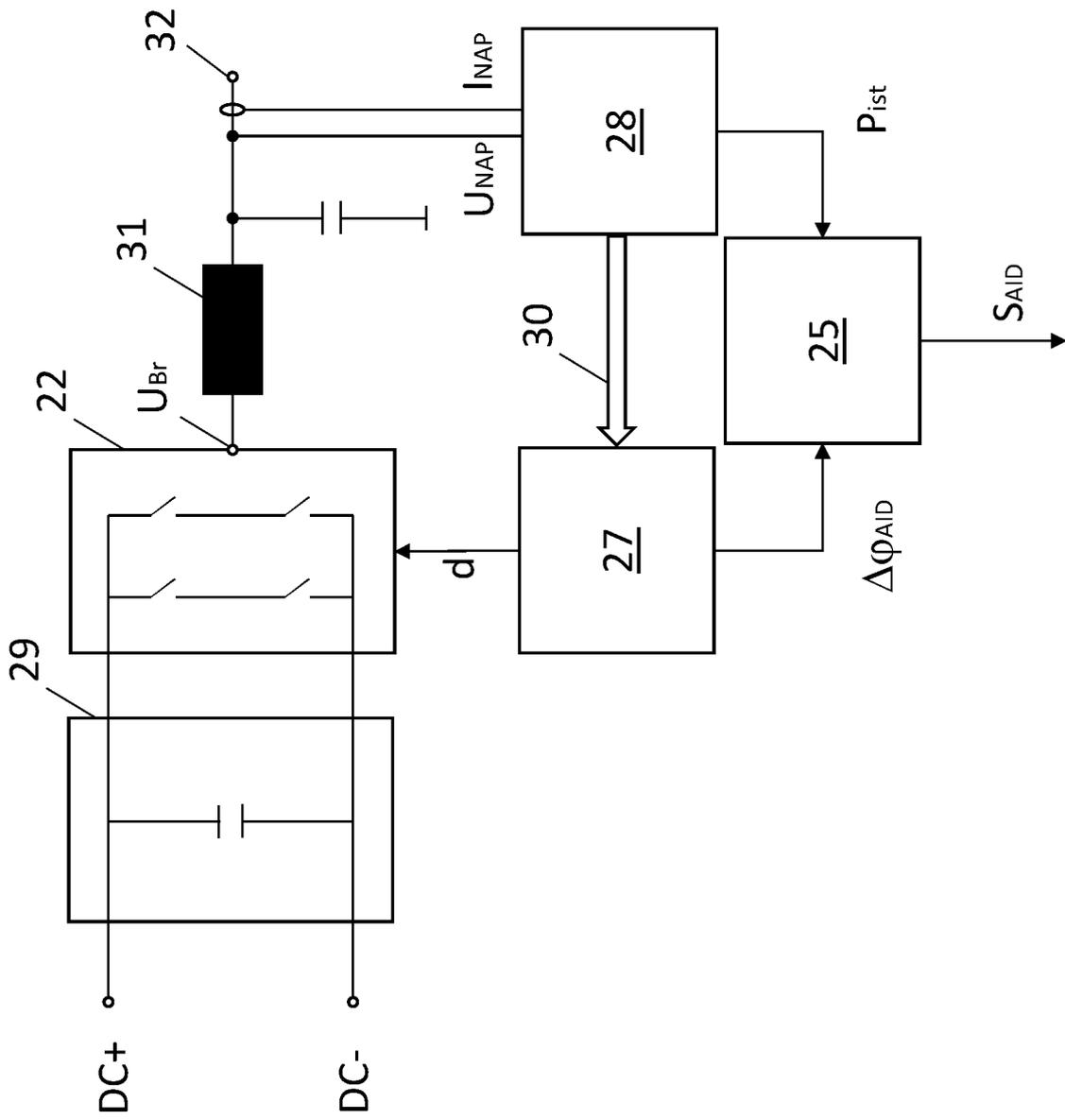


Fig. 3

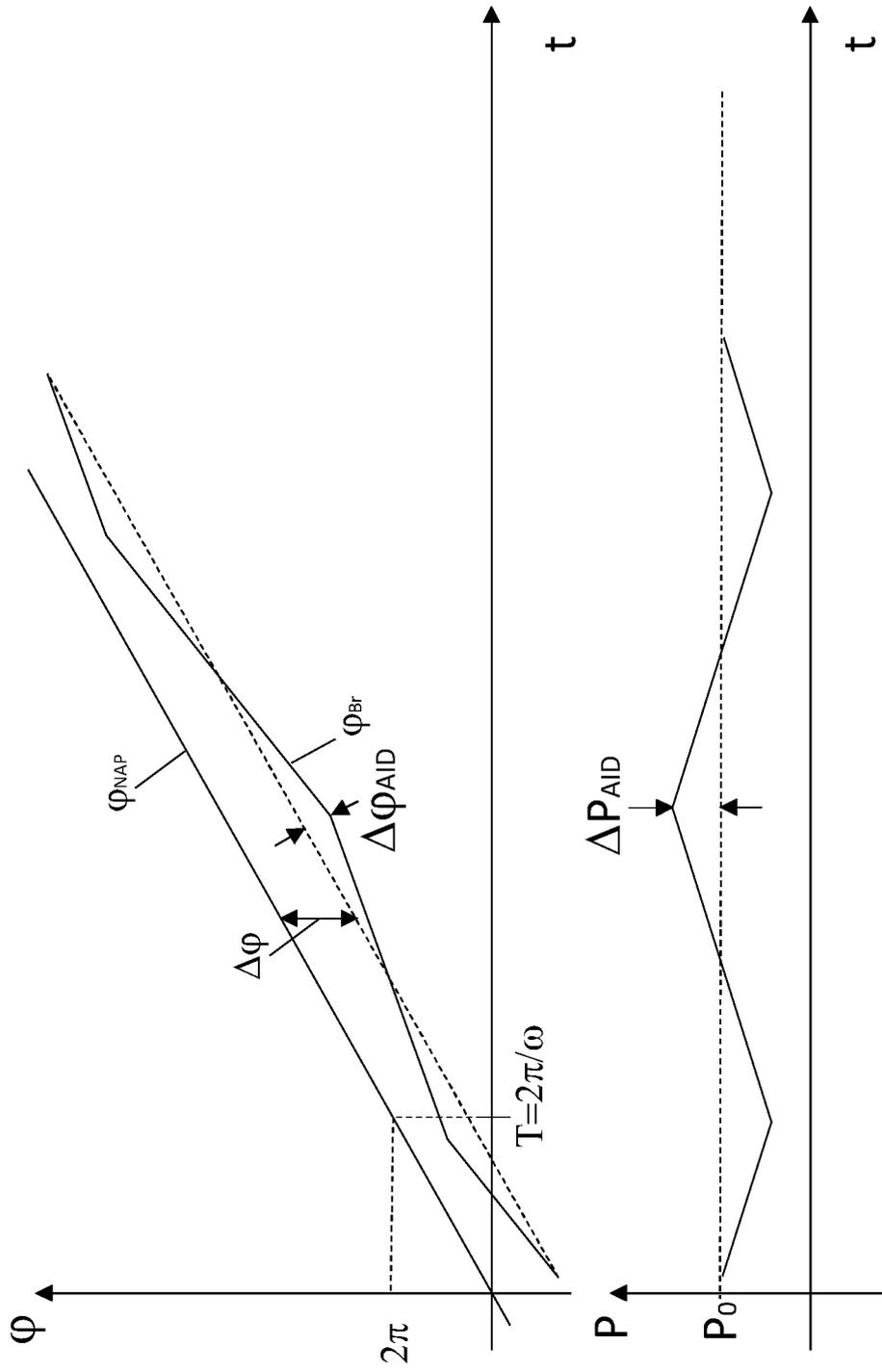


Fig. 4

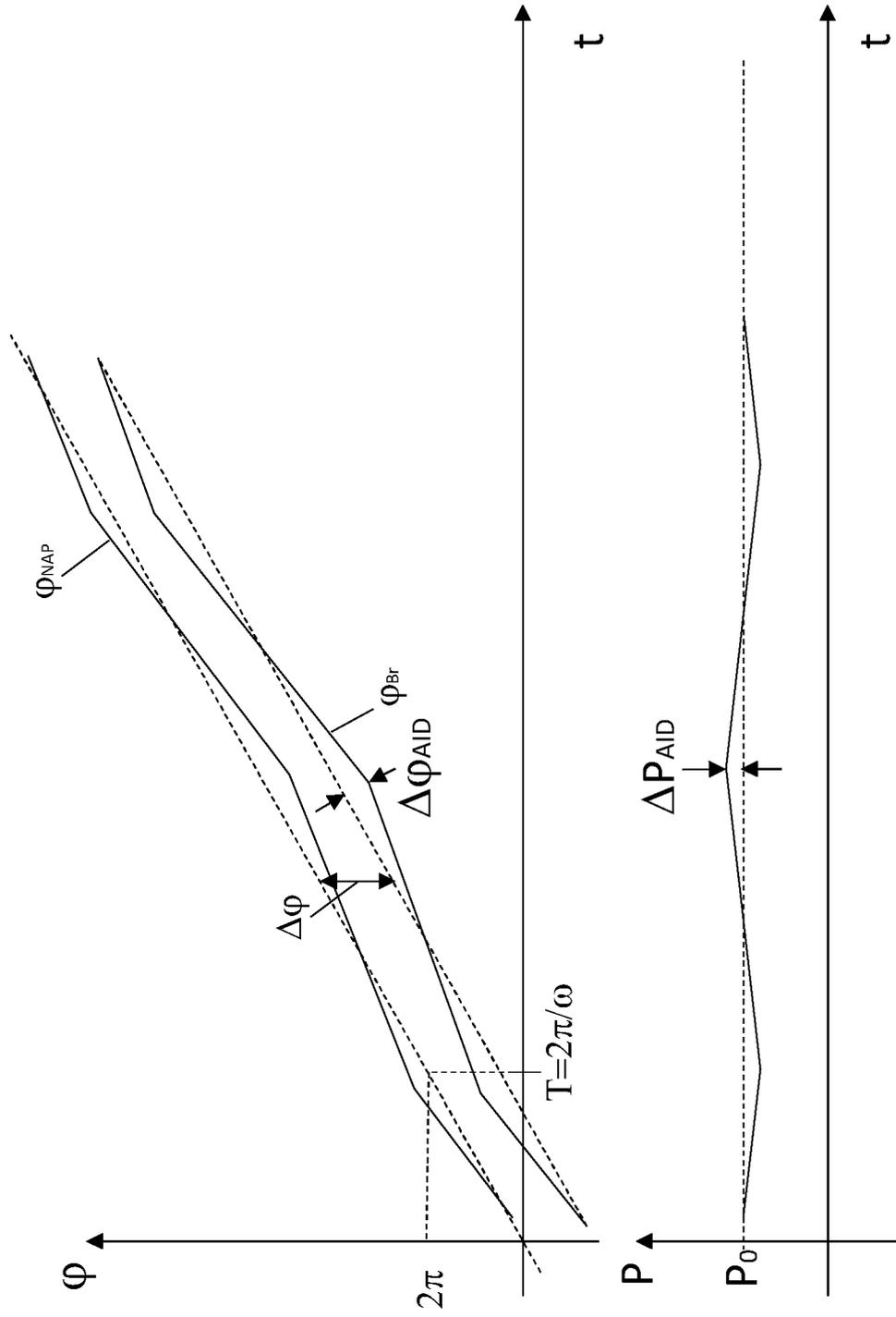


Fig. 5

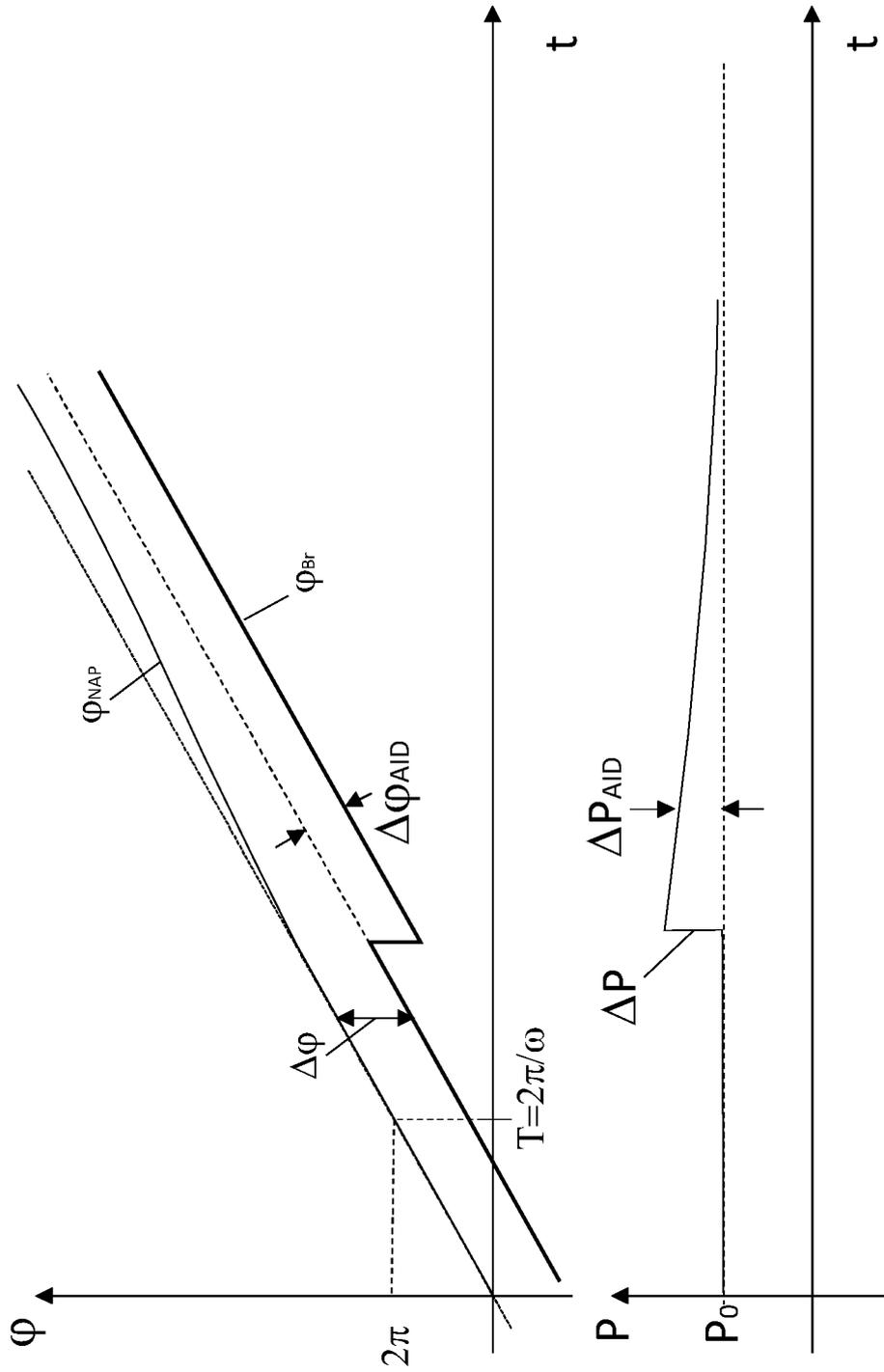


Fig. 6