

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. Januar 2022 (20.01.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/013458 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02J 3/38 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/070191

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Juli 2021 (19.07.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 119 039.5
17. Juli 2020 (17.07.2020) DE

(71) Anmelder: SMA SOLAR TECHNOLOGY AG
[DE/DE]; Sonnenallee 1, 34266 Niestetal (DE).

(72) Erfinder: **KNOBLOCH, Andreas**; Behringstrasse 6, 34121 Kassel (DE). **HARDT, Christian**; Haroldstrasse 22, 34128 Kassel (DE). **BERNSDORFF, Mats**; Schuetzenstrasse 2, 34125 Kassel (DE). **PREMM, Daniel**; Am Gelinde 23, 34260 Kaufungen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A POWER SUPPLY PLANT, AND POWER SUPPLY PLANT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER ENERGIEVERSORGUNGSANLAGE UND ENERGIEVERSORGUNGSANLAGE

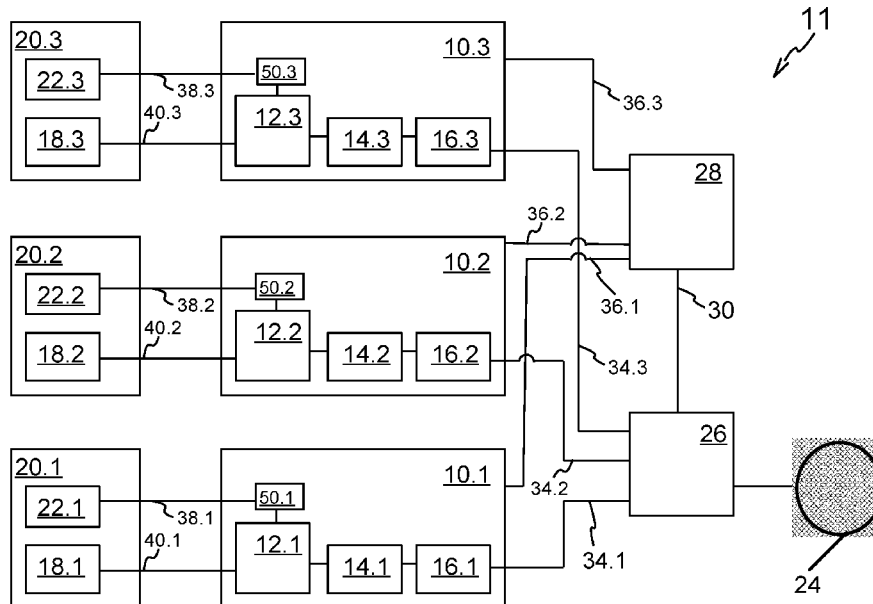


Fig. 1

(57) Abstract: In a method for operating a power supply plant (11) having a plurality of inverters (10.1, 10.2, 10.3) and a plant controller (28), which is connected to the inverters (10.1, 10.2, 10.3) for communication, the power supply plant (11) has a grid connection (26), which is connected to an AC voltage grid (24). Via the grid connection (26), the inverters (10.1, 10.2, 10.3) exchange electrical interchange powers with the AC voltage grid (24) such that the power supply plant (11) exchanges a total interchange power, composed of the respective electrical interchange powers, with the AC voltage grid (24). By means of a respective regulator (50.1, 50.2, 50.3), the inverters (10.1, 10.2, 10.3) adjust their respective interchange powers depending on a respective deviation of a voltage profile of a grid voltage from a respective reference profile with respect to a respective reference frequency and/or depending on a respective voltage



WO 2022/013458 A1

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

amplitude differential between a respective grid voltage and a respective reference voltage. The plant controller (28) influences the regulators (50.1, 50.2, 50.3) of the inverters (10.1, 10.2, 10.3) depending on a power differential between the total interchange power and a specified interchange power. A power supply plant (11) according to the application is designed to carry out this method.

(57) **Zusammenfassung:** In einem Verfahren zum Betrieb einer Energieversorgungsanlage (11) mit einer Vielzahl von Wechselrichtern (10.1, 10.2, 10.3) und einem Anlagenregler (28), der kommunikativ mit den Wechselrichtern (10.1, 10.2, 10.3) verbunden ist, weist die Energieversorgungsanlage (11) einen Netzanschluss (26) auf, der an ein Wechselspannungsnetz (24) angeschlossen ist. Die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) tauschen über den Netzanschluss (26) elektrische Austauschleistungen mit dem Wechselspannungsnetz (24) aus, so dass die Energieversorgungsanlage (11) eine Gesamt-Austauschleistung mit dem Wechselspannungsnetz (24) austauscht, die sich aus den jeweiligen elektrischen Austauschleistungen zusammensetzt. Die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) stellen mittels einer jeweiligen Regelung (50.1, 50.2, 50.3) ihre jeweiligen Austauschleistungen in Abhängigkeit von einer jeweiligen Spannungsverlaufsabweichung eines Spannungsverlaufs einer Netzspannung von einem jeweiligen Referenzverlauf mit Bezug auf eine jeweilige Referenzfrequenz und/oder in Abhängigkeit von einer jeweiligen Spannungsamplitudendifferenz zwischen einer jeweiligen Netzspannung und einer jeweiligen Referenzspannung ein. Der Anlagenregler (28) beeinflusst die Regelungen (50.1, 50.2, 50.3) der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) in Abhängigkeit von einer Leistungsdifferenz zwischen der Gesamt-Austauschleistung und einer Vorgabe-Austauschleistung beeinflusst. Eine anmeldungsgemäße Energieversorgungsanlage (11) ist dazu eingerichtet, dieses Verfahren auszuführen.

VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER ENERGIEVERSORGUNGSANLAGE UND ENERGIEVERSORGUNGSANLAGE

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Energieversorgungsanlage sowie eine Energieversorgungsanlage.

STAND DER TECHNIK

Konventionelle Energieversorgungsanlagen, insbesondere thermisch betriebene Kraftwerke, umfassen netzsynchron rotierende Schwungmassen von Synchrongeneratoren oder Turbinen und des jeweiligen Triebstrangs. Die Energieversorgungsanlagen tauschen elektrische Leistung mit einem elektrischen Wechselspannungsnetz aus, wobei die gesamte Schwungmasse der Anlagen im Netz wesentlich zur Stabilisierung des Wechselspannungsnetzes beiträgt. Insbesondere die Trägheit dieser Schwungmasse bewirkt aufgrund der darin gespeicherten Rotationsenergie eine Trägheit des rotierenden Spannungsraumzeigers der Energieversorgungsanlagen, so dass bei Phasensprüngen und/oder Frequenzänderungen des Spannungsraumzeigers im Wechselspannungsnetz eine augenblickliche Leistungsänderung der Energieversorgungsanlagen stattfindet, die insbesondere durch induktive Effekte und eine Phasenwinkeldifferenz zwischen dem Spannungsraumzeigers der Schwungmasse und dem Spannungsraumzeigers der Netzspannung hervorgerufen wird. Dadurch wird eine sogenannte Momentanreserve bereitgestellt und die Änderungsrate der Netzfrequenz des Wechselspannungsnetzes begrenzt, insbesondere für den Fall, dass Leistungsungleichgewichte zwischen Zufuhr und Abfluss elektrischer Leistung, d.h. zwischen Erzeugung und Verbrauch im Wechselspannungsnetz auftreten.

Die als Momentanreserveleistung zwischen Energieversorgungsanlage und Wechselspannungsnetz ausgetauschte Energie wird der rotierenden Masse entnommen bzw. zugeführt, indem die Schwungmasse abgebremst bzw. beschleunigt wird, wobei die ausgetauschte Leistung und die ausgetauschte Energie durch die physikalischen Eigenschaften der Energieversorgungsanlage insgesamt begrenzt wird. Die Bereitstellung der Momentanreserve endet, sobald der Spannungsraumzeiger der Schwungmasse sich mit dem Spannungsraumzeiger des Netzes synchronisiert hat und seine Rotationsfrequenz sich an die Netzfrequenz angeglichen hat, d.h. insbesondere sobald ein Wegdriften der Netzfrequenz gestoppt ist, beispielsweise nachdem das Leistungsgleichgewicht durch weitere Frequenzhaltungsmechanismen oder einen Netzselbstregeleffekt beseitigt ist.

Energieversorgungsanlagen, die über leistungselektronische Stromrichter elektrische Leistung mit dem Wechselspannungsnetz austauschen, wie z. B. Photovoltaik-Anlagen, Windkraftanlagen oder netzgekoppelte Energiespeicher, besitzen hingegen in der Regel keine rotierenden Massen und somit keine mechanische Trägheit, praktisch keine mechanische Speicherfähigkeit sowie keine wesentliche Überstromfähigkeit. Die leistungselektronischen Stromrichter solcher Energieversorgungsanlagen, insbesondere Wechselrichter, können zum Austausch elektrischer Leistung mit einem bestehenden Wechselspannungsnetz eingerichtet sein oder selbst ein Inselnetz aufbauen.

Ein Wechselrichter, der ein Inselnetz aufbaut, gibt die Wechselspannung im Inselnetz bezüglich Amplitude und Frequenz selbst vor und speist einen Strom in das Inselnetz ein, der geeignet ist, Amplitude und Frequenz der Wechselspannung im Inselnetz in jeweils zulässigen Wertebereichen zu halten. Dazu kann eine sogenannte Droop-Regelung eingesetzt werden, wie sie beispielsweise in der WO 2018/122726 A1 beschrieben ist. Bei dieser spannungseinprägenden und insofern netzbildenden Droop-Regelung wird der zwischen Wechselrichter und Inselnetz ausgetauschte Strom bzw. die ausgetauschte Leistung anhand einer $f(P)$ -Kennlinie derart eingestellt, dass ein Leistungsungleichgewicht im Inselnetz und damit eine Frequenzabweichung oder ein Phasensprung der Netzspannung zu einer entgegenwirkenden Reaktion des Wechselrichters führt. Konkret erhöht sich beispielsweise die eingespeiste Leistung, wenn ein Leistungsdefizit und damit eine Unterfrequenz im Inselnetz vorliegt. Ziel ist es dabei, ein Leistungsgleichgewicht im Inselnetz herzustellen, um das Inselnetz in normativ zulässigen Grenzen betreiben zu können.

Als ein stromrichterbasiertes Verfahren zur Anwendung in einem Wechselrichter für ein Inselnetz ist z.B. aus der EP 1 286 444 B1 eine Droop-Regelung mit Tiefpassfilter im $f(P)$ -Pfad bekannt. Dieses Regelungsverfahren bezieht sich auf die Umsetzung in parallel geschalteten und induktiv gekoppelten Wechselrichtern, die über Netzkoppelinduktivitäten an eine gemeinsame Versorgungsleitung angeschlossen sind. Dabei weist jeder Wechselrichter einen Regelkreis auf, bei dem die Frequenz der Ausgangsspannung unter Berücksichtigung einer vorgewählten Frequenzstatik aus der Wirkleistung abgeleitet wird, wobei zusätzlich ein Wert für die Phase der Ausgangsspannung aus der Wirkleistung abgeleitet werden kann.

Ein Wechselrichter, der elektrische Leistung mit einem bestehenden Wechselspannungsnetz austauscht, indem er stromeinprägend betrieben wird, folgt der Wechselspannung im Wechselspannungsnetz und erzeugt einen netzkonformen Wechselstrom, dessen Frequenz weitgehend der aktuellen Frequenz der Wechselspannung des Wechselspannungsnetzes entspricht und dessen Amplitude und damit Leistung sich an externen Randbedingungen orientieren kann. Insbesondere kann der eingespeiste Wechselstrom anhand einer gewünschten Austauschleistung der Energieversorgungsanlage eingestellt werden,

beispielsweise einer Lade- bzw. Entladeleistung einer Batterie als Gleichstromquelle, und/oder anhand der aktuellen Eigenschaften der angeschlossenen Gleichstromquelle, im Falle eines PV-Generators als Gleichstromquelle insbesondere zur Verwertung der maximal verfügbaren Generatorleistung. Zusätzlich kann die ausgetauschte Wirkleistung in einer sogenannten $P(f)$ -Regelung anhand einer Leistungs-Frequenz-Kennlinie abhängig von der Abweichung der Netzfrequenz von einer Sollfrequenz und/oder die ausgetauschte Blindleistung in einer Blindleistungsregelung anhand einer Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie abhängig von einer Abweichung der Netzspannung von einer Sollspannung eingestellt werden.

Wechselrichter weisen in der Regel eine schnelle Dynamik auf, d. h. sie sind in der Lage, ihre Ausgangsspannung, ihren Ausgangsstrom und ggf. weitere Parameter mit einer hohen Taktfrequenz deutlich größer als ein Kilohertz und entsprechend kleinen Zeitkonstanten unterhalb einer Millisekunde einzustellen. Die Anwendung der Droop-Regelung in einem Wechselrichter hat dabei eine quasi sofortige Leistungsänderung bei Netzereignissen, insbesondere bei Frequenzabweichungen oder Phasensprüngen zur Folge. Die proportionale Leistungs-Frequenz-Kennlinie der Droop-Regelung führt dazu, dass sich bei Auftreten einer Phasenwinkeldifferenz, d.h. insbesondere im Falle einer Leistungsänderung aufgrund einer Abweichung der Netzfrequenz relativ zu einer Sollfrequenz innerhalb weniger als einer Periode der Wechselspannung ein neuer Arbeitspunkt mit geänderter Frequenz und damit stabilisierter Phasenwinkeldifferenz und resultierender Austauschleistung einstellt. In der $P(f)$ -Regelung ist in der Regel zunächst eine konkrete Bestimmung der Netzfrequenz notwendig, beispielsweise mittels einer Phasenregelschleife (PLL), so dass ein Wechselrichter mit einer $P(f)$ -Regelung unter Umständen nicht wie gewünscht auf Phasensprünge sowie prinzipbedingt verzögert mit einer Änderung der Austauschleistung und/oder des Ausgangsstroms auf Frequenzdrifts reagiert.

Wenn die Netzfrequenz von der Sollfrequenz abweicht, aber ansonsten konstant ist, stellt sich sowohl bei der Droop-Regelung als auch bei einer konventionellen stromeinprägenden $P(f)$ -Regelung eine ebenfalls konstante Leistungsabweichung von der Leistung bei Netzfrequenz gleich Sollfrequenz ein. Insofern haben Droop-Regelung und $P(f)$ -Regelung den Charakter einer Frequenzhaltungsreserve, einer sogenannten Primärregelreserve. Dies gilt analog auch für die Bereitstellung einer konstanten Blindleistung bei einer konstanten Spannungsabweichung der Netzspannung von der Sollspannung. Bei einem Verhalten als Momentanreserve ist es jedoch oft erwünscht, dass die Momentanreserveleistung, d. h. die zur Bereitstellung der Momentanreserve mit dem Wechselspannungsnetz ausgetauschte Leistung, auf ihren ursprünglichen Wert vor einem Netzereignis, d.h. insbesondere vor einer

Änderung des Netzspannungswinkels oder der Netzfrequenz abklingt und einen anderweitig, z.B. übergeordnet vorgegeben Wert einnimmt.

In US 9,859,828 B2 wird eine mit Energiespeichern kombinierte Windkraftanlage mit Windturbinengeneratoren und einem Anlagencontroller beschrieben, die mit einem Wechselstromnetz elektrische Leistung austauscht. Die Windkraftanlage ist dazu eingerichtet, netzstützend zu wirken, indem die ausgetauschte Leistung geregelt wird.

In US 2016/0268818 A1 wird ein Energieversorgungssystem beschrieben. Ein Systemcontroller setzt eine Droop-Kennlinie für eine Vielzahl von Batterien. Ein Batteriecontroller steuert das Be- und Entladen der Vielzahl von Batterien anhand der Droop-Kennlinie.

AUFGABE DER ERFINDUNG

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer Energieversorgungsanlage und eines Wechselrichters in einer Energieversorgungsanlage bereitzustellen, das insbesondere durch eine Trägheit eine Momentanreserve bereitstellt und dadurch netzdienlich wirkt. Der Erfindung liegt weiter die Aufgabe zugrunde, eine Energieversorgungsanlage bereitzustellen, die insbesondere durch Bereitstellung einer Momentanreserve spannungs- und/oder frequenzstützend wirkt.

LÖSUNG

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und durch eine Energieversorgungsanlage mit den Merkmalen des Patentanspruchs 25 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Bei einem Verfahren zum Betrieb einer Energieversorgungsanlage mit einer Vielzahl von Wechselrichtern, einem Anlagenregler, der kommunikativ mit den Wechselrichtern verbunden ist, und einem Netzanschluss, über den die Energieversorgungsanlage an ein Wechselspannungsnetz anschließbar ist, tauschen die Wechselrichter über den Netzanschluss elektrische Austauschleistungen mit dem Wechselspannungsnetz aus, so dass die Energieversorgungsanlage eine Gesamt-Austauschleistung mit dem Wechselspannungsnetz austauscht, die sich aus den jeweiligen Austauschleistungen der Wechselrichter zusammensetzt. Die Wechselrichter stellen dabei mittels einer jeweiligen Regelung ihre jeweiligen Austauschleistungen in Abhängigkeit von einer jeweiligen Spannungsverlaufsabweichung eines Spannungsverlaufs einer Netzspannung von einem

jeweiligen Referenzverlauf mit einem Referenzphasenwinkel und/oder mit Bezug auf eine jeweilige Referenzfrequenz ein. Alternativ oder zusätzlich stellen die Wechselrichter mittels einer jeweiligen Regelung ihre jeweiligen Austauschleistungen in Abhängigkeit von einer jeweiligen Spannungsamplitudendifferenz zwischen einer jeweiligen Netzspannung und einer jeweiligen Referenzspannung ein. Der Anlagenregler beeinflusst die Regelungen der Wechselrichter in Abhängigkeit von einer Leistungsdifferenz zwischen der Gesamt-Austauschleistung und einer Vorgabe-Austauschleistung.

Durch die erfindungsgemäße Entkopplung der Regelung der jeweiligen Austauschleistung durch den Wechselrichter selbst und die überlagerte Beeinflussung der Regelung der Wechselrichter durch den Anlagenregler wird es besonders vorteilhaft ermöglicht, die Gesamt-Austauschleistung der Energieversorgungsanlage einerseits auf der Ebene der Wechselrichter dynamisch einzustellen, insbesondere zur Netzstützung im Falle einer transienten Abweichung von Netzparametern von entsprechenden Sollwerten, und andererseits auf der Ebene der gesamten Energieversorgungsanlage ein übergeordnetes Ziel zu verfolgen, insbesondere die optimale Nutzung einer Energiequelle und/oder Energiesenke der Energieversorgungsanlage. Dabei kann insbesondere eine hohe Genauigkeit der erbrachten, netzstützenden Leistungsbeiträge am Netzanschlusspunkt erzielt werden, beispielsweise der vorgehaltenen und tatsächlich erbrachten Momentanreserveleistung.

Bevorzugt sind die Wechselrichter als Speicher-Wechselrichter ausgebildet und weisen jeweils einen Speicheranschluss zum Anschluss eines Energiespeichersystems mit Energiespeicher und Energiespeichermanagement, insbesondere eines Batteriesystems mit Batterie und Batteriemanagement auf. Aus dem Energiespeicher des Energiespeichersystems, z.B. einer Batterie oder einem Doppelschichtkondensator (Ultracap oder Supercap), kann bei Bedarf elektrische Leistung zur Einspeisung in das Wechselspannungsnetz durch Entladen des Energiespeichers entnommen werden. Bei Aufnahme von elektrischer Leistung aus dem Wechselspannungsnetz kann der jeweilige Energiespeicher der Speicher-Wechselrichter geladen werden.

In einer Ausführungsform sind die Wechselrichter als Wechselrichter ausgebildet, die optional einen Anschluss für eine Photovoltaik-Anlage (PV-Anlage) aufweisen. Über die PV-Anlage kann bei Bedarf elektrische Leistung zur Einspeisung in das Wechselspannungsnetz erzeugt werden, wobei die erzeugte Leistung zwischen einer einstrahlungsabhängig maximal möglichen Leistung und Null variiert werden und die PV-Anlage zusätzlich als Senke dienen kann, indem elektrische Leistung aus dem Wechselspannungsnetz bezogen und in die PV-Anlage zurückgespeist wird.

In einer Ausführungsform messen die Wechselrichter die Netzspannung des Wechselspannungsnetzes über jeweilige Messeinrichtungen. Der Spannungsverlauf der Netzspannung bildet den zeitlichen Verlauf der Messwerte der Netzspannung ab und kann einen Phasenraumzeiger umfassen, der einen Phasenwinkel und eine Rotationsfrequenz aufweist. Die Netzfrequenz und/oder die Spannungsamplitude kann dann durch die jeweiligen Wechselrichter, bevorzugt durch ihre jeweiligen Regelungen, aus dem Spannungsverlauf ermittelt werden, insbesondere mittels einer Phasenregelschleife (kurz: PLL).

In einer Ausführungsform umfassen die jeweiligen Regelungen der Wechselrichter eine Referenzfrequenz und/oder eine Referenzspannung, die verwendet werden, um einen Referenzverlauf der einzustellenden Ausgangsspannung des jeweiligen Wechselrichters mit Bezug auf die Referenzfrequenz und/oder die Referenzspannung vorzugeben. Dabei kann der Referenzverlauf insbesondere die Referenzfrequenz oder eine gegenüber der Referenzfrequenz um einen Regelbetrag abweichende Frequenz aufweisen, wobei der Regelbetrag insbesondere in einer Droop-Regelung von der Austauschleistung des jeweiligen Wechselrichters abhängen kann.

Das beschriebene Verfahren stellt eine stromrichterbasierte Momentanreserve durch Energieversorgungsanlagen, insbesondere durch PV-Anlagen oder Energiespeicher-Anlagen zur Verfügung. Bei dem Verfahren werden die jeweiligen Regelungen der Wechselrichter, die spannungsstellend und/oder stromstellend betrieben werden und ihre jeweiligen Austauschleistungen in Abhängigkeit von der Spannungsverlaufsabweichung und/oder der Spannungsamplitudendifferenz zwischen der Netzspannung und den jeweiligen Wechselrichter-Sollwerteneinstellen, durch einen übergeordneten Anlagenregler ergänzt. Der Anlagenregler beeinflusst die Regelungen einer Mehrzahl an Wechselrichtern einer Energieversorgungsanlage insbesondere durch Vorgabe und/oder Modifikation mindestens eines Parameters der Regelung und/oder durch Übermittlung von Leistungswerten am Netzanschluss, die im Rahmen der Regelungen der Wechselrichter zur Berechnung eines entsprechenden Parameters verwendet werden. In einer Ausführungsform kann ein Anlagenregler auch mehreren, z. B. benachbarten Energieversorgungsanlagen zugeordnet sein oder ein Anlagenregler kann einem Teilbereich einer Energieversorgungsanlage zugeordnet sein, insbesondere bei sehr großen Energieversorgungsanlagen.

Der Anlagenregler ergänzt die jeweiligen Regelungen der Wechselrichter. Die Beeinflussung der jeweiligen Regelungen der Wechselrichter durch den Anlagenregler erfolgt in Abhängigkeit von einer Leistungsdifferenz zwischen der Gesamt-Austauschleistung der Energieversorgungsanlage und einer Vorgabe-Austauschleistung. Dabei kann die Abhängigkeit von der Leistungsdifferenz explizit sein, beispielsweise indem der Anlagenregler einen Vorgabe-Parameter aus der gemessenen Leistungsdifferenz ermittelt und an die Regelungen der

Wechselrichter übermittelt, oder auch implizit, indem die gemessene Leistungsdifferenz vom Anlagenregler an die Regelungen der Wechselrichter übermittelt und dort zur Modifikation der Vorgabe-Parameter verwendet wird. So kann die Gesamt-Austauschleistung in einer gewünschten Form beeinflusst werden und beispielsweise nach einer durch eine Netzfrequenzänderung bedingten Änderung der Austauschleistungen der Wechselrichter weiter verändert, insbesondere wieder auf einen Ausgangszustand vor der Netzfrequenzänderung zurückgeführt werden. Insbesondere kann durch das Zusammenspiel der Regelungen der Wechselrichter mit dem Anlagenregler die Gesamt-Austauschleistung an die Vorgabe-Austauschleistung angenähert werden, indem die Leistungsdifferenz am Netzanschluss minimiert und ggf. auf null geregelt wird. Der Anlagenregler stellt dabei den Wechselrichtern, mit denen der Anlagenregler kommunikativ interagiert, insbesondere die Leistungsdifferenz am Netzanschluss oder einen daraus abgeleiteten Parameter der Regelungen der Wechselrichter zur Verfügung.

Die Austauschleistungen der Wechselrichter können eine Wirkleistung und eine Blindleistung umfassen, so dass die Gesamt-Austauschleistung der Energieversorgungsanlage einen Wirkleistungsanteil und einen Blindleistungsanteil umfasst. Ebenso kann die Vorgabe-Austauschleistung einen Wirkleistungsanteil und/oder einen Blindleistungsanteil umfassen.

Der Wirkleistungsanteil und/oder der Blindleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung kann dabei positiv oder negativ sein, das heißt, die Energieversorgungsanlage kann im Grundzustand elektrische Wirkleistung aus den Energiespeichern und/oder den PV-Generatoren entnehmen und an das Wechselspannungsnetz abgeben und umgekehrt sowie sowohl kapazitive als auch induktive elektrische Blindleistung bereitstellen. Der Wirkleistungsanteil und/oder der Blindleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung kann dem Anlagenregler dabei ebenfalls vorgegeben werden, beispielsweise durch eine übergeordnete Netzbetriebssteuerung, durch eine Regelleistungsfunktion der Energieerzeugungsanlage oder durch einen intern in der Energieversorgungsanlage auftretenden Bedarf, z.B. eine Last oder ein Nachladen eines Speichers.

Der Wirkleistungsanteil und/oder der Blindleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung kann beispielsweise zeitlich weitgehend konstant, insbesondere gleich null, sein. Im Falle eines Wirkleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung von null wirkt die Energieversorgungsanlage im Sinne einer reinen Schwungmasse netzdienlich durch Bereitstellung einer Wirkleistungs-Momentanreserve, wobei der Wirkleistungsanteil der Gesamt-Austauschleistung dann nach einer gewissen Zeit bei konstanter Netzfrequenz durch den Anlagenregler wieder auf null zurückgefahren wird. Im Falle eines Wirkleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung ungleich null, wirkt die Energieversorgungsanlage ebenfalls netzdienlich durch die Bereitstellung einer Wirkleistungs-Momentanreserve, wobei jenseits

der Bereitstellung der Wirkleistungs-Momentanreserve ein zusätzlicher kontinuierlicher Leistungsaustausch zwischen einzelnen Wechselrichtern und dem Wechselspannungsnetz angestrebt werden kann. Dabei wird die Gesamt-Austauschleistung – nach der Bereitstellung der Momentanreserve – auf einen konstanten oder variablen Wert der Vorgabe-Austauschleistung eingeregelt. Dadurch kann beispielsweise die zeitlich variierende elektrische Leistung von PV-Generatoren an einzelnen Wechselrichtern energetisch sinnvoll genutzt und ins Wechselspannungsnetz eingespeist werden.

Der Wirkleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung kann auch frequenzabhängig sein und dabei insbesondere von der Netzfrequenz abhängen. Alternativ oder zusätzlich kann der Blindleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung von der Netzspannung abhängig sein. In einer solchen Ausführungsform wirkt die Energieversorgungsanlage zunächst netzbildend durch die Bereitstellung einer Momentanreserve und darüber hinaus netzstützend durch die Bereitstellung einer Primärregelleistung. Das Verfahren erlaubt eine einfache Realisierung der Fähigkeit einer Energieversorgungsanlage, eine Momentanreserve über Speicher-Wechselrichter zur Verfügung zu stellen, indem instantan Wirkleistung zur Dämpfung des Netzfrequenzgradienten bei transienten Leistungsungleichgewichten im Wechselspannungsnetz und/oder Blindleistung zur Dämpfung des Netzspannungsgradienten bei transienten Unter- oder Überspannungen zur Verfügung steht. Gleichzeitig ist die Energieversorgungsanlage flexibel hinsichtlich ihres Verhaltens jenseits der Momentanreserve konfigurierbar, indem insbesondere der Wirkleistungsanteil der Gesamt-Austauschleistung bei Frequenzstabilität auf verschiedene interne und/oder externe Anforderungen an die Energieversorgungsanlage adaptiert werden kann.

Die Eingriffsdynamik des Anlagenreglers ist dabei bevorzugt langsamer als die Dynamiken der jeweiligen Regelungen der Wechselrichter. Unter Dynamik wird das Zeitverhalten eines Reglers oder einer Regelung verstanden. Die Dynamik kann insbesondere durch die Taktfrequenz des Reglers oder der Regelung begrenzt sein sowie beispielsweise von Begrenzungen des Gradienten einer Stellgröße des Reglers oder der Regelung beeinflusst sein. Konkret bestimmen die Parameter der jeweiligen Regelungen der Wechselrichter das instantane oder hochfrequente Verhalten der Wechselrichter mit hoher Dynamik, während die Parameter des Anlagenreglers das Verhalten der Energieversorgungsanlage im zeitlichen Mittel mit geringerer Eingriffsdynamik beeinflussen.

In einer Ausführungsform des Verfahrens umfasst die zur Einstellung der jeweiligen Austauschleistung verwendete Spannungsverlaufsabweichung eine Frequenzdifferenz zwischen einer Netzfrequenz und einer jeweiligen Referenzfrequenz. Dabei wird die Netzfrequenz aus der Netzspannung ermittelt, bevorzugt mittels einer PLL. In Abhängigkeit von

dieser Frequenzdifferenz kann dann mittels der jeweiligen Regelung die jeweilige Wirkleistung der Wechselrichter eingestellt werden.

In einer alternativen Ausführungsform umfasst die Spannungsverlaufsabweichung eine Phasenwinkeldifferenz zwischen einem Netzphasenwinkel der Netzspannung und einem jeweiligen Wechselrichterphasenwinkel. Dabei weist der Wechselrichterphasenwinkel eine Frequenz auf, die anhand der jeweiligen Regelung in Abhängigkeit der jeweiligen Wirkleistung unter Berücksichtigung einer jeweiligen Referenz-Wirkleistung und einer jeweiligen Referenzfrequenz vorgebar ist.

In einer Ausführungsform stellen die Wechselrichter mittels ihrer jeweiligen Regelungen ihre jeweilige Wirkleistung anhand einer jeweiligen Kennlinie, insbesondere einer Droop-Kennlinie ein. Ein Parameter der Kennlinie hängt von der jeweiligen Referenzfrequenz ab. Alternativ oder zusätzlich hängt ein Parameter der Kennlinie von einer jeweiligen Referenzleistung ab. Dabei weist die Kennlinie eine Steigung auf.

In einer Ausführungsform gibt die Kennlinie den funktionalen Zusammenhang zwischen der jeweiligen Wirkleistung und der jeweiligen Frequenzdifferenz an. Dies entspricht beispielsweise in einer Droop-Regelung einer sogenannten $f(P)$ -Statik, die insbesondere in Form einer Geraden mit einer Steigung df/dP vorgegeben ist. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Kennlinie in einer jeweiligen Droop-Regelung realisiert, wobei die jeweilige Wirkleistung in der jeweiligen Droop-Regelung als Messgröße verwendet wird und die Frequenz und/oder der Phasenwinkel der Ausgangsspannung des jeweiligen Wechselrichters als Stellgröße eingestellt werden. Es ergibt sich eine jeweilige Wirkleistung des jeweiligen Wechselrichters, die insbesondere von der Differenz zwischen einer Netzfrequenz und der jeweiligen Referenzfrequenz und/oder von der jeweiligen Referenzleistung der jeweiligen $f(P)$ -Statik abhängen kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren kombiniert damit auf geschickte Weise die Vorteile der Regelung im Wechselrichter, die beispielsweise eine spannungseinprägende Droop-Regelung ist und damit einfach, robust, schnell und vorhersagbar, mit einem Anlagenregler, der eine Regelung des Verlaufs der Gesamtaustauschleistung auf Anlagenebene ermöglicht. Alternativ oder zusätzlich kann eine Blindleistungsregelung im Wechselrichter ausgeführt werden, die besonders einfach, robust, schnell und vorhersagbar aufgebaut ist, wobei der Anlagenregler auch in diesem Fall eine Regelung des Verlaufs der Gesamtaustauschleistung auf Anlagenebene realisiert. Dabei können insbesondere Parameter der Droop-Regelungen und/oder der Blindleistungsregelungen der Wechselrichter durch den Anlagenregler geändert werden, um einen gewünschten Verlauf der Gesamtaustauschleistung zu erzielen.

Die Regelung auf Anlagenebene ist in einer Ausführungsform eine Feed-In Regelung, das heißt der Anlagenregler gibt über eine Kommunikationsverbindung den jeweiligen Regelungen der jeweiligen Wechselrichter Werte vor, insbesondere Parameter der jeweiligen Droop-Regelung und/oder der jeweiligen Blindleistungsregelung. Die Regelung auf Anlagenebene ist damit gut parametrierbar, situationsbedingt konfigurierbar und ermöglicht, die jeweiligen Regelungen der Wechselrichter individuell einzustellen. In dieser Kombination kann dann bevorzugt eine zur Nachbildung des Verhaltens einer Schwungmasse notwendige Trägheit des Spannungsraumzeigers der Wechselrichter der jeweiligen Regelung eines jeweiligen Wechselrichters durch geeignete Abstimmung der Parameter der Droop-Regelung bzw. der Blindleistungsregelung mit den Parametern des Anlagenreglers eingestellt werden. Die Latenzen der überlagerten Regelung durch den Anlagenregler, insbesondere die Kommunikationslatenzen zwischen dem Anlagenregler und den Wechselrichtern, wirken sich dabei nicht auf die schnellen jeweiligen Regelungen der jeweiligen Wechselrichter aus. Dies ist besonders vorteilhaft für dezentrale autonome Wechselrichter-individuelle Droop- bzw. Blindleistungsregelungen. Das Verfahren kann insbesondere ohne Verzögerungsglieder in den schnellen Regelschleifen der Wechselrichterregelung auskommen. Eine mögliche Schwingungsneigung sowie mögliche Instabilitäten können dadurch vermieden werden.

In einer Ausführungsform stellt der Anlagenregler die jeweilige Wirkleistung der Wechselrichter ein, indem er Parameter der jeweiligen Kennlinien der Regelungen der Wechselrichter beeinflusst. Der Anlagenregler beeinflusst dabei insbesondere jeweils den Parameter, der von der Referenzfrequenz abhängt und/oder jeweils den Parameter, der von der Referenzleistung abhängt. Bei einer Droop-Regelung entspricht dies insbesondere einer Verschiebung der Statik, wodurch insbesondere die jeweilige Phasenwinkeldifferenz zwischen Netzphasenwinkel und Wechselrichterphasenwinkel so beeinflusst wird, dass sich eine Änderung der jeweiligen Wirkleistung in der gewünschten Richtung einstellt. Besonders vorteilhaft erfolgt die Beeinflussung derart, dass der Wirkleistungsanteil an der Gesamt-Austauschleistung der Energieversorgungsanlage mit einer vorgebbaren Zeitkonstante an den Wirkleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung angenähert wird.

In einer Ausführungsform kann die Beeinflussung so erfolgen, dass die jeweilige Referenzfrequenz an eine am Netzanschluss gemessene und tiefpassgefilterte Netzfrequenz angeglichen wird. Dies ermöglicht ein dynamisches Nachführen der Referenzfrequenz mittels Tiefpassfilterung der Netzfrequenz, so dass die Referenzfrequenz einem Mittelwert der am Netzanschlusspunkt gemessenen Netzfrequenz entsprechen kann. Dadurch wird letztlich der Wechselrichterphasenwinkel mit dem Netzphasenwinkel durch den Anlagenregler (zeitverzögert) synchronisiert. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft, da für den Anlagenregler durch die Tiefpassfilterung eine einstellbare Zeitverzögerung aufweist.

Der Anlagenregler kann insofern gegenüber den Regelungen der Wechselrichter verzögert reagieren und insbesondere ein definiertes Abklingen der Momentanreserve und den Leistungsaustausch der Energieversorgungsanlage nach der Bereitstellung der Momentanreserve hinsichtlich Wirkleistung und/oder Blindleistung regeln.

Die Übermittlung vom Anlagenregler an die Wechselrichter erfolgt kommunikativ, z. B. durch eine drahtgebundene oder drahtlose Übermittlung. Der oder die in den Regelungen der Wechselrichter einzustellenden Parameter können dabei insbesondere per Broadcast von dem Anlagenregler an die Regelungen der Wechselrichter übertragen werden. Dabei können die jeweiligen an die Wechselrichter übermittelten Parameter jeweils gleich sein, insbesondere also eine gemeinsame Referenzfrequenz und/oder eine gemeinsame Referenzleistung an die Wechselrichter übermittelt werden. Die Parameter der jeweiligen Regelungen der Wechselrichter können auch individuell unterschiedlich für verschiedene Wechselrichter eingestellt werden.

Das Verfahren beruht insbesondere auf einer Kombination aus Regelungen in den Wechselrichtern, insbesondere Droop-Regelungen mit einer Droop-Kennlinie und/oder einer Blindleistungsregelung mit einer $Q(U)$ -Kennlinie, und einer überlagerten Änderung von Parametern der Regelung. Die geänderten Parameter sind abhängig von der Leistungsdifferenz am Netzanschluss, die durch den Anlagenregler ermittelt und zur Berechnung des geänderten Parameters verwendet oder an die Wechselrichter zur entsprechenden autonomen Berechnung geänderter Parameter übermittelt wird. Insbesondere kann die Referenzfrequenz und/oder die Referenzleistung der Droop-Kennlinie modifiziert werden, entweder autonom in den Wechselrichtern als Funktion der Leistungsdifferenz am Netzanschluss oder indem der Anlagenregler die Referenzfrequenz und/oder die Referenzleistung dynamisch per Broadcast oder durch individuelle Kommunikation an die Wechselrichter vorgibt. Dies bewirkt ein Abregeln einer durch eine Frequenzänderung der Netzfrequenz bedingten Änderung der Wirkleistung nach einer gewissen Zeit. Insgesamt ist die Energieerzeugungsanlage dadurch in der Lage, eine Momentanreserve bereitzustellen, deren Charakteristik analog einer elektromechanischen Schwungmasse ist. Die zeitliche Abfolge der Momentanreserveleistung wird dabei durch die Dynamiken der Regelungen der Wechselrichter und die Eingriffsdynamik des Anlagenreglers beeinflusst, wobei die Dynamiken der Regelungen der Wechselrichter schneller sind als die Eingriffsdynamik des Anlagenreglers.

Die Dynamik der Regelungen der jeweiligen Wechselrichter kann in einer Ausführungsform eingestellt werden. Dies kann beispielsweise durch Vorgabe von Parametern der jeweiligen Regelungen geschehen, bevorzugt durch die Vorgabe einer jeweiligen Steigung der jeweiligen Kennlinien der jeweiligen Regelungen. Auch die Eingriffsdynamik der überlagerten

Parameteranpassung kann optional einstellbar ausgestaltet sein. Die Einstellung kann beispielsweise durch die Vorgabe eines Verstärkungsfaktors eines Integrators der Leistungsdifferenz am Netzanschluss und/oder einer Filterkonstanten der Tiefpassfilterung der am Netzanschluss gemessenen Netzfrequenz erfolgen. Hierdurch kann das Zeitverhalten des netzstützenden Verhaltens der Energieversorgungsanlage, insbesondere das Zeitverhalten der Bereitstellung der Momentanreserve, weiter verfeinert werden, so dass „schnelle“ Änderungen der Netzfrequenz und/oder der Netzspannung in den Wechselrichtern zu Leistungsänderungen führen, die durch das „langsamere“ Nachführen von Parametern der jeweiligen Regelung zurückgefahren werden.

Dabei kann insbesondere die Höhe einer Wirkleistungs-Momentanreserve, die von der Energieversorgungsanlage bei einer gegebenen Spannungsverlaufsabweichung bereitgestellt wird, hinsichtlich ihrer Maximalleistung und ihrer Energie durch die Vorgabe von Parametern der Regelungen der Wechselrichter und/oder durch Vorgabe der Parameter des Anlagenreglers eingestellt werden. Darüber hinaus kann die Dynamik der jeweiligen Regelungen der Wechselrichter insbesondere durch Vorgabe der jeweiligen Steigung der Kennlinie eingestellt werden. In einer Ausführungsform kann die Dynamik der jeweiligen Regelungen eingestellt werden, bevorzugt durch Vorgabe einer Steigung der Kennlinie. Zusätzlich oder alternativ kann die Eingriffsdynamik des Anlagenreglers eingestellt werden, insbesondere durch Vorgabe von Parametern eines I-Reglers oder eines PI-Reglers der überlagerten Parameteranpassung.

Die Erfindung ermöglicht insbesondere den Einsatz der insbesondere in Inselnetzen bewährten Droop-Regelung in einer mit einem Wechselspannungsnetz verbundenen Energieversorgungsanlage mit netzsynchronen Wechselrichtern und ermöglicht gleichzeitig eine stromeinprägende Einspeisung in das übergeordnete Wechselspannungsnetz.

In einer Ausführungsform kann ein Leistungsaustausch mit an den jeweiligen Wechselrichtern anschließbaren jeweiligen Energiespeichern so gesteuert werden, dass ein jeweils vorgebarer Ladezustand der Energiespeicher angestrebt wird, welcher insbesondere 50% der Kapazität des jeweiligen Energiespeichers entsprechen kann. Bevorzugt erfolgt dabei ein Laden oder Entladen der Energiespeicher mit geringerer mittlerer Leistung als die maximale Austauschleistung aufgrund der jeweiligen Regelung der Austauschleistung der Wechselrichter in Abhängigkeit von der jeweiligen Abweichung, insbesondere von der jeweiligen Phasenwinkeldifferenz.

In einer Ausführungsform werden unmittelbar nach einmaliger oder mehrmaliger Bereitstellung der Momentanreserve die entsprechenden Energiespeicher der Energieerzeugungsanlage oder PV-Generatoren der PV-Anlage auf den initialen Ausgangszustand versetzt. Bei

PV-Generatoren erfolgt dies indem diese in einen entsprechenden Arbeitspunkt auf der PV-Kennlinie gefahren werden, der leistungsmäßig gleich oder unterhalb des Arbeitspunktes maximaler Leistung (Maximum Power Point, MPP) liegt. Bei Energiespeichern wird der Energiespeicherzustand auf den Ausgangszustand gefahren. Dies erfolgt, indem sie in die Lage versetzt werden, Energie mit dem Netz oder einer PV-Anlage auszutauschen, auch ohne, dass eine Anregung durch ein Netzereignis vorliegen und beispielsweise aufgrund der Droop-Regelung zu einem Leistungsaustausch führen würde. Im Falle eines AC-gekoppelten Energieaustauschs mit dem Netz erfolgt dieses Wiederherstellen des Ausgangszustandes mit einer wesentlich kleineren Leistung und damit einer langsamen Zeitkonstante als die Erbringung der Wirkleistungs-Momentanreserve. Somit wird die Speicherkapazität optimal genutzt, um einerseits das Wechselspannungsnetz kurzfristig mit einer hohen Wirkleistung effektiv zu stützen und andererseits beim langsamen Zurückführen in den Ausgangszustand das Wechselspannungsnetz nur wenig zu belasten.

Der Anlagenregler und die durch die Kommunikation mit den Wechselrichtern vorgenommenen Parametrierungen verbessern somit die Fähigkeit von Energieversorgungsanlagen, eine Momentanreserve zur Verfügung zu stellen. Neben der individuellen Parametrierung einzelner Wechselrichter ist es auch möglich, Energiespeichersysteme an den Wechselrichtern individuell zu parametrieren. Hierdurch wird beispielsweise ermöglicht, flexibel zu definieren, welcher Wechselrichter und/oder welche Speichereinheit in der Anlage welchen Beitrag zur Momentanreserve liefern soll. Dies ermöglicht eine Lastaufteilung, die z.B. vorteilhaft ist, wenn Energiespeicher unterschiedliche Speicherzustände besitzen, z.B. voll oder leer sind, und/oder unterschiedlich leistungsfähig hinsichtlich ihrer jeweiligen maximalen Wirk- bzw. Blindleistung sind.

Ein weiterer Vorteil ist, dass der transiente Strom und/oder die transiente Leistung während des Austausches der Momentanreserve durch die jeweilige Regelung der jeweiligen Wechselrichter im Rahmen des Eigenschutzes auf maximal zulässige Werte begrenzt werden kann. Dies kann durch die schnelle Dynamik der Regelungen der Wechselrichter durch die Wechselrichter selbst erfolgen. Die Wechselrichter können dabei bei Bedarf in einem spannungseinprägenden, netzbildenden Zustand verbleiben. Dies kann insbesondere durch ein Strombegrenzungsverfahren der virtuellen Impedanz erfolgen.

In einer Ausführungsform des Verfahrens können die jeweiligen Wechselrichter Blindleistung mit dem Wechselspannungsnetz austauschen, wobei die jeweilige Regelung der jeweiligen Wechselrichter eingerichtet ist, die Austauschleistung bei Erreichen einer Scheinleistungsgrenze des jeweiligen Wechselrichters so zu beeinflussen, dass die mit dem Wechselspannungsnetz ausgetauschte Blindleistung reduziert werden kann und die mit dem

Wechselspannungsnetz ausgetauschte Wirkleistung erhöht werden kann. Hierdurch kann eine Überlastung des Wechselrichters vermieden werden.

Dies ist vorteilhaft, da falls vor einer Änderung der Netzfrequenz stationäre Blindleistung abgegeben wurde, diese während der Bereitstellung der Momentanreserve geändert werden kann und insbesondere zugunsten des Wirkleistungsaustausches während des Zurverfügungstellens der Momentanreserve reduziert werden kann. Hierdurch können die Wechselrichter vor Überlastung geschützt werden, insbesondere indem sie im Rahmen der lokalen Spannungsgrenzen bleiben. In einer Weiterbildung des Verfahrens ist zusätzlich zum Wirkleistungsbeitrag und/oder Wirkstrombeitrag auch ein netzspannungsstützender Blindleistungsbeitrag und/oder Blindstrombeitrag möglich und einstellbar. Bevorzugt erfolgt die Einstellung über Parametrierung der Regelungen der Wechselrichter, z. B. durch den Anlagenregler oder in Abhängigkeit von Messdaten des Anlagenreglers. Bevorzugt stellt das Verfahren ebenfalls eine Momentanreserve an Blindleistung zur Verfügung, insbesondere zur Spannungsstützung im Kurzschlussfehlerfall.

In einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens kann der Blindleistungsanteil der Gesamt-Austauschleistung am Netzanschluss durch den Anlagenregler in Abhängigkeit von einer gemessenen Spannung am Netzanschluss eingestellt werden. Zusätzlich oder alternativ kann die jeweilige Blindleistung der Wechselrichter durch den Anlagenregler und eine Blindleistungsregelung im jeweiligen Wechselrichter eingestellt werden. Dabei umfasst die Einstellung des Blindleistungsanteils der Gesamt-Austauschleistung am Netzanschluss ein Ermitteln eines Blindleistungsanteils der Vorgabe-Austauschleistung am Netzanschluss, insbesondere in Abhängigkeit von der Netzspannung, ein Messen des Blindleistungsanteils am Netzanschluss, ein Ermitteln von jeweiligen Blindleistungs-Sollwerten für die Wechselrichter, insbesondere in Abhängigkeit vom Blindleistungsanteils der Vorgabe-Austauschleistung und vom gemessenen Blindleistungsanteils am Netzanschluss, und ein der jeweiligen Blindleistungs-Sollwerte an die Wechselrichter durch den Anlagenregler. Zusätzlich umfasst die Einstellung des Blindleistungsanteils der Gesamt-Austauschleistung am Netzanschluss ein Messen der jeweiligen Netzspannung am jeweiligen Ausgang der Wechselrichter, einen Vergleich der jeweiligen gemessenen Netzspannung mit einer Referenzspannung, die einem Mittelwert der Netzspannung entspricht, ein Ermitteln eines jeweiligen Blindleistungs-Korrekturwertes als Funktion der Abweichung der gemessenen Netzspannung von der Referenzspannung mittels einer Q-U-Kennlinie, und ein Einstellen der jeweiligen Blindleistung anhand der Summe des jeweiligen Blindleistungs-Sollwertes und des jeweiligen Blindleistungs-Korrekturwertes durch die Wechselrichter.

Eine erfindungsgemäße Energieversorgungsanlage weist einem Netzanschluss zum Anschluss an ein Wechselspannungsnetz sowie eine Vielzahl von Wechselrichtern und

einen Anlagenregler auf. Der Anlagenregler ist kommunikativ mit den Wechselrichtern verbunden. Die Wechselrichter sind eingerichtet, jeweilige elektrische Austauschleistungen mit dem Wechselspannungsnetz auszutauschen. Die Energieversorgungsanlage ist eingerichtet, mit dem Wechselspannungsnetz über den Netzanschluss eine elektrische Gesamt-Austauschleistung auszutauschen, wobei sich die Gesamt-Austauschleistung aus den jeweiligen elektrischen Austauschleistungen zusammensetzt. Die Wechselrichter sind eingerichtet, mittels einer jeweiligen Regelung ihre jeweiligen Austauschleistungen jeweils in Abhängigkeit von einer jeweiligen Frequenzdifferenz zwischen einer Netzfrequenz und einer jeweiligen Referenzfrequenz einzustellen. Der Anlagenregler ist eingerichtet, die jeweiligen Regelungen der einzelnen Wechselrichter in Abhängigkeit von einer Leistungsdifferenz zwischen der Gesamt-Austauschleistung und einer vorgebbaren Referenz-Austauschleistung zu beeinflussen.

In einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb eines Wechselrichters in einer Energieversorgungsanlage mit einem Netzanschluss, der an ein Wechselspannungsnetz angeschlossen ist, tauscht der Wechselrichter über den Netzanschluss elektrische Austauschleistung umfassend Wirkleistung und Blindleistung mit dem Wechselspannungsnetz aus. Der Wechselrichter stellt seine Austauschleistung mittels einer Regelung in Abhängigkeit von einer Spannungsverlaufsabweichung eines Spannungsverlaufs einer Netzspannung von einem Referenzverlauf mit Bezug auf eine Referenzfrequenz und/oder in Abhängigkeit von einer Spannungsamplitudendifferenz zwischen einer Netzspannung und einer Referenzspannung ein. Dabei wird ein Vorgabe-Parameter der Regelung in Abhängigkeit von einer Leistungsdifferenz zwischen der Austauschleistung der Energieerzeugungsanlage am Netzanschluss und einer Vorgabe-Austauschleistung variiert.

In dem Verfahren ist die Eingriffsdynamik der Variation des Vorgabe-Parameters der Regelung langsamer ist als die Regelungsdynamik der Austauschleistung des Wechselrichters, so dass die Regelung schneller mit Änderungen der Austauschleistung auf Abweichungen der Netzspannungen reagiert als mit Änderungen des Vorgabe-Parameters bei Änderungen der Leistungsdifferenz am Netzanschlusspunkt.

Insbesondere kann die Regelung des Wechselrichters einen Droop-Regler umfassen, wobei der Droop-Regler die Wirkleistung des Wechselrichters als Messgröße verwendet und anhand einer Kennlinie mit einer Steigung die Frequenz und/oder den Phasenwinkel der Ausgangsspannung des Wechselrichters als Stellgröße einstellt. Dabei hängt ein Vorgabe-Parameter der Kennlinie von der Referenzfrequenz und/oder von einer Referenzleistung ab, wobei die Referenzfrequenz und/oder die Referenzleistung in Abhängigkeit von der Leistungsdifferenz, insbesondere in Abhängigkeit eines Integrals der Leistungsdifferenz variiert werden. Dadurch kann die Wirkleistung am Netzanschluss mit einer vorgebbaren

Zeitkonstante an den Wirkleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung angenähert werden.

In einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Referenzfrequenz an eine am Netzanschluss gemessene und tiefpassgefilterte Netzfrequenz angeglichen. Dadurch wird eine etwaige Frequenzabweichung, die über eine Droop-Statik zu einer Änderung der Wirkleistung des Wechselrichters führt, mit der Zeitkonstanten des verwendeten Tiefpasses minimiert, und die Änderung der Wirkleistung entsprechend aufgehoben.

In einer alternativen Ausführung des Verfahrens wird die Leistungsdifferenz am Netzanschluss außerhalb des Wechselrichters gemessen, insbesondere in einem Anlagenregler, und mittels eines Integrators in eine Referenzleistung umgerechnet. Die Referenzleistung wird dann an den Wechselrichter gesendet und als geänderter Parameter zur Regelung der Ausgangsleistung verwendet.

In einer alternativen Ausführungsform wird die Leistungsdifferenz außerhalb des Wechselrichters gemessen, insbesondere in einem Anlagenregler, und an den Wechselrichter gesendet, wobei der Wechselrichter aus der Leistungsdifferenz mittels eines Integrators die Referenzleistung ermittelt und als geänderter Parameter zur Regelung der Ausgangsleistung verwendet.

Der Integrator zur Berechnung des Vorgabe-Parameters, insbesondere der Referenzleistung, kann einen Verstärker mit einem Verstärkungsfaktor aufweisen. Der Verstärkungsfaktor des Integrators und die Steigung der Droop-Statik können einstellbar sein. Im Ergebnis weist der Wechselrichter-Phasenwinkel gegenüber dem Netzspannungs-Phasenwinkel eine Trägheit auf, die über das Produkt aus Verstärkungsfaktor und Steigung einstellbar ist. Zusätzlich oder alternativ weist die Synchronisation des Wechselrichter-Phasenwinkels mit dem Netzspannungs-Phasenwinkel eine Dämpfung auf, die über das Verhältnis von Verstärkungsfaktor zu Steigung einstellbar ist.

Die Trägheit und/oder die Dämpfung des Wechselrichter-Phasenwinkels können während des laufenden Betriebs der Energieversorgungsanlage einstellbar sein, wobei zur Einstellung von Trägheit und/oder Dämpfung der Verstärkungsfaktor und/oder die Steigung über ein Tiefpass-Filter mit einstellbarer Zeitkonstante oder über eine Rampe mit einstellbarer Steilheit einstellbar sind.

In einer Ausführungsform des Verfahrens kann die Regelung des Wechselrichters eine netzfolgende Blindleistungsregelung umfassen, die die folgenden Schritte ausführt:

- Messen der Netzspannung,
- Ermitteln eines Blindleistungs-Korrekturwertes als Funktion der Abweichung der gemessenen Netzspannung von einer Referenzspannung mittels einer Q-U-Kennlinie,
- Einstellen der Blindleistung anhand der Summe des Blindleistungsanteils an der Vorgabe-Austauschleistung und des jeweiligen Blindleistungs-Korrekturwertes.

Dabei wird die Referenzspannung als Vorgabe-Parameter der Q-U-Kennlinie so variiert, dass die Blindleistung des Wechselrichters mit einer vorgebbaren Zeitkonstante an den Blindleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung angenähert wird, indem der Blindleistungs-Korrekturwert gegen null geht.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

Fig. 1 zeigt eine Energieversorgungsanlage mit drei Wechselrichtern mit Energiespeichersystemen,

Fig. 2 zeigt beispielhaft eine schematische Darstellung einer Regelung eines Wechselrichters,

Figs. 2a-2d zeigen schematische Darstellungen von Ausführungsformen der Regelung eines Wechselrichters in einer Energieerzeugungsanlage,

Fig. 3 zeigt beispielhaft Kennlinien einer Regelung eines Wechselrichters,

Fig. 4 zeigt beispielhaft verschiedene zeitliche Verläufe der Austauschleistung eines Wechselrichters,

Fig. 5 zeigt beispielhaft verschiedene zeitliche Verläufe der Austauschleistung eines Wechselrichters sowie der Referenzleistung,

Fig. 6 zeigt ein Verfahren zum Betrieb einer Energieversorgungsanlage,

Fig. 7 zeigt beispielhaft eine schematische Darstellung einer weiteren Regelung eines Wechselrichters,

Fig. 8 zeigt beispielhaft verschiedene Verläufe der Netzspannung, der Wirkleistung und der Blindleistung eines Wechselrichters.

FIGURENBESCHREIBUNG

Figur 1 zeigt eine Energieversorgungsanlage 11 mit drei Wechselrichtern 10.1, 10.2, 10.3, die jeweils mit einer an sich bekannten spannungseinprägenden und insofern netzbildenden Droop-Regelung 50.1, 50.2, 50.3, ausgestattet sind. Die Anzahl von drei Wechselrichtern 10.1, 10.2, 10.3 ist beispielhaft, es ist auch eine Energieversorgungsanlage 11 mit nur ein oder zwei oder mehr als drei Wechselrichtern 10.1, 10.2, 10.3 denkbar. Über jeweils eine Gleichspannungsleitung 40.1, 40.2, 40.3 ist jeweils ein Energiespeicher 18.1, 18.2, 18.3, z.B. eine Batterie, mit jedem Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 verbunden. Die Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 weisen jeweils eine Brückenschaltung 12.1, 12.2, 12.3 aus Leistungsschaltern auf. Die Brückenschaltung 12.1, 12.2, 12.3 ist eingerichtet, Gleichstrom aus der Gleichspannungsleitung 40.1, 40.2, 40.3 in Wechselstrom auf der Wechselspannungsleitung 42.1, 42.2, 42.3 zu wandeln und/oder umgekehrt. Die jeweilige Brückenschaltung 12.1, 12.2, 12.3 wird dazu von der jeweiligen Droop-Regelung 50.1, 50.2, 50.3 mit geeigneten Schaltsignalen angesteuert. Weiterhin kann die jeweilige Droop-Regelung 50.1, 50.2, 50.3 über eine jeweilige Datenleitung 38.1, 38.2, 38.3 mit einem jeweiligen Energiespeichermanagement 22.1, 22.2, 22.3 der Energiespeicher 18.1, 18.2, 18.3 verbunden sein. Energiespeicher 18.1, 18.2, 18.3 und Energiespeichermanagement 22.1, 22.2, 22.3 bilden jeweils gemeinsam ein Energiespeichersystem 20.1, 20.2, 20.3.

Die Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 sind über jeweilige Wechselspannungsleitungen 34.1, 34.2, 34.2 mit einem gemeinsamen Netzanschluss 26 verbunden. Im Leistungspfad zwischen der jeweiligen Brückenschaltung 12.1, 12.2, 12.3 und dem jeweiligen Anschluss der jeweiligen Wechselspannungsleitung 34.1, 34.2, 34.3. ist jeweils eine Messeinrichtung 14.1, 14.2, 14.3 und eine Kopplungsimpedanz 16.1, 16.2, 16.3 angeordnet. Die jeweilige Messeinrichtung 14.1, 14.2, 14.3 ist eingerichtet, die Netzspannung des Wechselspannungsnetzes 24 sowie den zwischen der jeweiligen Brückenschaltung 12.1, 12.2, 12.3 und dem Wechselspannungsnetz 24 fließenden Wechselstrom zu messen und daraus Netzfrequenz, Phasenlage und ggf. die jeweilige Austauschleistung zu ermitteln. Die jeweilige Kopplungsimpedanz ist dazu eingerichtet, die Wechselrichter in der Betriebsweise als Spannungsquellen voneinander zu entkoppeln.

Der jeweilige Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 ist über eine jeweilige Datenleitung 36.1, 36.2, 36.3 mit dem Anlagenregler 28 der Energieversorgungsanlage 11 verbunden. Über die jeweilige Datenleitung 36.1, 36.2, 36.3 kann eine Kommunikation des Anlagenreglers 28 mit den jeweiligen Wechselrichtern 10.1, 10.2, 10.3 erfolgen.

Die Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 werden spannungseinprägend am Wechselspannungsnetz 24 betrieben und stellen an den Anschlüssen der Wechselspannungsleitungen 34.1,

34.2, 34.3 jeweils eine Spannung U mit definierter Frequenz f und Phasenlage θ ein, wobei insbesondere die jeweilige Frequenz f in Abhängigkeit von Wirkleistungsflüssen P_{WR} und Blindleistungsflüssen und/oder Wirk- und Blindstromflüssen eingestellt wird. Dazu können die Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 insbesondere eine Regelung 50.1 gemäß Fig. 2 und/oder eine Blindleistungsregelung gemäß Fig. 7 umfassen. Alternativ oder zusätzlich können die Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 stromeinprägend betrieben werden, wobei insbesondere ihre Wirkleistung in Abhängigkeit von der Netzfrequenz und/oder ihre Blindleistung in Abhängigkeit von der Netzspannung eingestellt werden kann.

Zur Energieversorgungsanlage 11 gehört des Weiteren ein Messgerät am oder im Netzanschluss 26, welches die Wirkleistung P_{WR} und/oder die Blindleistung Q am Netzanschluss 26 der Energieversorgungsanlage 11 erfasst und die Messwerte an einen Anlagenregler 28 über eine Datenleitung 30 weiterleitet. Der Anlagenregler 28 verarbeitet die Messinformationen vom Messgerät am Netzanschluss 26 in einem Regelalgorithmus und erzeugt mindestens einen Referenzwert, der über die jeweilige Datenleitung 36.1, 36.2, 36.3 an die Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 übermittelt wird. Dieser Referenzwert kann insbesondere eine Leistungsdifferenz am Netzanschluss zwischen der aktuellen Austauschleistung am Netzanschluss und einer Vorgabe-Austauschleistung umfassen, aus der eine Referenzwirkleistung P_{ref} oder eine Referenzfrequenz f_{ref} für die Droop-Regelung 50.1, 50.2, 50.3 der spannungseinprägenden Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 gebildet werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann der Referenzwert eine Referenzblindleistung für eine Blindleistungsregelung 80 etwaiger spannungseinprägender Wechselrichter der Energieversorgungsanlage 11 umfassen.

Es ist vorteilhaft, einen Anlagenregler 28 und eine Messeinrichtung im Netzanschluss 26 mit einer ausreichend schnellen Dynamik zu wählen, um mittels des Anlagenreglers 28 schnell auf Netzereignisse reagieren zu können. Die Reaktionszeit des Anlagenreglers 28 ist beispielsweise beeinflusst von seiner internen Taktrate, seiner Rechenkapazität und/oder der Datenrate der Kommunikation über die jeweilige Datenleitung 36.1, 36.2, 36.3 mit dem jeweiligen Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3. Bevorzugt wird der Anlagenregler 28 so ausgelegt, dass sich Zeitkonstanten unterhalb von 10 Sekunden, bevorzugt unter 1 Sekunde realisieren lassen.

In **Figur 2** ist beispielhaft die Regelung 50.1 des Wechselrichters 10.1 schematisch dargestellt. Die Regelungen 50.2 und 50.3 der Wechselrichter 10.2 und 10.3 sind vergleichbar aufgebaut.

Von der Messeinrichtung 14.1 des Wechselrichters 10.1 wird die gemessene Wirkleistung P_{ist} empfangen und im Vergleicher 46.1 von der Referenzleistung P_{ref} subtrahiert. Das

Ergebnis wird in einem optionalen Filterelement 48.1 gefiltert. Im Droop-Element 52.1 wird daraus durch Multiplikation mit einem Droop-Faktor df/dP eine Frequenz erzeugt, welche im Vergleich 54.1 mit einer Referenzfrequenz f_{ref} zu einer Sollfrequenz f_{set} verknüpft wird. Die resultierende Sollfrequenz f_{set} wird in einer Synchronisation 56.1 in einen Phasenwinkel θ_{set} umgewandelt.

Von der Messeinrichtung 14.1 des Wechselrichters 10.1 wird die gemessene Blindleistung Q_{ist} empfangen und in einer Blindleistungsregelung 58.1 mittels einer $U(Q)$ -Droop-Kennlinie eine Sollspannung U_{set} erzeugt. In einer Pulsweitenmodulation 59.1 werden Phasenwinkel θ_{set} und Sollspannung U_{set} verknüpft und in ein pulswertenmoduliertes Stellsignal PWM umgewandelt, dass zur Ansteuerung der Brückenschaltung 12.1 verwendet wird, um eine ein- oder dreiphasige Ausgangsspannung an der Wechselspannungsleitung 34.1 anzulegen und einen resultierenden Wechselstrom mit dem Wechselspannungsnetz 24 auszutauschen.

Damit wird es ermöglicht, beispielsweise bei einer plötzlichen Änderung der Netzfrequenz wegen z.B. eines plötzlich aufgetretenen Leistungsungleichgewichts eine Regelleistung auszutauschen, die zum Zeitpunkt des Eintritts der plötzlichen Frequenzänderung durch die Droop-Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 vorgegeben ist. Konkret führt eine Abweichung des Phasenwinkels θ_{set} gegenüber dem Phasenwinkel der Netzspannung zu einer Änderung der gemessenen Wirkleistung P_{ist} , die über das Droop-Element 52.1 wiederum zu einer Änderung der Sollfrequenz führt, so dass der Phasenwinkel θ_{set} dem Phasenwinkel der Netzspannung nachgeführt wird. Selbst wenn die Sollfrequenz f_{set} wieder auf die Netzfrequenz zurückgeführt ist verbleibt jedoch eine Phasenwinkeldifferenz, so dass die resultierende Regelleistung abhängig ist von der Frequenzdifferenz zwischen Netzfrequenz und Referenzfrequenz. Die Gesamt-Austauschleistung der Energieerzeugungsanlage 11 würde diese Regelleistung ohne weitere Maßnahmen dauerhaft umfassen, solange eine Frequenzdifferenz zwischen Netzfrequenz und Referenzfrequenz vorliegt.

Im Folgenden kann die Gesamt-Austauschleistung der Energieerzeugungsanlage 11 jedoch auf einen anderen Wert, z.B. auf eine Leistungsabgabe mit den Werten der Wirk- und Blindleistung vor der Bereitstellung der Regelleistung eingestellt werden, indem der Anlagenregler 28 innerhalb einer vorgebbaren Zeitspanne in die Droop-Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 eingreift und insbesondere die Referenzwirkleistung P_{ref} und/oder die Referenzfrequenz f_{ref} in den Droop-Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 modifiziert werden.

Hierfür können Leistungsmesssignale vom Netzanschluss 26 der Energieerzeugungsanlage 11 ausgewertet und die Kennlinien-Referenzwerte P_{ref} bzw. f_{ref} modifiziert werden, wobei die

Kennlinien-Referenzwerte P_{ref} bzw. f_{ref} beispielsweise mittels eines Integrals-Reglers in Abhängigkeit von Soll- und Istwerten der Austauschleistung am Netzanschluss 26 erzeugt werden. Auf Basis der derart vorgegebenen dynamischen Kennlinien-Referenzwerte P_{ref} bzw. f_{ref} werden die Droop-Kennlinien 60 der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 derart in ihrem Ursprung verschoben (vgl. Fig. 3), dass die Austauschleistung in einer parametrierbaren Zeit auf die Wirkleistungsabgabe vor der Bereitstellung der Momentanreserve oder auf in der Zwischenzeit geänderte Sollwerte dafür einstellt wird. Durch geeignete Auslegung können dabei die durchschnittlichen und die maximalen Energieflüsse zur Netzstützung pro Frequenzabweichungs-Ereignis minimiert werden.

In **Figur 2a** ist eine Ausführungsform der Regelung 50.1 eines Wechselrichters 10.1 der Energieversorgungsanlage 11 dargestellt, bei der die Blindleistungsregelung 58.1 detaillierter ausgeführt ist. Die gemessene Blindleistung Q_{ist} wird in der Blindleistungsregelung 58.1 mittels eines Vergleichers 58.11 von einer Referenzblindleistung Q_{ref} subtrahiert. Das Ergebnis wird in einem optionalen Filterelement 58.12 gefiltert. Im Droop-Element 58.13 wird daraus durch Multiplikation mit einem Droop-Faktor dU/dQ ein Spannungswert erzeugt, welcher im Vergleich 58.14 mit einer Referenzspannung U_{ref} zu einer Wechselrichter-Spannungsamplitude U_{set} verknüpft wird. In der Pulsweitenmodulation 59.1 werden der Phasenwinkel θ_{set} , der aus der $f(P)$ -Droop-Regelung resultiert, und die Wechselrichter-Spannungsamplitude U_{set} verknüpft und in ein pulswertenmoduliertes Stellsignal PWM umgewandelt, dass zur Ansteuerung der Brückenschaltung 12.1 verwendet wird.

In der Ausführungsform gemäß Fig. 2a werden zusätzlich zu den Kennlinien-Referenzwerten P_{ref} bzw. f_{ref} , die für die Beeinflussung der $f(P)$ -Droop-Regelung verwendet werden, weitere Kennlinien-Referenzwerte Q_{ref} bzw. U_{ref} in den Droop-Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 modifiziert, insbesondere indem der Anlagenregler 28 entsprechende Kennlinien Referenzwerte bereitstellt. Dadurch werden die Droop-Kennlinien der $U(Q)$ -Droop-Regelungen beeinflusst und können analog zu Droop-Kennlinien 60 der $f(P)$ -Kennlinien (vergleiche Fig. 3) derart in ihrem Ursprung verschoben werden, dass die $U(Q)$ -Droop-Regelung dahingehend beeinflusst wird, dass der Blindleistungsanteil der Austauschleistung der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 nach einer Änderung der Blindleistungsabgabe, beispielsweise aufgrund einer Spannungsänderung der Netzspannung, in einer parametrierbaren Zeit auf die Blindleistungsabgabe vor der Spannungsänderung oder auf einen in der Zwischenzeit geänderten Sollwert für die Blindleistung am Netzanschluss 26 eingestellt wird.

In Fig. 2b ist eine weitere Ausführungsform der Regelung der Energieversorgungsanlage 11 dargestellt. Darin ist der Anlagenregler 28 mit seinen Komponenten detaillierter dargestellt. Die Darstellung der Regelung 50.1 entspricht der Darstellung gemäß Fig. 2a, wobei

selbstverständlich mehrere Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 mehrerer Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 mit demselben Anlagenregler 28 verbunden sein können. Der Anlagenregler 28 verwendet Netzanschluss-Sollwerte P_{refPOI} und Q_{refPOI} , die die gewünschte Ausgangsleistung der Energieversorgungsanlage 11 repräsentieren, wobei insbesondere der Blindleistungs-Sollwert Q_{refPOI} optional ist und insbesondere den Wert null aufweisen kann. Die Netzanschluss-Sollwerte P_{refPOI} und Q_{refPOI} können von einer übergeordneten Betriebsführung 80, beispielsweise einer Netzleitstelle vorgegeben werden oder im Anlagenregler 28 selbst gespeichert sein. Dabei können die Netzanschluss-Sollwerte P_{refPOI} und Q_{refPOI} einmalig fest vorgegeben sein und insbesondere den Wert null aufweisen oder dynamisch von der Betriebsführung 80 und/oder vom Anlagenregler 28 selbst bedarfsweise geändert werden.

Der Anlagenregler 28 weist Vergleicher 28.1, 28.4 auf, die die Regelabweichungen ΔP_{POI} und ΔQ_{POI} zwischen den Netzanschluss-Sollwerten P_{refPOI} und Q_{refPOI} und den jeweiligen gemessenen Ausgangsleistungen P_{istPOI} bzw. Q_{istPOI} ermitteln. Die Regelabweichungen ΔP_{POI} und ΔQ_{POI} werden in Integratoren 28.2 bzw. 28.5 aufintegriert und in Verstärkern 28.3, 28.6 mit Verstärkungsfaktoren $1/H_\theta$ bzw. $1/H_U$ multipliziert. Die resultierenden integrierten und normierten Regelabweichungen der Ausgangsleistungen P_{istPOI} bzw. Q_{istPOI} gegenüber ihren jeweiligen Netzanschluss-Sollwerten P_{refPOI} und Q_{refPOI} werden als Kennlinien-Referenzwerte P_{ref} bzw. U_{ref} an die Regelung 50.1 des Wechselrichters 10.1 sowie ggf. an die nicht dargestellten Regelungen 50.2, 50.3 der weiteren Wechselrichter 10.2, 10.3 gesendet und dort entsprechend der Ausführungsform gemäß Fig. 2 und 2a weiterverwendet, um die Ansteuerung der jeweiligen Brückenschaltung 12.1 zu berechnen.

Figur 2c zeigt eine weitere Ausführungsform der Regelung der Energieversorgungsanlage 11, die im Wesentlichen dieselben Komponenten wie die Regelung gemäß Fig. 2b aufweist, wobei der Anlagenregler 28 abweichend zu Fig. 2b lediglich die Regelabweichungen ΔP_{POI} und ΔQ_{POI} ermittelt und an die Regelung 50.1 und ggf. weitere Regelungen 50.2, 50.3 übermittelt. Dies hat den Vorteil, dass die Berechnung der Kennlinien-Referenzwerte P_{ref} bzw. Q_{ref} in den Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 implementiert sein kann, wo sie jeweils optimal auf die jeweiligen Verhältnisse parametrisiert und eingestellt werden können. Zudem kann der Anlagenregler 28 selbst sowie die Kommunikation mit den Wechselrichtern 10.1, 10.2, 10.3 vereinfacht werden, insbesondere indem der Anlagenregler 28 lediglich die Regelabweichungen ΔP_{POI} und ΔQ_{POI} ermittelt und keine weiteren Berechnungen oder Regelungsaufgaben durchführen muss und insofern keine Rückwirkung etwaiger spezieller Eigenschaften der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 auf den Anlagenregler 28 auftreten kann.

Figur 2d zeigt eine weitere Ausführungsform der Regelung der Energieversorgungsanlage 11, die im Wesentlichen dieselben Komponenten wie die Regelungen gemäß Fig. 2b und 2c

aufweist, wobei zusätzlich die Netzanschluss-Sollwerte P_{refPOI} , Q_{refPOI} dynamisch anhand einer Primärregelung 90 ermittelt und an den Anlagenregler 28 übermittelt werden. Die Primärregelung 90 kann in einer separaten Einheit ausgeführt oder im Anlagenregler 28 integriert sein. Im Rahmen der Primärregelung 90 werden Messwerte der aktuellen Netzfrequenz f_{ist} und der aktuellen Netzspannungsamplitude U_{ist} von entsprechenden Messeinrichtungen 26.2 am Netzanschluss 24 von Nennwerten f_{nom} , U_{nom} subtrahiert, wobei die Nennwerte f_{nom} , U_{nom} insbesondere als Nominalwerte des Wechselspannungsnetzes 24 fest vorgegeben sein können und/oder von einer Betriebsführung 80 übermittelt werden. Die resultierenden Regelabweichungen Δf_{POI} und ΔU_{POI} werden in einem P(f)-Regler 90.1 bzw. in einem Q(U)-Regler 90.2 in Netzanschluss-Sollwerte P_{refPOI} und Q_{refPOI} umgerechnet, die an den Anlagenregler 28 übermittelt und dort entsprechend der Ausführungsform gemäß Fig. 2b und 2c weiterverwendet, um die Kennlinien-Referenzwerte P_{ref} , U_{ref} bzw. die Regelabweichungen ΔP_{POI} , ΔQ_{POI} zu berechnen und der Regelung 50.1 zuzuführen.

In den Ausführungsformen gemäß der Figuren 2a bis 2d werden Wirkleistung und Blindleistung unabhängig voneinander mit der Frequenz bzw. der Spannung verknüpft. Es versteht sich daher, dass die Wirkleistungs-Frequenz-Regelung und/oder die Blindleistungs-Spannungsregelung jeweils einzeln implementiert sein können, wobei insbesondere die Regelung des Blindleistungsanteils optional ist und ggf. entfallen kann.

In **Figur 3** sind beispielhaft zwei Varianten einer Verschiebung der Kennlinie 60 mit der Steigung df/dP nach einer Kennlinie 60' mit derselben Steigung df/dP dargestellt. Eine solche Verschiebung kann beispielsweise durch eine Änderung der Referenzfrequenz f_{ref} nach f'_{ref} erfolgen (linke Graphik von Figur 3). Hierbei wird die Kennlinie 60 nach unten verschoben. Eine solche Verschiebung kann alternativ oder zusätzlich beispielsweise durch eine Änderung der Referenzleistung P_{ref} nach P'_{ref} erfolgen (rechte Graphik von Figur 3). Hierbei wird die Kennlinie 60 nach links verschoben. In beiden Fällen ergibt sich dieselbe verschobene Kennlinie 60'.

Figur 4 zeigt beispielhaft die Austauschleistung eines Wechselrichters 10.1, 10.2, 10.3 nach Auftreten einer Frequenzdifferenz bei der Bereitstellung einer Wirkleistungs-Momentanreserve durch Kombination der Droop-Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 und der überlagerten und definiert verzögerten Änderung der Kennlinien-Referenzwerte P_{ref} oder f_{ref} bzw. der Kennlinien 60 in die Kennlinien 60. Die unterschiedlichen zeitlichen Verläufe der Austauschleistung entsprechen dabei unterschiedlichen Steigungen df/dP der Kennlinie 60. Es ist erkennbar, dass über die Steigung df/dP der Kennlinie 60 die Reaktionsdynamik der Regelung 50.1, 50.2, 50.3 sowie die gesamte als Wirkleistungs-Momentanreserve zur Verfügung gestellte Energie beeinflusst

werden kann. Je höher die Steigung gewählt wird, desto höher ist der maximale Betrag der Wirkleistungs-Momentanreserve bei einer gegebenen Frequenzänderung.

Durch die Steigung df/dP der Kennlinie 60 kann insofern eingestellt werden, wie schnell die Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 im allerersten Moment bei einem instantanen Leistungsfluss ihren jeweiligen Wechselrichterphasenwinkel der Netzphase nachführen. Eine geringe (flache) Steigung df/dP bedeutet, dass die jeweilige Ausgangsfrequenz der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 selbst bei hohem Leistungsfluss vergleichsweise wenig verändert wird, so dass die Phasenwinkeldifferenz vergleichsweise groß werden kann und insofern vergleichsweise viel Momentanreserve-Energie ausgetauscht wird. Bei einer hohen Steigung df/dP wird die Ausgangsfrequenz hingegen vergleichsweise schnell an die Netzfrequenz angepasst, so dass die Phasenwinkeldifferenz vergleichsweise klein bleibt und weniger Momentanreserve-Energie ausgetauscht wird. Konkret kann die Energieversorgungsanlage 11 beispielsweise so ausgelegt werden, insbesondere durch geeignete Auslegung der Energiespeicher 18.1, 18.2, 18.3 im Verhältnis zu den Nennleistungen der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3, dass für einen Zeitraum von mindestens einer Sekunde die volle Nennleistung der Energieversorgungsanlage 11 als Wirkleistungs-Momentanreserve zur Verfügung steht. Alternativ sind andere Auslegungen möglich, insbesondere wenn ein Netzbetreiber des Wechselspannungsnetzes 24 einen größeren oder kleineren Beitrag zur Stützung des Wechselspannungsnetzes 24 durch die Energieversorgungsanlage 11 fordert.

Die obere Hälfte von **Figur 5** zeigt beispielhaft die Austauschleistung eines Wechselrichters 10.1, 10.2, 10.3 nach Auftreten einer Frequenzdifferenz bei der erfindungsgemäßen Bereitstellung einer Wirkleistungs-Momentanreserve. In der unteren Hälfte von Fig. 5 ist der Verlauf der Referenzleistung P_{ref} aufgetragen, wie er als Parameter der Droop-Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 eingestellt wird. Die unterschiedlichen Verläufe der Referenzleistung P_{ref} entsprechen dabei unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren $1/H_\theta$ des Integrators 28.2 und damit verschiedenen Eingriffsdynamiken in die Droop-Regelung 50.1, 50.2, 50.3 durch den Anlagenregler 28 (vergleiche Fig. 2b) bzw. im Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 selbst (vergleiche Figs. 2c und 2d). Es ist erkennbar, dass die Austauschleistung P_{WR} aufgrund einer zum Zeitpunkt $t=3s$ auftretenden Frequenzabweichung zunächst von null betragsmäßig ansteigt, wobei die Steigung durch die konkrete Wahl der Steigung df/dP vorgegeben ist (vergleiche Fig. 4; das Vorzeichen der Austauschleistung ist je nach Zählrichtung beliebig).

Ausgelöst durch die dadurch hervorgerufene Abweichung der Gesamt-Austauschleistung von einem Vorgabewert und insofern mit leichter Verzögerung zum Auftreten einer Frequenzdifferenz wird die Referenzleistung P_{ref} mit unterschiedlichen Steigungen von null auf etwa Nennleistung (1 pu) geändert, insbesondere mittels des Integrators 28.2. Dadurch

wird zunächst der initiale betragsmäßige Anstieg der Austauschleistung bei einem Wert zwischen halber Nennleistung (-0.5 pu) und Nennleistung (-1 pu) abgefangen, und im weiteren Verlauf ändert sich die Austauschleistung proportional zur Änderung der Referenzleistung P_{ref} , so dass die Austauschleistung wieder auf null zurückgeregt wird. Die in der unteren Hälfte von Fig. 5 erkennbaren Stufen entsprechen dabei den Takten der Anlagenregelung des Anlagenreglers 28, die in (deutlich) größerem Zeitabstand aktualisiert wird als die Referenzleistung durch die jeweilige Regelung 50.1, 50.2, 50.3 der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3.

In Ausführungsformen der Erfindung können die Parameter $1/H_\theta$ bzw. $1/H_U$ und/oder df/dP bzw. dU/dQ einstellbar sein. Dabei ist eine Trägheit des Wechselrichter-Phasenwinkels θ_{set} gegenüber dem Netzspannungs-Phasenwinkel abhängig von dem Produkt aus dem Verstärkungsfaktoren $1/H_\theta$ und der Steigung df/dP der Droop-Kennlinie 60 am Droop-Element 52.1. Darüber hinaus ist über das Verhältnis zwischen Verstärkungsfaktor $1/H_\theta$ und Steigung df/dP eine Dämpfung der Synchronisation des Wechselrichter-Phasenwinkels θ_{set} mit dem Netzspannungs-Phasenwinkel einstellbar. Alternativ oder zusätzlich kann eine Trägheit der Wechselrichter-Spannungsamplitude U_{set} gegenüber der Netzspannungsamplitude über das Produkt aus Verstärkungsfaktor $1/H_U$ und Steigung dU/dQ am Droop-Element 58.13 sowie eine Dämpfung der Synchronisation der Wechselrichter-Spannungsamplitude U_{set} mit der Netzspannungsamplitude über das Verhältnis zwischen Verstärkungsfaktor $1/H_U$ und Steigung dU/dQ einstellbar sein.

Die Einstellung der Parameter $1/H_\theta$ bzw. $1/H_U$ und/oder df/dP bzw. dU/dQ kann einmalig vor Inbetriebnahme der Energieversorgungsanlage 11 mit den Wechselrichtern 10.1, 10.2, 10.3 und ggf. dem Anlagenregler 28 erfolgen. Alternativ oder zusätzlich können die Parameter im laufenden Betrieb geändert werden, beispielsweise über den Anlagenregler 28 oder von einer übergeordneten Betriebsführung 80. Dadurch kann insbesondere das dynamische Verhalten der Energieversorgungsanlage 11 an den aktuellen Bedarf an Regelleistung angepasst werden und insbesondere das Verhältnis zwischen Momentanreserve und Primärregelleistung eingestellt werden. Um Instabilitäten der Regelung der Energieversorgungsanlage 11 und/oder des Wechselspannungsnetzes 24 bei erheblichen Änderungen dieses Verhältnisses zu vermeiden, kann die Einstellung der jeweiligen Parameter $1/H_\theta$, $1/H_U$, df/dP bzw. dU/dQ zur Modifikation von Trägheit und/oder Dämpfung über einen Tiefpass-Filter mit einstellbarer Zeitkonstante oder über eine Rampe mit einstellbarer Steilheit erfolgen.

Figur 6 zeigt ein Verfahren zum Betrieb der zuvor beschriebenen Energieversorgungsanlage 11. In Schritt S1 stellen die Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 mittels ihrer jeweiligen Droop-Regelung 50.1, 50.2, 50.3 ihre jeweiligen Austauschleistungen jeweils in Abhängigkeit von

der jeweiligen Frequenzdifferenz zwischen der Netzfrequenz und der jeweiligen Referenzfrequenz f_{ref} ihrer Droop-Regelung 50.1, 50.2, 50.3 ein. In Schritt S2 werden die jeweilige Droop-Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 der jeweiligen Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 beeinflusst. Die Beeinflussung in Schritt S2 kann insbesondere eine Änderung der in den Droop-Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 verwendeten Referenzleistung P_{ref} und/oder der Referenzfrequenz f_{ref} in Abhängigkeit von der Leistungsdifferenz zwischen der Gesamtaustauschleistung und einer Vorgabe-Austauschleistung umfassen.

Eine Energieversorgungsanlage 11 kann insbesondere dafür vorgesehen sein, Momentanreserve zur Verfügung zu stellen. Eine solche Energieversorgungsanlage 11 kann dann so ausgelegt sein, dass bei konstanter Netzfrequenz, insbesondere bei Gleichheit von Netzfrequenz und Referenzfrequenz eine konstante Leistung oder keine Leistung mit dem Wechselspannungsnetz 24 ausgetauscht wird. Erst bei Auftreten einer Frequenzänderung und/oder eines Phasensprungs greifen die jeweiligen Regelungen 50.1, 50.2, 50.3 netzbildend ein, was zu einer Änderung des Leistungsaustauschs der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 mit dem Wechselspannungsnetz 24 führt (Schritt S1). Aufgrund der Erfassung dieser Leistungsänderung wird die netzbildende Funktion beeinflusst und die Gesamtaustauschleistung der Energieversorgungsanlage 11 wird mit einer vorgebbaren Eingriffsdynamik wieder auf null oder einen anderen Vorgabewert zurückgeführt, insbesondere auf den Wert der Austauschleistung vor der Frequenzänderung.

Es ist ebenfalls möglich, dass die Austauschleistung der Wechselrichter aufgrund anderweitiger Vorgaben selbst bei einer Gleichheit von Netzfrequenz und jeweiliger Referenzfrequenz ungleich null ist, beispielsweise um die Energiespeicher 18.1, 18.2, 18.3 gemeinsam oder einzeln gezielt aufzuladen. Dann wird die Momentanreserve in Schritt S1 zusätzlich zu dieser bereits gegebenen Austauschleistung zur Verfügung gestellt. Weiterhin ist es möglich, dass sich die Vorgabe-Austauschleistung während der Durchführung der Schritte S1, S2 ändert, so dass am Ende von Schritt S2 eine gegenüber dem Ausgangszustand vor Schritt S1 geänderte Ausgangsleistung über den Netzanschluss fließt.

Figur 7 zeigt eine Blindleistungsregelung 70, die alternativ oder zusätzlich zum Betrieb der Energieversorgungsanlage 11 verwendet werden kann. Dabei kann die Blindleistungsregelung 70 in den Wechselrichtern 10.1, 10.2, 10.3 ausgeführt werden, indem sie in die Regelung 50.1 integriert oder separat implementiert ist.

Die Blindleistungsregelung 70 erhält einen Messwert der momentanen Netzspannung U_{ist} , beispielsweise von der jeweiligen Messeinrichtung 14.1, 14.2, 14.3 des Wechselrichters 10.1, 10.2, 10.3. In einem Filter 71 wird aus der Netzspannung U_{ist} eine dynamische Referenzspannung U_{ref} ermittelt, die insbesondere einem zeitlichen Mittelwert der Netzspannung U_{ist} entsprechen und bevorzugt mittels eines Tiefpassfilters erzeugt werden kann. Aus der Netzspannung U_{ist} wird mittels einer Blindleistungsstatik 72 ein dynamischer Blindleistungsbeitrag $Q(U_{ref})$ ermittelt. Die Blindleistungsstatik 72 weist eine Steigung dQ/dU auf und ordnet der Referenzspannung U_{ref} den Wert Null für den Blindleistungsbeitrag $Q(U_{ref})$ zu.

Die Blindleistungsregelung 70 erhält eine Blindleistungsvorgabe Q_{set} vom Anlagenregler 28. In einem Addierer 74 werden der Blindleistungsbeitrag $Q(U_{ref})$ und die Blindleistungsvorgabe Q_{set} summiert und als Blindleistungssollwert Q_{WR} an eine Stromregelung 75 des Wechselrichters 10.1, 10.2, 10.3 übergeben. Die Stromregelung 75 erzeugt aus dem Blindleistungssollwert Q_{WR} unter Berücksichtigung der optional im Filter 76 gefilterten Netzspannung U_{ist} geeignete Ansteuersignale für die jeweilige Brückenschaltung 12.1, 12.2, 12.3 des jeweiligen Wechselrichters 10.1, 10.2, 10.3.

Figur 8 zeigt beispielhaft Zeitverläufe von Wirkleistung P und Blindleistung Q eines Wechselrichters 10.1, 10.2, 10.3 mit einer Blindleistungsregelung 70 gemäß Fig. 7. Zum Zeitpunkt t_0 besitzt die Netzspannung einen Wert U_0 und der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 tauscht Wirkleistung P_0 und Blindleistung Q_0 mit dem Wechselspannungsnetz 24 aus. Die Blindleistung Q_0 weist in dieser weitgehend stationären Situation den Verlauf 81 auf und entspricht im Wesentlichen der Blindleistungsvorgabe Q_{set} , die dem Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 vom Anlagenregler 28 vorgegeben wird, wobei die Netzspannung U_{ist} in der Blindleistungsregelung 70 der Referenzspannung U_{ref} entspricht und der Blindleistungsbeitrag $Q(U_{ref})$ aufgrund der Blindleistungsstatik 72 den Wert Null aufweist.

Zum Zeitpunkt t_1 findet eine sprunghafte Änderung der Netzspannung U statt. Dies bewirkt in der Blindleistungsregelung 70 eine Abweichung der Netzspannung U_{ist} von der Referenzspannung U_{ref} , die aufgrund des Filters 71 verzögert auf den Spannungssprung zum Zeitpunkt t_1 reagiert. Die Blindleistungsstatik 72 gibt aufgrund der Abweichung der Netzspannung U_{ist} von der Referenzspannung U_{ref} einen Blindleistungsbeitrag $Q(U_{ref})$ aus, der mit der Blindleistungsvorgabe Q_{set} summiert wird. Dies führt zu einem steilen Anstieg des

Blindleistungssollwerts Q_{WR} , so dass der Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 eine erhebliche Änderung der Blindleistung Q ausführt (siehe Verlauf 82 in Fig. 8).

Die Blindleistung Q erreicht einen maximalen Wert und wird im Folgenden mit dem Verlauf 83 auf den ursprünglichen Wert Q_0 zurückgeführt, indem die Referenzspannung U_{ref} mittels des Filters 71 an die geänderte Netzspannung U herangeführt wird. Beispielsweise am Zeitpunkt t_2 weicht die Referenzspannung U_{ref} nur noch geringfügig von der Netzspannung U ab, so dass die Blindleistungsstatik 72 einen vergleichsweise kleinen Blindleistungsbeitrag $Q(U_{ref})$ vorgibt und die Blindleistung nur noch geringfügig von der Blindleistungsvorgabe Q_{set} (entsprechend Q_0 in Fig. 8) abweicht. Schließlich weist die Blindleistung Q den Verlauf 84 auf, wobei der Anlagenregler 28 ebenfalls auf die Änderung der Netzspannung reagieren kann und einen gegenüber dem Zeitpunkt t_0 (leicht) abweichende Blindleistungsvorgabe Q_{set} vorgeben kann.

Sowohl der Maximalwert der Blindleistung Q bei einer gegebenen Änderung der Netzspannung U als auch die Dauer des Abklingens des Blindleistungsbeitrags $Q(U_{ref})$ sind durch geeignete Parametrierung des Filters 71 einstellbar.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Blindleistungsregelungen, die bei konstanter Netzspannung eine konstante Blindleistung in Abhängigkeit von der Abweichung der Netzspannung von einem festen Referenzwert vorgeben und zudem vergleichsweise langsam auf Änderungen der Netzspannung reagieren, kann die Blindleistungsregelung 70 derart dynamisch eingestellt werden, dass innerhalb weniger Millisekunden nach einer Änderung der Netzspannung eine Blindleistungs-Momentanreserve durch den Wechselrichter 10.1, 10.2, 10.3 bereitgestellt wird, die im Folgenden mit einstellbarer Zeitkonstante auf den vom Anlagenregler 28 vorgegebenen Wert zurückgeführt wird. Die Blindleistungsregelung 70 ist dabei von der Blindleistungsvorgabe Q_{set} des Anlagenreglers 28 entkoppelt und wirkt lediglich vorübergehend und insbesondere bei transienten Änderungen der Netzspannung spannungsstützend, indem eine Blindleistungs-Momentanreserve bereitgestellt wird.

BEZUGSZEICHENLISTE

10.1, 10.2, 10.3	Wechselrichter
11	Energieversorgungsanlage
12.1, 12.2, 12.3	Brückenschaltung
14.1, 14.2, 14.3	Messeinrichtung des Wechselrichters
16.1, 16.2, 16.3	Entkopplungsimpedanz
18.1, 18.2, 18.3	Energiespeicher
20.1, 20.2, 20.3	Energiespeichersystem
22.1, 22.2, 22.3	Energiespeichermanagement
24	Wechselspannungsnetz
26	Netzanschluss
26.1, 26.2	Messeinrichtung am Netzanschluss
28	Anlagenregler
28.1, 28.4	Vergleicher
28.2, 28.5	Integrator
28.3, 28.6	Verstärker
30	Datenleitung
34.1, 34.2, 34.3	Wechselspannungsleitung
36.1, 36.2, 36.3	Datenleitung
38.1, 38.2, 38.3	Datenleitung
40.1, 40.2, 40.3	Gleichspannungsleitung
46.1	Vergleicher
48.1	Filterelement
50.1, 50.2, 50.3	(Droop-)Regelung
52.1	Droop-Element
54.1	Vergleicher
56.1	Synchronisation
58.1	Blindleistungsregelung
58.11	Vergleicher
58.12	Filterelement
58.13	Droop-Element
58.14	Vergleicher
59.1	Pulsweitenmodulation
60, 60'	Kennlinie
70	Blindleistungsregelung
71	Filter

72	Blindleistungsstatik
74	Addierer
75	Stromregelung
76	Filter
80	Betriebsführung
81-84	Verlauf
90	Primärregelung
U	Spannung
U_{ist}	Netzspannung
U_{ref}	Referenzspannung
U_{set}	Sollspannung
f	Frequenz
$f_{\text{ref}}, f'_{\text{ref}}$	Referenzfrequenz
f_{set}	Sollfrequenz
$P_{\text{ref}}, P'_{\text{ref}}$	Referenzwirkleistung
P_{ist}	gemessene Wirkleistung
Q_{ist}	gemessene Blindleistung
Q_{set}	Blindleistungsvorgabe
$Q(U_{\text{ref}})$	Blindleistungsbeitrag
Q_{WR}	Blindleistungssollwert
S1, S2	Verfahrensschritt

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betrieb einer Energieversorgungsanlage (11) mit einer Vielzahl von Wechselrichtern (10.1, 10.2, 10.3) und einem Anlagenregler (28), der kommunikativ mit den Wechselrichtern (10.1, 10.2, 10.3) verbunden ist, wobei die Energieversorgungsanlage (11) einen Netzanschluss (26) aufweist, der an ein Wechselspannungsnetz (24) angeschlossen ist, und wobei die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) über den Netzanschluss (26) elektrische Austauschleistungen mit dem Wechselspannungsnetz (24) austauschen, so dass die Energieversorgungsanlage (11) eine Gesamt-Austauschleistung mit dem Wechselspannungsnetz (24) austauscht, die sich aus den jeweiligen elektrischen Austauschleistungen zusammensetzt, wobei die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) mittels einer jeweiligen Regelung (50.1, 50.2, 50.3) ihre jeweiligen Austauschleistungen in Abhängigkeit von einer jeweiligen Spannungsverlaufsabweichung eines Spannungsverlaufs einer Netzspannung von einem jeweiligen Referenzverlauf mit Bezug auf eine jeweilige Referenzfrequenz und/oder in Abhängigkeit von einer jeweiligen Spannungsamplitudendifferenz zwischen einer jeweiligen Netzspannung und einer jeweiligen Referenzspannung einstellen, wobei der Anlagenregler (28) die Regelungen (50.1, 50.2, 50.3) der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) in Abhängigkeit von einer Leistungsdifferenz zwischen der Gesamt-Austauschleistung und einer Vorgabe-Austauschleistung beeinflusst.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Leistungsdifferenz durch den Anlagenregler (28) mittels der Beeinflussung der Regelungen (50.1, 50.2, 50.3) minimiert wird, insbesondere zu null oder nahezu zu null geregelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Austauschleistungen der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) eine Wirkleistung (P) und eine Blindleistung (Q) umfassen, wobei die Gesamt-Austauschleistung der Energieversorgungsanlage (11) einen Wirkleistungsanteil und einen Blindleistungsanteil umfasst, und wobei die Vorgabe-Austauschleistung einen Wirkleistungsanteil und/oder einen Blindleistungsanteil umfasst.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Wirkleistungsanteil und/oder der Blindleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung konstant, insbesondere null ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Wirkleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung von der Netzfrequenz abhängt und/oder der Blindleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung von der Netzspannung abhängt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Eingriffsdynamik des Anlagenreglers (28) langsamer ist als die Dynamiken der jeweiligen Regelungen (50.1, 50.2, 50.3) der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3).
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Spannungsverlaufsabweichung eine Frequenzdifferenz zwischen einer Netzfrequenz und einer jeweiligen Referenzfrequenz (f_{ref}) umfasst, wobei die Netzfrequenz aus der Netzspannung ermittelt wird, bevorzugt mittels einer PLL.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Wirkleistung (P) mittels der jeweiligen Regelung (50.1, 50.2, 50.3) in Abhängigkeit von der Frequenzdifferenz eingestellt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Spannungsverlaufsabweichung eine Phasenwinkeldifferenz zwischen einem Netzphasenwinkel der Netzspannung und einem jeweiligen Wechselrichterphasenwinkel umfasst.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der Wechselrichterphasenwinkel eine Frequenz aufweist, die anhand der jeweiligen Regelung (50.1, 50.2, 50.3) in Abhängigkeit der jeweiligen Wirkleistung unter Berücksichtigung einer jeweiligen Referenz-Wirkleistung und einer jeweiligen Referenzfrequenz vorgebar ist.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) ihre jeweilige Wirkleistung (P) anhand einer jeweiligen Kennlinie (60, 60'), einstellen, wobei ein Parameter der Kennlinie (60, 60') von der jeweiligen Referenzfrequenz (f_{ref}) und/oder ein Parameter der Kennlinie (60, 60') von einer jeweiligen Referenzleistung (P_{ref}) abhängt und wobei die Kennlinie (60, 60') eine jeweilige Steigung (df/dP , dP/df) aufweist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Kennlinie (60, 60') in der jeweiligen Droop-Regelung (50.1, 50.2, 50.3) den funktionalen Zusammenhang zwischen der jeweiligen Wirkleistung (P) und der jeweiligen Frequenzdifferenz vorgibt, wobei die jeweilige Wirkleistung (P) in der jeweiligen Droop-Regelung (50.1, 50.2, 50.3) als Messgröße verwendet wird und die Frequenz und/oder der Phasenwinkel der Ausgangsspannung des jeweiligen Wechselrichters (10.1, 10.2, 10.3) als Stellgröße eingestellt werden.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei der Anlagenregler (28) die jeweilige Wirkleistung (P) einstellt, indem der Parameter der jeweiligen Kennlinie (60, 60'), der von der jeweiligen Referenzfrequenz (f_{ref}) abhängt, und/oder den Parameter, der von der jeweiligen Referenzleistung (P_{ref}) abhängt, so beeinflusst wird, dass der Wirkleistungsanteil an der Gesamt-Austauschleistung der Energieversorgungsanlage (11) mit einer

vorgebbaren Zeitkonstante an den Wirkleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung angenähert wird..

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei der Parameter der jeweiligen Kennlinie ($60, 60'$), der von der jeweiligen Referenzfrequenz (f_{ref}) abhängt, so beeinflusst wird, dass die jeweilige Referenzfrequenz (f_{ref}) an eine am Netzanschluss (26) gemessene und tiefpassgefilterte Netzfrequenz angeglichen wird.
15. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die jeweiligen Referenzfrequenzen (f_{ref}) und/oder die jeweiligen Referenzleistungen (P_{ref}) der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) gleich sind und von dem Anlagenregler (28) an die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) übermittelt werden, wobei die Übermittlung insbesondere per Broadcast erfolgt.
16. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die jeweiligen Referenzfrequenzen (f_{ref}) und/oder die jeweiligen Referenzleistungen (P_{ref}) sich zwischen den Wechselrichtern (10.1, 10.2, 10.3) unterscheiden können und vom Anlagenregler (28) an die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) übermittelt werden können.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Leistungsdifferenz vom Anlagenregler (28) an die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) übermittelt werden und die jeweiligen Referenzfrequenzen (f_{ref}) und/oder die jeweiligen Referenzleistungen (P_{ref}) in den Regelungen (50.1, 50.2, 50.3) der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) in Abhängigkeit von der empfangenen Leistungsdifferenz geändert werden.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Höhe einer Wirkleistungs-Momentanreserve, die von der Energieversorgungsanlage (11) bei einer gegebenen Spannungsverlaufsabweichung bereitgestellt wird, hinsichtlich ihrer Maximalleistung und ihrer Energie durch die Vorgabe von Parametern der Regelungen (50.1, 50.2, 50.3) der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) und/oder durch Vorgabe der Parameter des Anlagenreglers (28) eingestellt wird.
19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Dynamik der jeweiligen Regelungen (50.1, 50.2, 50.3) der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) durch Vorgabe der jeweiligen Steigung einer Kennlinie eingestellt werden kann.
20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Dynamik der jeweiligen Regelungen (50.1, 50.2, 50.3) der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) durch den Anlagenregler (28) eingestellt wird, bevorzugt durch Vorgabe einer Steigung der Kennlinie.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingriffsdynamik in die Regelungen (50.1, 50.2, 50.3) eingestellt werden kann, insbesondere durch Vorgabe von Parametern eines Integral-Reglers oder eines PI-Reglers, der die Leistungsdifferenz als Eingangsgröße verwendet und eine Referenzleistung (P_{ref}) ausgibt.
22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Leistungsaustausch mit an den jeweiligen Wechselrichtern (10.1, 10.2, 10.3) anschließbaren jeweiligen Energiespeichern (18.1, 18.2, 18.3) so gesteuert werden kann, dass ein jeweils vorgebbarer Ladezustand der Energiespeicher (18.1, 18.2, 18.3) angestrebt wird, welcher insbesondere 50% der Kapazität des jeweiligen Energiespeichers (18.1, 18.2, 18.3) entspricht, wobei ein Laden oder Entladen der Energiespeicher (18.1, 18.2, 18.3) mit geringerer mittlerer Leistung erfolgt als die maximale Austauschleistung aufgrund der jeweiligen Regelung der Austauschleistung in Abhängigkeit von der jeweiligen Abweichung, insbesondere von der jeweiligen Phasenwinkeldifferenz.
23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweiligen Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) Blindleistung mit dem Wechselspannungsnetz (24) austauschen können, wobei die jeweilige Regelung (50.1, 50.2, 50.3) eingerichtet ist, die Austauschleistung bei Erreichen einer Scheinleistungsgrenze des jeweiligen Wechselrichters (10.1, 10.2, 10.3) so zu beeinflussen, dass die mit dem Wechselspannungsnetz (24) ausgetauschte Blindleistung reduziert werden kann und die mit dem Wechselspannungsnetz (24) ausgetauschte Wirkleistung erhöht werden kann.
24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Blindleistungsanteil der Gesamt-Austauschleistung am Netzanschluss (26) in Abhängigkeit von einer gemessenen Spannung am Netzanschluss (26) eingestellt wird.
25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die jeweilige Blindleistung der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) durch den Anlagenregler (28) und eine Blindleistungsregelung (70) im jeweiligen Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) eingestellt wird, wobei die Einstellung des Blindleistungsanteils der Gesamt-Austauschleistung am Netzanschluss (26) zumindest die folgenden durch den Anlagenregler (28) ausgeführten Schritte umfasst:
- Ermitteln eines Blindleistungsanteils der Vorgabe-Austauschleistung am Netzanschluss (26), insbesondere in Abhängigkeit von der Netzspannung,
 - Messen des Blindleistungsanteils am Netzanschluss (26),
 - Ermitteln von jeweiligen Blindleistungs-Sollwerten für die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3), insbesondere in Abhängigkeit vom Blindleistungsanteils der Vorgabe-Austausch-

leistung und vom gemessenen Blindleistungsanteils am Netzanschluss (26),

- Übermitteln der jeweiligen Blindleistungs-Sollwerte an die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3)

sowie die folgenden durch die Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) ausgeführten Schritte umfasst:

- Messen der jeweiligen Netzspannung am jeweiligen Ausgang der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3),

- Vergleich der jeweiligen gemessenen Netzspannung mit einer Referenzspannung, die einem Mittelwert der Netzspannung entspricht,

- Ermitteln eines jeweiligen Blindleistungs-Korrekturwertes als Funktion der Abweichung der gemessenen Netzspannung von der Referenzspannung mittels einer Q-U-Kennlinie,

- Einstellen der jeweiligen Blindleistung anhand der Summe des jeweiligen Blindleistungs-Sollwertes und des jeweiligen Blindleistungs-Korrekturwertes.

26. Energieversorgungsanlage (11), die eingerichtet ist, das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.

27. Verfahren zum Betrieb eines Wechselrichters (10.1, 10.2, 10.3) in einer Energieversorgungsanlage (11), wobei die Energieversorgungsanlage (11) einen Netzanschluss (26) aufweist, der an ein Wechselspannungsnetz (24) angeschlossen ist, und wobei der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) über den Netzanschluss (26) elektrische Austauschleistung umfassend Wirkleistung und Blindleistung mit dem Wechselspannungsnetz (24) austauscht, wobei der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) mittels einer Regelung (50.1, 50.2, 50.3) seine Austauschleistung in Abhängigkeit von einer Spannungsverlaufsabweichung eines Spannungsverlaufs einer Netzspannung von einem Referenzverlauf mit Bezug auf eine Referenzfrequenz und/oder in Abhängigkeit von einer Spannungsamplitudendifferenz zwischen einer Netzspannung und einer Referenzspannung einstellt, wobei ein Vorgabe-Parameter der Regelung (50.1, 50.2, 50.3) in Abhängigkeit von einer Leistungsdifferenz zwischen der Austauschleistung der Energieerzeugungsanlage (11) am Netzanschluss (26) und einer Vorgabe-Austauschleistung variiert wird.

28. Verfahren nach Anspruch 27, wobei die Eingriffsdynamik der Variation des Vorgabe-Parameters der Regelung (50.1, 50.2, 50.3) langsamer ist als die Regelungsdynamik der Austauschleistung, so dass die Regelung (50.1, 50.2, 50.3) schneller mit Änderungen der Austauschleistung auf Abweichungen der Netzspannungen reagiert als mit Änderungen des Vorgabe-Parameters bei Änderungen der Leistungsdifferenz.

29. Verfahren nach Anspruch 27 oder 28, wobei die Regelung des Wechselrichters (10.1, 10.2, 10.3) einen Droop-Regler umfasst, wobei der Droop-Regler die Wirkleistung (P) als Messgröße verwendet und unter Verwendung einer Kennlinie (60, 60') mit einer Steigung (df/dP) die Frequenz und/oder den Phasenwinkel der Ausgangsspannung des Wechselrichters (10.1, 10.2, 10.3) als Stellgröße einstellt, wobei ein Vorgabe-Parameter der Kennlinie (60, 60') von der Referenzfrequenz (f_{ref}) und/oder ein Vorgabe-Parameter der Kennlinie (60, 60') von einer Referenzleistung (P_{ref}) abhängt, wobei die Referenzfrequenz (f_{ref}) und/oder die Referenzleistung (P_{ref}) in Abhängigkeit von der Leistungsdifferenz, insbesondere in Abhängigkeit eines Integrals der Leistungsdifferenz variiert werden.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 29, wobei die Referenzfrequenz (f_{ref}) so variiert wird, dass die Referenzfrequenz (f_{ref}) an eine am Netzanschluss (26) gemessene und tiefpassgefilterte Netzfrequenz angeglichen wird.
31. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 29, wobei die Leistungsdifferenz außerhalb des Wechselrichters (10.1, 10.2, 10.3), insbesondere in einem Anlagenregler (28) gemessen und mittels eines Integrators (28.2) in die Referenzleistung (P_{ref}) umgerechnet wird, wobei die Referenzleistung (P_{ref}) an den Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) gesendet wird.
32. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 29, wobei die Leistungsdifferenz außerhalb des Wechselrichters (10.1, 10.2, 10.3), insbesondere in einem Anlagenregler (28) gemessen und an den Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) gesendet wird, wobei der Wechselrichter (10.1, 10.2, 10.3) aus der Leistungsdifferenz mittels eines Integrators (28.2) die Referenzleistung (P_{ref}) ermittelt.
33. Verfahren nach einem der Ansprüche 31 oder 32, wobei der Integrator (28.2) einen Verstärker (28.3, 28.6) mit einem Verstärkungsfaktor ($1/H_\theta$) aufweist.
34. Verfahren nach Anspruch 33, wobei der Verstärkungsfaktor ($1/H_\theta$) des Integrators und/oder die Steigung (df/dP) des Droop-Elements (52.1) einstellbar sind.
35. Verfahren nach Anspruch 34, wobei der Wechselrichter-Phasenwinkel (θ_{set}) gegenüber dem Netzspannungs-Phasenwinkel eine Trägheit aufweist, die über das Produkt aus Verstärkungsfaktor ($1/H_\theta$) und Steigung (df/dP) einstellbar ist.
36. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 oder 35, wobei die Synchronisation des Wechselrichter-Phasenwinkels (θ_{set}) mit dem Netzspannungs-Phasenwinkel eine Dämpfung aufweist, die über das Verhältnis von Verstärkungsfaktor ($1/H_\theta$) zu Steigung (df/dP) einstellbar ist.

37. Verfahren nach einem der Ansprüche 35 oder 36, wobei die Trägheit und/oder die Dämpfung des Wechselrichter-Phasenwinkels (θ_{set}) während des laufenden Betriebs der Energieversorgungsanlage (11) einstellbar ist.
38. Verfahren nach Anspruch 37, wobei zur Einstellung von Trägheit und/oder Dämpfung der Verstärkungsfaktor ($1/H_\theta$) und/oder die Steigung (df/dP) über ein Tiefpass-Filter mit einstellbarer Zeitkonstante oder über eine Rampe mit einstellbarer Steilheit einstellbar sind.
39. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 38, wobei die Regelung des Wechselrichters (10.1, 10.2, 10.3) eine netzfolgende Blindleistungsregelung (70) umfasst, die die folgenden Schritte ausführt:
- Messen der Netzspannung (U_{ist}),
 - Ermitteln eines Blindleistungs-Korrekturwertes ($Q(U_{\text{ref}})$) als Funktion der Abweichung der Netzspannung von einer Referenzspannung (U_{ref}) mittels einer Q-U-Kennlinie (72),
 - Einstellen der Blindleistung (Q) anhand der Summe des Blindleistungsanteils an der Vorgabe-Austauschleistung und des jeweiligen Blindleistungs-Korrekturwertes ($Q(U_{\text{ref}})$),
- wobei die Referenzspannung (U_{ref}) als Vorgabe-Parameter der Q-U-Kennlinie so variiert wird, dass die Blindleistung (Q) des Wechselrichters (10.1, 10.2, 10.3) mit einer vorgebbaren Zeitkonstante an den Blindleistungsanteil der Vorgabe-Austauschleistung angenähert wird, indem der Blindleistungs-Korrekturwert ($Q(U_{\text{ref}})$) gegen null geht.

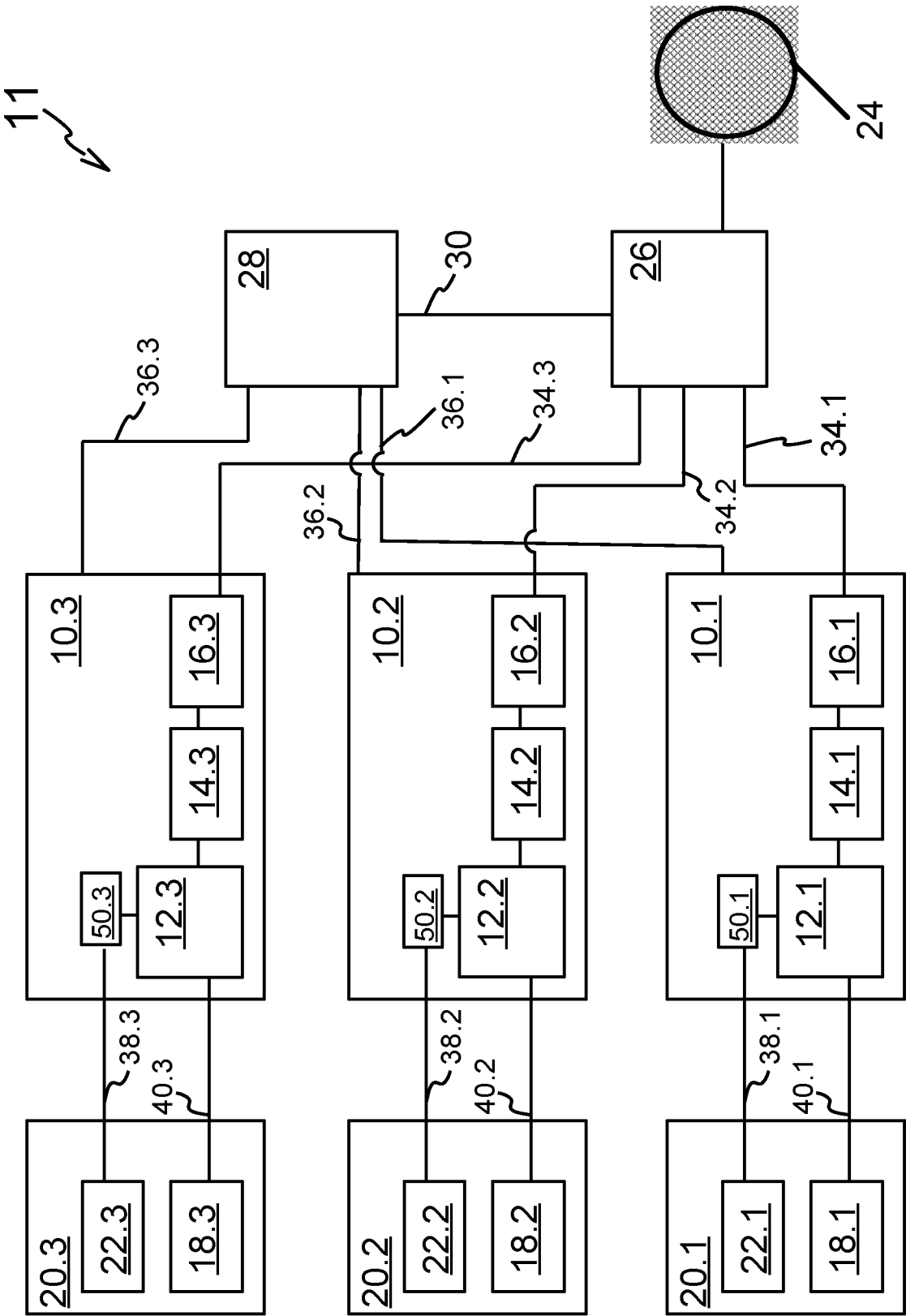


Fig. 1

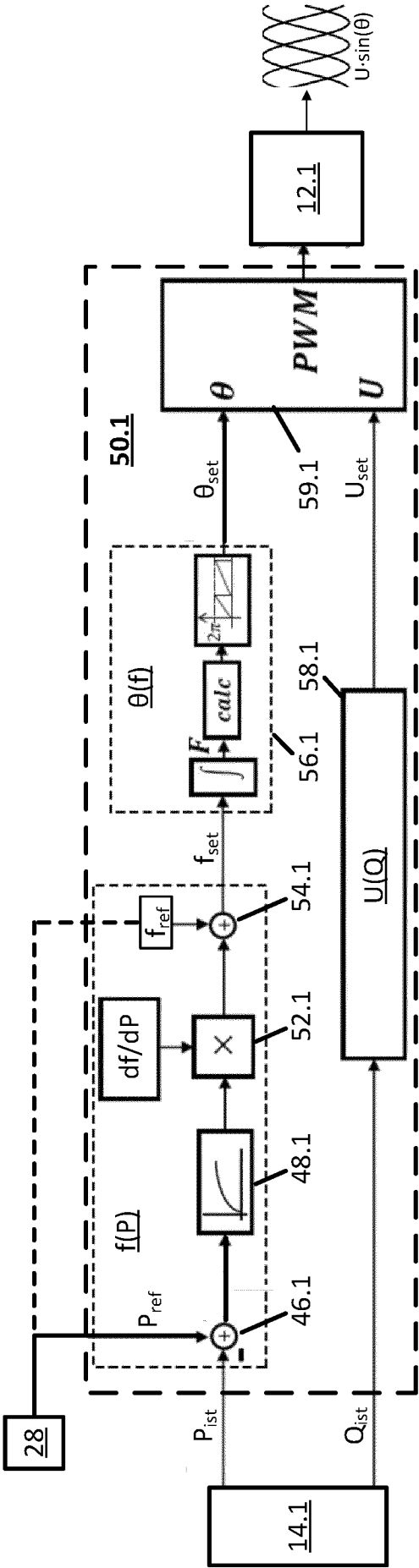


Fig. 2

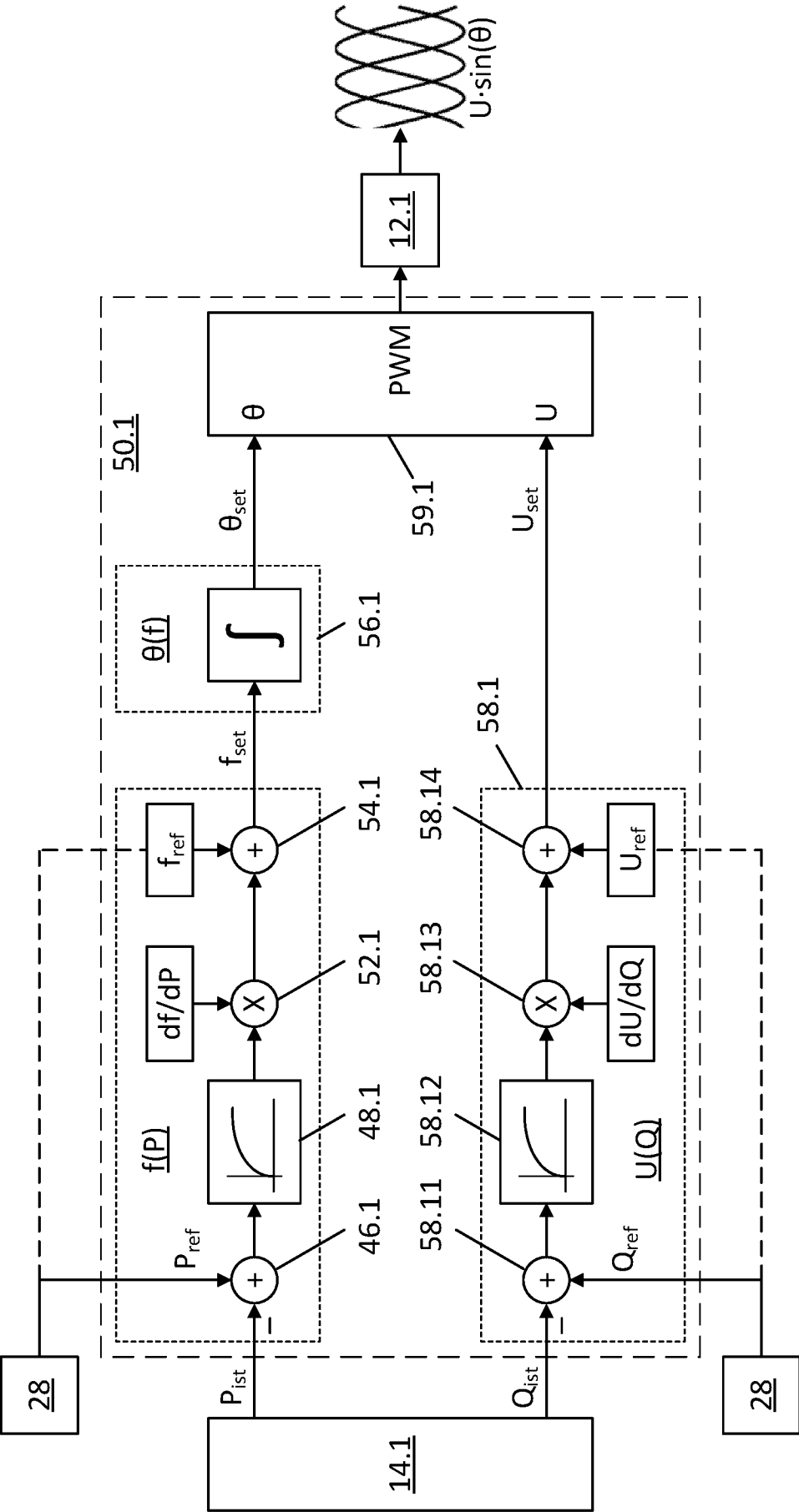


Fig. 2a

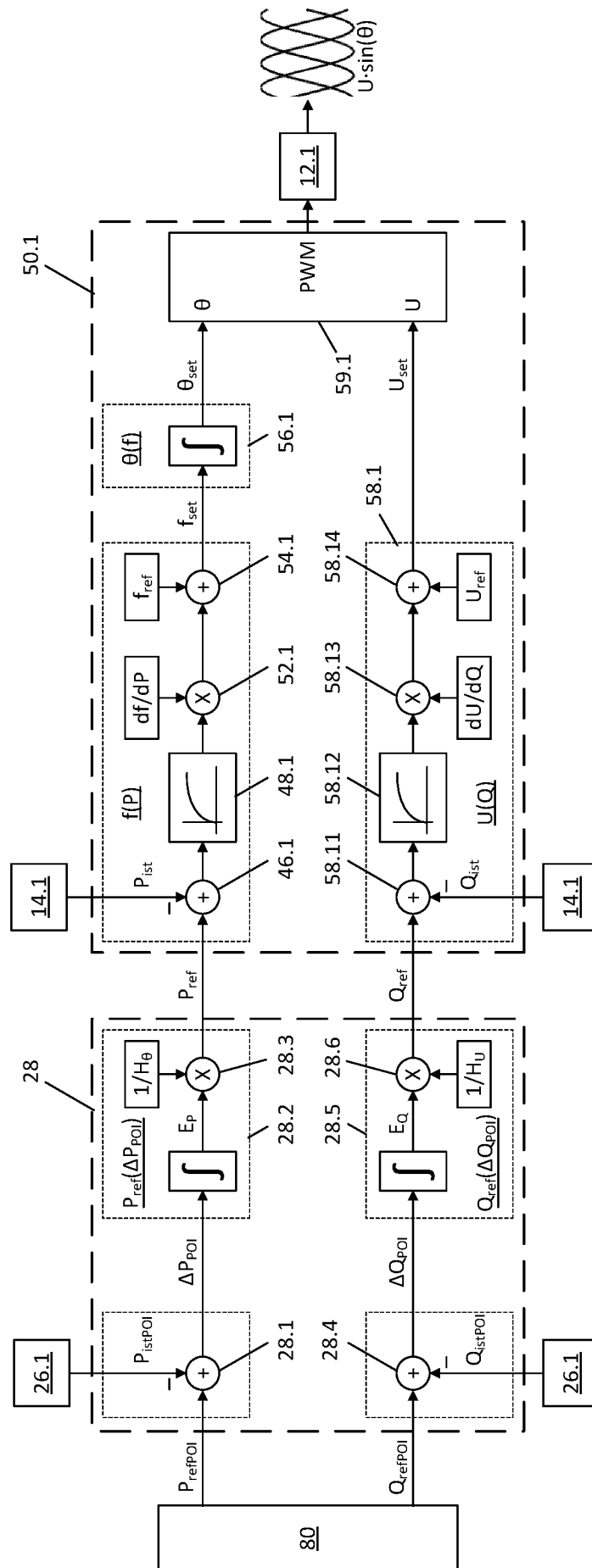


Fig. 2b

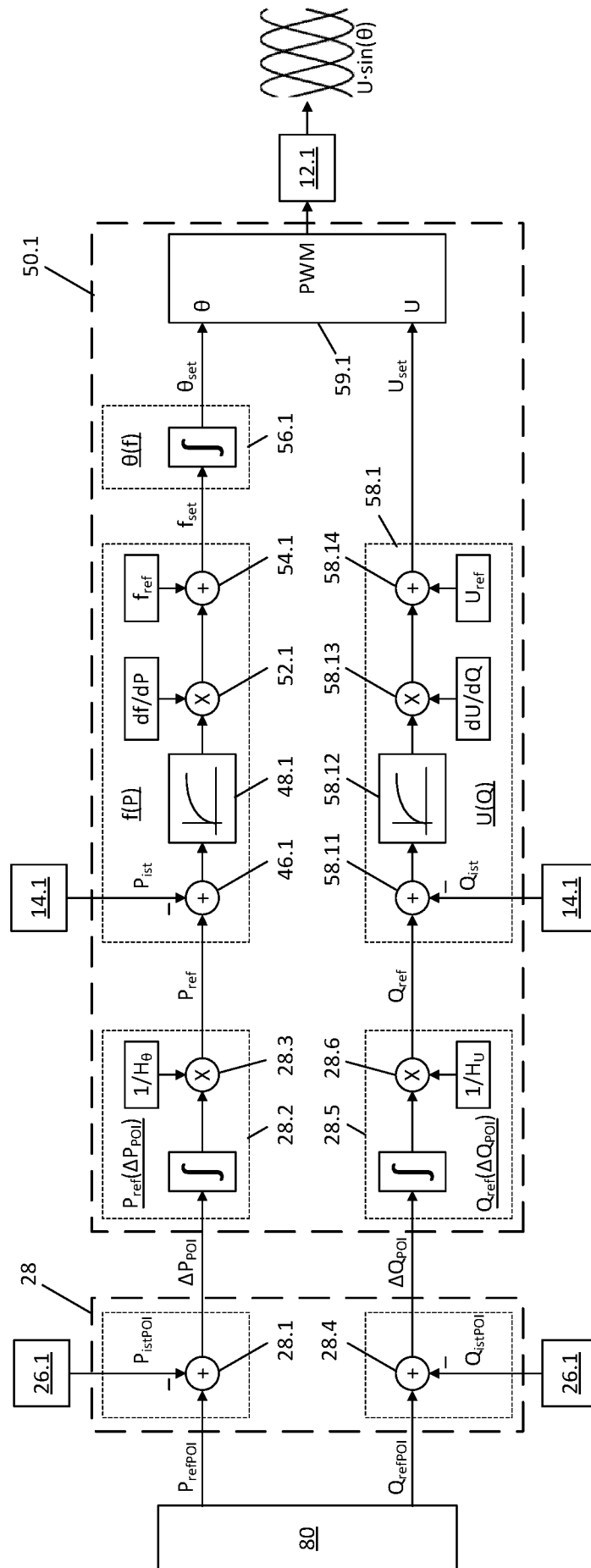


Fig. 2c

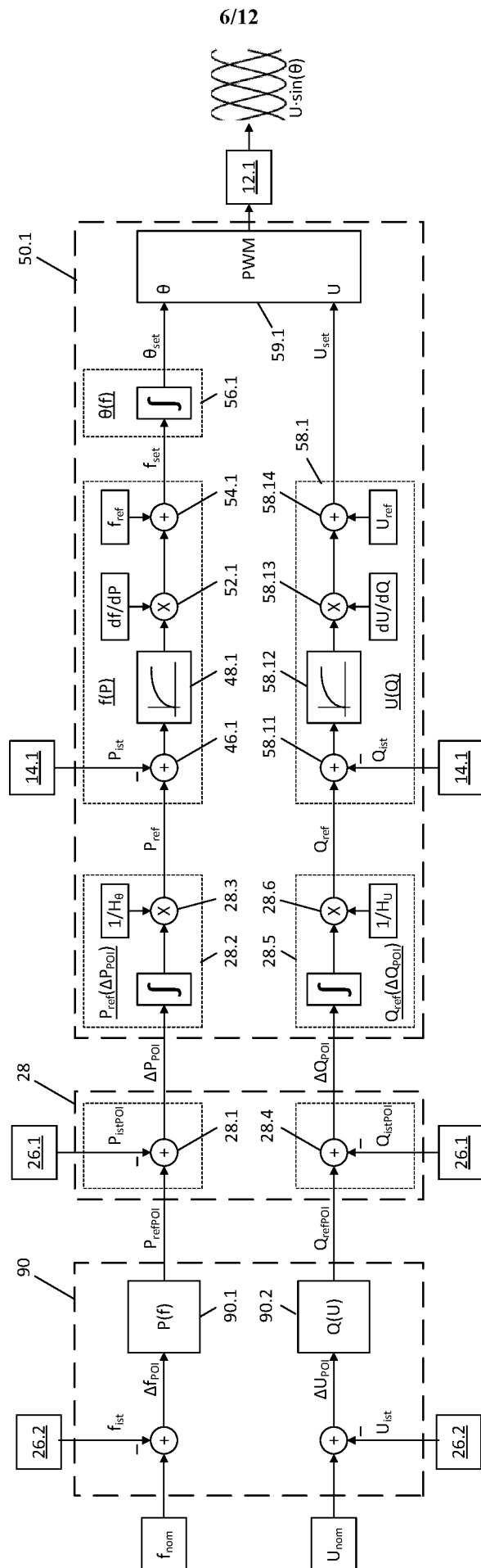


Fig. 2d

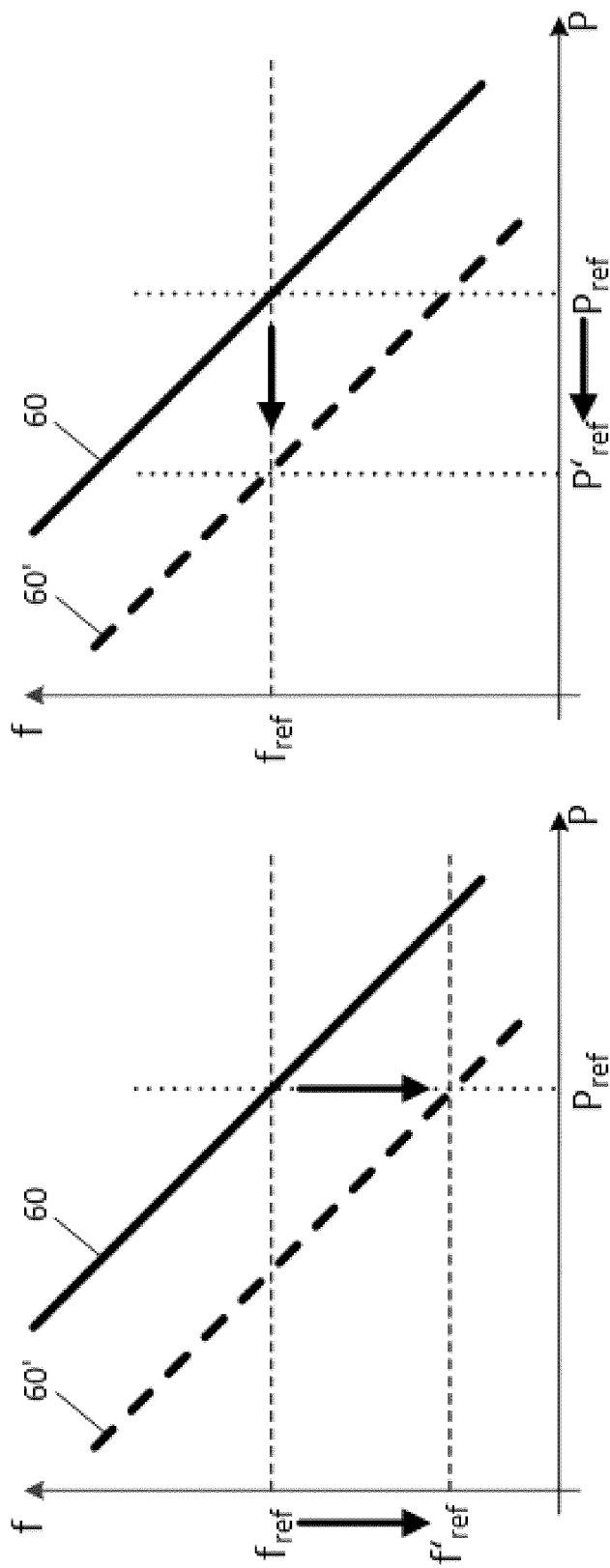


Fig. 3

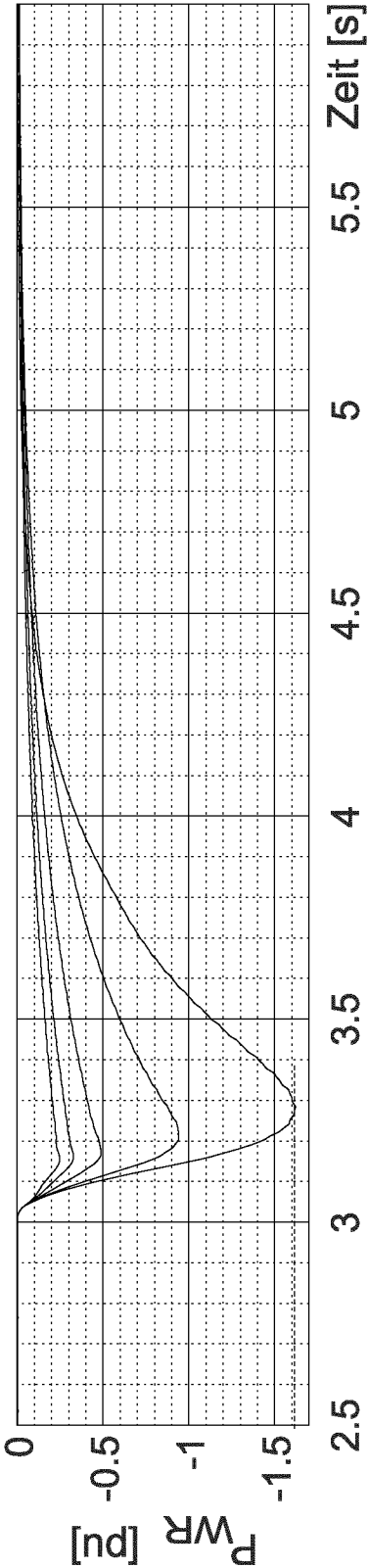


Fig. 4

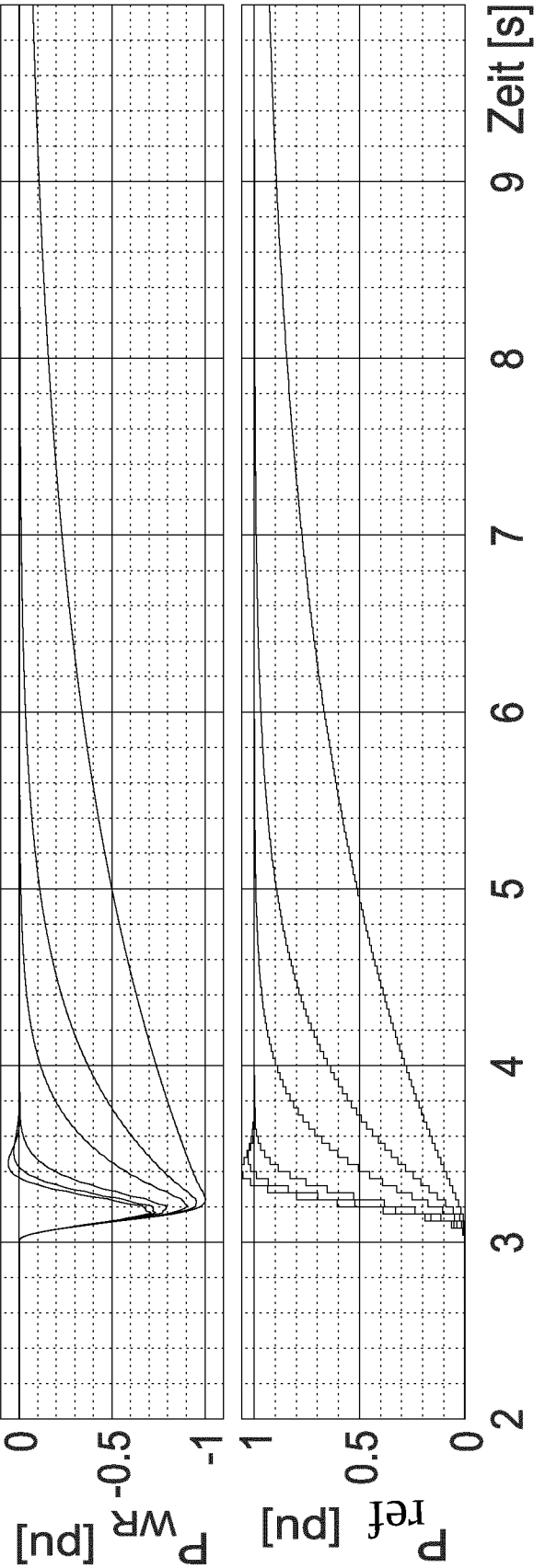


Fig. 5

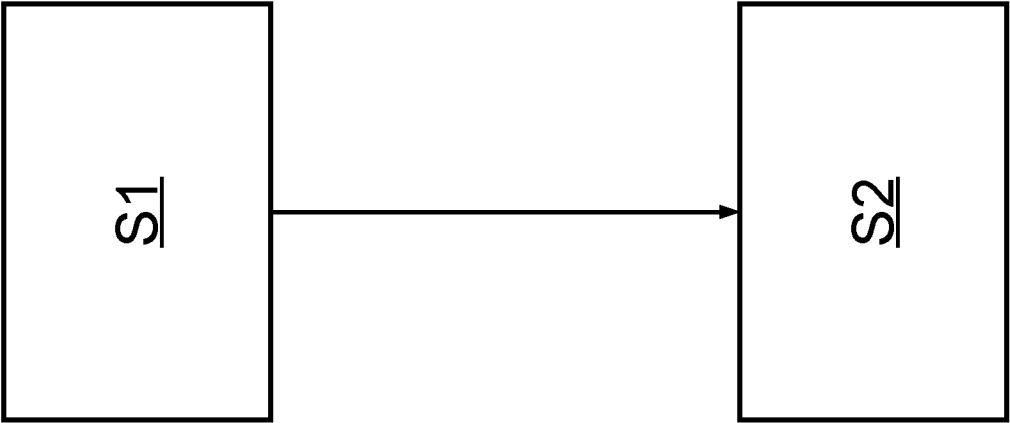


Fig. 6

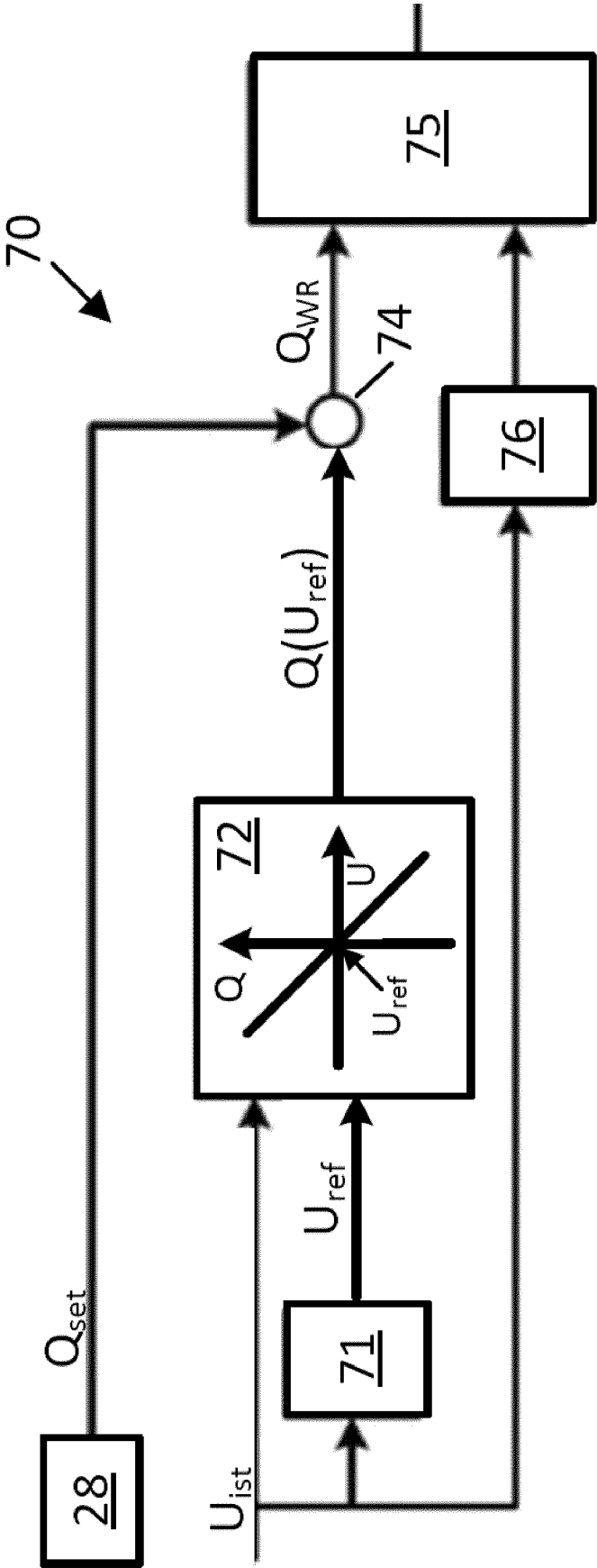


Fig. 7

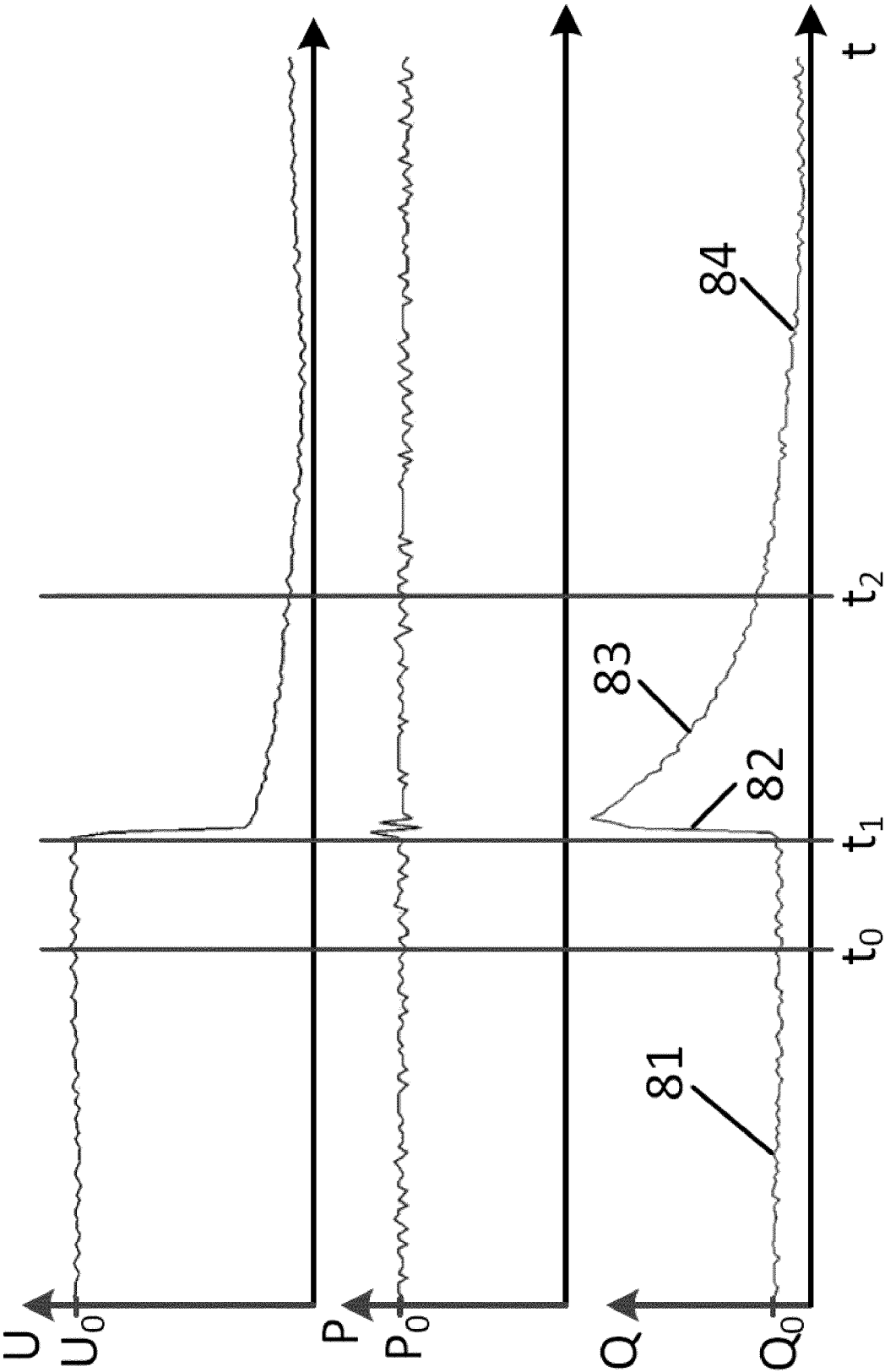


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/070191

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02J 3/38**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2161444 B1 (GEN ELECTRIC [US]) 18 April 2018 (2018-04-18) figures 2,3,4,5,6,7	1-39



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 October 2021

Date of mailing of the international search report

03 November 2021

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Bergler, Christian

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/070191

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2161444	B1	18 April 2018	CN	101640419	A	03 February 2010
				DK	2161444	T3	28 May 2018
				EP	2161444	A2	10 March 2010
				EP	3367547	A1	29 August 2018
				US	2010025994	A1	04 February 2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H02J3/38

ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H02J

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 2 161 444 B1 (GEN ELECTRIC [US]) 18. April 2018 (2018-04-18) Abbildungen 2,3,4,5,6,7 -----	1-39



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. Oktober 2021

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/11/2021

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Bergler, Christian

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/070191

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2161444	B1	18-04-2018	CN 101640419 A 03-02-2010
		DK 2161444 T3 28-05-2018	
		EP 2161444 A2 10-03-2010	
		EP 3367547 A1 29-08-2018	
		US 2010025994 A1 04-02-2010	
