(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
19. Juni 2014 (19.06.2014)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/090285 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02J 3/06 (2006.01) *H02J 3/38* (2006.01)
H02J 3/14 (2006.01) *G06Q 50/06* (2012.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/075045

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Dezember 2012 (11.12.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: **PLÖTT, Norbert**; Wenzelstraße 45, 91058 Erlangen (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, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

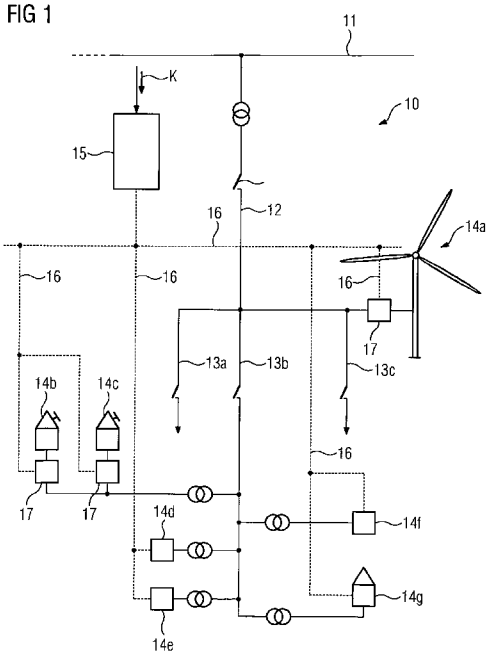
Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

(54) **Title**: METHOD FOR CONTROLLING THE OPERATION OF ELECTRIC ENERGY GENERATORS AND CONTROL DEVICE FOR PERFORMING THE METHOD

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN ZUR STEUERUNG DES BETRIEBS VON ELEKTRISCHEN ENERGIEERZEUGERN UND STEUEREINRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS

FIG 1



(57) **Abstract**: The invention relates to a method for controlling the operation of electric energy generators (14a-g), comprising a control device (15), a correction signal (K) being sent to the control device (15), which correction signal indicates a deviation of a current energy requirement of a supply network from a planned energy requirement of a supply network, and the control device (15) transmitting control signals to the energy generators (14a-g), the correction signal (K) being used for determining the control signals. In order to be able to react as quickly as possible to a correction signal using simple control devices, a control energy quantity is determined which indicates an energy quantity to be jointly provided by all energy generators (14a-g), and a first energy generator or a first group of energy generators is selected for providing a proportion of the control energy quantity. Further energy generators or further groups of energy generators are sequentially selected, until the extent of the control energy quantity has been completely assigned to respective selected energy generators, and control signals are generated for the selected energy generators, which control signals indicate the proportions of the control energy quantity to be provided by the respective selected energy generators. The invention also relates to a corresponding control device (15).

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/090285 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung des Betriebs von elektrischen Energieerzeugern (14a-g) mit einer Steuereinrichtung (15), wobei der Steuereinrichtung (15) ein Korrektursignal (K) zugeführt wird, das eine Abweichung eines aktuellen versorgungsnetzseitigen Energiebedarfs von einem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf angibt, und die Steuereinrichtung (15) Steuersignale an die Energieerzeuger (14a-g) abgibt, bei deren Ermittlung das Korrektursignal (K) herangezogen wird. Um auch mit einfachen Steuereinrichtungen in möglichst kurzer Zeit auf ein Korrektursignal reagieren zu können, wird eine Regelenergiemenge ermittelt, die eine von allen Energieerzeugern (14a-g) gemeinsam bereitzustellende Energiemenge angibt, und ein erster Energieerzeuger oder eine erste Gruppe von Energieerzeugern zur Bereitstellung eines Anteils der Regel- energiemenge ausgewählt. Sequentiell werden weitere Energieerzeuger oder weitere Gruppen von Energieerzeugern ausgewählt, bis die Höhe der Regelenergiemenge vollständig jeweils ausgewählten Energieerzeugern zugewiesen ist, und es werden Steuersignale für die ausgewählten Energieerzeuger erzeugt, die die jeweiligen von den ausgewählten Energieerzeugern bereitzustellenden Anteile der Regelenergiemenge angeben. Die Erfindung betrifft auch eine entsprechende Steuereinrichtung (15).

Beschreibung

Verfahren zur Steuerung des Betriebs von elektrischen Energieerzeugern und Steuereinrichtung zur Durchführung des Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung des Betriebs von elektrischen Energieerzeugern, die zur Einspeisung elektrischer Energie mit einem elektrischen Energieversorgungsnetz verbunden sind und deren Betriebsweise über eine gemeinsame Steuereinrichtung gesteuert wird, wobei die Steuereinrichtung die Energieerzeuger unter Heranziehung einer festgelegten Steuerkennlinie derart steuert, dass die von den Energieerzeugern in das Versorgungsnetz eingespeiste Energie dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf entspricht, der Steuereinrichtung ein Korrektursignal zugeführt wird, das eine Abweichung des aktuellen versorgungsnetzseitigen Energiebedarfs von dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf angibt, und die Steuereinrichtung Steuersignale an die Energieerzeuger abgibt, bei deren Ermittlung das Korrektursignal herangezogen wird.

Die Erfindung betrifft auch eine entsprechend eingerichtete Steuereinrichtung zur Steuerung des Betriebs von elektrischen Energieerzeugern.

Klassisch aufgebaute elektrische Energieversorgungsnetze sind prinzipiell dazu eingerichtet, elektrische Energie von vergleichsweise wenigen zentralen Energieerzeugern, z.B. Kohlekraftwerken, zu den Endverbrauchern zu liefern. Die Übertragungsrichtung solcher Energieverteilsysteme ist im Wesentlichen konstant; ferner wird die Energieerzeugung dem - prognostizierten und/oder tatsächlichen - Energiebedarf durch die Endverbraucher angepasst.

Jüngste Entwicklungen und politische Vorgaben haben hingegen zu einer Liberalisierung des elektrischen Energiemarktes geführt. Diese bewirkt, dass seit einigen Jahren verstärkt von

dezentralen Energieerzeugern, wie z.B. Windenergieanlagen, kleinen Blockheizkraftwerken, Biogasanlagen und Photovoltaikanlagen, bereitgestellte elektrische Energie in die Energieversorgungsnetze auf Mittel- oder Niederspannungsebene eingespeist wird, was einen Umbruch der bisher üblichen Übertragungsrichtung zur Folge hat. Da jeder einzelne dezentrale Energieerzeuger im Vergleich zu einem Großkraftwerk nur eine geringe Energiemenge zur Einspeisung ins Energieversorgungsnetz bereitstellen kann, werden zur vereinfachten Steuerung von dezentralen Energieerzeugern und zur effizienteren Vermarktung der durch die dezentralen Energieerzeuger bereitgestellten elektrischen Energie häufig viele Energieerzeuger mit vergleichsweise kleiner Erzeugungsleistung zusammengefasst und deren elektrische Energie als Paket verkauft. Eine solche Zusammenfassung von mehreren kleinen Energieerzeugern wird auch als „virtuelles Kraftwerk" („virtual power plant" = VPP) bezeichnet.

Für das gesamte virtuelle Kraftwerk wird anhand von Prognosen über einen zukünftigen versorgungsnetzseitigen Energiebedarf eine Steuerkennlinie bzw. ein „Gesamtfahrplan" mit dem Netzbetreiber ausgehandelt. Dieser Gesamtfahrplan unterteilt sich aus Sicht des Betreibers des virtuellen Kraftwerks in individuelle Steuerkennlinien bzw. „Einzelfahrpläne", nach denen die Betriebsweise der einzelnen in dem virtuellen Kraftwerk zusammengefassten Energieerzeuger zu regeln ist.

Die Festlegung des Gesamtfahrplans und der Einzelfahrpläne sowie die Steuerung der Energieerzeuger zur Einhaltung des Gesamtfahrplans gegenüber dem Netzbetreiber werden mittels einer Steuereinrichtung eines Energiemanagementsystems durchgeführt. Beispielsweise bietet die Anmelderin unter dem Namen „DEMS" (Decentralized Energy Management System) eine Steuereinrichtung zum Betrieb von Energieerzeugern eines virtuellen Kraftwerks an, mit dem Energieerzeuger jeglicher Art hinsichtlich ihres jeweiligen Betriebs optimal aufeinander abgestimmt werden können. Hierzu werden die Energieerzeuger hinsichtlich energetischer, ökonomischer und ökologischer Ge-

sichtspunkte optimal geregelt. Die über diese Steuereinrichtung angesteuerten Energieerzeuger werden unter Nutzung der individuellen Einzelfahrpläne geregelt, die üblicherweise immer am Vortag des jeweiligen Betriebs festgelegt werden und die den Betrieb der Energieerzeuger in Abhängigkeit der Zeit angeben und nach den oben genannten Gesichtspunkten optimiert sind.

Neben dem eigentlichen Verkauf der von den Energieerzeugern erzeugten elektrischen Energie bietet sich in letzter Zeit auch die Vermarktung von Kraftwerkskapazitäten für Regelenergie als Alternative für den Betreiber eines virtuellen Kraftwerks an. Als Regelenergie wird diejenige elektrische Energie bezeichnet, die von den Betreibern elektrischer Energieerzeuger zum Ausgleich kurzfristiger Abweichungen der tatsächlich versorgungsnetzseitig benötigten Energiemenge von der geplanten versorgungsnetzseitig benötigten Energiemenge vorgehalten werden. Regelenergie kann hierbei positiv oder negativ sein, je nachdem, ob der versorgungsnetzseitige Bedarf im Vergleich zum geplanten Bedarf höher oder niedriger ausfällt.

In diesem Fall wird der Betreiber des virtuellen Kraftwerks einerseits dafür bezahlt, dass er elektrische Energie auf Abruf bereit hält (die, wenn der versorgungsnetzseitige Bedarf dem Fahrplan entspricht, gar nicht abgerufen wird). Andererseits erhält er eine zusätzliche Vergütung für die tatsächlich vom Netzbetreiber kurzfristig abgerufene Regelenergie.

Über den Abruf von Regelenergie entscheidet der Netzbetreiber. Wenn er Regelenergie abruft, besteht üblicherweise der Anspruch, dass die Steuerung des virtuellen Kraftwerks innerhalb von wenigen Sekunden reagiert, und dass die angeforderte Energie innerhalb von wenigen Minuten tatsächlich in vollem Umfang eingespeist wird. Zur Anforderung von Regelenergie erzeugt der Netzbetreiber ein Korrektursignal, das eine Abweichung des aktuellen versorgungsnetzseitigen Energiebedarfs von dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf an-

gibt, und das an die Steuereinrichtung des virtuellen Kraftwerks übermittelt wird.

Das Einspeisen von Regelenergie ist folglich ein Vorgang, der dem „normalen" Gesamtfahrplan überlagert ist und innerhalb eines kurzen Zeithorizontes ausgeführt werden muss. Für die optimale, koordinierte Steuerung kommt daher üblicherweise eine Kombination von Steuerungsalgorithmen zur Anwendung. Während für die Planungsphase, also die Ermittlung des Gesamtfahrplans und der Einzelfahrpläne anhand der seitens des Netzbetreibers bereitgestellten Prognosen über den erwarteten netzseitigen Energiebedarf, vergleichsweise langsame, aber dafür genau arbeitende Algorithmen eingesetzt werden können, mit denen gleichzeitig mehrere Parameter, insbesondere auch nicht stetige Größen, optimiert werden können, steht für die kurzfristige Reaktion auf die mittels des Korrektursignals angeforderte Regelenergie die Schnelligkeit des Algorithmus vor dessen Genauigkeit. Bei dem Produkt DEMS der Anmelderin wird beispielsweise für die Planungsphase ein Optimierungsverfahren für gemischt ganzzahlige lineare Optimierung (mixed integer linear programming, MILP) eingesetzt. Das Verfahren ist mathematisch sehr anspruchsvoll und erzielt sehr gute Optimierungsergebnisse, allerdings ist es rechentechnisch derart aufwändig, dass mit einer angemessenen Rechnertechnik die für die Bereitstellung der Regelenergie geforderte, sekundenschnelle Reaktion auf ein Korrektursignal nicht dargestellt werden könnte.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs angegebenen Art derart weiterzuentwickeln, dass auch mit vergleichsweise leistungsschwacher Rechentechnik ausgestattete Steuereinrichtungen in einfacher Weise und möglichst kurzer Zeit auf ein Korrektursignal reagieren können, um die Betriebsweise der Energieerzeuger entsprechend anzupassen. Der Erfindung liegt auch die Aufgabe zugrunde, eine entsprechend weitergebildete Steuereinrichtung anzugeben.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird erfindungsgemäß ein gattungsgemäßes Verfahren derart fortgebildet, dass durch die Steuereinrichtung folgende Schritte durchgeführt werden: Ermittlung einer Regelenergiemenge, die eine von allen Energieerzeugern gemeinsam bereitzustellende Energiemenge angibt, anhand des Korrektursignals, Auswahl eines ersten Energieerzeugers oder einer ersten Gruppe von Energieerzeugern und Bestimmung eines Anteils der Regelenergiemenge, der von dem ersten Energieerzeuger oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern bereitzustellen ist, sequentielle Auswahl von weiteren Energieerzeugern oder weiteren Gruppen von Energieerzeugern und Bestimmung eines jeweiligen Anteils an der jeweils verbliebenen Höhe der Regelenergiemenge, der von dem jeweiligen weiteren Energieerzeuger oder der jeweiligen weiteren Gruppe von Energieerzeugern bereitzustellen ist, bis die Höhe der Regelenergiemenge vollständig jeweils ausgewählten Energieerzeugern zugewiesen ist, und Erzeugung von Steuersignalen für die ausgewählten Energieerzeuger, die die jeweiligen von den ausgewählten Energieerzeugern bereitzustellenden Anteile der Regelenergiemenge angeben.

Unter dem Begriff „Energieerzeuger" sind in diesem Zusammenhang generell alle elektrische Energie erzeugenden Geräte und Anlagen zu verstehen, die durch eine Steuereinrichtung eines Energiemanagementsystems separat regelbar sind. Insbesondere sollen hiermit sogenannte dezentrale Energieerzeuger mit im Vergleich zu Großkraftwerken kleinerer elektrischer Leistung gemeint sein, also z.B. Photovoltaikanlagen, Windkraftanlagen, Blockheizkraftwerke, Biogasanlagen.

Gruppen von Energieerzeugern können durch Zusammenfassung mehrerer gleichartiger Energieerzeuger zu einer gemeinsamen Einheit, z.B. mehrere Photovoltaikzellen zu einer Solaranlage oder mehrere Windräder zu einer Windenergieanlage, gebildet sein. Zu einer Gruppe können aber auch solche Energieerzeuger zusammengefasst sein, die gemeinsame Merkmale bezüglich ihrer Steuerung aufweisen, beispielsweise dahingehend, ob sie stufenlos oder stufenweise steuerbar sind (stufenweise steuerba-

re bzw. schaltbare Energieerzeuger werden dort häufig angetroffen, wo die Forderung besteht, dass Energieerzeuger durch Fernsteuerung auf bestimmte Leistungsstufen gedrosselt werden können, z.B. in Deutschland gemäß dem Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)).

Unter einer „Steuereinrichtung" ist eine Datenverarbeitungseinrichtung, beispielsweise ein Controller eines Energiemanagementsystems, zu verstehen, die einerseits zum Empfang und zur Verarbeitung von Statusinformationen über den jeweiligen Zustand der Energieerzeuger und andererseits zum Aussenden von Steuerbefehlen an die Energieerzeuger eingerichtet ist. Eine Steuereinrichtung muss hierbei nicht zwangsläufig aus einem einzelnen Gerät bestehen, vielmehr können auch mehrere (auch örtlich verteilt angeordnete) Geräte als eine Steuereinrichtung zusammenwirken, solange sie zur Umsetzung eines gemeinsamen Regelkonzeptes für die Steuerung des Betriebs der Energieerzeuger eingerichtet sind.

Der Begriff „Regelenergiemenge" gibt diejenige Energiemenge an, die abweichend von der für jeden Energieerzeuger durch dessen individuelle Steuerkennlinie („Einzelfahrplan") vorgegebene momentan zur Einspeisung ins Energieversorgungsnetz bereitgestellte Energiemenge zum Ausgleich von Schwankungen des momentanen netzseitigen Energiebedarfs bereitgestellt werden kann. Dabei kann die Regelenergiemenge abhängig von der Abweichung entweder positiv (es muss mehr Energie als geplant ins Versorgungsnetz eingespeist werden) oder negativ (es muss weniger Energie als geplant ins Versorgungsnetz eingespeist werden) sein. Die seitens des Netzbetreibers mit dem Korrektursignal angeforderte Regelenergiemenge entspricht der „bereitzustellenden Regelenergiemenge" aller Energieerzeuger gemeinsam.

Unter dem Begriff „Energiemenge" soll eine auf eine bestimmte Zeitdauer (z.B. eine Viertelstunde) bezogene Energiemenge verstanden werden. Genau genommen weist die Energiemenge damit die Einheit einer elektrischen Leistung auf. Daher können

im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung anstelle von Energiemengen auch Leistungen verwendet werden, der Begriff „Energiemenge" soll folglich beide Alternativen umfassen. Dies gilt entsprechend für sämtliche begrifflichen Zusammensetzungen, beispielsweise für die „Regelenergiemenge".

Der besondere Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass hierbei keine aufwändige parallele Optimierung der Betriebsweise der Energieerzeuger durchgeführt werden muss, vielmehr wird die angeforderte Regelenergiemenge sequentiell auf die Energieerzeuger oder Gruppen von Energieerzeugern aufgeteilt. Damit ist das erfindungsgemäße Verfahren so weit vereinfacht, dass es auch mit Steuereinrichtungen mit moderater Rechenleistung in akzeptabler Zeit durchführbar ist und mit relativ einfachen programmiertechnischen Mitteln formuliert werden kann, z.B. mit der für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) geeigneten Programmiersprache ST („Structured Text") gemäß IEC-Standard IEC 61131. Beispielsweise werden Iterationen und Schleifen im Verfahrensablauf durch den sequentiellen Aufbau vollständig (oder zumindest weitgehend) vermieden. Darüber hinaus kann das Verfahren durch seinen weitgehend modularen Aufbau flexibel an die Anzahl der vorhandenen Energieerzeuger angepasst werden (hohe Skalierbarkeit).

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung zur Ermittlung des Vorzeichens der Regelenergiemenge das Korrektursignal daraufhin untersucht, ob es eine positive oder eine negative Abweichung des aktuellen versorgungsnetzseitigen Energiebedarfs von dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf angibt.

Durch die Ermittlung des Vorzeichens der geforderten Regelenergiemenge anhand des Korrektursignals wird festgelegt, ob die Energieerzeuger als Reaktion auf die geänderten netzseitigen Energieanforderungen mehr oder weniger Energie als ge-

plant zur Verfügung stellen müssen. In Abhängigkeit von dem Vorzeichen der geforderten Regelenergiemenge kann die Steuereinrichtung geeignete Energieerzeuger auswählen, um die Regelenergie in optimaler Weise bereitzustellen.

Gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorgesehen sein, dass von der Steuereinrichtung die Energieerzeuger unter Bildung einer Abfolgeliste hinsichtlich derjenigen Kosten sortiert werden, die anfallen, wenn die jeweiligen Energieerzeuger abweichend von einer anhand der Steuerkennlinie festgelegten, für jeden Energieerzeuger individuellen Steuerkennlinie betrieben werden, und die Abfolgeliste für die Auswahl des ersten Energieerzeugers oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern und des zumindest einen weiteren Energieerzeugers oder der zumindest einen weiteren Gruppe von Energieerzeugern herangezogen wird.

Auf diese Weise können die sogenannten „Grenzkosten", also die bei einer Abweichung der einzelnen Energieerzeuger von ihrem fahrplanmäßigen Betrieb anfallenden oder eingesparten Kosten, bei der Festlegung der Betriebsweise der Energieerzeuger durch die Steuereinrichtung berücksichtigt werden. Beispielsweise können die Energieerzeuger bei einer Anforderung einer positiven Regelenergiemenge in aufsteigender Kostensortierung zur Deckung der geforderten Regelenergiemenge eingesetzt werden (also zuerst diejenigen Energieerzeuger, bei denen eine Erhöhung der Energieerzeugung mit vergleichsweise geringen Kosten verbunden ist), während sie bei einer Anforderung einer negativen Regelenergiemenge in absteigender Kostensortierung verwendet werden (also zuerst diejenigen Energieerzeuger, bei denen eine Verringerung der Energieerzeugung mit vergleichsweise hohen Kosteneinsparungen verbunden ist). Diese erste Ausführungsform eignet sich insbesondere bei variablen Grenzkosten, d.h. die Grenzkosten können einem Energieerzeuger nicht fest zugeordnet werden, sondern sind in Abhängigkeit von anderen Betriebsparametern (z.B. Art und Kosten der Primärenergie, momentane Auslastung und momentaner Wirkungsgrad des Energieerzeugers, CO_2-Ausstoß des

Energieerzeugers usw.) der Energieerzeuger zu bestimmen. Die Sortierung der Energieerzeuger kann hierbei kontinuierlich erfolgen oder durch bestimmte Ereignisse (z.B. nach Ablauf einer bestimmten Zeit, nach Aufnahme eines neuen Energieerzeugers, als Reaktion auf eine Anforderung durch einen der Energieerzeuger usw.) ausgelöst werden.

Im Zusammenhang mit dieser ersten Ausführungsform ist gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass die Steuereinrichtung die maximale insgesamt von den Energieerzeugern bereitstellbare Regelenergiemenge als Summe der jeweiligen von jedem einzelnen Energieerzeuger bereitstellbaren individuellen Regelenergiemengen bestimmt.

Anhand der auf diese Weise ermittelten Angabe über die überhaupt von den Energieerzeugern insgesamt bereitstellbaren (positiven oder negativen) Regelenergiemenge kann die Steuereinrichtung auf weitere Verfahrensabläufe einwirken, z.B. kann die Menge der von einem individuellen Energieerzeuger bereitzustellenden Regelenergiemenge in Abhängigkeit von seiner maximal bereitstellbaren Regelenergiemenge ermittelt werden oder es kann ein Fehlersignal erzeugt werden, wenn die maximal von allen Energieerzeugern bereitstellbare Regelenergiemenge nicht ausreicht, um die angeforderte Regelenergiemenge zu erreichen.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Zusammenhang mit der ersten Ausführungsform kann ferner vorgesehen sein, dass die Steuereinrichtung die Steuersignale in Abhängigkeit von einem durch einen Nutzer vorgegebenen Optimierungsparameter entsprechend einer kostenoptimierten oder entsprechend einer zeitoptimierten Betriebsweise erzeugt.

Hierbei kann vorteilhaft von einem Benutzer der Steuereinrichtung (beispielsweise einem Betreiber eines virtuellen Kraftwerks, dem die Energieerzeuger angehören) vorgegeben

werden, ob die Auswahl der Energieerzeuger nach Kosten- oder Zeitgesichtspunkten erfolgen soll. Hierbei ist auch eine Mischform denkbar, beispielsweise derart, dass zunächst für eine schnelle Reaktion auf ein Korrektursignal die zeitoptimierte Betriebsweise der Energieerzeuger gewählt wird, um danach auf eine kostenoptimierte Betriebsweise zu wechseln.

Konkret kann in diesem Zusammenhang beispielsweise vorgesehen sein, dass bei der kostenoptimierten Betriebsweise die Steuereinrichtung dem ersten Energieerzeuger oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern und dem jeweiligen zumindest einen weiteren Energieerzeuger oder der jeweiligen zumindest einen weiteren Gruppe von Energieerzeugern jeweils die maximal von dem jeweiligen Energieerzeuger oder der Gruppe von Energieerzeugern bereitstellbare Energiemenge als bereitzustellenden Anteil an der Regelenergiemenge zuordnet.

Bei dieser Betriebsweise werden die Energieerzeuger bei einer positiven Regelenergieanforderung der Reihe nach, beginnend bei demjenigen Energieerzeuger mit den geringsten Grenzkosten für die Abweichung von seinem Einzelfahrplan, möglichst voll ausgelastet. Bei einer negativen Regelenergieanforderung werden entsprechend diejenigen Energieerzeuger mit den höchsten Einsparungen, möglichst komplett abgeschaltet. Dadurch werden entweder die geringsten Zusatzkosten bei der Bereitstellung positiver Regelenergie oder die größten Einsparungen bei der Bereitstellung negativer Regelenergie erreicht. Ein Nachteil dieser Betriebsweise ist, dass voll belastete bzw. komplett ausgeschaltete Energieerzeuger bei weiteren Regelenergieanforderungen nicht mehr reagieren und daher nicht mehr zur Bereitstellung von Regelenergie beitragen können.

Hinsichtlich der zeitoptimierten Betriebsweise kann hingegen vorgesehen sein, dass die Steuereinrichtung dem ersten Energieerzeuger oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern und dem jeweiligen zumindest einen weiteren Energieerzeuger oder der jeweiligen zumindest einen weiteren Gruppe von Energieerzeugern jeweils einen Teil der maximal von dem jeweiligen

Energieerzeuger oder der Gruppe von Energieerzeugern bereitstellbaren Energiemenge als bereitzustellenden Anteil an der Regelenergiemenge zuordnet, wobei zur Bestimmung dieses Teils die insgesamt benötigte Regelenergiemenge und die maximal von allen Energieerzeugern, denen noch kein Anteil der Regelenergiemenge zugeordnet worden ist, noch bereitstellbare Energiemenge herangezogen wird.

Bei dieser Betriebsweise tragen insbesondere stufenlos steuerbare Energieerzeuger nur einen Anteil ihrer individuellen bereitstellbaren Regelenergiemenge bei, so dass insgesamt eine gleichmäßige Aufteilung der Regelenergieanforderung auf die Energieerzeuger erreicht wird. Da keiner der Energieerzeuger bis zu seiner Belastungsgrenze betrieben oder komplett ausgeschaltet wird und der für jeden Energieerzeuger zu übernehmende Anteil gleichsam bereits vor der Verteilung der Regelenergiemenge auf die Energieerzeuger feststeht, können alle Energieerzeuger quasi gleichzeitig (zumindest aber sehr schnell nacheinander) auf die Regelenergieanforderung reagieren. Der Nachteil dieser Betriebsweise ist jedoch, dass auch Energieerzeuger mit vergleichsweise hohen Energieerzeugungskosten bzw. geringen Einsparungen zur Erfüllung der Regelenergieanforderung beitragen.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß der ersten Ausführungsform ist vorgesehen, dass bei der Festlegung der von dem jeweiligen Energieerzeuger bereitzustellenden Regelenergiemenge eine für den jeweiligen Energieerzeuger spezifische Änderungsrate berücksichtigt wird, die angibt, um welchen Wert die aktuell von dem jeweiligen Energieerzeuger abgegebene Energiemenge innerhalb einer vorgegebenen Änderungszeit verändert werden kann.

Bei dieser Weiterbildung wird in vorteilhafter Weise die Tatsache berücksichtigt, dass nicht alle Energieerzeuger unmittelbar, d.h. ohne merkliche Verzögerung, ihre Betriebsweise verändern können, um eine bestimmte Regelenergiemenge bereit-

stellen zu können. Gemäß der beschriebenen Weiterbildung kann bei der Festlegung der einzelnen zu übernehmenden Anteile auch die Geschwindigkeit berücksichtigt werden, mit der die jeweiligen Energieerzeuger auf die Regelenergieanforderung reagieren können. Schnell reagierende Energieerzeuger können somit innerhalb des gleichen Zeitraums einen größeren Anteil der Regelenergiemenge übernehmen als vergleichbare langsam reagierende Energieerzeuger.

Gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Energieerzeuger in eine erste Gruppe von Energieerzeugern, die stufenweise regelbar sind, und eine zweite Gruppe von Energieerzeugern, die stufenlos regelbar sind, aufgeteilt werden, für jede der beiden Gruppen die maximal von den Energieerzeugern der jeweiligen Gruppe bereitstellbare Energiemenge bestimmt wird, die Regelenergiemenge gemäß einer Vorverteilung den beiden Gruppen zugewiesen wird, der der ersten Gruppe zugewiesene Anteil der Regelenergiemenge soweit möglich auf die einzelnen Energieerzeuger der ersten Gruppe verteilt wird, wobei ein verbleibender Rest, der nicht auf die Energieerzeuger der ersten Gruppe verteilbar ist, zu demjenigen Anteil der Regelenergiemenge, der der zweiten Gruppe zugewiesen ist, addiert wird, und der aus der Addition resultierende Anteil der Regelenergiemenge auf die einzelnen Energieerzeugern der zweiten Gruppe verteilt wird.

Diese zweite Ausführungsform eignet sich insbesondere dann, wenn für die Energieerzeuger eine quasi statische Verteilung der Energieerzeugungskosten angenommen werden kann, da dann eine Reihenfolge bei der Auswahl der Energieerzeuger fest vorgegeben werden kann. Der besondere Vorteil dieser Ausführungsform ist, dass sie vollkommen ohne Schleifen ausgeführt werden kann, da zunächst ein durch die Vorauswahl getroffener Anteil der Regelenergieanforderung auf die stufenweise steuerbaren Energieerzeuger verteilt wird und erst danach ein etwaiger nicht durch die stufenlos steuerbaren Energieerzeuger abdeckbarer Rest dieses Anteils gemeinsam mit dem in der Vor-

auswahl für stufenlos steuerbare Energieerzeuger getroffenen Anteil der Regelenergieanforderung durch die stufenlos steuerbaren Energieerzeuger übernommen wird. Durch diese vorteilhafte Abarbeitungsreihenfolge – zunächst die stufenweise steuerbaren, danach die stufenlos steuerbaren Energieerzeuger – kann in einem Durchlauf des Verfahrens die komplette Regelenergieanforderung auf die Energieerzeuger verteilt werden. Gleichzeitig findet eine möglichst gleichmäßige Auslastung der beiden Gruppen von Energieerzeugern statt.

Hinsichtlich dieser zweiten Ausführungsform kann gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung vorgesehen sein, dass bei der Vorverteilung der der jeweiligen Gruppe zugewiesene Anteil der Regelenergiemenge proportional zur von der jeweiligen Gruppe insgesamt maximal bereitstellbaren Energiemenge gewählt wird.

Auf diese Weise wird einerseits eine gleichmäßige Auslastung der beiden Gruppen gewährleistet, während andererseits keiner der beiden Gruppen ein Anteil der Regelenergiemenge zugewiesen wird, der deren Möglichkeiten zur Bereitstellung von Regelenergie übersteigt.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung sieht bezüglich der zweiten Ausführungsform vor, dass die Verteilung der der jeweiligen Gruppe zugewiesenen Anteile der Regelenergiemenge auf die einzelnen Energieerzeuger der jeweiligen Gruppe derart erfolgt, dass bei einer positiven bereitzustellenden Regelenergiemenge solche Energieerzeuger bevorzugt ausgewählt werden, bei denen eine Erhöhung der Energieerzeugung im Vergleich zu anderen Energieerzeugern derselben Gruppe geringere Kosten erzeugt, und bei einer negativen bereitzustellenden Regelenergiemenge solche Energieerzeuger bevorzugt ausgewählt werden, bei denen eine Verringerung der Energieerzeugung im Vergleich zu anderen Energieerzeugern derselben Gruppe höhere Kosten einspart.

Diese Weiterbildung des Verfahrens gemäß der zweiten Ausführungsform erlaubt einen kostenoptimierten Einsatz der Energieerzeuger unter der Voraussetzung, dass die Kostensituation statisch ist, d.h. die kostenbezogene Rangordnung der Energieerzeuger ändert sich nicht im Verlauf der Zeit.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß der zweiten Ausführungsform sieht zudem vor, dass bei der Festlegung des von dem jeweiligen Energieerzeuger bereitzustellenden Regelenergiemenge eine für den jeweiligen Energieerzeuger spezifische Änderungsrate berücksichtigt wird, die angibt, um welchen Wert die aktuell von dem jeweiligen Energieerzeuger abgegebene Energiemenge innerhalb einer vorgegebenen Änderungszeit verändert werden kann.

Bei dieser Weiterbildung wird in Entsprechung zur ersten Ausführungsform die Tatsache unterschiedlicher Reaktionsgeschwindigkeiten der einzelnen Energieerzeuger auf ein eine Änderung ihrer Betriebsweise anforderndes Steuersignal berücksichtigt.

Die oben genannte Aufgabe wird auch durch eine Steuereinrichtung zur Steuerung des Betriebs von elektrischen Energieerzeugern gelöst, die zur Einspeisung elektrischer Energie mit einem elektrischen Energieversorgungsnetz verbindbar sind und deren Betriebsweise über die Steuereinrichtung steuerbar ist, wobei die Steuereinrichtung zur Steuerung der Energieerzeuger unter Heranziehung einer festgelegten Steuerkennlinie derart eingerichtet ist, dass die von den Energieerzeugern in das Versorgungsnetz eingespeiste Energie dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf entspricht, und die Steuereinrichtung dazu eingerichtet ist, als Reaktion auf den Empfang eines Korrektursignals, das eine Abweichung des aktuellen versorgungsnetzseitigen Energiebedarfs von dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf angibt, Steuersignale an die Energieerzeuger abzugeben.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung aufweist: Mittel zur Ermittlung einer Regelenergiemenge, die eine von allen Energieerzeugern gemeinsam bereitzustellende Energiemenge angibt, anhand des Korrektursignals, Mittel zur Auswahl eines ersten Energieerzeugers oder einer ersten Gruppe von Energieerzeugern und Bestimmung eines Anteils der Regelenergiemenge, der von dem ersten Energieerzeuger oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern bereitzustellen ist, Mittel zur sequentiellen Auswahl von weiteren Energieerzeugern oder weiteren Gruppen von Energieerzeugern und Bestimmung eines jeweiligen Anteils an der jeweils verbliebenen Höhe der Regelenergiemenge, der von dem jeweiligen weiteren Energieerzeuger oder der jeweiligen weiteren Gruppe von Energieerzeugern bereitzustellen ist, bis die Höhe der Regelenergiemenge vollständig jeweils ausgewählten Energieerzeugern zugewiesen ist, und Mittel zur Erzeugung von Steuersignalen für die ausgewählten Energieerzeuger, die die jeweiligen von den ausgewählten Energieerzeugern bereitzustellenden Anteile der Regelenergiemenge angeben.

Hinsichtlich der Vorteile der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung wird auf die hinsichtlich des erfindungsgemäßen Verfahrens gemachten Ausführungen verwiesen. Da die erfindungsgemäße Steuereinrichtung darüber hinaus zur Durchführung eines Verfahrens sowie seiner vorteilhaften Weiterbildungen geeignet ist, gelten alle hinsichtlich des Verfahrens gemachten Ausführungen in entsprechender Weise auch für die Steuereinrichtung.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen eingehender erläutert. Hierzu zeigen

Figur 1 eine schematische Ansicht eines Teils eines elektrischen Energieversorgungsnetzes mit einer Anzahl elektrischer Energieverbraucher und Energieerzeuger;

Figur 2 ein schematisches Ablaufschema eines ersten Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Steuerung des Betriebs von elektrischen Energieerzeugern; und

Figur 3 ein schematisches Ablaufschema eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Steuerung des Betriebs von elektrischen Energieerzeugern.

Figur 1 zeigt in schematischer Ansicht einen Teil 10 eines ansonsten nicht näher dargestellten Energieversorgungsnetzes. Von einer Sammelschiene 11 geht eine Abzweigleitung 12 ab, die sich wiederum in mehrere Zweigleitungen 13a-c aufteilt, von denen in Figur 1 nur die Abzweigleitung 13b näher dargestellt ist. An die Abzweigleitung 12 und die Zweigleitung 13b sind mehrere Energieerzeuger 14a-g angeschlossen. Die Energieerzeuger 14a-g stehen in Figur 1 beispielhaft für eine beliebige Anzahl elektrischer Energieerzeuger, deren Betriebsweise über eine gemeinsame Steuereinrichtung 15 gesteuert wird. Konkret kann es sich bei dem Energieerzeuger 14a beispielsweise um eine Windkraftanlage, bei den Energieerzeugern 14b und 14c um auf Wohnhäusern installierte Photovoltaikanlagen, bei dem Energieerzeuger 14g um ein Blockheizkraftwerk und bei den Energieerzeugern 14d-f um beliebige weitere Energieerzeuger, beispielsweise Biogasanlagen, kleine Verbrennungskraftanlagen oder Mikroturbinen handeln. Solche im Vergleich zu zentralen Großkraftwerksanlagen dezentral im Energieversorgungsnetz verteilten Energieerzeuger weisen üblicherweise eine deutlich geringere elektrische Leistungsfähigkeit auf und sind daher zur gemeinsamen Steuerung und Vermarktung ihrer elektrischen Energie über Kommunikationsverbindungen 16, die drahtlos oder drahtgebunden ausgeführt sein können, an die gemeinsame Steuereinrichtung 15 angeschlossen. Energieerzeuger, die einen integrierten Controller aufweisen, im vorliegenden Beispiel die Energieerzeuger 14d-g, sind über diesen direkt mit der Steuereinrichtung verbunden; Energieerzeuger ohne integrierten Controller können über separate

Controller 17 angeschlossen werden. Einen solchen Verbund von Energieerzeugern bezeichnet man üblicherweise auch als virtuelles Kraftwerk. Die gemeinsame Steuereinrichtung 15 kann hierbei beispielsweise eine Datenverarbeitungseinrichtung eines Energiemanagementsystems sein.

Die Aufgabe der Steuereinrichtung 15 ist es, eine mit dem Betreiber des Energieversorgungsnetzes ausgehandelte Steuerkennlinie bzw. einen „Gesamtfahrplan" des virtuellen Kraftwerks in individuelle Steuerkennlinien bzw. „Einzelfahrpläne" aufzuteilen, die jedem Energieerzeuger 14a-g individuell zugewiesen werden. Bei der Steuerung im „Normalbetrieb" folgen die einzelnen Energieerzeuger 14a-g ihrem vorgegebenen Einzelfahrplan, so dass das virtuelle Kraftwerk insgesamt gegenüber dem Energieversorgungsnetz den Gesamtfahrplan einhält.

Üblicherweise kann ein im Voraus geplanter Netzbetrieb nicht vollständig eingehalten werden; unvorhergesehene Spitzen oder Senken im Verbrauch führen daher oftmals zu Abweichungen vom geplanten netzseitigen Energiebedarf. Für solche Fälle werden seitens der mit dem Energieversorgungsnetz verbundenen Energieerzeuger Regelenergiereserven bereitgehalten, die zur Kompensation solcher Abweichungen eingesetzt werden können. Die Abweichungen können dabei sowohl in positiver als auch in negativer Richtung auftreten.

Liegt ein Bedarf an Regelenergie vor, so übermittelt der Netzbetreiber an die Steuereinrichtung 15 ein Korrektursignal K, das einerseits das Vorliegen eines Bedarfs an Regelenergie anzeigt und andererseits die Menge und das Vorzeichen der benötigten Regelenergie angibt. An die Steuereinrichtung 15 wird in diesem Fall die Anforderung gestellt, dass sie innerhalb von Sekunden reagiert, so dass sich die angeforderte Regelenergiemenge innerhalb kurzer Zeit, üblicherweise innerhalb von wenigen Minuten, tatsächlich in vollem Umfang in einer entsprechenden Änderung der Einspeisung in das Energieversorgungsnetz auswirkt. Das Einspeisen von Regelenergie ist also ein Vorgang, der durch das Korrektursignal K angefordert

wird, der dem normalen Gesamtfahrplan überlagert ist und innerhalb eines kurzen Zeithorizontes ausgeführt werden muss. Dazu muss die Steuereinrichtung 15 die durch das Korrektursignal angeforderte Regelenergiemenge in geeigneter Weise auf die Energieerzeuger 14a-g verteilen.

Während bei der Planungsphase, also der Festlegung des Gesamtfahrplans des virtuellen Kraftwerks ausreichend Zeit für eine aufwändige Optimierung besteht, muss die Verarbeitung des Korrektursignals quasi in Echtzeit erfolgen. Bei Steuereinrichtungen mit moderater Rechenleistung, z.B. basierend auf speicherprogrammierbaren Steuerungen, besteht häufig nicht die Möglichkeit, zur optimalen Verteilung dieselben Algorithmen wie in der Planungsphase anzuwenden. Es besteht daher die Notwendigkeit, für die kurzfristige Reaktion auf ein Korrektursignal K einen Algorithmus anzugeben, der auch mit Steuereinrichtungen mit moderater Rechenleistung in akzeptabler Zeit ausgeführt werden kann und der trotzdem eine möglichst optimale, d.h. bestimmte vorgegebene Gesichtspunkte einhaltende, Steuerung der Energieerzeuger 14a-g ermöglicht.

Zwei Beispiele solcher Algorithmen werden nachfolgend anhand der Figuren 2 und 3 näher erläutert. Üblicherweise liegen solche Algorithmen als Gerätesoftware vor und werden von der Steuereinrichtung während ihres Betriebs abgearbeitet.

Figur 2 zeigt ein Ablaufschema eines ersten Ausführungsbeispiels eines Verfahrens, das von der Steuereinrichtung 15 zur Steuerung des Betriebs der Energieerzeuger 14a-g in Reaktion auf ein Korrektursignal K eingesetzt werden kann.

In einem ersten Schritt 20 wird geprüft, ob ein Korrektursignal K an der Steuereinrichtung 15 ansteht. Dieser erste Schritt 20 wird so lange ausgeführt, bis das Korrektursignal K tatsächlich vorliegt. Liegt das Korrektursignal K vor, so werden in einem folgenden Schritt 21 die Energieerzeuger 14a-g unter Bildung einer Abfolgeliste nach den jeweiligen Kosten sortiert, die beim Verlassen des fahrplangemäßen Betriebs des

jeweiligen Energieerzeugers 14a-g entstehen. So muss beispielsweise für eine Erhöhung der von dem Blockheizkraftwerk 14g abgegebenen Energiemenge eine bestimmte Menge mehr Brennstoff eingesetzt werden, was mit Mehrkosten verbunden ist, während bei ausreichendem Wind eine Erhöhung der von der Windkraftanlage 14a abgegebenen Energiemenge mit vergleichbar geringeren Kosten einhergeht.

In einem nächsten Schritt 22 wird die maximal von allen Energieerzeugern 14a-g bereitstellbare Regelenergiemenge berechnet. Dabei wird unterschieden zwischen den Möglichkeiten zur Bereitstellung positiver Regelenergie (der Fähigkeit, mehr Energie als gemäß Fahrplan vorgesehen abzugeben) und negativer Regelenergie (der Fähigkeit, weniger Energie als gemäß Fahrplan vorgesehen abzugeben). Hierzu werden die jeweiligen Energiemengen vorzeichenrichtig zu einer gesamten bereitstellbaren Regelenergiemenge addiert.

In einem folgenden Schritt 23 wird anhand eines von dem Betreiber des virtuellen Kraftwerks vorgegebenen Optimierungsparameters eine Strategie ausgewählt, nach der die Energieerzeuger als Reaktion auf das Korrektursignal betrieben werden sollen. Einerseits kann eine kostenoptimierte Betriebsweise und andererseits eine zeitoptimierte Betriebsweise als Steuerstrategie vorgegeben sein.

Anschließend wird die Regelenergiemenge auf die die Energieerzeuger 14a-g in der aus Schritt 21 hervorgehenden sortierten Reihenfolge verteilt. Dabei können stufenlos und stufenweise steuerbare Energieerzeuger in beliebiger Mischung, nämlich gemäß der vorliegenden Sortierung, verwendet werden.

Bei Vorgabe der kostenoptimierten Betriebsweise wird das Verfahren bei Schritt 24a fortgesetzt. In Schritt 24a wird auf den ersten Energieerzeuger in der Abfolgeliste die maximal von diesem bereitstellbare Regelenergiemenge verteilt, d.h. bei einer positiven Regelenergiemenge wird der fragliche Energieerzeuger bis hin zu seiner Maximalkapazität ausgelas-

tet, während bei einer negativen Regelenergiemenge der fragliche Energieerzeuger heruntergefahren und im Extremfall auch komplett ausgeschaltet wird. Dabei wird die Abfolgeliste in Abhängigkeit vom Vorzeichen der angeforderten Regelenergiemenge in aufsteigender oder abfallender Sortierung angewendet. Bei einer positiven angeforderten Regelenergiemenge wird die Abfolgeliste in aufsteigender Sortierung, beginnend bei demjenigen Energieerzeuger, der zu den geringsten Zusatzkosten (oder Grenzkosten) zusätzliche Regelenergie bereitstellen kann, angewendet. Bei einer negativen angeforderten Regelenergiemenge wird hingegen die Abfolgeliste in abfallender Sortierung angewendet, d.h., es wird mit demjenigen Energieerzeuger begonnen, bei dem eine Reduzierung der abgegebenen Energiemenge mit der größten Kosteneinsparung verbunden ist.

In einem folgenden Schritt 25a wird der nach der Zuweisung der maximal möglichen Regelenergiemenge zum ersten Energieerzeuger in Schritt 24a noch verbleibende Wert der angeforderten Regelenergiemenge als Differenz zwischen der ursprünglich angeforderten Regelenergiemenge und dem Anteil, der dem ersten Energieerzeuger zugewiesen worden ist, berechnet. Hierbei kann auch berücksichtigt werden, dass üblicherweise der fragliche Energieerzeuger den kompletten Wert seiner maximal bereitstellbaren Regelenergiemenge nicht unmittelbar, sondern innerhalb eines für die Regelung akzeptablen Zeitraums, z.B. 10s oder 1 min, nur zum Teil bereitstellen kann, so dass in diesem Schritt 25a von der angeforderten Regelenergiemenge wird nur der Anteil abgezogen wird, den der fragliche Energieerzeuger innerhalb des akzeptablen Zeitraums erreichen kann. Auf diesen Sachverhalt wird später im Detail eingegangen.

Im folgenden Schritt 26a wird geprüft, ob die angeforderte Regelenergiemenge bereits komplett zugewiesen worden ist, d.h., ob der in Schritt 25a berechnete verbleibende Wert gleich Null ist. Ist dies nicht der Fall, so wird das Verfahren erneut bei Schritt 24a fortgesetzt, wobei hier der in der Abfolgeliste nächstfolgende Energieerzeuger zur Zuweisung von

Regelenergie ausgewählt wird. Die Schleife mit den Schritten 24a-26a wird daraufhin so lange ausgeführt, bis die Prüfung in Schritt 26a ergibt, dass die gesamte angeforderte Regelenergiemenge auf die ausgewählten Energieerzeuger verteilt worden ist.

In diesem Fall wird das Verfahren mit Schritt 27 abgeschlossen, in dem die entsprechenden Steuersignale für die ausgewählten Energieerzeuger generiert werden, die eine Angabe über den von dem jeweiligen ausgewählten Energieerzeuger beizutragenden Anteil an der Regelenergiemenge umfassen. Die Steuersignale werden danach an die entsprechenden Energieerzeuger übermittelt und dort umgesetzt.

Bei Vorgabe der zeitoptimierten Betriebsweise wird das Verfahren nach Schritt 23 bei Schritt 24b fortgesetzt. In Schritt 24b wird auf den ersten Energieerzeuger in der Abfolgeliste lediglich ein Teil der maximal von diesem bereitstellbaren Regelenergiemenge verteilt. Dieser Teil wird durch Erzeugung eines Beitragsfaktors ermittelt, der als Quotient aus der angeforderten Regelenergiemenge und der noch bereitstellbaren Menge an Regelenergie durch diejenigen Energieerzeuger, denen bisher noch keine Regelenergie zur Übernahme zugewiesen worden ist, berechnet wird. Anfänglich besitzt diese noch bereitstellbare Menge an Regelenergie den in Schritt 22 berechneten maximalen Wert, danach nimmt sie jeweils den in Schritt 25b (siehe nachfolgende Erläuterungen) berechneten Wert an. Der auf diese Weise ermittelte Beitragsfaktor nimmt üblicherweise (sofern die angeforderte Regelenergie nicht die Kapazität der Energieerzeuger zur Bereitstellung von Regelenergie übersteigt) einen Wert zwischen Null und 1 an und wird mit dem Wert des seitens der aktuell in Schritt 24b ausgewählten Energieerzeugers bereitstellbaren Regelenergiemenge multipliziert und somit der von dem fraglichen Energieerzeuger bereitzustellende Anteil der Regelenergiemenge festgelegt. Bei einer positiven Regelenergiemenge wird der fragliche Energieerzeuger folglich um diesen berechneten Anteil seiner Reserve an Regelenergie mehr ausgelastet,

während bei einer negativen Regelenergiemenge der fragliche Energieerzeuger um den entsprechenden Anteil heruntergefahren wird. Dabei wird die Abfolgeliste in Abhängigkeit vom Vorzeichen der angeforderten Regelenergiemenge in aufsteigender oder abfallender Sortierung angewendet. Bei einer positiven angeforderten Regelenergiemenge wird die Abfolgeliste in aufsteigender Sortierung, beginnend bei demjenigen Energieerzeuger, der zu den geringsten Zusatzkosten (oder Grenzkosten) zusätzliche Regelenergie bereitstellen kann, angewendet. Bei einer negativen angeforderten Regelenergiemenge wird hingegen die Abfolgeliste in abfallender Sortierung angewendet, d.h., es wird mit demjenigen Energieerzeuger begonnen, bei dem eine Reduzierung der abgegebenen Energiemenge mit der größten Kosteneinsparung verbunden ist.

In einem folgenden Schritt 25b wird der nach der Zuweisung des berechneten Anteils der Regelenergiemenge zum ersten Energieerzeuger in Schritt 24b noch verbleibende Wert der angeforderten Regelenergiemenge als Differenz zwischen der ursprünglich angeforderten Regelenergiemenge und dem Anteil, der dem ersten Energieerzeuger zugewiesen worden ist, berechnet.

Im folgenden Schritt 26b wird geprüft, ob die angeforderte Regelenergiemenge bereits komplett zugewiesen worden ist, d.h., ob der in Schritt 25b berechnete verbleibende Wert gleich Null ist. Ist dies nicht der Fall, so wird das Verfahren erneut bei Schritt 24b fortgesetzt, wobei hier der in der Abfolgeliste nächstfolgende Energieerzeuger zur Zuweisung von Regelenergie ausgewählt wird. Die Schleife mit den Schritten 24b-26b wird daraufhin so lange ausgeführt, bis die Prüfung in Schritt 26b ergibt, dass die gesamte angeforderte Regelenergiemenge auf die ausgewählten Energieerzeuger verteilt worden ist.

In diesem Fall wird das Verfahren mit Schritt 27 abgeschlossen, in dem die entsprechenden Steuersignale für die ausgewählten Energieerzeuger generiert werden, die eine Angabe

über den von dem jeweiligen ausgewählten Energieerzeuger beizutragenden Anteil an der Regelenergiemenge umfassen. Die Steuersignale werden danach an die entsprechenden Energieerzeuger übermittelt und dort umgesetzt.

Nach Schritt 27 beginnt das Verfahren erneut bei Schritt 20, in welchem auf ein neues Korrektursignal gewartet wird.

In Abweichung zum oben beschriebenen Verfahren können die Steuersignale für beide Betriebsweisen auch jeweils direkt nach der Zuweisung des jeweiligen zu übernehmenden Anteils an den jeweils ausgewählten Energieerzeuger, also unmittelbar nach Schritt 24a bzw. 24b, generiert und übermittelt werden.

Bei der kostenoptimierten Betriebsweise trägt der jeweilige ausgewählte Energieerzeuger das mögliche Maximum aus seiner Reserve an Regelenergie zur Deckung der Regelenergieanforderung Anforderung bei. Dadurch erreicht man die kostengünstigste Betriebsweise des virtuellen Kraftwerks, die allerdings diejenigen Energieerzeuger, die günstige Energie bereitstellen können, an ihre Leistungsgrenzen treibt. Bei der zeitoptimierten Betriebsweise trägt jeder Energieerzeuger nur einen Anteil seiner Reserve bei, der dem Verhältnis der Anforderung und der gesamten noch verfügbaren Reserve entspricht. Da bei dieser Betriebsweise jeder Energieerzeuger nur einen gewissen Anteil der Anforderung übernimmt, ist keiner der Energieerzeuger bis zur Kapazitätsgrenze ausgelastet (oder bei negativer Regelenergieanforderung komplett ausgeschaltet) und hält auch für weitere Regelenergieanforderungen zusätzliche Kapazitäten bereit.

Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit einer Mischform aus beiden Optimierungsansätzen: Hierbei kann zuerst die zeitoptimierte Betriebsweise eingesetzt werden, um eine schnelle Reaktion auf die Regelenergieanforderung zu gewährleisten. Nach Bereitstellung der geforderten Regelenergiemenge kann durch Ersetzen „teurer" Energieerzeuger durch „güns-

tige" Energieerzeuger auf einen kostenoptimierten Betrieb übergegangen werden.

Figur 3 zeigt ein Ablaufschema eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Verfahrens, das von der Steuereinrichtung 15 zur Steuerung des Betriebs der Energieerzeuger 14a-g in Reaktion auf ein Korrektursignal K eingesetzt werden kann.

Im ersten Schritt 30 wird das Vorliegen eines Korrektursignals K geprüft. Dieser Schritt 30 wird so lange ausgeführt, bis tatsächlich durch ein Korrektursignal K eine Anforderung an Regelenergie angezeigt wird. In diesem Fall wird das Verfahren beim folgenden Schritt 31 fortgesetzt.

In Schritt 31 wird zunächst für eine erste Gruppe von Energieerzeugern, die alle stufenweise steuerbaren Energieerzeuger umfasst, die maximal durch alle Energieerzeuger dieser ersten Gruppe bereitstellbare Regelenergiemenge berechnet. Ebenfalls in Schritt 31 wird die für eine zweite Gruppe von Energieerzeugern, die alle stufenlos steuerbaren Energieerzeuger umfasst, die maximal durch alle Energieerzeuger dieser zweiten Gruppe bereitstellbare Regelenergiemenge berechnet. Dabei kann die Berechnung für die beiden Gruppen in beliebiger Reihenfolge nacheinander oder auch parallel zueinander ausgeführt werden.

Bei der Berechnung der maximal bereitstellbaren Regelenergiemenge durch die Energieerzeuger der beiden Gruppen gemäß Schritt 31 wird wie auch bei der ersten Ausführungsform des Verfahrens (vergleiche die Ausführungen zu Figur 2) unterschieden zwischen einer positiven Regelenergieanforderung und einer negativen Regelenergieanforderung. Weiter werden wie erläutert die maximal bereitstellbaren Regelenergiemengen von stufenweise steuerbaren Energieerzeugern einerseits und von stufenlos steuerbaren Energieerzeugern andererseits getrennt berechnet.

Nachfolgend sei ein Beispiel zur Berechnung der maximal bereitstellbaren Regelenergiemenge erläutert, das in entsprechender Weise auch für Schritte 22 und 25a/b des ersten Ausführungsbeispiels gemäß Figur 2 angewendet werden kann (für das erste Ausführungsbeispiel werden jedoch die maximal bereitstellbaren Regelenergiemengen nicht getrennt nach stufenweise und stufenlos steuerbaren Energieerzeugern berechnet).

Mit P_{sched} sei die von einem Energieerzeuger laut seinem Einzelfahrplan geforderte Einspeiseenergiemenge in der aktuellen Viertelstunde bezeichnet. P_{max} bezeichne die maximale Einspeiseenergiemenge, die dieser Energieerzeuger in der aktuellen Viertelstunde erbringen kann, während P_{min} für die minimale Einspeiseenergiemenge, die dieser Energieerzeuger in der aktuellen Viertelstunde erbringen kann, stehe. P_{max} und P_{min} können beispielsweise aus einer Erzeugungsprognose eines Planungssystems entnommen werden. Für die Berechnung werden zudem nur solche Energieerzeuger verwendet, die überhaupt aktuell für eine Regelenergieverteilung zur Verfügung stehen. Beispielsweise werden gestörte oder in einer Wartung befindliche Energieerzeuger nicht bei der Berechnung berücksichtigt. Damit werden die maximal bereitstellbare positive Regelenergiemenge P_{max+} und die maximal bereitstellbare negative Regelenergiemenge P_{max-} eines Energieerzeugers anhand der Formeln

$$P_{max+} = P_{max} - P_{sched} \text{ bzw.}$$
$$P_{max-} = P_{sched} - P_{min}$$

berechnet.

Die jeweiligen individuellen maximal bereitstellbaren Regelenergiemengen der einzelnen Energieerzeuger werden nun für jede der beiden Gruppen durch Addition getrennt nach positiver und negativer Regelenergiemenge bestimmt.

Im Schritt 32 wird eine vorläufige Vorverteilung der angeforderten Regelenergiemenge auf die beiden Gruppen von Energieerzeugern vorgenommen. Diese Vorverteilung kann beispielswei-

se so ausgeführt sein, dass die Aufteilung anteilig auf Basis der für die beiden Gruppen berechneten maximal bereitstellbaren Regelenergiemengen geschieht, d.h., dass die Regelenergieanforderung ungefähr proportional zu der in der jeweiligen Gruppe vorhandenen gesamten Reserve an Regelenergie verteilt wird. Dadurch wird eine möglichst gleichmäßige Nutzung der einzelnen Energieerzeuger erreicht. Alternativ kann die Vorverteilung z.B. auch derart vorgenommen werden, dass die gesamte Regelenergieanforderung zunächst den stufenweise steuerbaren Energieerzeugern zugeteilt wird. Die für die zweite Gruppe der Energieerzeuger (die stufenlos steuerbaren Energieerzeuger) ermittelten Regelenergiemengen werden wie in Figur 3 durch eine gestrichelte Linie angedeutet an einen Schritt 34 übergeben (siehe unten).

In einem nächsten Schritt 33 geschieht nun die Aufteilung der für die erste Gruppe vorgesehenen Regelenergiemenge auf die in dieser Gruppe vorhandenen stufenweise schaltbaren Energieerzeuger. Der dieser Gruppe zugeteilte Anteil der Regelenergieanforderung kann wegen der Stufung der jeweiligen Generatorleistung der Energieerzeuger im Allgemeinen nicht exakt erreicht werden.

Der Restbetrag der der ersten Gruppe zugeteilten Regelenergiemenge, der nicht durch die Energieerzeuger der ersten Gruppe abgedeckt werden kann, wird an den folgenden Schritt 34 weitergegeben. In diesem Schritt 34 werden nun einerseits der aus der Vorverteilung in Schritt 32 hervorgehende Anteil für die stufenlos steuerbaren Energieerzeuger und andererseits der in Schritt 33 verbleibende Restanteil der stufenweise steuerbaren Energieerzeuger addiert und die resultierende Regelenergiemenge auf die einzelnen stufenlos steuerbaren Energieerzeuger der zweiten Gruppe verteilt.

Die Aufteilung der verbleibenden Regelenergieanforderung auf die stufenlos steuerbaren Energieerzeuger erfolgt vorzugsweise so, dass jeder Energieerzeuger den gleichen Anteil seiner Reserve an Regelenergie beiträgt. Dadurch werden die Energie-

erzeuger gleichmäßig ausgelastet und es werden nicht einzelne Energieerzeuger an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit gebracht. Die maximale Regelgeschwindigkeit des virtuellen Kraftwerks als Ganzes bleibt erhalten.

Für die Auswahl der jeweils innerhalb der Gruppen zu verwendenden Energieerzeuger kann - wie auch beim ersten Ausführungsbeispiel - eine nach den Grenzkosten der Energieerzeuger in jeder Gruppe sortierte Abfolgeliste verwendet werden. Diese Abfolgeliste kann je nach Vorzeichen der Regelenergieanforderung in aufsteigender oder abfallender Reihenfolge abgearbeitet werden.

In einem abschließenden Schritt 35 werden die entsprechenden Steuersignale für die einzelnen Energieerzeuger generiert und an diese übertragen. Wie bereits zur ersten Ausführungsform erläutert kann die Generierung und Übertragung von Steuersignalen auch jeweils unmittelbar nach der Festlegung des jeweils von dem einzelnen Energieerzeuger zu übernehmenden Anteils erfolgen.

Nachfolgend wird eine mögliche Vorgehensweise zur Bestimmung der zu verwendenden Auslastung von gestuft steuerbaren Energieerzeugern beschrieben. Diese Vorgehensweise kann sowohl beim ersten als auch beim zweiten Ausführungsbeispiel des erläuterten Verfahrens zum Steuern des Betriebs von Energieerzeugern eingesetzt werden. Jeder Leistungsstufe eines stufenweise steuerbaren Energieerzeugers wird hierbei ein Steuerbaustein zugeordnet. Ein Energieerzeuger, der nur einstufig ein- oder ausgeschaltet werden kann, ist in diesem Zusammenhang ein Spezialfall eines stufenweise steuerbaren Energieerzeugers. Eine Leistungsstufe eines Energieerzeugers kann nur dann eingeschaltet werden, wenn die niedrigeren Leistungsstufen bereits eingeschaltet sind. Ebenso kann eine Leistungsstufe nur dann ausgeschaltet werden, wenn die höheren Leistungsstufen bereits ausgeschaltet sind. Deswegen werden die einzelnen Steuerbausteine bezüglich ihres Einschaltzustandes miteinander verkettet. Eine Leistungsstufe eines Energieer-

zeugers kann nun in einen Zustand abweichend vom durch den Einzelfahrplan des Energieerzeugers vorgegebenen Zustand geschaltet werden, um die Regelenergieanforderung zu unterstützen. Wenn die Leistungsstufe die Regelenergieanforderung unterstützt, dann bleibt von der ursprünglichen Regelenergieanforderung ein Rest übrig, der an höhere bzw. niedrigere Leistungsstufen desselben Energieerzeugers bzw. an weitere Energieerzeuger weitergegeben werden kann.

Der Steuerbaustein einer Leitungsstufe prüft zunächst, ob er durch Abweichung vom Einzelfahrplan des Energieerzeugers überhaupt einen Beitrag zur angeforderten Regelenergiemenge liefern kann bzw. darf. Hierzu wird zunächst geprüft, ob die aktuelle Leistungsstufe von den vorhergehenden Stufen freigegeben ist. Ist dies der Fall, so wird nachfolgend geprüft, ob der Energieerzeuger von seinem Einzelfahrplan abweichen darf, d.h., ob das Band zwischen prognostizierter Minimal- und Maximalleistung genügend Spielraum für eine Änderung gibt. Schließlich wird auch überprüft, ob eine Abweichung vom Einzelfahrplan, die ja nur in Stufen erfolgen kann, dazu beitragen würde, dass die angeforderte Regelenergiemenge genauer als aktuell erreicht wird. Beispielsweise ergibt diese Prüfung auch dann ein positives Ergebnis, wenn durch eine Zuschaltung einer Leistungsstufe die angeforderte Regelenergiemenge nicht genau erreicht, sondern stattdessen sogar überschritten wird, sofern die dadurch entstehende neue Abweichung von der geforderten Regelenergiemenge kleiner als die Differenz ist, wenn die Leistungsstufe nach dem ursprünglichen Einzelfahrplan weiter betrieben würde. Ergeben diese Prüfungen ein positives Ergebnis, so wird die entsprechende Leistungsstufe ein- bzw. ausgeschaltet.

Energieerzeuger – unabhängig davon, ob sie stufenweise oder stufenlos gesteuert werden können – können auf einen veränderten Sollwert üblicherweise nicht beliebig schnell reagieren. Energieerzeuger, die für die Bereitstellung von Regelenergie eingesetzt werden, können teilweise Minuten brauchen, bis ein neuer Sollwert durch das Abfahren einer Rampe voll-

ständig erreicht wurde. Diese Trägheit der Energieerzeuger wird üblicherweise in die Berechnung in Form einer Änderungsrate einbezogen. Statt den von einem Energieerzeuger (langfristig) maximal bereitstellbaren Beitrag an Regelenergie in vollem Umfang zu berücksichtigen, sollte daher nur der Anteil berücksichtigt werden, den der Energieerzeuger in einem angemessenen Zeitraum (z.B. 1 Minute) erbringen kann. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass eine Regelenergieanforderung mit der geforderten Geschwindigkeit zunächst von den schnellsten Anlagen übernommen wird, um später von kostengünstigeren, aber trägen Generatoren abgelöst zu werden.

Zusammengefasst ist hiermit ein Verfahren - in zwei möglichen Ausführungsformen - beschrieben worden, das eine im Wesentlichen sequentielle Aufteilung der Regelenergieanforderung auf ausgewählte Energieerzeuger oder Gruppen von Energieerzeugern vornimmt. Hierdurch kann das Verfahren vergleichsweise einfach und unter Verwendung von Standardkomponenten (beispielsweise der Programmiersprache ST - „structured Text") implementiert und in vorteilhafter Weise auch von Steuereinrichtungen mit moderater Rechenleistung durchgeführt werden. Das Verfahren eignet sich zur Ansteuerung von stufenlos sowie stufenweise steuerbaren Energieerzeugern und erreicht durch die (dynamische oder statische) Sortierung der Energieerzeuger nach ihren Grenzkosten einen möglichst kostengünstigen Betrieb des virtuellen Kraftwerks.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung des Betriebs von elektrischen Energieerzeugern (14a-g), die zur Einspeisung elektrischer Energie mit einem elektrischen Energieversorgungsnetz verbunden sind und deren Betriebsweise über eine gemeinsame Steuereinrichtung (15) gesteuert wird, wobei

- die Steuereinrichtung (15) die Energieerzeuger (14a-g) unter Heranziehung einer festgelegten Steuerkennlinie derart steuert, dass die von den Energieerzeugern (14a-g) in das Versorgungsnetz eingespeiste Energie dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf entspricht;
- der Steuereinrichtung (15) ein Korrektursignal (K) zugeführt wird, das eine Abweichung des aktuellen versorgungsnetzseitigen Energiebedarfs von dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf angibt; und
- die Steuereinrichtung (15) Steuersignale an die Energieerzeuger (14a-g) abgibt, bei deren Ermittlung das Korrektursignal (K) herangezogen wird;

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass durch die Steuereinrichtung (15) folgende Schritte durchgeführt werden:

- Ermittlung einer Regelenergiemenge, die eine von allen Energieerzeugern (14a-g) gemeinsam bereitzustellende Energiemenge angibt, anhand des Korrektursignals (K);
- Auswahl eines ersten Energieerzeugers oder einer ersten Gruppe von Energieerzeugern und Bestimmung eines Anteils der Regelenergiemenge, der von dem ersten Energieerzeuger oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern bereitzustellen ist;
- sequentielle Auswahl von weiteren Energieerzeugern oder weiteren Gruppen von Energieerzeugern und Bestimmung eines jeweiligen Anteils an der jeweils verbliebenen Höhe der Regelenergiemenge, der von dem jeweiligen weiteren Energieerzeuger oder der jeweiligen weiteren Gruppe von Energieerzeugern bereitzustellen ist, bis die Höhe der Regelenergiemenge vollständig jeweils ausgewählten Energieerzeugern zugewiesen ist; und

- Erzeugung von Steuersignalen für die ausgewählten Energieerzeuger, die die jeweiligen von den ausgewählten Energieerzeugern bereitzustellenden Anteile der Regelenergiemenge angeben.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- die Steuereinrichtung (15) zur Ermittlung des Vorzeichens der Regelenergiemenge das Korrektursignal (K) daraufhin untersucht, ob es eine positive oder eine negative Abweichung des aktuellen versorgungsnetzseitigen Energiebedarfs von dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf angibt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- von der Steuereinrichtung (15) die Energieerzeuger (14a-g) unter Bildung einer Abfolgeliste hinsichtlich derjenigen Kosten sortiert werden, die anfallen, wenn die jeweiligen Energieerzeuger (14a-g) abweichend von einer anhand der Steuerkennlinie festgelegten, für jeden Energieerzeuger (14a-g) individuellen Steuerkennlinie betrieben werden; und
- die Abfolgeliste für die Auswahl des ersten Energieerzeugers oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern und des zumindest einen weiteren Energieerzeugers oder der zumindest einen weiteren Gruppe von Energieerzeugern herangezogen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- die Steuereinrichtung (15) die maximale insgesamt von den Energieerzeugern (14a-g) bereitstellbare Regelenergiemenge als Summe der jeweiligen von jedem einzelnen Energieerzeuger (14a-g) bereitstellbaren individuellen Regelenergiemengen bestimmt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- die Steuereinrichtung (15) die Steuersignale in Abhängigkeit von einem durch einen Nutzer vorgegebenen Optimierungs-

parameter entsprechend einer kostenoptimierten oder entsprechend einer zeitoptimierten Betriebsweise erzeugt.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- bei der kostenoptimierten Betriebsweise die Steuereinrichtung (15) dem ersten Energieerzeuger oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern und dem jeweiligen zumindest einen weiteren Energieerzeuger oder der jeweiligen zumindest einen weiteren Gruppe von Energieerzeugern jeweils die maximal von dem jeweiligen Energieerzeuger oder der Gruppe von Energieerzeugern bereitstellbare Energiemenge als bereitzustellenden Anteil an der Regelenergiemenge zuordnet.

7. Verfahren nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- bei der zeitoptimierten Betriebsweise die Steuereinrichtung (15) dem ersten Energieerzeuger oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern und dem jeweiligen zumindest einen weiteren Energieerzeuger oder der jeweiligen zumindest einen weiteren Gruppe von Energieerzeugern jeweils einen Teil der maximal von dem jeweiligen Energieerzeuger oder der Gruppe von Energieerzeugern bereitstellbaren Energiemenge als bereitzustellenden Anteil an der Regelenergiemenge zuordnet, wobei zur Bestimmung dieses Teils die insgesamt benötigte Regelenergiemenge und die maximal von allen Energieerzeugern, denen noch kein Anteil der Regelenergiemenge zugeordnet worden ist, noch bereitstellbare Energiemenge herangezogen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- bei der Festlegung der von dem jeweiligen Energieerzeuger (14a-g) bereitzustellenden Regelenergiemenge eine für den jeweiligen Energieerzeuger spezifische Änderungsrate berücksichtigt wird, die angibt, um welchen Wert die aktuell von dem jeweiligen Energieerzeuger (14a-g) abgegebene Energiemenge innerhalb einer vorgegebenen Änderungszeit verändert werden kann.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- die Energieerzeuger (14a-g) in eine erste Gruppe von Energieerzeugern, die stufenweise regelbar sind, und eine zweite Gruppe von Energieerzeugern, die stufenlos regelbar sind, aufgeteilt werden;
- für jede der beiden Gruppen die maximal von den Energieerzeugern der jeweiligen Gruppe bereitstellbare Energiemenge bestimmt wird;
- die Regelenergiemenge gemäß einer Vorverteilung den beiden Gruppen zugewiesen wird;
- der der ersten Gruppe zugewiesene Anteil der Regelenergiemenge soweit möglich auf die einzelnen Energieerzeuger der ersten Gruppe verteilt wird, wobei ein verbleibender Rest, der nicht auf die Energieerzeuger der ersten Gruppe verteilbar ist, zu demjenigen Anteil der Regelenergiemenge, der der zweiten Gruppe zugewiesen ist, addiert wird; und
- der aus der Addition resultierende Anteil der Regelenergiemenge auf die einzelnen Energieerzeugern der zweiten Gruppe verteilt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- bei der Vorverteilung der der jeweiligen Gruppe zugewiesene Anteil der Regelenergiemenge proportional zur von der jeweiligen Gruppe insgesamt maximal bereitstellbaren Energiemenge gewählt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- die Verteilung der der jeweiligen Gruppe zugewiesenen Anteile der Regelenergiemenge auf die einzelnen Energieerzeuger der jeweiligen Gruppe derart erfolgt, dass bei einer positiven bereitzustellenden Regelenergiemenge solche Energieerzeuger bevorzugt ausgewählt werden, bei denen eine Erhöhung der Energieerzeugung im Vergleich zu anderen Energieerzeugern derselben Gruppe geringere Kosten erzeugt, und bei einer ne-

gativen bereitzustellenden Regelenergiemenge solche Energieerzeuger bevorzugt ausgewählt werden, bei denen eine Verringerung der Energieerzeugung im Vergleich zu anderen Energieerzeugern derselben Gruppe höhere Kosten einspart.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9-11,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- bei der Festlegung des von dem jeweiligen Energieerzeuger bereitzustellenden Regelenergiemenge eine für den jeweiligen Energieerzeuger spezifische Änderungsrate berücksichtigt wird, die angibt, um welchen Wert die aktuell von dem jeweiligen Energieerzeuger abgegebene Energiemenge innerhalb einer vorgegebenen Änderungszeit verändert werden kann.

13. Steuereinrichtung (15) zur Steuerung des Betriebs von elektrischen Energieerzeugern (14a-g), die zur Einspeisung elektrischer Energie mit einem elektrischen Energieversorgungsnetz verbindbar sind und deren Betriebsweise über die Steuereinrichtung (15) steuerbar ist, wobei
- die Steuereinrichtung (15) zur Steuerung der Energieerzeuger (14a-g) unter Heranziehung einer festgelegten Steuerkennlinie derart eingerichtet ist, dass die von den Energieerzeugern (14a-g) in das Versorgungsnetz eingespeiste Energie dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf entspricht; und
- die Steuereinrichtung (15) dazu eingerichtet ist, als Reaktion auf den Empfang eines Korrektursignals (K), das eine Abweichung des aktuellen versorgungsnetzseitigen Energiebedarfs von dem geplanten versorgungsnetzseitigen Energiebedarf angibt, Steuersignale an die Energieerzeuger (14a-g) abzugeben;
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Steuereinrichtung (15) aufweist:
- Mittel zur Ermittlung einer Regelenergiemenge, die eine von allen Energieerzeugern (14a-g) gemeinsam bereitzustellende Energiemenge angibt, anhand des Korrektursignals (K);
- Mittel zur Auswahl eines ersten Energieerzeugers oder einer ersten Gruppe von Energieerzeugern und Bestimmung eines Anteils der Regelenergiemenge, der von dem ersten Energieerzeu-

ger oder der ersten Gruppe von Energieerzeugern bereitzustellen ist;

- Mittel zur sequentiellen Auswahl von weiteren Energieerzeugern oder weiteren Gruppen von Energieerzeugern und Bestimmung eines jeweiligen Anteils an der jeweils verbliebenen Höhe der Regelenergiemenge, der von dem jeweiligen weiteren Energieerzeuger oder der jeweiligen weiteren Gruppe von Energieerzeugern bereitzustellen ist, bis die Höhe der Regelenergiemenge vollständig jeweils ausgewählten Energieerzeugern zugewiesen ist; und

- Mittel zur Erzeugung von Steuersignalen für die ausgewählten Energieerzeuger, die die jeweiligen von den ausgewählten Energieerzeugern bereitzustellenden Anteile der Regelenergiemenge angeben.

FIG 1

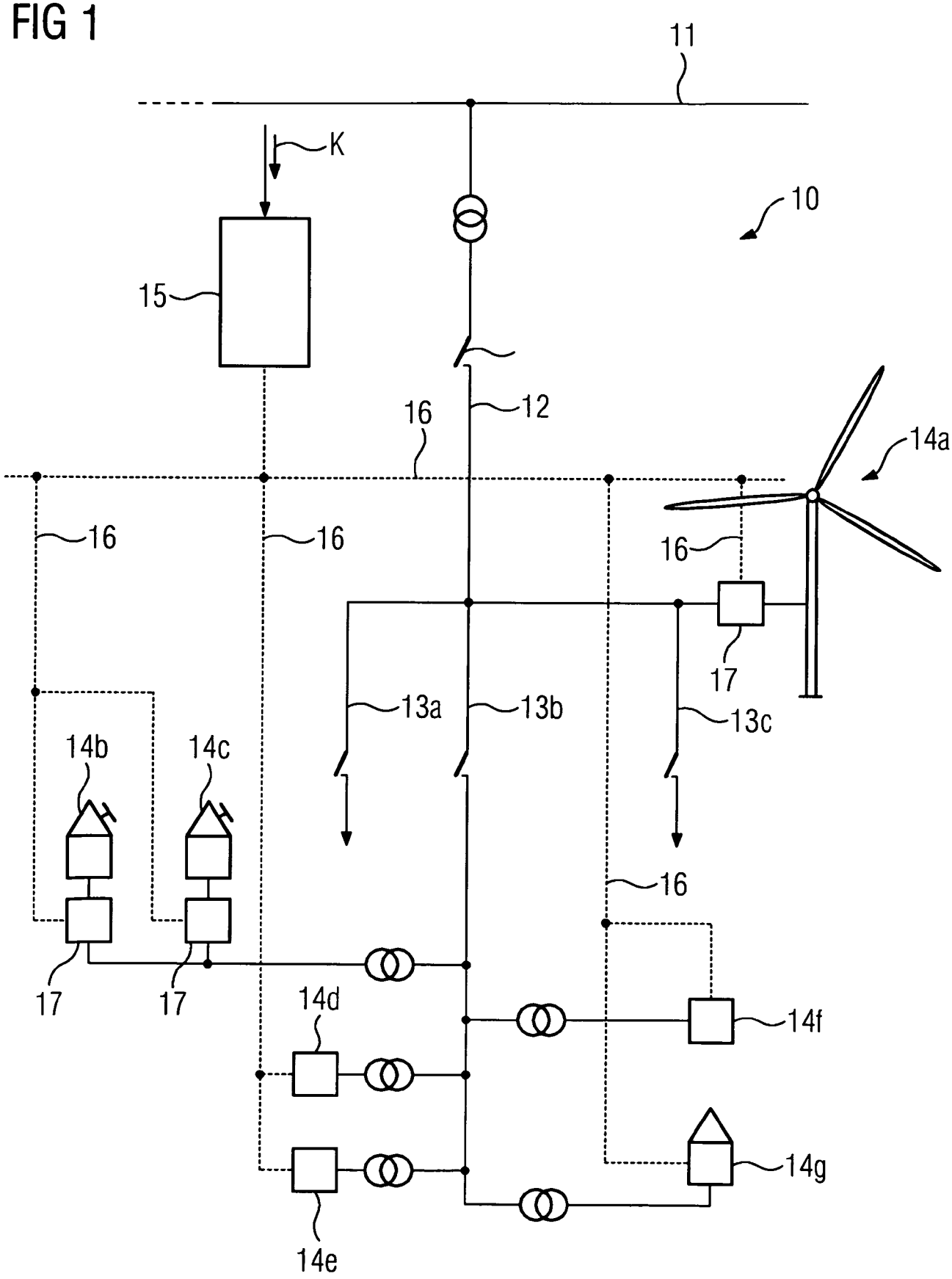

11
K
10
15
16
12
14a
16
16
16
17
13a
13b
13c
14b
14c
16
17
17
14d
14f
14g
14e

FIG 2

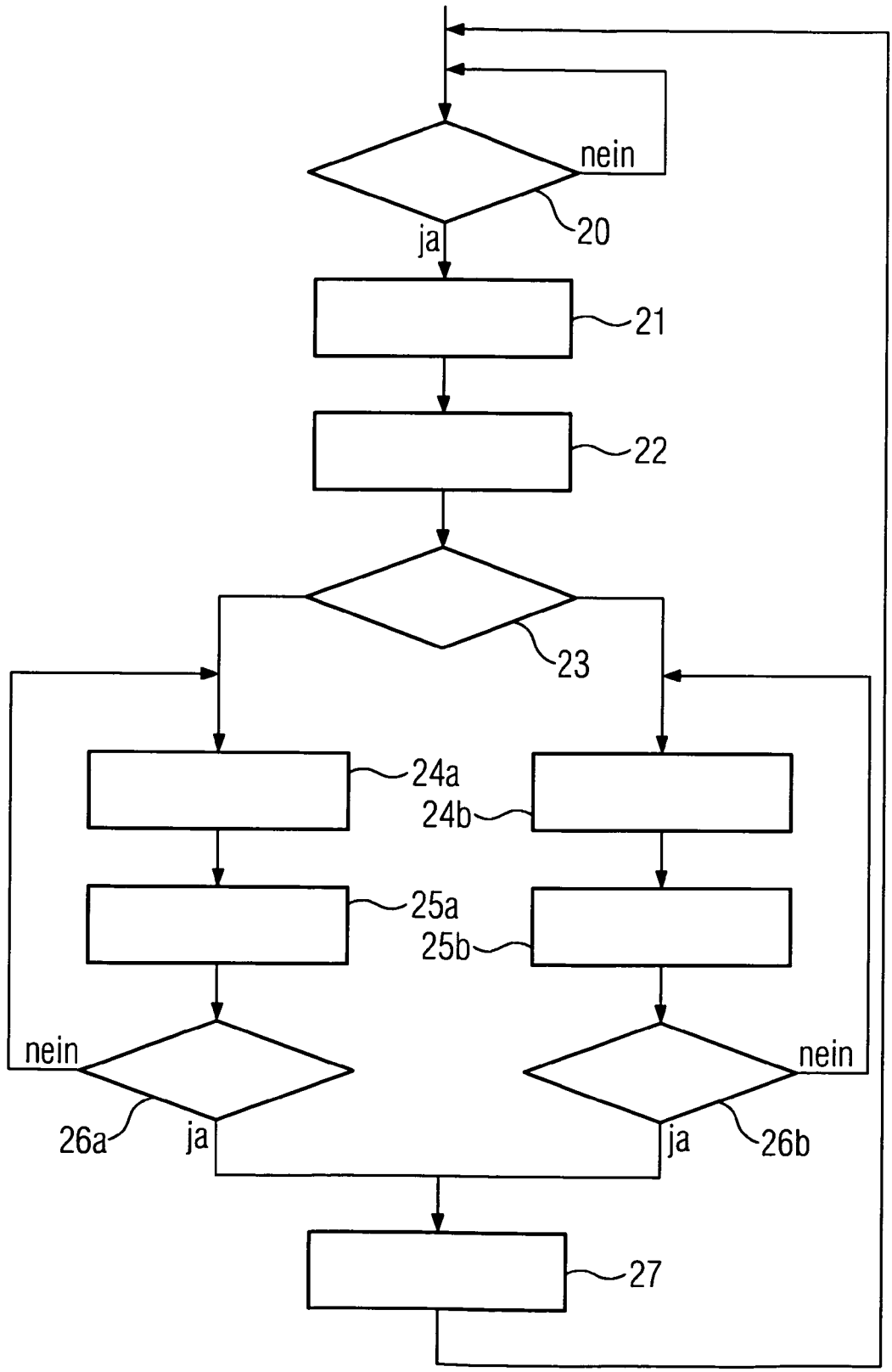
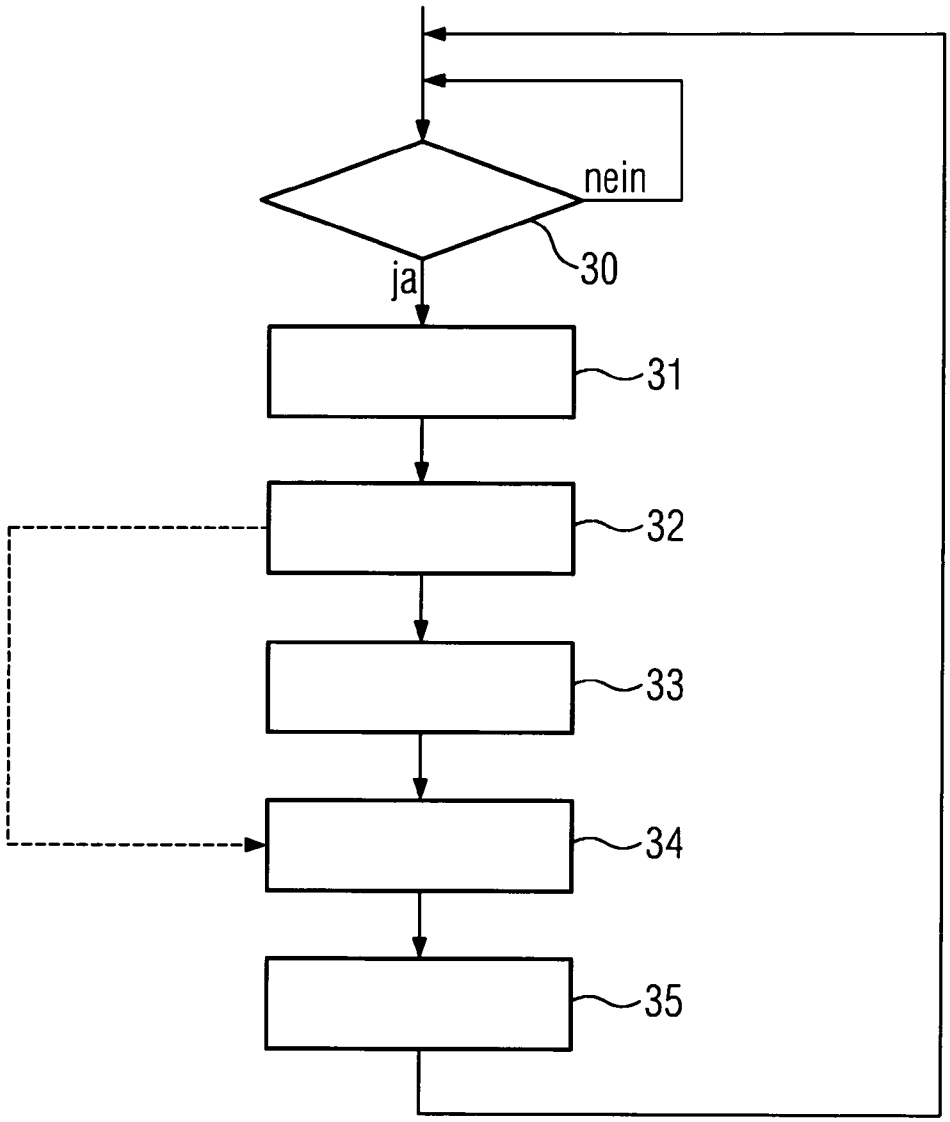


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/075045

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02J3/06 H02J3/14 H02J3/38 G06Q50/06
ADD.

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 G06Q

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 Y	EP 1 202 425 A2 (SIEMENS AG [DE]) 2 May 2002 (2002-05-02) paragraph [0067] - paragraph [0110] -----	1,5,13 3
Y	DE 10 2009 040091 A1 (VOLTWERK ELECTRONICS GMBH [DE]) 10 March 2011 (2011-03-10) paragraph [0017] - paragraph [0034] -----	3
A	US 2010/058350 A1 (BOSS GREGORY J [US] ET AL) 4 March 2010 (2010-03-04) the whole document -----	1-13
A	WO 2012/048736 A1 (SIEMENS AG [DE]; STAEHLE SAMUEL THOMAS [DE]) 19 April 2012 (2012-04-19) the whole document -----	1-13

☐ 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	Date of mailing of the international search report
21 February 2013	04/03/2013

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jonda, Sven

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2012/075045

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1202425 A2	02-05-2002	EP 1202425 A2	02-05-2002
		US 6681156 B1	20-01-2004
		US 2004167677 A1	26-08-2004
DE 102009040091 A1	10-03-2011	DE 102009040091 A1	10-03-2011
		EP 2293409 A2	09-03-2011
		US 2011080044 A1	07-04-2011
US 2010058350 A1	04-03-2010	NONE	
WO 2012048736 A1	19-04-2012	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/075045

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02J3/06 H02J3/14 H02J3/38 G06Q50/06
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02J G06Q

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 Y	EP 1 202 425 A2 (SIEMENS AG [DE]) 2. Mai 2002 (2002-05-02) Absatz [0067] - Absatz [0110]	1,5,13 3
Y	DE 10 2009 040091 A1 (VOLTWERK ELECTRONICS GMBH [DE]) 10. März 2011 (2011-03-10) Absatz [0017] - Absatz [0034]	3
A	US 2010/058350 A1 (BOSS GREGORY J [US] ET AL) 4. März 2010 (2010-03-04) das ganze Dokument	1-13
A	WO 2012/048736 A1 (SIEMENS AG [DE]; STAEHLE SAMUEL THOMAS [DE]) 19. April 2012 (2012-04-19) das ganze Dokument	1-13

☐ 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
21. Februar 2013	04/03/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jonda, Sven

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/075045

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1202425 A2	02-05-2002	EP 1202425 A2	02-05-2002
		US 6681156 B1	20-01-2004
		US 2004167677 A1	26-08-2004
DE 102009040091 A1	10-03-2011	DE 102009040091 A1	10-03-2011
		EP 2293409 A2	09-03-2011
		US 2011080044 A1	07-04-2011
US 2010058350 A1	04-03-2010	KEINE	
WO 2012048736 A1	19-04-2012	KEINE	