

(19)



(11)

EP 3 540 681 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
18.09.2019 Patentblatt 2019/38

(51) Int Cl.:
G06Q 50/06 (2012.01)

(21) Anmeldenummer: **18161978.4**

(22) Anmeldetag: **15.03.2018**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Goller, Andre**
91126 Rednitzhembach (DE)
• **Hohenberg, Eckart**
90574 Roßtal (DE)
• **Lecek, Nenad**
90471 Nürnberg (DE)

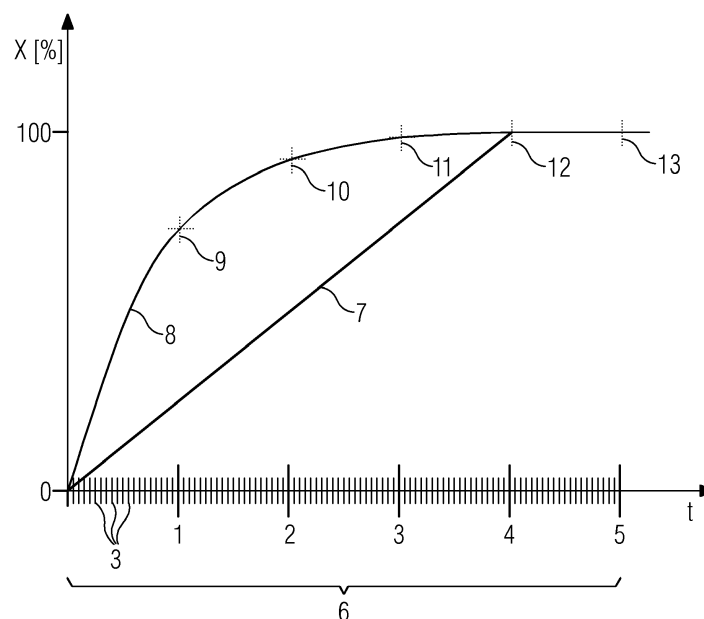
(54) VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM STEuern EINES ENERGIEVERTEILNETZES

(57) Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein
1. Verfahren zum Steuern eines Energienetzes, gekennzeichnet durch die Schritte:

- Zuweisen von vorher festgelegten Beeinflussungseigenschaften im Hinblick auf Spannung und Blindleistung im Energienetz zu steuerbaren Betriebsmitteln,
- Berechnen eines Sensitivitätsfaktors für jedes steuerbare Betriebsmittel unter Berücksichtigung der jeweiligen Beeinflussungseigenschaften, wobei der Sensitivitätsfaktor den Einfluss des Betriebsmittels auf die Kontrolle von Spannung und Blindleistung im Energienetz angibt,
- Berechnung eines vorläufigen Steuerplans in einem

ersten Optimierungsschritt unter Berücksichtigung der Sensitivitätsfaktoren, wobei in jedem Optimierungsschritt mehrere iterative Berechnungen des Steuerplans nacheinander ausgeführt werden,
- Einsetzen des vorläufigen Steuerplans zur Steuerung der steuerbaren Betriebsmittel,
- Durchführen mindestens eines weiteren Optimierungsschritts zur Verbesserung des vorläufigen Steuerplans,
- Einsetzen des verbesserten Steuerplans zur Steuerung der steuerbaren Betriebsmittel.

Ferner ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung eine entsprechende Rechneranordnung.



EP 3 540 681 A1

Beschreibung

[0001] Die Anmeldung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Energieverteilnetzes nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine entsprechende Anordnung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 10.

[0002] Ein Verfahren zum Steuern eines Energieverteilnetzes ist aus der Produktbroschüre "Spectrum Power™ DNA Secure grid integration of distributed and renewable energy resources", Siemens AG 2013, Bestellnummer IC1000-G220-A183-X-4A00, bekannt. Beschrieben werden "Distribution Network Applications (DNA)", die u.a. Echtzeit-Funktionen zur Kontrolle von stufenweise schaltbaren Transformatoren, Kondensatoren usw. bereitstellen. Dies ermöglicht eine Optimierung von Spannung und Blindleistung von Netzabschnitten, was Energieverluste und damit Gewinneinbußen vermindert. Dem Bediener werden Schalthandlungen und Steuerbefehle vorgeschlagen, um unerwünschte oder sogar die Netzstabilität gefährdende Spannungsabweichungen zu vermeiden.

[0003] Die Kontrolle von Spannung und Blindleistung in einem Energienetz ist unter dem Begriff "Volt-VAR-Control" seit langem bekannt und beispielsweise auf Wikipedia beschrieben (permanenter Link: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Distribution_management_system&oldid=791344005). Im Wesentlichen werden Stufenschalter für Transformatoren, Spannungsregler und Kondensatorbänke gesteuert. Kondensatorbänke können zur Einspeisung von Blindleistung ins Netz verwendet werden und sind daher besonders für eine Volt-VAR Kontrolle geeignet.

[0004] Ferner ist aus der Druckschrift EP 2929610 A1 bekannt, ein Optimierungsverfahren dezentral in Unterwerken einzusetzen, um das unterlagerte Teilnetz unter Berücksichtigung von Sensibilitätswerten zu steuern, wobei die Sensibilitätswerte eine Rückwirkung auf den Betriebszustand des Gesamtnetzes angeben.

[0005] Ausgehend von bekannten Verfahren zum Steuern eines Energienetzes, bei dem steuerbare Betriebsmittel zur Kontrolle von Spannung und Blindleistung im Energieverteilnetz verwendet werden, stellt sich an die Erfindung die Aufgabe, ein Verfahren anzugeben, mit dem vergleichsweise schnell und einfach ein Steuerplan für die Betriebsmittel berechnet wird.

[0006] Die Erfindung löst diese Aufgabe durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1.

[0007] Bei dem Energienetz handelt es sich beispielsweise um ein Energieübertragungsnetz oder ein Energieverteilnetz der Mittel- oder Hochspannungsebene.

[0008] Das Verfahren wird dabei bevorzugt zentral für das gesamte zu steuernde Energienetz durchgeführt.

[0009] Die Blindleistungseigenschaften der steuerbaren Betriebsmittel geben wieder, in welcher Form das Betriebsmittel auf die Blindleistung einwirkt. Beispielsweise können Kondensatorbänke zur Einspeisung von Blindleistung verwendet werden und erhalten entsprechend der Größe der einspeisbaren Blindleistung eine Blindleistungseigenschaft zugewiesen, die für das weitere Verfahren berücksichtigt wird. Die Blindleistungseigenschaften hängen also im Wesentlichen vom Typ des Betriebsmittels ab.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf der Überlegung, dass sich mit denjenigen Betriebsmitteln, die einen großen Einfluss auf Blindleistungsflüsse und die Einhaltung von Spannungsgrenzwerten in Energienetz haben, besonders schnell ein geeigneter Steuerplan berechnen lässt. Mit anderen Worten werden die Betriebsmittel mit einem großen Einfluss auf das Endergebnis stärker einbezogen, während diejenigen Betriebsmittel mit kleinem Einfluss gerade bei den ersten Iterationen bzw. Optimierungsschritten des Verfahrens wenig oder gar nicht berücksichtigt werden. Auf diese Weise kann mit vergleichsweise wenigen Iterationen pro Optimierungsschritt bereits ein besserer Steuerplan ermittelt werden, als wenn alle Betriebsmittel gleichzeitig optimiert würden. Dies ist ein großer Vorteil, weil bei weltweit stetig wachsender Komplexität der Energienetze und gleichzeitigem Wunsch der Energienetzbetreiber nach Echtzeitoptimierungen die Schnelligkeit der Ausgabe eines endgültigen Steuerplans entscheidend ist.

[0011] Mathematische Ansätze zur Sensitivitätsanalyse, wie sie bei der vorliegenden Erfindung in Form der Sensitivitätsfaktoren genutzt wird, sind grundsätzlich bekannt. Beispielsweise nennt Wikipedia (permanenter Link: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sensitivity_analysis&oldid=810558644) zahlreiche Veröffentlichungen und Fachbücher zu diesem Thema. Die Anwendung auf die Optimierung von Energienetzen seitens einer zentralen Leitstelle war jedoch bisher nicht durchgeführt worden.

[0012] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden in dem ersten Optimierungsschritt bei den ersten Iterationen zur Berechnung des Steuerplans Betriebsmittel mit großen Sensitivitätsfaktoren verstärkt herangezogen, so dass ein Steuerplan mit vergleichsweise wenigen Iterationen berechenbar ist. Verstärkt herangezogen bedeutet dabei beispielsweise, dass Betriebsmittel mit großem Einfluss für die Optimierung betrachtet werden, während Betriebsmittel mit kleinem Einfluss zunächst unberücksichtigt bleiben.

[0013] Beispielsweise können alle Betriebsmittel anhand der Stärke ihres Einflusses in einer Liste geordnet werden, wobei z.B. von der Gesamtanzahl der Betriebsmittel ein vorgegebener Anteil mit dem stärksten Einfluss ausgewählt wird. Beispielsweise könnten die 20% Betriebsmittel mit dem stärksten Einfluss ausgewählt werden, während die verbleibenden 80% der Betriebsmittel mit vergleichsweise geringem Einfluss erst in die Berechnungen einbezogen werden, wenn eine grobe Optimierung mit den 20 % der Betriebsmittel durchgeführt wurde. Alternativ kann ein Schwellenwert für die Stärke des Einflusses festgelegt werden, oberhalb dessen die Betriebsmittel als stark beeinflussend bewertet und für die ersten Iterationen herangezogen werden.

[0014] Ist nach einigen Iterationen eine gute Optimierung mit denjenigen Betriebsmitteln gelungen, die großen Einfluss haben, werden bei den anschließenden Iterationen auch diejenigen Betriebsmittel mit nur geringem Einfluss mit berücksichtigt. Hierbei kann eine Festsetzung über die Anzahl der ersten Iterationen auf verschiedene Weise erfolgen. Es kann eine Anzahl wie etwa 10 Iterationen pauschal vorher festgelegt werden, oder beispielsweise in Bezug zur Gesamtzahl von Iterationen (z.B. 30 % der Gesamtzahl). Auch eine dynamische Festlegung der Anzahl der ersten Iterationen ist vorteilhaft. Dabei wird die Qualität des Zwischenergebnisses nach jeder Iteration geschätzt, beispielsweise indem die erreichte Energieeinsparung mit einem Schwellenwert verglichen wird. Bei ausreichender Qualität werden die ersten Iterationen beendet und es wird ein Steuerplan mit der Gesamtheit der Betriebsmittel berechnet. Dieser Ansatz ist ein Vorteil, weil die Komplexität der Berechnungen am Anfang verringert wird. Dadurch kann ein Ergebnis bei gegebener Rechengeschwindigkeit schneller erzielt werden. Mit anderen Worten wird schnell ein lokales Maximum im Ergebnisraum aller möglichen Ergebnisse näherungsweise identifiziert und durch die anschließende Optimierung mit allen Betriebsmitteln gefunden.

[0015] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der verbesserte Steuerplan verwendet, um die Betriebsmittel zu steuern, so dass Blindleistungsverluste im Energienetz vermindert werden. Dies ist ein Vorteil, weil der Steuerplan direkt eingesetzt wird, um Energieverluste zu mindern.

[0016] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der verbesserte Steuerplan verwendet, um die Betriebsmittel zu steuern, so dass Grenzwertverletzungen für die Spannung im Energienetz verhindert werden. Dies ist ein Vorteil, weil der Steuerplan direkt eingesetzt wird, um die Stabilität der Netzspannung zu erhalten bzw. Grenzwertverletzungen der Netzspannung zu verhindern. Es sind z.B. Abweichungen von mehr als +/- 10% der Nennspannung an Messpunkten im Energienetz unzulässig.

[0017] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird als steuerbares Betriebsmittel mindestens eines der Betriebsmittel aus der folgenden Typenliste verwendet: stufenweise schaltbare Transformatoren, Spannungsregler, Kondensatorbänke, Batterie-Energiespeicher, Generatoren. Dies ist ein Vorteil, weil eine Vielzahl von Stellgrößen im Energienetz einsetzbar ist. Dabei sind beispielsweise Kondensatorbänke dafür bekannt, besonders gut zur Kompensation von induktiver Blindleistung geeignet zu sein. Stufenweise schaltbare Transformatoren sind besonders gut zur Einstellung der Netzspannung geeignet.

[0018] In einer Weiterbildung der vorgenannten Ausführungsform werden auch flexible Lasten kontrolliert, um die Optimierungsziele im erfindungsgemäßen Verfahren zu erreichen. Dabei sind flexible Lasten z.B. steuerbare Verbaucher, deren Energieverbrauch durch Steuersignale erhöht oder erniedrigt werden kann. Die flexiblen Lasten beeinflussen die Wirkleistungsflüsse im Energienetz; sie haben einen geringen Einfluss auf die Spannungshöhe, aber einen starken Einfluss auf die Stromstärke an den Leitungen.

[0019] Dabei können für die unterschiedlichen Betriebsmitteltypen der steuerbaren Betriebsmittel spezifische Kontrollfaktoren angegeben werden. Diese zeigen an, wie gut das Betriebsmittel zur Beeinflussung von Spannung, Stromstärke und Blindleistung geeignet ist.

Betriebsmittel	Beeinflussung von		
	Spannung	Stromstärke	Blindleistung
Kondensator	0,8	1, 0	1,0
Batterie	0,5	0,8	0,8
Generator	0,5	0,8	0,7
Stufenschalter	1,0	0,5	0,5
Flexible Lasten	0,5	0,8	0,5

[0020] Unter Berücksichtigung der in der Tabelle angeführten Kontrollfaktoren für jeden Betriebsmitteltyp kann anschließend für jedes einzelne Betriebsmittel berechnet werden, wie sich z.B. eine Steuerungsaktion lokal auf die Spannung im Netz auswirken würde. Hierfür wird beispielsweise eine Impedanzmatrix der Leistungsflüsse im Netz eingesetzt, wobei sog. "Thevenin Equivalents" verwendet werden. Stark vereinfacht ausgedrückt wird dabei die Bedeutung des Netzes am betrachteten Knoten auf einen Widerstand und eine Spannungsquelle reduziert. Eine genauere Beschreibung des math. Ansatzes ist beispielsweise auf Wikipedia zu finden (permanenter Link <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Th%C3%A9venin-Theorem&oldid=166259915>). Für den betrachteten Knoten im Energienetz, beispielsweise einen Anschlusspunkt eines Betriebsmittels wie etwa einer Kondensatorbank, kann mit diesem Ansatz geprüft werden, wie stark die Auswirkung auf den Netzzustand wäre, wenn nur lokal an diesem Punkt eine Änderung durchgeführt wird. Die Einflüsse des gesamten Netzes werden dabei konstant gehalten. Mit anderen Worten wird für jeden individuellen Punkt geprüft, welchen Beitrag das angeschlossene Betriebsmittel leisten müsste, um z.B. eine Änderung der Spannung

herbei zu führen. Es wird weiterhin geprüft, ob das Betriebsmittel diesen Beitrag auch erbringen kann. Zur einfacheren Handhabung wird diese individuelle Betrachtung für jedes Betriebsmittel in einem einzigen Schritt mittels einer Matrixoperation verarbeitet.

[0021] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgen das Berechnen der Sensitivitätsfaktoren sowie die iterative Berechnung des Steuerplans mittels einer Rechneranordnung zentral für das Energienetz. Eine zentrale Berechnung ist von Vorteil, weil hierdurch ein optimierter Steuerplan für das gesamte Energienetz gefunden werden kann. D.h., dass zwar für alle Betriebsmittel die Steuerhandlungen individuell berechnet werden, der Steuerplan jedoch zentral und in der Gesamtschau auf das Energienetz optimiert wird, um z.B. Energieverluste zu vermeiden.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die iterative Berechnung des Steuerplans unter Berücksichtigung einer aktuellen Netzwerktopologie und/oder aktueller Randbedingungen für die Steuerung von Spannung und Blindleistung. Dies ist ein Vorteil, weil auch der aktuelle Systemzustand einbezogen wird, was für eine Echtzeit-Anwendung vorteilhaft ist.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Berechnung der Optimierungsschritte zur Bereitstellung des endgültigen Steuerplans im laufenden Betrieb des Energienetzes unter Echtzeitanforderungen, wobei vorher bekannte zeitliche Verzögerungen bei der Steuerung der Betriebsmittel berücksichtigt werden. Dies ist ein Vorteil, weil nicht alle Betriebsmittel gleich schnell steuerbar sind und das Gesamtsystem eine gewisse Trägheit bei einer Reaktion auf Veränderungen besitzt.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die jeweilige maximale Anzahl der Iterationen für die Optimierungsschritte vorher festgelegt. Dies ist bisher vor allem üblich, um die Laufzeit eines Optimierungsschrittes zu begrenzen, was auf Kosten der Qualität des Ergebnisses geht.

[0025] Ferner stellt sich an die Erfindung die Aufgabe, eine Rechneranordnung anzugeben, mit der vergleichsweise schnell und einfach ein Steuerplan für die Betriebsmittel berechenbar ist. Die Erfindung löst diese Aufgabe durch eine Rechneranordnung gemäß Anspruch 10. Es ergeben sich sinngemäß die gleichen Vorteile wie eingangs für das erfindungsgemäße Verfahren erläutert.

[0026] Beispielsweise kann es sich bei der Rechneranordnung bevorzugt um ein Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA) handeln, das aus einem Netzmodel einen umfänglichen Systemzustand berechnet. Dies kann z.B. mittels einer Leistungsflussberechnung und/oder mittels Zustandsschätzern erfolgen.

[0027] Die Rechneranordnung kann in einer bevorzugten Ausführungsform als eine Cloud-Einrichtung mit räumlich verteilten und über ein Datenübertragungsnetzwerk verbundene Rechneinrichtungen und Datenspeichereinrichtungen ausgebildet sein.

[0028] Weitere bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Rechneranordnung sind in den abhängigen Ansprüchen 11 bis 15 beschrieben. Es ergeben sich sinngemäß jeweils die gleichen Vorteile wie eingangs für das erfindungsgemäße Verfahren erläutert.

[0029] Des Weiteren zeigt zur besseren Erläuterung der Erfindung die Figur einen Ergebnisvergleich zwischen einem bekannten und einen erfindungsgemäßen Verfahren.

[0030] Auf einer Zeitachse t sind fünf Endzeitpunkte 1-5 markiert. Auf einer Verbesserungsachse x ist aufgetragen, wie viel Prozent einer theoretisch möglichen, maximalen Verbesserung mittels der beiden Verfahren erzielt wurde. 100 % steht dabei beispielsweise dafür, dass 100 % der theoretischen einsparbaren Energieverluste durch Blindleistungsflüsse im Energienetz eingespart werden.

[0031] Zunächst soll das bekannte Verfahren betrachtet werden, bei dem keine Sensitivitätsfaktoren berücksichtigt werden. Es werden folglich alle Betriebsmittel von Anfang an in die Optimierung einbezogen. Es wird beim bekannten Verfahren ein einziger Optimierungsschritt durchgeführt, der bis zum Zeitpunkt 4 dauert. Im Ergebnis wird ein Verlauf 7 der Optimierung des Steuerplans für die Betriebsmittel erreicht, der als linearer Verlauf angedeutet ist.

[0032] Beim erfindungsgemäßen Verfahren werden mehrere Optimierungsschritte mit einer jeweils kleineren Anzahl von Iterationen hintereinander durchgeführt, wobei sich ein in der Qualität stärker als linear ansteigender Verlauf 8 ergibt. Zu den Zeitpunkten 1 und 2 ist bereits eine wesentlich höhere Prozentzahl auf der Verbesserungsachse x erreicht als beim bekannten Verfahren. Dies ist jeweils mit den Markierungen 9,10 für Zwischenergebnisse gekennzeichnet.

Mit anderen Worten erreichen beide Verfahren zum Zeitpunkt 4 100% der möglichen Verbesserung, während jedoch das erfindungsgemäße Verfahren schon nach der Hälfte der Zeit - zum Zeitpunkt 2 - bereits annähernd 100 % erreicht hat. Das bekannte Verfahren dagegen lediglich ca. 50 %.

[0033] Zum Zeitpunkt 3 hat das erfindungsgemäße Verfahren eine Verbesserung 11 erreicht und konvergiert schließlich zu 100 % zum Zeitpunkt 4. Dies ist mit dem Bezugszeichen 12 markiert. Beide Verfahren haben damit in diesem Beispiel das Optimum gefunden und können sich auch bei weiteren Berechnungen zum Zeitpunkt 5 hin nicht mehr verbessern (Markierung 13).

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Energienetzes,
gekennzeichnet durch die Schritte:

- Zuweisen von vorher festgelegten Beeinflussungseigenschaften im Hinblick auf Spannung und Blindleistung im Energienetz zu steuerbaren Betriebsmitteln,
- Berechnen eines Sensitivitätsfaktors für jedes steuerbare Betriebsmittel unter Berücksichtigung der jeweiligen Beeinflussungseigenschaften, wobei der Sensitivitätsfaktor den Einfluss des Betriebsmittels auf die Kontrolle von Spannung und Blindleistung im Energienetz angibt,
- Berechnung eines vorläufigen Steuerplans in einem ersten Optimierungsschritt unter Berücksichtigung der Sensitivitätsfaktoren, wobei in jedem Optimierungsschritt mehrere Iterative Berechnungen des Steuerplans nacheinander ausgeführt werden,
- Einsetzen des vorläufigen Steuerplans zur Steuerung der steuerbaren Betriebsmittel,
- Durchführen mindestens eines weiteren Optimierungsschritts zur Verbesserung des vorläufigen Steuerplans,
- Einsetzen des verbesserten Steuerplans zur Steuerung der steuerbaren Betriebsmittel.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens in dem ersten Optimierungsschritt bei den ersten Iterationen zur Berechnung des Steuerplans Betriebsmittel mit großen Sensitivitätsfaktoren verstärkt herangezogen werden, so dass ein Steuerplan mit vergleichsweise wenigen Iterationen berechenbar ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der verbesserte Steuerplan verwendet wird, um die Betriebsmittel derart zu steuern, dass Blindleistungsverluste im Energienetz vermindert werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der verbesserte Steuerplan verwendet wird, um die Betriebsmittel derart zu steuern, dass Grenzwertverletzungen für die Spannung im Energienetz verhindert werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als steuerbares Betriebsmittel mindestens eines der Betriebsmittel aus der folgenden Typenliste verwendet wird: stufenweise schaltbare Transformatoren, Spannungsregler, Kondensatorbänke, Batterie-Energiespeicher, Generatoren.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Berechnen der Sensitivitätsfaktoren sowie die iterative Berechnung des Steuerplans mittels einer Rechneranordnung zentral für das Energienetz erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die iterative Berechnung des Steuerplans unter Berücksichtigung einer aktuellen Netzwerktopologie und/oder aktueller Randbedingungen für die Steuerung von Spannung und Blindleistung erfolgen.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnung der Optimierungsschritte zur Bereitstellung der Steuerpläne im laufenden Betrieb des Energienetzes unter Echtzeitanforderungen erfolgt, wobei vorher bekannte zeitliche Verzögerungen bei der Steuerung der Betriebsmittel berücksichtigt werden.

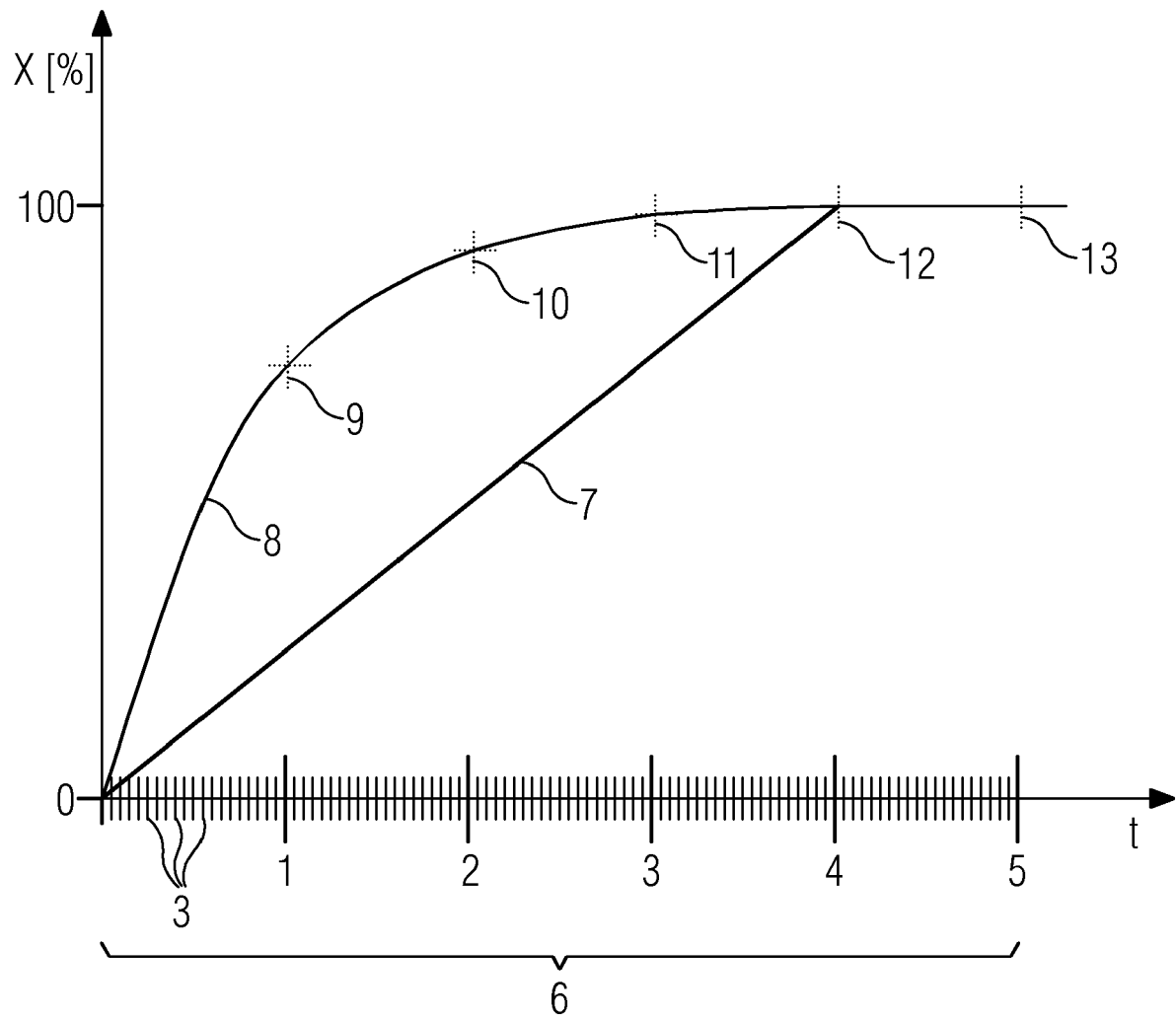
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die jeweilige maximale Anzahl der Iterationen für die Optimierungsschritte vorher festgelegt ist.

10. Rechneranordnung zum Steuern eines Energienetzes, die ausgebildet ist, steuerbare Betriebsmittel zur Kontrolle von Spannung und Blindleistung in einem Energienetz zentral zu steuern,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rechneranordnung ausgebildet ist, folgende Rechenschritte auszuführen:

- Zuweisen von vorher festgelegten Beeinflussungseigenschaften im Hinblick auf Spannung und Blindleistung im Energienetz zu den steuerbaren Betriebsmitteln,
- Berechnen eines Sensitivitätsfaktors für jedes steuerbare Betriebsmittel unter Berücksichtigung der jeweiligen Beeinflussungseigenschaften, wobei der Sensitivitätsfaktor den Einfluss des Betriebsmittels auf die Kontrolle von Spannung und Blindleistung im Energienetz angibt,

- Berechnung eines vorläufigen Steuerplans in einem ersten Optimierungsschritt unter Berücksichtigung der Sensitivitätsfaktoren, wobei in jedem Optimierungsschritt mehrere Iterative Berechnungen des Steuerplans nacheinander ausgeführt werden,
- Einsetzen des vorläufigen Steuerplans zur Steuerung der steuerbaren Betriebsmittel,
- Durchführen mindestens eines weiteren Optimierungsschritts zur Verbesserung des vorläufigen Steuerplans,
- Einsetzen des verbesserten Steuerplans zur Steuerung der steuerbaren Betriebsmittel.

11. Rechneranordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rechneranordnung ausgebildet ist, mindestens in dem ersten Optimierungsschritt bei den ersten Iterationen zur Berechnung des Steuerplans Betriebsmittel mit großen Sensitivitätsfaktoren verstärkt heranzuziehen, so dass ein Steuerplan mit vergleichsweise wenigen Iterationen berechenbar ist.
12. Rechneranordnung nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rechneranordnung ausgebildet ist, den verbesserten Steuerplan zur Steuerung der Betriebsmittel einzusetzen, so dass Blindleistungsverluste im Energienetz vermindert werden.
13. Rechneranordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rechneranordnung ausgebildet ist, den verbesserten Steuerplan zur Steuerung der Betriebsmittel einzusetzen, so dass Grenzwertverletzungen für die Spannung im Energienetz verhindert werden.
14. Rechneranordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rechneranordnung ausgebildet ist, die iterative Berechnung des Steuerplans unter Berücksichtigung der aktuellen Netzwerktopologie und/oder aktueller Randbedingungen für die Steuerung von Spannung und Blindleistung auszuführen.
15. Rechneranordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rechneranordnung ausgebildet ist, die Berechnung der Optimierungsschritte zur Bereitstellung des endgültigen Steuerplans im laufenden Betrieb des Energienetzes unter Echtzeitanforderungen durchzuführen, wobei vorher bekannte zeitliche Verzögerungen bei der Steuerung der Betriebsmittel berücksichtigt sind.





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 18 16 1978

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	Wikipedia: "Distribution management system", INTERNET ARTICLE, 19. Juli 2017 (2017-07-19), XP055493523, Gefunden im Internet: URL:https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Distribution_management_system&oldid=791344005 [gefunden am 2018-07-18] * Seite 1 - Seite 6 *	1-15	INV. G06Q50/06
X	James A. Momoh: "Electric Power Distribution, Automation, Protection, and Control", 7. September 2007 (2007-09-07), CRC Press, XP055493537, ISSN: 0002-7863 ISBN: 9780849368356 Seiten ToC, Ch01, Ch05-Ch06, 263-269, Glossary, Index, * siehe z.B. Kapitel 1, 5 und 6 *	1-15	
X	US 5 541 498 A (BECKWITH ROBERT W [US]) 30. Juli 1996 (1996-07-30) * Abbildungen 1a, 1b *	1-15	G06Q
X	US 2016/224045 A1 (WONG JOSHUA [CA] ET AL) 4. August 2016 (2016-08-04) * Abbildung 2 *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. Juli 2018	Prüfer Krafft, Gerald
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 18 16 1978

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	CONTI S ET AL: "Voltage sensitivity analysis in radial MV distribution networks using constant current models", INDUSTRIAL ELECTRONICS (ISIE), 2010 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 4. Juli 2010 (2010-07-04), Seiten 2548-2554, XP031803166, ISBN: 978-1-4244-6390-9 * das ganze Dokument *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
X	JABR RABIH A ET AL: "Sensitivity-Based Discrete Coordinate-Descent for Volt/VAr Control in Distribution Networks", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 31, Nr. 6, 1. November 2016 (2016-11-01), Seiten 4670-4678, XP011626136, ISSN: 0885-8950, DOI: 10.1109/TPWRS.2015.2512103 [gefunden am 2016-10-18] * das ganze Dokument *	1-15	
X	ANILKUMAR RAHUL ET AL: "Intelligent volt/VAR control algorithm for active power distribution system to maximize the energy savings", 2015 IEEE INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL MEETING, IEEE, 18. Oktober 2015 (2015-10-18), Seiten 1-8, XP032830211, DOI: 10.1109/IAS.2015.7356832 [gefunden am 2015-12-14] * das ganze Dokument *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. Juli 2018	Prüfer Krafft, Gerald
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 18 16 1978

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WECKX SAM ET AL: "Voltage Sensitivity Analysis of a Laboratory Distribution Grid With Incomplete Data", IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, IEEE, USA, Bd. 6, Nr. 3, 1. Mai 2015 (2015-05-01), Seiten 1271-1280, XP011578883, ISSN: 1949-3053, DOI: 10.1109/TSG.2014.2380642 [gefunden am 2015-04-17] * das ganze Dokument *	1-15	
A	Wikipedia: "Blindleistung", INTERNET ARTICLE, 23. Februar 2018 (2018-02-23), XP055493525, Gefunden im Internet: URL:https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Blindleistung&oldid=174302273 [gefunden am 2018-07-18] * das ganze Dokument *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. Juli 2018	Prüfer Krafft, Gerald
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 18 16 1978

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten
 Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

18-07-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	US 5541498	A	30-07-1996	CA 2150616 A1		09-06-1996
				US 5541498 A		30-07-1996
15	-----					
	US 2016224045	A1	04-08-2016	KEINE		

20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2929610 A1 [0004]