(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 197 56 777 B4** 2005.07.21

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **197 56 777.0**
(22) Anmeldetag: **19.12.1997**
(43) Offenlegungstag: **01.07.1999**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **21.07.2005**

(51) Int Cl.[7]: **H02J 3/38**
G05B 13/02, F03D 7/00

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
Wobben, Aloys, Dipl.-Ing., 26607 Aurich, DE

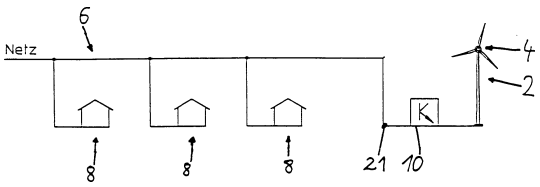
(74) Vertreter:
Eisenführ, Speiser & Partner, 28195 Bremen

(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE-PS 3 68 799
DE 44 28 085 A1
DE 30 23 195 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage sowie Windenergieanlage**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage mit einem von einem Rotor antreibbaren elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz (6), insbesondere dessen angeschlossene Verbraucher (8), wobei die von dem Generator an das Netz (6) abgegebene Leistung in Abhängigkeit von einer dem Netz (6) anliegenden elektrischen Spannung geregelt wird, und wobei zum Netz-Überspannungsschutz eine Leistungsabgabe erfolgt, die geringer ist als die verfügbare Generatorleistung der Windenergieanlage, dadurch gekennzeichnet, dass die reduzierte Leistungsabgabe bereits vor Erreichen eines definierten maximalen Netzspannungswertes (U_{max}) nach Überschreiten eines bestimmten Netzspannungswertes (P1) erfolgt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage mit einem von einem Rotor antreibbaren elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz, insbesondere dessen angeschlossene Verbraucher.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner eine Windenergieanlage mit einem Rotor und einem mit dem Rotor gekoppelten elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz.

[0003] Bei den bekannten Windenergieanlagen zum Erzeugen elektrischer Energie aus Wind wird der Generator mit dem elektrischen Verbraucher, häufig einem elektrischen Netz im Parallelbetrieb betrieben. Während des Betriebs der Windenergieanlage variiert die von dem Generator bereitgestellte elektrische Leistung in Abhängigkeit von der aktuellen Windgeschwindigkeit und somit der Windleistung. Dies hat zur Folge, daß auch die elektrische Generator-Spannung in Abhängigkeit von der Windleistung variabel ist. Dies führt zu folgenden Problemen:
Im Falle der Einspeisung der erzeugten elektrischen Leistung in ein elektrisches Netz, beispielsweise ein öffentliches Stromnetz, kommt es an einem Verknüpfungs- oder Netzanbindungspunkt, an dem die elektrische Generator-Leistung in das Netz eingespeist wird, zu einer Erhöhung der Netzspannung. Insbesondere bei starken Spannungsänderungen der Generator-Spannung kommt es zu starken, unerwünschten Änderungen der Netzspannung.

Stand der Technik

[0004] Aus DE-PS 368 799 ist eine Anordnung zur Anwendung der Regelvorrichtung für Windradantrieb bekannt. Immer ist es möglich, dass die Windenergieanlage auch eine geringere elektrische Leistung in das Netz einspeisen kann, als der Generator der Windenergieanlage zur Verfügung stellen kann. Die dann nicht in das Netz eingespeiste Energie wird in einem Energiespeicher zwischengebunkert und wird dann im Bedarfsfalle in das Netz zu einem bestimmten Zeitpunkt weitergegeben.

[0005] Unter besonderen Umständen kann es dazu kommen, dass die Netzspannung im Versorgungsnetz auf einen unerwünscht hohen Wert ansteigt. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die abgenommene Leistung seitens der Verbraucher sehr gering ist, während in das Versorgungsnetz hohe elektrische Leistung eingebracht wird. Solche Situationen können beispielsweise Nachts auftreten, wenn die elektrische Verbrauchsleistung in den Haushalten eher gering ist, während bei starkem Wind von einem Windenergiekonverter eine entsprechend hohe elektrische Leistung dem Versorgungsnetz zur Verfügung gestellt wird. Wenn die Spannung im Versorgungsnetz bzw. am Netzanbindungspunkt der Windenergieanlage über einen vorbestimmten Wert ansteigt, muss die Windenergieanlage bzw. dessen Generator vom Netz abgekoppelt werden und die Windenergieanlage müsste, weil keine Leistung mehr abgenommen werden kann, vom Netz völlig abgeschaltet werden. Eine derartige Abschaltung führt zu einer für den Betreiber der Windenergieanlage und den Betreiber des Netzwerks gleichermaßen unerwünschten Unterbrechung der Einspeisung von elektrischer Leistung.

Aufgabenstellung

[0006] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage sowie eine Windenergieanlage anzugeben, die die Nachteile des Standes der Technik vermeidet und insbesondere Spannungsüberschwankungen beim Verbraucher, insbesondere einem elektrischen Netz sowie eine unerwünschte Abschaltung der Windenergieanlage vermeidet.

[0007] Die Erfindung löst die Aufgabe mit einem Verfahren mit den Merkmalen nach Anspruch 1 oder 2. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0008] Ferner löst die Erfindung die Aufgabe mit einer Windenergieanlage mit den Merkmalen nach Anspruch 5.

[0009] (Weiter auf Seite 3 der ursprünglichen Beschreibung)

[0010] Die Erfindung vermeidet unerwünschte Schwankungen der beim Verbraucher anliegenden Spannung, insbesondere in einem Netz bestehenden elektrischen Spannung, indem die abgegebene elektrische Leistung des Generators in Abhängigkeit von der Spannung des Verbrauchers bzw. des Netzes eingeregelt wird. Dadurch werden auch unerwünschte Spannungsschwankungen vermieden, die sich aus Änderungen der Windleistung ergeben können.

[0011] Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt darin, daß selbst bei sehr starken Änderungen der Windleistung die Windenergieanlage nicht abgeschaltet zu werden braucht, um Netzschwankungen zu verhindern. Erfindungsgemäß wird die Windenergieanlage auch bei starken Änderungen der Windleistung weiterbetrieben, ohne daß Netzspannungsänderungen auftreten. Hierzu ist die erfindungsgemäße Regelungseinrichtung mit Spannungsaufnehmern zum Aufnehmen der am Verbraucher oder dem Netz anliegenden Spannung ausgestattet.

[0012] Mit Hilfe der Erfindung können ferner auch bei konstanter Windleistung Netzspannungsschwan-

kungen kompensiert werden, wie sie regelmäßig in elektrischen Netzwerken zur Elektrizitätsversorgung auftreten, da einige mit dem Netz verbundene Verbraucher zeitweilig große Leistungen aus dem Netz aufnehmen, woraus eine Spannungsreduzierung resultieren kann. Im Falle einer solchen Spannungsreduzierung kann die erfindungsgemäße Windenergieanlage eine erhöhte elektrische Leistung in das Netz einspeisen und auf diese Weise Spannungsschwankungen kompensieren. Hierzu wird beispielsweise auf der Grundlage des erfindungsgemäß aufgenommenen Netzspannungswertes die Einspeisespannung an der Schnittstelle zwischen Windenergieanlage und Netz angehoben.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die abgegebene Leistung geregelt, indem die bereitgestellte elektrische Spannung auf einen gewünschten Sollwert eingeregelt wird. Hierbei kann auf besonders einfache Weise eine Netzspannungskompensation vorgenommen werden, die – wie zuvor beschrieben – beispielsweise auftreten kann, wenn ein an das Netz angeschlossener Verbraucher eine hohe Leistung benötigt.

[0014] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die elektrische Spannung als Wechselspannung mit einer vorgebbaren Frequenz bereitgestellt. Auf diese Weise kann die eingespeiste Leistung an die Zustände im Netz angepaßt werden und kann die Netzfrequenz beeinflußt werden. Zweckmäßigerweise entspricht die vorgebbare Frequenz der Netzfrequenz.

[0015] Die erfindungsgemäße Windenergieanlage wird in vorteilhafter Weise weitergebildet durch eine Regelungseinrichtung, die einen Mikroprozessor aufweist, da auf diese Weise eine digitale Regelung verwirklicht werden kann.

Ausführungsbeispiel

[0016] Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Betreiben einer Windenergieanlage unter Bezugnahme auf die Zeichnungen veranschaulicht. Es zeigen:

[0017] Fig. 1 eine in ein Netz einspeisende Windenergieanlage in einer schematischen Darstellung;

[0018] Fig. 2 eine erfindungsgemäße Regelungseinrichtung zum Betreiben einer Windkraftanlage; und

[0019] Fig. 3 ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Windleistung und Netzspannung veranschaulicht.

[0020] Fig. 4 wesentliche Bestandteile der Steuerung – und Regelungsanordnung; und

[0021] Fig. 5 den zeitlichen Verkauf der Spannungen und Ströme der drei Phasen des Netzes.

[0022] Eine in Fig. 1 schematisch dargestellte Windenergieanlage **2** mit einem Rotor **4** ist mit einem elektrischen Netz **6**, das beispielsweise ein öffentliches Netz sein kann, verbunden. An das Netz sind mehrere elektrische Verbraucher **8** angeschlossen. Der in Fig. 1 nicht dargestellte elektrische Generator der Windenergieanlage **2** ist mit einer elektrischen Steuerungs- und Regelungsanordnung **10** gekoppelt, die den in dem Generator erzeugten Wechselstrom zunächst gleichrichtet und anschließend in eine Wechselspannung umwandelt, die der Netzfrequenz entspricht. Anstelle eines Netzes **6** könnte auch ein einzelner Verbraucher von der Windenergieanlage **2** mit elektrischer Energie versorgt werden. Die Steuerungs- und Regelungsanordnung **10** weist eine erfindungsgemäße Regelungseinrichtung auf.

[0023] Fig. 2 veranschaulicht die erfindungsgemäße Regelungseinrichtung. Der schematisch dargestellte Rotor **4** ist mit einem Generator **12** gekoppelt, der eine elektrische Leistung bereitstellt, die von der Windgeschwindigkeit und somit der Windleistung abhängt. Die in dem Generator **12** erzeugte Wechselspannung kann zunächst gleichgerichtet und anschließend in eine Wechselspannung umgewandelt werden, die eine der Netzfrequenz entsprechende Frequenz aufweist.

[0024] Mit Hilfe eines Spannungsaufnehmers (nicht dargestellt) wird die Netzspannung an einem Ort in dem Netz **6** (Fig. 1) ermittelt. In Abhängigkeit von der ermittelten Netzspannung wird – ggf. mit Hilfe eines in Fig. 4 dargestellten Microprozessors – eine optimale Generator-Spannung U_{soll} (vgl. Fig. 2) berechnet. Mit Hilfe der Regelungseinrichtung wird dann die Generator-Spannung U_{ist} auf den gewünschten Spannungswert U_{soll} eingeregelt. Durch diese Regelung der Generator-Spannung wird die von dem Generator **12** an einen Verbraucher, im Ausführungsbeispiel das Netz **6**, abgegebene elektrische Leistung geregelt, die in das Netz **6** eingespeist wird. Durch eine derartig geregelte Einspeisung der von der Windenergieanlage abgegebenen Leistung können Schwankungen der Netzspannung im Netz **6** vermieden oder erheblich reduziert werden.

[0025] Das in Fig. 3 dargestellte Diagramm veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der auf der Ordinate aufgetragenen von der Windenergieanlage abgegebenen Leistung und der auf der Abszisse aufgetragenen Netzspannung. Weicht die Netzspannung nur wenig von ihrem Sollwert ab, der zwischen den Spannungswerten U_{min} und U_{max} liegt, so wird entsprechend dem geraden oberen Abschnitt der Kurve (gerade Linie parallel zur Abszisse) eine

gleichbleibende Leistung von dem Generator an das Netz abgegeben. Steigt die Netzspannung weiter an und übersteigt einen Wert, der durch den Punkt P1 definiert ist, so wird die eingespeiste Leistung reduziert. Ist der Wert U_{max} erreicht, so ist die eingespeiste Leistung gleich Null (Punkt P2). Selbst in dem Fall, daß eine hohe Windleistung vorhanden ist, wird in Punkt P2 keine Leistung in das Netz eingespeist. Sinkt die Windleistung stark ab, so kann nur noch eine reduzierte Leistung in das Netz eingespeist werden. Selbst wenn keine Leistung seitens des Windenergiekonverters mehr abgegeben wird, wird dieser – allerdings ohne Leistungsabgabe – weiterbetrieben, so daß stets eine Leistungsabgabe erfolgen kann, sobald die Netzspannung wieder einen Wert zwischen U_{min} und U_{max} angenommen hat.

[0026] Fig. 4 zeigt wesentliche Bestandteile der Steuerungs- und Regelungsanordnung **10** aus Fig. 1. Die Steuerungs- und Regelungsanordnung **10** weist einen Gleichrichter **16** auf, in dem die in dem Generator erzeugte Wechselspannung gleichgerichtet wird. Ein mit dem Gleichrichter **16** verbundener Frequenzumrichter **18** wandelt die zunächst gleichgerichtete Gleichspannung in eine Wechselspannung um, die als dreiphasige Wechselspannung über die Leitungen L1, L2 und L3 in das Netz **6** eingespeist wird. Der Frequenzumrichter **18** wird mit Hilfe eines Mikrocomputers **20**, der Teil der gesamten Regelungseinrichtung ist, gesteuert. Hierzu ist der Mikroprozessor **20** mit dem Frequenzumrichter **18** gekoppelt. Als Eingangsgrößen für die Regelung der Spannung, mit der die von der Windenergieanlage **2** zur Verfügung gestellte elektrische Leistung in das Netz **6** eingespeist wird, sind die aktuelle Netzspannung U, die Netzfrequenz f, die elektrische Leistung P des Generators, der Blindleistungsfaktor cosφ sowie der Leistungsgradient dP/dt. In dem Mikroprozessor **20** wird die erfindungsgemäße Regelung der einzuspeisenden Spannung verwirklicht.

[0027] Fig. 5 veranschaulicht den zeitlichen Verlauf der Spannungen und Ströme der drei Phasen des Netzes **6**.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage mit einem von einem Rotor antreibbaren elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz (**6**), insbesondere dessen angeschlossene Verbraucher (**8**), wobei die von dem Generator an das Netz (**6**) abgegebene Leistung in Abhängigkeit von einer dem Netz (**6**) anliegenden elektrischen Spannung geregelt wird, und wobei zum Netz-Überspannungsschutz eine Leistungsabgabe erfolgt, die geringer ist als die verfügbare Generatorleistung der Windenergieanlage, **dadurch gekennzeichnet**, dass die reduzierte Leistungsabgabe bereits vor Erreichen eines definierten maximalen Netzspannungswertes (^{U}max) nach Überschreiten eines bestimmten Netzspannungswertes (P1) erfolgt.

2. Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage mit einem von einem Rotor antreibbaren elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz (**6**), insbesondere dessen angeschlossene Verbraucher (**8**), wobei die von dem Generator an das Netz (**6**) abgegebene Leistung in Abhängigkeit von einer dem Netz (**6**) anliegenden elektrischen Spannung geregelt wird, und wobei eine Leistungsabgabe erfolgt, die geringer ist als die verfügbare Generatorleistung der Windenergieanlage, dadurch gekennzeichnet, dass die reduzierte Leistungsabgabe bereits vor Erreichen eines definierten minimalen Netzspannungswertes (U_{min}) nach Unterschreiten eines bestimmten Netzspannungswertes (P3) erfolgt.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Spannung als Wechselspannung mit einer vorgebbaren Frequenz bereitgestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgebbare Frequenz im Wesentlichen der Netzfrequenz entspricht.

5. Windenergieanlage, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche,
mit einem Rotor (**4**) und einem mit dem Rotor (**4**) gekoppelten elektrischen Generator zum Abgeben elektrischer Leistung an ein elektrisches Netz (**6**), wobei eine Regelungseinrichtung mit einem Spannungsaufnehmer zum Aufnehmen einer am Netz (**6**) anliegenden elektrischen Spannung vorgesehen ist, und wobei die von dem Generator an das Netz (**6**) abgegebene elektrische Leistung in Abhängigkeit von der durch den Spannungsaufnehmer aufgenommenen Spannung regelbar ist, und wobei die elektrische Leistungsabgabe der Windenergieanlage geringer ist als die verfügbare Generatorleistung der Windenergieanlage,
dadurch gekennzeichnet, dass
(a) die elektrische Leistung, die in das Netz eingespeist wird, bereits vor Erreichen eines definierten maximalen Netzspannungswertes (^{U}max) nach Überschreiten eines bestimmten Netzspannungswertes (P1) reduziert wird; oder
(b) die elektrische Leistung vor Erreichen eines definierten minimalen Netzspannungswertes (min) nach Unterschreiten eines bestimmten Netzspannungswertes (P3) reduziert wird.

6. Windenergieanlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelungseinrichtung einen Microprozessor aufweist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

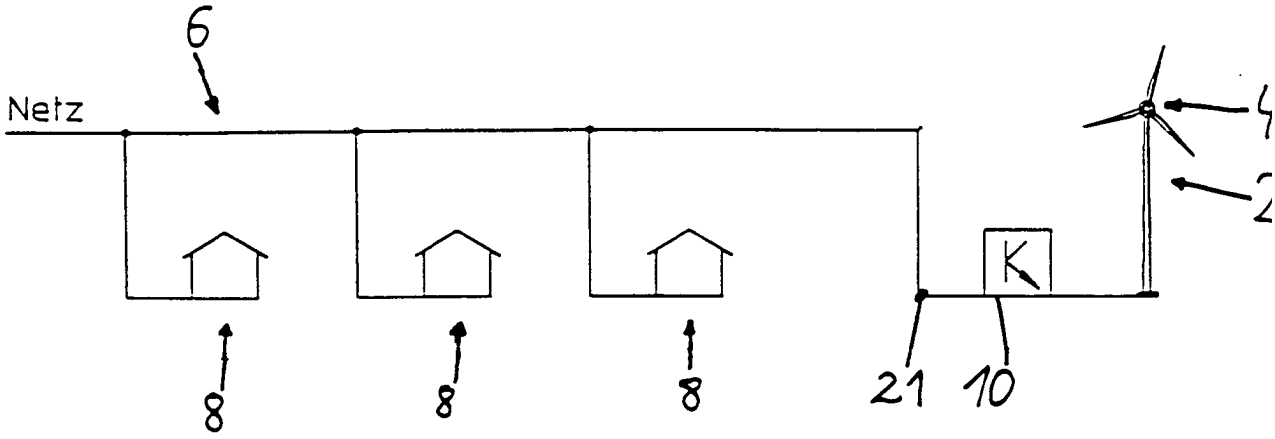


Fig. 2

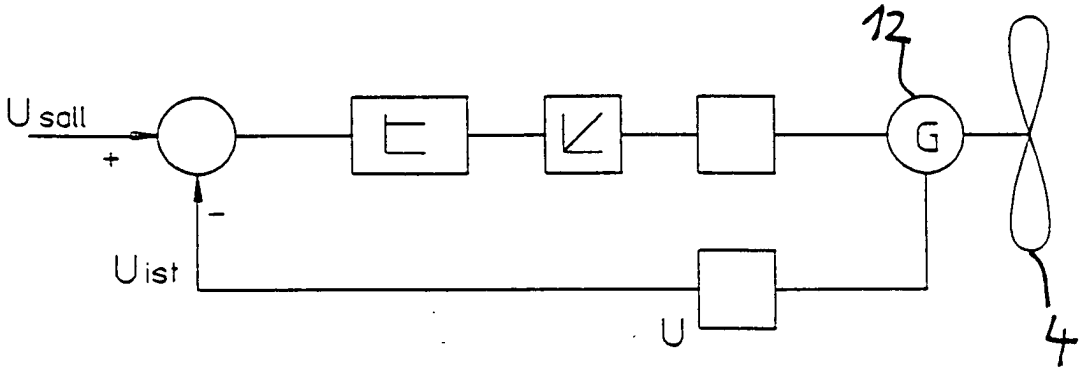


Fig. 3

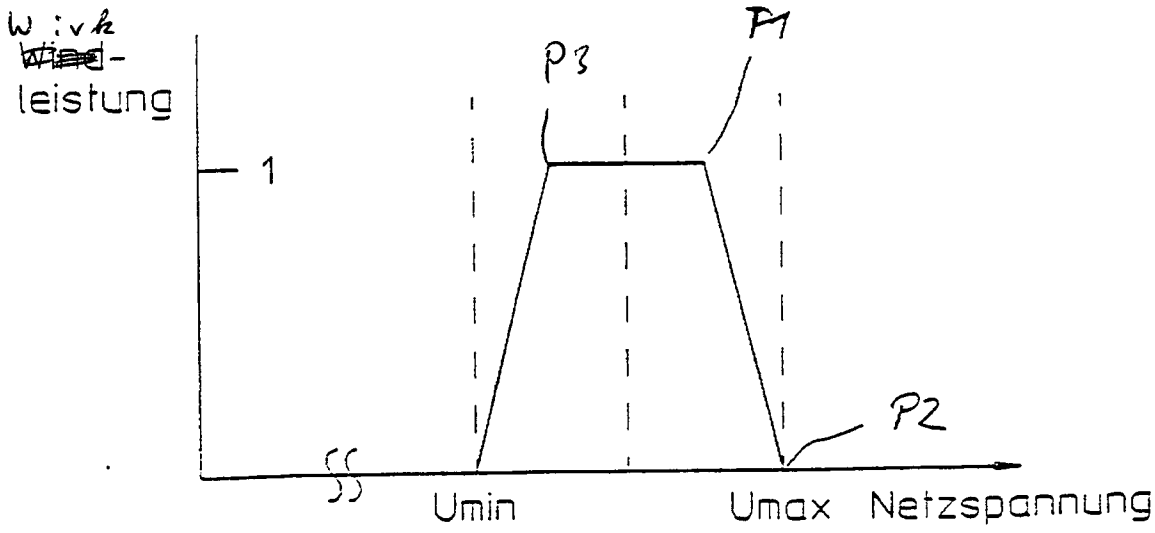


Fig. 4

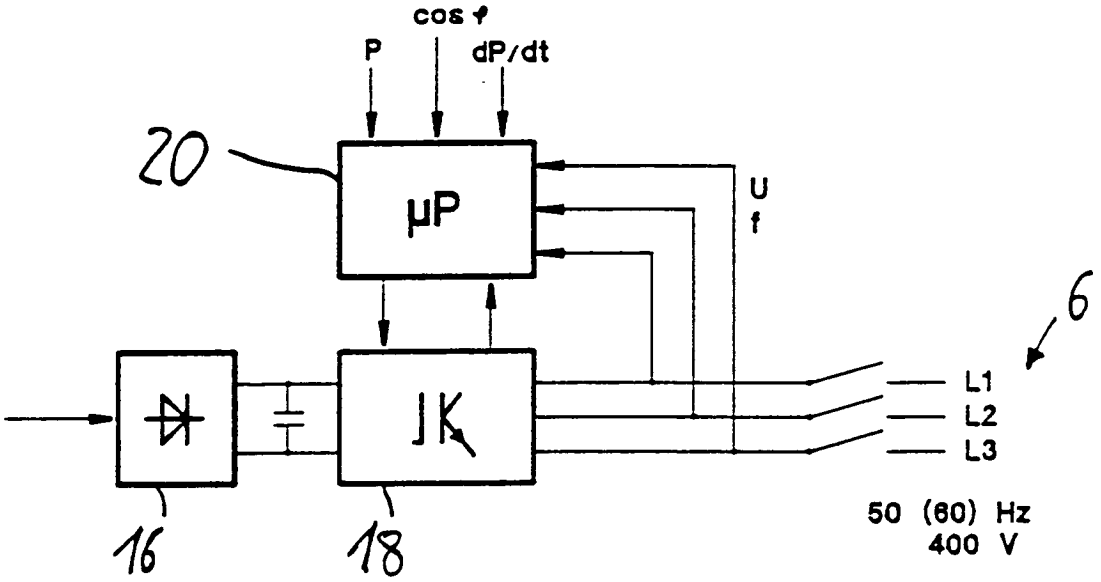
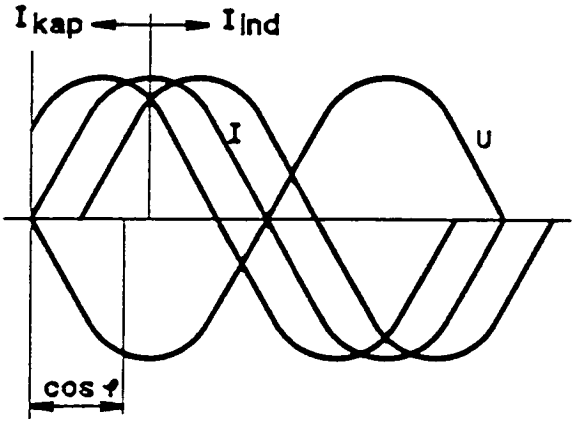

cos φ
P
dP/dt
20
µP
U
f
6
L1
L2
L3
50 (60) Hz
400 V
16
18

Fig. 5


I kap
I ind
I
U
cos φ