

(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
3. Oktober 2013 (03.10.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/144242 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2013/056587
- (22) **Internationales Anmeldedatum:** 27. März 2013 (27.03.2013)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:** 10 2012 006 259.1 29. März 2012 (29.03.2012) DE
- (71) **Anmelder:** REPOWER SYSTEMS SE [DE/DE]; Überseering 10, 22297 Hamburg (DE).
- (72) **Erfinder:** LETAS, Heinz-Hermann; Am Redder 11, 24796 Bovenau (DE). MOHR, Malte; Buchenweg 7, 24242 Felde (DE).
- (74) **Anwalt:** GLAWE DELFS MOLL; Postfach 13 03 91, 20103 Hamburg (DE).

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).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

(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,

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** CHOPPER-BOOSTED CONVERTER FOR WIND TURBINES

(54) **Bezeichnung :** CHOPPERVERSTÄRKTER UMRICHTER FÜR WINDENERGIEANLAGEN

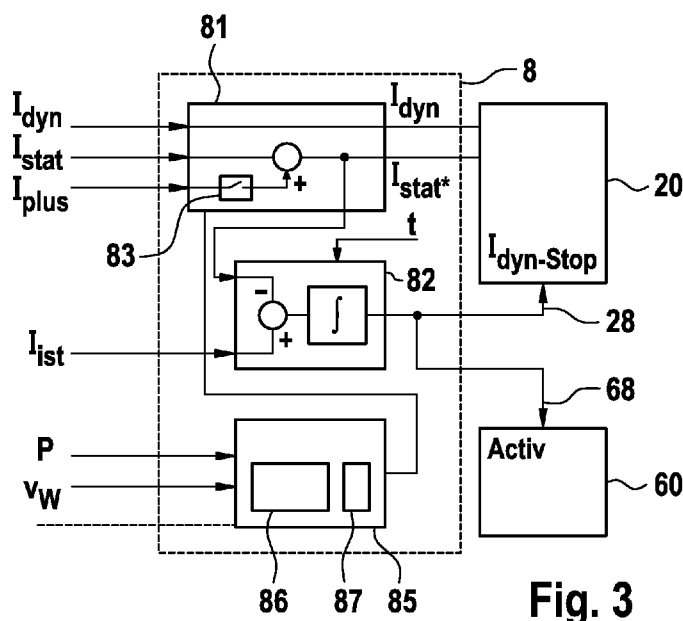


Fig. 3

(57) **Abstract:** The invention relates to a converter comprising a converter controller (20) for a wind turbine and comprising a chopper (6). The converter controller (20) has a dynamic threshold (I_{dyn}) which is permitted for a first tolerance time (t_1) and a static threshold (I_{stat}) of the converter (2). Furthermore, an overcurrent module (8) is provided which comprises a threshold expander (81) that is designed to increase the static threshold (I_{stat}) by a part of the difference between the static threshold and the dynamic threshold (I_{dyn}) as an additional current (I_{plus}) and which comprises a dynamic module (82) that interacts with the threshold expander (81) such that overcurrents between the static threshold (I_{stat}^*) which has been increased by the additional current (I_{plus}) and the dynamic threshold (I_{dyn}) are conducted to the converter (2) in a first stage and at least partly to the chopper (6) in a second stage, wherein the second stage is activated after a second tolerance time (t_2). In this manner, when overcurrents occur, i.e. currents above the static threshold which has been increased by the additional current up to the dynamic threshold, the increased current is applied not just to the converter but also to the chopper paired with said converter. The active components of the converter are thermally discharged in a controlled manner by bypassing into

the chopper. Thus, the output capacity of the converter and wind turbines equipped with said converter is increased for the grid products Q and $\cos \varphi$, which are becoming increasingly important. This is achieved without changing components and thus practically without additional costs (using slightly reinforced cables and optionally power chokes).

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/144242 A2



— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Ein Umrichter mit einer Umrichtersteuerung (20) für eine Windenergieanlage und einem Chopper (6), wobei die Umrichtersteuerung (20) einen für eine erste Toleranzzeit (t_1) zulässigen dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) und einen statischen Grenzwert (I_{stat}) des Umrichters (2) umfasst. Weiter ist ein Überstrommodul (8) vorgesehen, das einen Grenzwertexpander (81), welcher dazu ausgebildet ist, den statischen Grenzwert (I_{stat}) um einen Teil der Differenz zum dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) als Zusatzstrom (I_{plus}) zu erhöhen, und ein Dynamikmodul (82) umfasst, welches mit dem Grenzwertexpander (81) derart zusammenwirkt, dass Überströme zwischen den um den Zusatzstrom (I_{plus}) erhöhten statischen Grenzwert (I_{stat}^*) und dem dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) in einer ersten Stufe auf den Umrichter (2) und in einer zweiten Stufe zumindest teilweise zum Chopper (6) geleitet werden, wobei nach einer zweiten Toleranzzeit (t_2) in die zweite Stufe umgeschaltet wird. Damit wird bei einem Auftreten von Überströmen, d. h. Ströme oberhalb des um den Zusatzstrom erhöhten statischen Grenzwerts bis hin zum dynamischen Grenzwert, nicht nur den Umrichter mit dem erhöhten Strom beaufschlagt, sondern auch der ihm zugeordnete Chopper. Durch das Umleiten in den Chopper wird der Umrichter mit seinen aktiven Komponenten kontrolliert thermisch entlastet. Es wird damit das Leistungsvermögen des Umrichters und damit ausgerüsteter Windenergieanlagen für die - zunehmend wichtiger werdenden - Netzprodukte Q und $\cos \varphi$ erhöht, wobei dies ohne Änderung von Komponenten und damit praktisch ohne Mehrkosten (durch geringfügig verstärkte Kabel und gegebenenfalls Netzdrossel) erreicht wird.

5

Chopperverstärkter Umrichter für Windenergieanlagen

Die Erfindung betrifft einen Umrichter mit einer Umrichter-
10 steuerung für Windenergieanlagen, die einen Windrotor mit
einem davon angetriebenen Generator sowie einen Chopper
aufweisen, wobei die Umrichtersteuerung einen Konfigurati-
onsdatensatz für dynamische und statische Grenzwerte des
Umrichters umfasst.

15

Umrichter der eingangs genannten Art sind insbesondere bei
Windenergieanlagen im Einsatz, die nicht nur zur Erzeugung
von Wirkleistung dienen, sondern welche darüber hinaus auch
Blindleistung bereitstellen. Zur Erhöhung der Netzqualität
20 wird in zunehmendem Umfang auch von Windenergieanlagen er-
wartet, dass sie in beträchtlichem Maße Blindleistung auf
Aufforderung durch die Netzbetreiber zur Verfügung stellen.
Das Bereitstellen von Blindleistung ist zu einer Netz-
dienstleistung geworden, welche vielerorts Voraussetzung
25 zum Anschluss und wirtschaftlichen Betrieb einer Windener-
gieanlage an ein Energieübertragungsnetz ist. Es versteht
sich, dass durch die Bereitstellung der Blindleistung der
normale Betrieb der Windenergieanlage möglichst wenig be-
einträchtigt werden soll, und dass die Windenergieanlage
30 insbesondere weiterhin betriebssicher, insbesondere böen-
fest, sein muss.

Zwar ist es grundsätzlich möglich, mehr Blindleistung durch
Ausrüstung mit größer dimensionierten Umrichtern bereitzu-
35 stellen. Dieser Ansatz hat jedoch den Nachteil, dass er zu

ausgesprochen hohen Kosten führt. Weiter hat er den Nachteil, dass je nach Anforderungen des Netzbetreibers ansonsten identische Windenergieanlagen mit unterschiedlichen Umrichtern versehen werden müssten, was die Bauteilekomplexität steigert. Schließlich ist das einfache Ausrüsten mit einem größeren Umrichter ungünstig für die Nachrüstung, da dies ausgesprochen aufwendig und in vielen Fällen nicht wirtschaftlich durchführbar ist. Es besteht daher ein Bedarf, einen Umrichter der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, dass trotz unveränderter aktiver Komponenten des Umrichters eine höhere Dauerlast bereitgestellt werden kann, insbesondere zur erhöhten Bereitstellung von Blindleistung. Die Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, einen solchen Umrichter bereitzustellen und ein Verfahren zu dessen Betrieb anzugeben.

Die erfindungsgemäße Lösung liegt in den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Bei einem Umrichter mit einer Umrichtersteuerung für eine Windenergieanlage, die einen mit dem Umrichter verbundenen Generator und einen Chopper aufweist, wobei die Umrichtersteuerung einen für eine erste Toleranzzeit zulässigen dynamischen Grenzwert und einen statischen Grenzwert des Umrichters umfasst, ist erfindungsgemäß vorgesehen ein Überstrommodul, das einen Grenzwertexpander, welcher dazu ausgebildet ist, den statischen Grenzwert um einen Teil der Differenz zum dynamischen Grenzwert als Zusatzstrom zu erhöhen, und ein Dynamikmodul umfasst, welches mit dem Grenzwertexpander derart zusammenwirkt, dass Überströme zwischen den um den Zusatzstrom erhöhten statischen Grenzwert und dem dynamischen Grenzwert in einer ersten Stufe auf den Um-

richter und in einer zweiten Stufe zumindest teilweise zum Chopper geleitet werden, wobei nach einer zweiten Toleranzzeit, die vorzugsweise kleiner als die erste Toleranzzeit ist, in die zweite Stufe umgeschaltet wird.

5

Nachfolgend seien zunächst einige Begriffe erläutert:

Unter einem statischen Grenzwert wird der Stromnennwert verstanden, welchen der Umrichter über eine an sich unbegrenzte Zeitdauer, also dauernd, zu liefern geeignet ist. Dieser Grenzwert ist in der Regel identisch mit dem (Dauer-)Nennstrom des Umrichters.

Unter dem dynamischen Grenzwert wird derjenige Strom verstanden, welchen der Umrichter unter Ausnutzung seiner (insbesondere thermischen) Reserven für eine begrenzte Zeitdauer aufzunehmen im Stande ist. Dieser auch als kurzzeitiger Spitzenstrom bezeichnete Grenzwert kann beträchtlich höher liegen als der statische Grenzwert. Bei praktisch ausgeführten Umrichtern kann der dynamische Grenzwert beinahe doppelt so hoch sein wie der statische Grenzwert, ist jedoch häufig auf eine Toleranzzeit von nur wenigen Sekunden (beispielsweise 6 s) begrenzt. Die Zeitdauer, über die der dynamische Grenzwert anliegen darf, ohne dass es zu einer Überlastung kommt, wird als Toleranzzeit bezeichnet.

Unter Zusatzstrom wird ein Strom verstanden zwischen statischem Grenzwert und dem erfindungsgemäßen erhöhten Grenzwert; darüber hinausgehende Ströme werden als Überströme bezeichnet.

Die Erfindung beruht auf dem Gedanken, im Vergleich zur normalen Konfiguration eines Umrichters einen erhöhten Wert

für den statischen Grenzwert einzustellen („erhöhter Grenzwert“) und damit die für dynamische Schwankungen verbleibende Reserve zum dynamischen Grenzwert entsprechend zu verkleinern. Dieser Stromwert, um den der statische Grenzwert erhöht und die Stromreserve bis zum dynamischen Grenzwert entsprechend verringert ist, wird als Zusatzstrom bezeichnet. Dieser Zusatzstrom vergrößert den vom Umrichter abgebbaren Gesamtstrom. Hierbei handelt es sich um einen Scheinstrom, so dass wegen der vektoriellen Zusammenhänge zwischen Wirkstrom und Blindstrom eine Erhöhung des Scheinstroms eine überproportionale Erhöhung des Blindstroms ermöglicht. Derselbe Umrichter ist damit befähigt, überproportional mehr Blindstrom und damit Blindleistung bereitzustellen.

15

Die Erfindung hat erkannt, dass noch ein wesentlicher Zusatz erforderlich ist, da eine reine Grenzwerverhöhung nicht ausreicht, und die Erfindung stellt diesen Zusatz bereit. Denn beließe es man bei der einfachen Umstellung des Umrichters auf einen erhöhten statischen Grenzwert, so hätte dies unweigerlich die negative Folge einer geringeren Festigkeit des Umrichters gegenüber Spitzenstrombelastungen, wie sie insbesondere bei kurzzeitigen Überdrehzahlen der Windenergieanlagen (sog. Böenfestigkeit) oder bei Netzfrequenzeinsenkungen auftreten können. Denn nicht nur die verbleibende Stromreserve bis zum dynamischen Grenzwert ist dann verringert, sondern darüber hinaus sind die aktiven Komponenten des Umrichters bereits thermisch aufgrund des Zusatzstroms stärker belastet, so dass bei einem Anstieg des Stroms auf den dynamischen Grenzwert die thermische Belastungsgrenze schneller erreicht wäre; beließe man es dabei, so wäre die praktische Verwendbarkeit des Umrichters für reale Betriebsbedingungen mit schwankender Windstärke

30

und gegebenenfalls auftretenden Netzfehlern nicht mehr ausreichend.

Hier setzt die Erfindung an, indem sie ein Überstrommodul
5 bereitstellt, welches bei einem Auftreten von Überströmen,
d. h. Ströme oberhalb des um den Zusatzstrom erhöhten statischen Grenzwerts bis hin zum dynamischen Grenzwert, nicht nur den Umrichter mit dem erhöhten Strom beaufschlagt, sondern auch den ihm zugeordneten Chopper mit einbezieht. Das
10 Überstrommodul weist zwei Schaltstufen auf, eine erste
Schaltstufe in der der Überstrom nur auf den Umrichter mit seinen aktiven Komponenten (Schaltelemente) geführt ist und eine zweite Stufe, bei welcher der Überstrom (alternativ oder zusätzlich) in den Chopper geleitet wird. Das Umschalten von der ersten auf die zweite Stufe erfolgt nach einer
15 gewissen Zeit, der zweiten Toleranzzeit. Tritt beispielsweise im Betrieb aufgrund von Überdrehzahlen der Maximalwert des dynamischen Stromgrenzwerts auf, so wird nur für die (verhältnismäßig kurze) zweite Toleranzzeit dieser hohe
20 Strom in den Umrichter geleitet, und nach Ablauf der zweiten Toleranzzeit zur thermischen Entlastung des Umrichters der Strom in den Chopper geleitet. Durch das Umleiten in den Chopper wird der Umrichter mit seinen aktiven Komponenten kontrolliert thermisch entlastet. Die Betriebssicherheit ist somit auch bei Überströmen bis hin zum dynamischen
25 Grenzwert gesichert.

Die Erfindung ermöglicht es damit, den Umrichter mit erhöhtem statischem Grenzwert zu betreiben, um so mehr Blindleistung zur Stützung des Netzes bereitzustellen. Insbesondere wird damit das Leistungsvermögen des Umrichters und damit ausgerüsteter Windenergieanlagen für die - zunehmend
30 wichtiger werdenden - Netzprodukte Q und $\cos \phi$ erhöht, wo-

bei dies ohne Änderung von Komponenten und damit praktisch ohne Mehrkosten (durch geringfügig verstärkte Kabel und gegebenenfalls Netzdrossel) erreicht wird. Insbesondere ist es dank der Erfindung nicht erforderlich, die im Vergleich
5 ausgesprochen teuren aktiven Komponenten des Umrichters zu verändern.

Für das Umschalten zwischen den Stufen ist vorzugsweise ein Dynamikmodul ist mit Vorteil so ausgebildet, dass es die
10 zweite Toleranzzeit stromabhängig bestimmt, und zwar vorzugsweise über ein Strom-Zeit-Integral. Es hat sich gezeigt, dass die Toleranzzeit je nach der Höhe des dynamisch auftretenden Überstroms variiert. Ist der Überstrom nur gering, so kann die zweite Toleranzzeit größer bemessen sein
15 als bei höherem Überstrom. Besonders bewährt hat sich hier ein Strom-Zeit-Integral. Hier geht zweckmäßigerweise der Strom quadratisch ein, so dass ein Energiemaß gebildet ist, welches die thermische Belastung insbesondere der aktiven Komponenten des Umrichters abbildet.

20

Vorzugsweise ist das Überstrommodul so weitergebildet, dass es eine dritte Stufe aufweist, in der die erste und zweite Stufe des Überstrommoduls betätigt sind. Damit fließt der Überstrom sowohl in den Umrichter unter voller Ausnutzung
25 des dynamischen Grenzwerts als auch in den Chopper, um so noch weiteren Strom jenseits des dynamischen Grenzwerts aufzunehmen („Ultra-Strom“). Mit diesem Ultra-Strom kann der dynamisch aufnehmbare Strom soweit erhöht werden, dass der Abstand zum erhöhten statischen Grenzwert wieder dem
30 ursprünglichen Abstand zwischen dynamischen Grenzwert und (nicht erhöhtem) statischen Grenzwert entspricht. Damit weist der Umrichter zugleich eine erhöhte Toleranz in Bezug auf dynamische Strombelastung auf. Es kann also sogar der

dynamische Grenzwert erhöht werden, ohne dass hierfür hardwaremäßige Änderungen am Umrichter erforderlich sind.

Zweckmäßigerweise ist ein Freigabeeingang vorgesehen, über
5 den der Grenzwertexpander freigebbar beziehungsweise sperrbar ist. Fehlt ein Signal am Freigabeeingang, so ist der Grenzwertexpander gesperrt und der Umrichter erhält keinen erhöhten statischen Grenzwert. Er kann dann keinen Zusatzstrom bereitstellen. Dieser Freigabeeingang ermöglicht es,
10 eine Windenergieanlage von dem Bereitstellen von Zusatzstrom auszuschließen, was insbesondere bei kritischen Betriebsbedingungen - insbesondere bei böigem Wind - von Bedeutung sein kann für die Betriebssicherheit der Anlagen. Vorzugsweise ist zu diesem Zweck ein Böenmodul vorgesehen,
15 welches einen Ausgang aufweist, der an dem Freigabeeingang angelegt ist. Das Böenmodul ist dazu ausgebildet, anhand der von der Windenergieanlage bereitgestellten Parameter (diese können Leistungsdaten der Erzeugung der elektrischen Leistung oder Winddaten sein) einen Böenindex zu bestimmen
20 und bei Überschreiten eines einstellbaren Grenzwerts ein Ausgangssignal bereitzustellen. Damit kann bei böigem Wind die Änderung des statischen Grenzwerts und damit das Bereitstellen von Zusatzstrom blockiert werden, damit die Windenergieanlage bestmöglich zum Ausgleich der Windböen
25 befähigt ist. Zweckmäßigerweise weist das Böenmodul mehrere Ausgänge auf, die zum Ansteuern weiterer Windenergieanlagen ausgebildet sind.

Vorzugsweise ist das Böenmodul an einem Parkmaster angeordnet,
30 net, der einen Windpark mit mehreren Windenergieanlagen kontrolliert. Damit kann das an dem Parkmaster angeordnete Böenmodul so ausgebildet sein, dass die vom Netzbetreiber angeforderte Bereitstellung von zusätzlicher Blindleistung

durch das Freigeben von Zusatzstrom für solche Windenergieanlagen des Windparks erreicht wird, welche nicht von Böen betroffen sind. Hierbei macht man sich die Erkenntnis zu Nutze, dass aufgrund der räumlichen Ausdehnung eines Windparks immer nur ein Teil der Windenergieanlagen von Böen betroffen ist.

Die Erfindung erstreckt sich auch auf einen Windpark mit einem Parkmaster und mehreren Windenergieanlagen, die mit einem Umrichter wie vorstehend beschrieben versehen sind. Zur näheren Erläuterung wird auf vorstehende Beschreibung verwiesen.

Die Erfindung erstreckt sich weiter auf ein Verfahren zum Betreiben eines Umrichters für eine Windenergieanlage mit einem mit dem Umrichter verbundenen Generator und einem Chopper sowie einer Umrichtersteuerung für den Umrichter, wobei die Umrichtersteuerung einen für eine erste Toleranzzeit zulässigen dynamischen Grenzwert und einen statischen Grenzwert des Umrichters umfasst, wobei erfindungsgemäß vorgesehen ist, einen Zusatzstrom bereitzustellen, indem der statische Grenzwert des Umrichters erhöht wird um einen Teil der Differenz zum dynamischen Grenzwert, wobei Überströme zwischen dem um den Zusatzstrom erhöhten statischen Grenzwert und dem dynamischen Grenzwert in einer ersten Stufe auf dem Umrichter und einer zweiten Stufe zumindest teilweise zum Chopper geleitet werden, wobei nach einer zweiten Toleranzzeit, die kleiner als die erste Toleranzzeit ist, in die zweite Stufe umgeschaltet wird.

30

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert, in der ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel dargestellt ist. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Windenergieanlage gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- 5
- Fig. 2a, b Leistungskennlinien der Windenergieanlage gemäß Fig. 1 insgesamt und bezogen auf den Umrichter;
- Fig. 3 ein Blockschaltbild eines Überstrommoduls an einem Umrichter der Windenergieanlage;
- 10
- Fig. 4a-b Strom-Zeit-Diagramme für eine herkömmliche Windenergieanlage und die Windenergieanlage gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und
- 15
- Fig. 5 ein Strom-Zeit-Diagramm gemäß einer Variante des Ausführungsbeispiels.

Eine Windenergieanlage gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung umfasst einen von einem Windrotor 10 angetriebenen Generator 1 mit einem Umrichter 2 zur Erzeugung elektrischer Energie. Sie wird über ein Leitungskabel 3 und einen an der Windenergieanlage angeordneten Mittelspannungstransformator 4 in ein Mittelspannungsnetz 5 gespeist. Bei dem Mittelspannungsnetz kann es sich insbesondere um ein parkinternes Netz eines Windparks handeln, der einen Parkmaster 50 zur Kontrolle der Windenergieanlagen im Windpark aufweist. Weiter ist für den Umrichter 2 eine Umrichtersteuerung 20 und ein Chopper 6 mit einer Choppersteuerung 60 vorgesehen. Zur übergeordneten Steuerung der Windenergieanlage ist eine Betriebssteuerung 7 vorgesehen.

20

25

30

Der Generator 1 ist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel als doppeltgespeister Asynchrongenerator ausgeführt. Er umfasst einen Stator 11 und einen umlaufenden Rotor 12. Der Stator 11 ist unmittelbar an das Leitungskabel 3 angeschlossen. Der Rotor 12 ist über den Umrichter 2 mit dem Leitungskabel 3 verbunden. Der Umrichter 2 umfasst einen maschinenseitigen Wechselrichter 21, einen netzseitigen Wechselrichter 23 und einen dazwischen liegenden, die beiden Wechselrichter 21, 23 verbindenden Gleichspannungs-
Zwischenkreis 22. Die beiden Wechselrichter enthalten eine Mehrzahl von aktiven Schaltelementen, die durch das Bezugszeichen 24 symbolisiert sind.

Die Umrichtersteuerung 20 steuert den Umrichter 2 so an, dass die vom Rotor 12 erzeugte elektrische Leistung, die eine dreiphasige Wechselspannung mit einer von der Drehzahl des Windrotors abhängigen Frequenz ist, vom maschinenseitigen Wechselrichter 21 in Gleichspannung umgewandelt und in den Zwischenkreis 22 geleitet wird. Der netzseitige Wechselrichter 23 wird vom Zwischenkreis 22 versorgt und wandelt die entnommene elektrische Leistung in dreiphasige Wechselspannung mit fester Frequenz, die gleich ist der Netzfrequenz des angeschlossenen Netzes 5. Diese Betriebsart, bei der der Umrichter 2 elektrische Leistung in das Netz 5 abgibt, wird als übersynchroner Betrieb bezeichnet. Weiter gibt es eine Betriebsart im untersynchronen Betrieb. Sie wird verwendet bei einer Rotordrehzahl, die kleiner ist als die der Netzfrequenz entsprechende Synchrondrehzahl n_{sync} , also bei geringer Windstärke. Hierbei ist die Richtung des Leistungsflusses durch den Umrichter 2 umgekehrt. Der netzseitige Wechselrichter 23 speist den Zwischenkreis 22, der wiederum den maschinenseitigen Wechselrichter 21 versorgt zum Einspeisen von Erregerstrom in den Rotor 12.

Die sich in Abhängigkeit von der Drehzahl ergebenden Leistungsflüsse sind in Fig. 2a dargestellt. Der (im Bild linke) Drehzahlbereich unterhalb der Synchrondrehzahl n_{sync} zeigt den untersynchronen Betrieb, und der Drehzahlbereich oberhalb den übersynchronen Betrieb. Der für den stationären Betrieb zulässige Bereich geht bis zur Nenndrehzahl n_{nenn} , darüber schließt sich bis zur Maximaldrehzahl n_{max} ein dynamischer Überlastbereich an, der nur kurzzeitig bei Böen verwendet werden darf. Der größte Teil der elektrischen Leistung wird vom Stator 11 eingespeist (P_{stat} , s. punktierte Linie in Fig. 2a). Ein kleinerer Teil der Leistung, der im untersynchronen Betrieb negativ ist (d. h. umgekehrter Leistungsfluss), wird vom Rotor 12 bereitgestellt bzw. im untersynchronen Betrieb verbraucht (P_{rot} , s. gestrichelte Linie). Die insgesamt von der Windenergieanlage abgegebene Leistung P_{tot} ist durch die durchgezogene Linie visualisiert.

Die im Umrichter 2 fließenden Ströme sind in Fig. 2b dargestellt. Statischer Grenzwert I_{stat} und dynamischer Grenzwert I_{dyn} sind als horizontale strichpunktierte Linie dargestellt. Man erkennt deutlich den negativen Stromfluss im niedrigen Drehzahlbereich, d. h. im untersynchronen Betrieb. Im übersynchronen Betrieb steigt der Stromfluss linear an, bis er etwa bei Nenndrehzahl n_{nenn} den statischen Stromgrenzwert I_{stat} erreicht, der im Böenbetrieb überschritten werden kann bis zum Erreichen des dynamischen Stromgrenzwerts I_{dyn} (schraffierter Bereich). Droht eine Überschreitung von I_{dyn} oder verweilt der Strom zulange im nur dynamisch zulässigen Bereich (schraffiert), so erfolgt zum Schutz der Komponenten eine Stromreduktion auf den (für unbegrenzte Zeit zulässigen) statischen Grenzwert I_{stat} . Die

Reduktion erfolgt mittels des Choppers 6, wie nachstehend beschrieben.

Der Chopper 6 ist an den Zwischenkreis angeschlossen. Er
5 umfasst einen Widerstand 61 zum Dissipieren überschüssiger
Energie und ein Schaltelement 62, welches den Widerstand 61
zu- und abschaltet. Die Umrichtersteuerung 20 wirkt mit der
Choppersteuerung 60 zusammen zur Überwachung der Gleich-
spannung im Zwischenkreis. Wird die Spannung zu hoch betä-
10 tigt die Choppersteuerung das Schaltelement 62. Damit
fließt Strom durch den Widerstand 61, wodurch die Spannung
im Zwischenkreis 22 wirksam verringert wird.

Um mit einem an sich unveränderten Umrichter 2 einen höhe-
15 ren statischen Strom zu ermöglichen, dient erfindungsgemäß
ein Überstrommodul 8, wie es in Fig. 3 dargestellt ist.
Dessen Aufbau und die Funktionsweise werden nachfolgend be-
schrieben. An die Umrichtersteuerung 20 sind Grenzwerte für
den statischen Grenzwert I_{stat} und den dynamischen Grenzwert
20 für den Strom angelegt. Erfindungsgemäß ist ein Grenzwert-
expander 81 dazwischengeschaltet, an dem ein zusätzlicher
Eingang für einen gewünschten Zusatzstrom I_{plus} vorgesehen
ist. Der Grenzwertexpander 81 erhöht den statischen Grenz-
wert I_{stat} um den gewünschten Zusatzstrom und bildet so den
25 modifizierten statischen Grenzwert I_{stat}^* , der als Grenzwert
an die an sich bekannte Umrichtersteuerung 20 angelegt ist.
Der dynamische Grenzwert I_{dyn} bleibt bei diesem Ausführungs-
beispiel unverändert. Der modifizierte statische Grenzwert
 I_{stat}^* ist zum Vergleich mit gestrichelter Linie in Fig. 2b
30 dargestellt.

Neben dem Grenzwertexpander 81 umfasst das Überstrommodul 8
ferner ein Dynamikmodul 82, das an die Umrichtersteuerung

20 und an die Choppersteuerung 60 angeschlossen ist. Es weist Eingänge auf für den tatsächlich im Umrichter fließenden Strom I_{ist} , den modifizierten statischen Grenzwert I_{stat}^* und die Zeit t . Das Dynamikmodul 82 bestimmt durch
5 Differenzbildung, ob der tatsächliche Strom über dem modifizierten Grenzwert I_{stat}^* liegt, ob also Überstrom fließt. Wenn ja, wird der Betrag des Überstroms über die Zeit integriert um so ein Maß für die thermische Belastung der Schaltelemente des Umrichters 20 zu generieren. Erreicht es
10 einen bestimmten Wert, wird ein Schaltsignal an zum Umschalten der Stufen ausgegeben. Im Normalbetrieb befindet sich das Überstrommodul in seine erste Stufe geschaltet, welchen den Betrieb des Umrichters 2 mit dem dynamischen Grenzwert erlaubt. Liegt ein Schaltsignal von dem Dynamik-
15 modul 82 an, so wird in die zweite Stufe umgeschaltet, in welcher der Betrieb des Umrichters 2 mit dem dynamischen Grenzwert über einen Sperrsignaleingang 28 in der Umrichtersteuerung 20 blockiert und stattdessen den Chopper 6 über einen Aktivierungssignaleingang 68 der Choppersteuerung 60
20 betätigt. Damit werden die Überströme in den Chopper 6 umgeleitet, so dass die Schaltelemente 24 des Umrichters 2 geschont werden und sich somit thermisch erholen können.

In Fig. 4a sind mit gestrichelter Linie die Grenzwerte für
25 I_{stat} , I_{dyn} für eine herkömmliche Windenergieanlage gezeigt. Mit einer punktierten Linie sind zum Vergleich die entsprechenden Grenzwerte bei einer einfachen Erhöhung des statischen Grenzwerts I_{stat}' dargestellt. Man erkennt, dass durch einfaches Bereitstellen eines übergroßen statischen Grenzwerts I_{stat}' zwar der mögliche statische Strom erhöht werden
30 könnte, dass jedoch die erste Toleranzzeit t_1 für den dynamischen Grenzwert dann deutlich verringert wäre (auf t_2). Dies ist für sich genommen unakzeptabel, da damit keine

ausreichende Überlastsicherheit, insbesondere Böenfestigkeit, mehr gegeben ist. Wie in Fig. 4b dargestellt, wird erfindungsgemäß die ursprüngliche Zeitdauer t_1 für den dynamischen Grenzwert wieder hergestellt, indem nach Ablauf
5 einer zweiten Toleranzzeit t_2 , die kleiner ist als die erste Toleranzzeit t_1 , in einer zweiten Stufe der Chopper aktiviert wird (kreuzschraffierter Bereich, Zeitraum t_3), der den Überstrom dynamisch übernimmt. Damit werden die Halbleiter 24 im Umrichter 2 soweit entlastet, dass durch sie
10 nur noch ein Strom maximal gleich dem statischen Grenzwert fließt. Die Halbleiter 24 sind damit vor Überlastung geschützt, und die volle Überlastsicherheit (insbesondere Böenfestigkeit) wird somit gewährleistet. Zusätzlicher Hardwareaufwand erfordert die Erfindung dafür praktisch nicht,
15 da der Chopper 6 ohnehin vorhanden ist. Somit kann ohne Mehrkosten der zulässige statische Strom des Umrichters 2 erhöht werden, und die Überlastsicherheit (insbesondere Böenfestigkeit) bleibt erhalten.

20 Optional kann das Überstrommodul 8 auch so ausgebildet sein, dass es bereits in der ersten Stufe den Chopper 6 betätigt, und zwar zusätzlich zu dem Überstrom im Umrichter 2, also noch während der zweiten Toleranzzeit t_2 (s. links gelegener Teil des kreuzschraffierten Bereichs in Fig. 5).
25 Bei dieser Betriebsart, die auch als "dritte Stufe" bezeichnet wird, kann kurzfristig auch der dynamische Grenzwert erhöht werden. Damit kann bei von der Hardware unveränderten Umrichter 2 nicht nur der statische Grenzwert um den Zusatzstrom erhöht werden, sondern auch der dynamische
30 Grenzwert, so dass der ursprüngliche Abstand zwischen statischem und dynamischem Grenzwert wieder hergestellt ist.

Optional umfasst das Überstrommodul 8 weiter ein Böenmodul 85. Es weist Eingänge für die Windgeschwindigkeit v_w und ggf. auch für die von der Windenergieanlage abgegebene Leistung P auf. An seinem Ausgang wird ein Sperrsignal ausgegeben, welches an den Grenzwertexpander 81 angelegt ist und dort über ein Sperrglied 83 die Anhebung des statischen Grenzwerts um den Zusatzstrom blockiert. Das Böenmodul 85 enthält einen Lastrechner 86, der aus Daten der von der Windenergieanlage erzeugten elektrischen Wirkleistung P und den Daten über die jeweilige Windgeschwindigkeit einen Böenindex bestimmt. Erkennt ein Komparator 87, dass dieser über einem kritischen Wert liegt, wird das Sperrsignal am Ausgang ausgegeben. Damit kann bei böigem Wind die Änderung des statischen Grenzwerts und damit das Bereitstellen von Zusatzstrom blockiert werden, damit die Windenergieanlage bestmöglich zum Ausgleich der Windböen befähigt ist. Das Böenmodul kann alternativ auch am Parkmaster 50 angeordnet sein (s. Funktionsblock 85'). Es weist mehrere Ausgänge auf, die zum Ansteuern weiterer Windenergieanlagen 9 dienen.

Der mit der Bereitstellung von Zusatzstrom ermöglichte Gewinn insbesondere an zusätzlich einspeisbarer Blindleistung Q ist wegen des vektoriellen Zusammenhangs zwischen Wirk- und Blindstrom beträchtlich. Für einen Betrieb bei Voll- last, also wenn die abgegebene Wirkleistung gleich der Nennleistung ist, kann dank der Erfindung Blindleistung zusätzlich eingespeist werden. Ein Beispiel verdeutlicht dies: bei einer Nennleistung in Höhe der maximalen Wirkleistung von $P = 2000$ kW kann zusätzlich noch Blindleistung in Höhe von $Q = 640$ kVAr eingespeist werden, also ein sehr beträchtlicher Wert bei nur geringstem zusätzlichem Aufwand.

Patentansprüche

1. Umrichter mit einer Umrichtersteuerung (20) für eine Windenergieanlage, die einen mit dem Umrichter (2) verbundenen Generator (1) und einen Chopper (6) aufweist, wobei die Umrichtersteuerung (20) einen für eine erste Toleranzzeit (t_1) zulässigen dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) und einen statischen Grenzwert (I_{stat}) des Umrichters (2) umfasst,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Überstrommodul (8) vorgesehen ist, das einen Grenzwertexpander (81), welcher dazu ausgebildet ist, den statischen Grenzwert (I_{stat}) um einen Teil der Differenz zum dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) als Zusatzstrom (I_{plus}) zu erhöhen, und ein Dynamikmodul (82) umfasst, welches mit dem Grenzwertexpander (81) derart zusammenwirkt, dass Überströme zwischen den um den Zusatzstrom (I_{plus}) erhöhten statischen Grenzwert (I_{stat}^*) und dem dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) in einer ersten Stufe auf den Umrichter (2) und in einer zweiten Stufe zumindest teilweise zum Chopper (6) geleitet werden, wobei nach einer zweiten Toleranzzeit (t_2) in die zweite Stufe umgeschaltet wird.
2. Umrichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Toleranzzeit (t_2) kleiner als die erste Toleranzzeit (t_1) ist.
3. Umrichter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Dynamikmodul (82) die zweite Toleranzzeit (t_2) stromabhängig bestimmt, vorzugsweise über

ein Strom-Zeit-Integral.

4. Umrichter nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Überstrommodul (8) eine
5 dritte Stufe aufweist, in der die erste und zweite Stufe gleichzeitig aktiviert sind.
5. Umrichter nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Grenzwertexpander (81)
10 ein Sperrglied (83) aufweist, das an einen Sperreingang angeschlossen ist und dazu ausgebildet ist, die Erhöhung des statischen Grenzwerts zu blockieren.
6. Umrichter nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Böenmodul (85) vorgesehen
15 ist, das Eingänge für Leistung der Windenergieanlage und/oder Windgeschwindigkeit aufweist und dazu ausgebildet ist, bei Überschreiten eines Grenzwerts ein Sperrsignal auszugeben.
- 20 7. Umrichter nach Anspruch 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des Böenmoduls (85) an den Eingang des Sperrglieds (83) angeschlossen ist.
- 25 8. Umrichter nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Böenmodul (85) mehrere Ausgänge zum Ansteuern mehrerer Windenergieanlagen aufweist und vorzugsweise an einem Parkmaster (50) eines Windparks angeordnet ist.
- 30 9. Windpark mit einem Parkmaster (50) und einer Mehrzahl von Windenergieanlagen, die jeweils die einen Generator (1), einen Umrichter (2) mit einer Umrichtersteuer-

5 rung (20) und einen Chopper (6) aufweisen, wobei die Umrichtersteuerung einen für eine erste Toleranzzeit (t_1) zulässigen dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) und einen statischen Grenzwert (I_{stat}) des Umrichters (2) umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass

10 ein Überstrommodul (8) vorgesehen ist, das einen Grenzwertexpander (81), welcher dazu ausgebildet ist, den statischen Grenzwert (I_{stat}) um einen Teil der Differenz zum dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) als Zusatzstrom (I_{plus}) zu erhöhen, und ein Dynamikmodul (82) umfasst, welches mit dem Grenzwertexpander (81) derart zusammenwirkt, dass Überströme zwischen den um den Zusatzstrom (I_{plus}) erhöhten statischen Grenzwert (I_{stat}^*) und dem dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) in einer ersten Stufe auf den Umrichter (2) und in einer zweiten Stufe zumindest teilweise zum Chopper (6) geleitet werden, wobei nach einer zweiten Toleranzzeit (t_2) in die zweite Stufe umgeschaltet wird.

10. Windpark nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Überstrommodul (8) an den jeweiligen Windenergieanlagen angeordnet ist.

11. Windpark nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Überstrommodul (8) an dem Parkmaster (50) angeordnet ist.

30 12. Windpark nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein Böenmodul (85') vorgesehen ist, das Eingänge für Leistung der Windenergieanlage

und/oder Windgeschwindigkeit aufweist und dazu ausgebildet ist, bei Überschreiten eines Grenzwerts ein Sperrsignal auszugeben, wobei das Böenmodul (85') vorzugsweise am Parkmaster (50) angeordnet ist.

5

13. Windpark nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Böenmodul (85') eine Mehrzahl von Ausgängen für die einzelnen Windenergieanlagen des Windparks aufweist.

10

14. Windpark nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Überstrommodul (8) nach einem der Ansprüche 2 bis 4 weitergebildet ist.

15

15. Verfahren zum Betreiben eines Umrichters (2) für eine Windenergieanlage mit einem mit dem Umrichter (2) verbundenen Generator (1) und einem Chopper (6) sowie einer Umrichtersteuerung (20) für den Umrichter (2), wobei die Umrichtersteuerung (20) einen für eine erste Toleranzzeit (t_1) zulässigen dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) und einen statischen Grenzwert (I_{stat}) des Umrichters (2) umfasst,

20

25

gekennzeichnet durch Bereitstellen eines Zusatzstroms mittels eines Überstrommoduls (8), indem der statische Grenzwert des Umrichters (2) erhöht wird um einen Teil der Differenz zum dynamischen Grenzwert (I_{dyn}), wobei Überströme zwischen dem um den Zusatzstrom erhöhten statischen Grenzwert (I_{stat}^*) und dem dynamischen Grenzwert (I_{dyn}) in einer ersten Stufe auf dem Umrichter (2) und einer zweiten Stufe zumindest teilweise zum Chopper (6) geleitet werden, wobei nach einer zweiten Toleranzzeit (t_2), die kleiner als die erste

30

Toleranzzeit (t_1) ist, in die zweite Stufe umgeschaltet wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet,
5 dass das Überstrommodul (8) nach einem der Ansprüche 2 bis 8 weitergebildet ist.
17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet,
10 dass der Umrichter in Windenergieanlagen eines Windparks verwendet wird, und dass an einem Parkmaster vorzugsweise eine Lastüberwachung mittels eines Böenmoduls (85') vorgesehen ist.

1 / 2

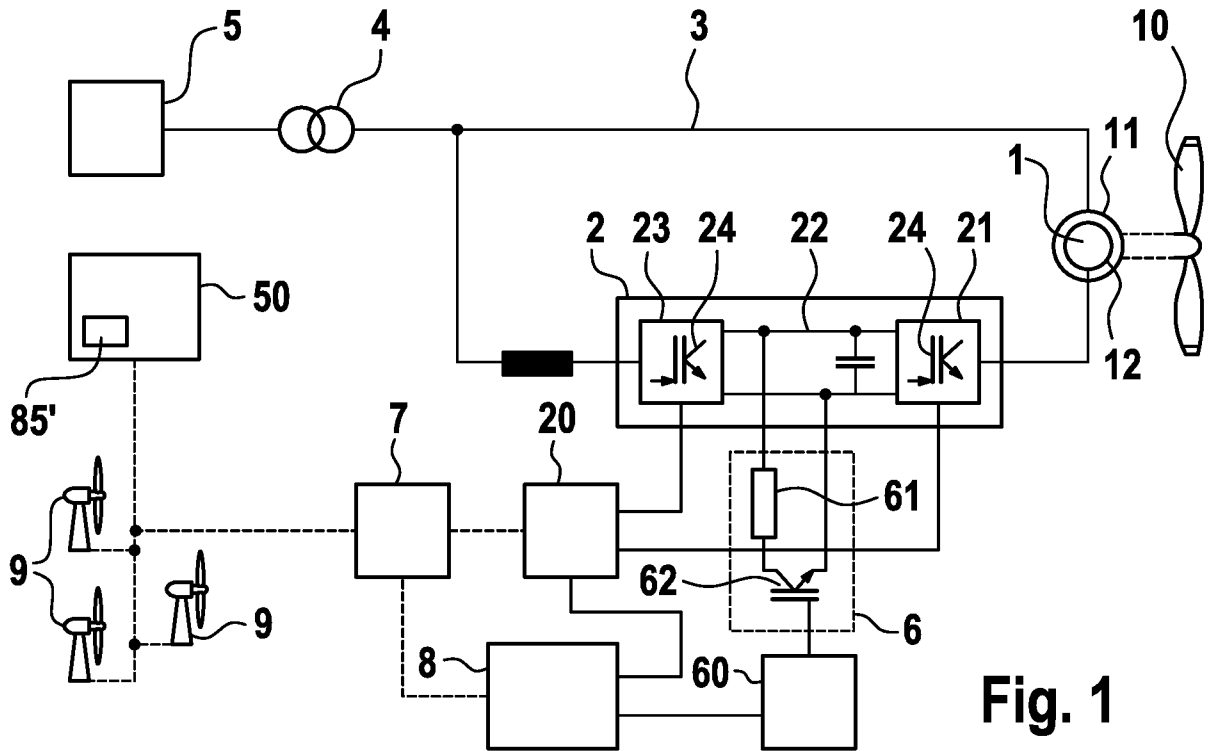
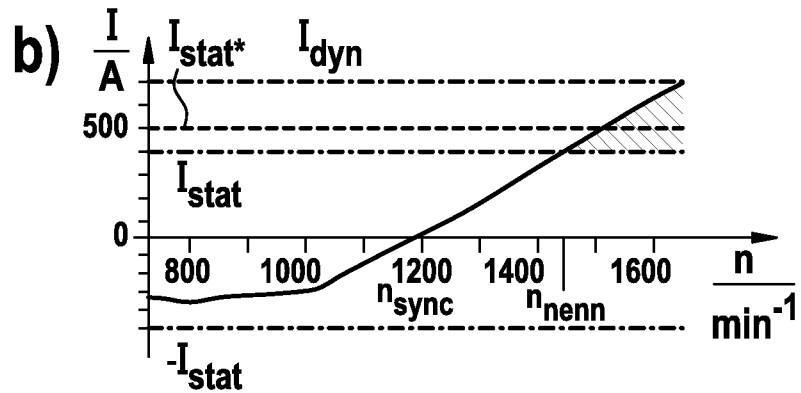
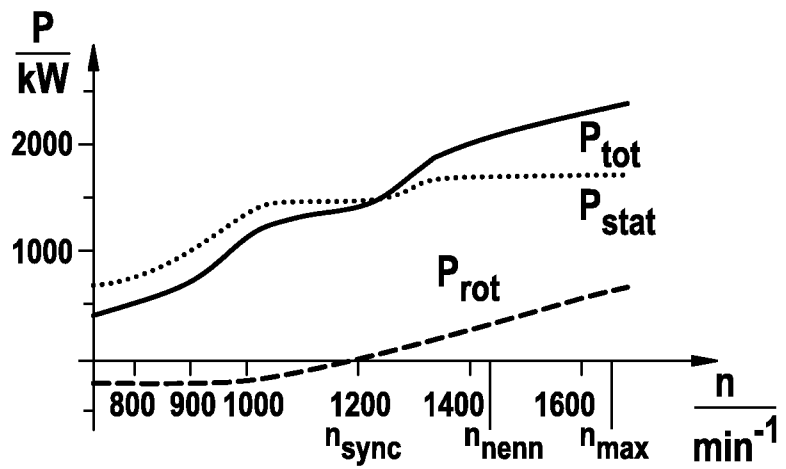


Fig. 1

Fig. 2 a)



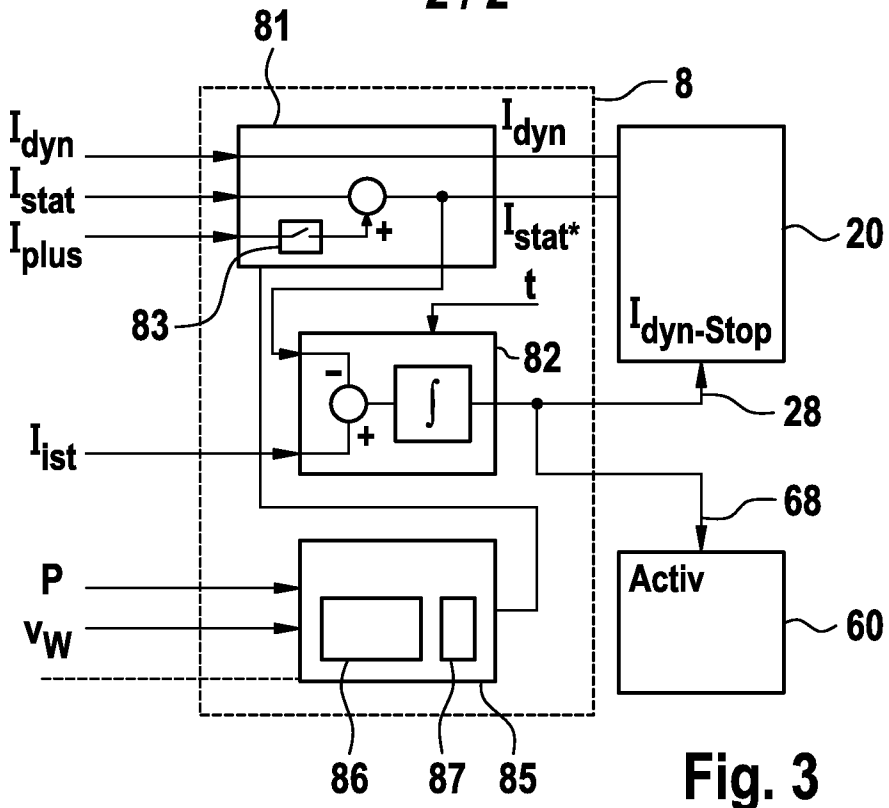


Fig. 3

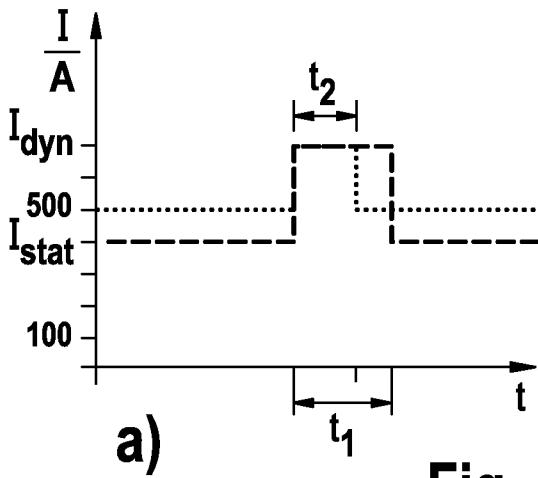


Fig. 4

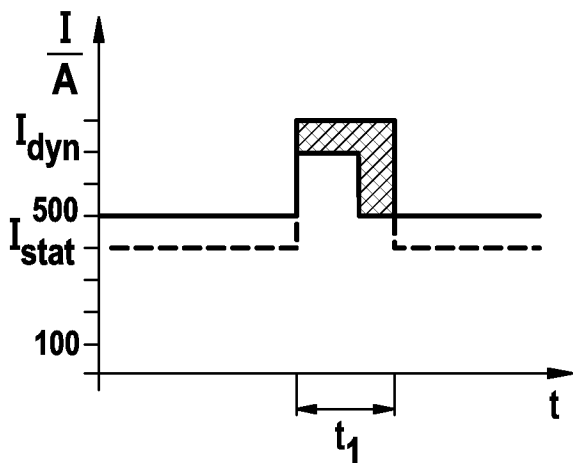
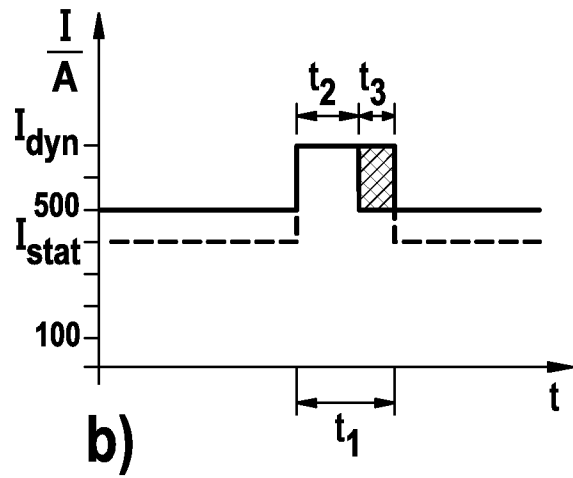


Fig. 5