

(19)



(11)

**EP 4 005 076 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**27.09.2023 Patentblatt 2023/39**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**H02P 29/50<sup>(2016.01)</sup> H02M 1/15<sup>(2006.01)</sup>  
H02M 7/5395<sup>(2006.01)</sup> H02M 7/5387<sup>(2007.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **20764036.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**H02M 1/15; H02P 29/50; H02M 7/5387;  
H02M 7/5395**

(22) Anmeldetag: **18.08.2020**

(86) Internationale Anmeldenummer:

**PCT/EP2020/073080**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

**WO 2021/058199 (01.04.2021 Gazette 2021/13)**

(54) **STROMRICHTER MIT AKTIVER DÄMPFUNG DER ZWISCHENKREISSPANNUNG**

POWER CONVERTER WITH ACTIVE ATTENUATION OF THE INTERMEDIATE CIRCUIT VOLTAGE

CONVERTISSEUR DE COURANT À AMORTISSEMENT ACTIF DE LA TENSION DU CIRCUIT INTERMÉDIAIRE

(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**

(56) Entgegenhaltungen:

**EP-A1- 2 284 986 EP-A1- 2 482 442  
EP-A1- 2 667 503 EP-A1- 3 343 742  
WO-A1-2019/179621 DE-A1-102011 013 247  
US-A1- 2014 247 003 US-A1- 2015 180 356  
US-A1- 2018 331 645**

(30) Priorität: **27.09.2019 EP 19200073**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**01.06.2022 Patentblatt 2022/22**

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft**

**80333 München (DE)**

(72) Erfinder:

- **KÖLLENSPERGER, Peter**  
**90562 Heroldsberg (DE)**
- **NEUGEBAUER, Stephan**  
**91058 Erlangen (DE)**

(74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys**

**Postfach 22 16 34  
80506 München (DE)**

- **CASCONE V ET AL: "DESIGN OF ACTIVE FILTERS FOR DYNAMIC DAMPING OF HARMONIC CURRENTS GENERATED BY ASYNCHRONOUS DRIVES IN MODERN HIGH POWER LOCOMOTIVES", PROCEEDINGS OF THE ANNUAL POWER ELECTRONICS SPECIALISTS CONFERENCE (PESC). TOLEDO, JUNE 29 - JULY 3, 1992; [PROCEEDINGS OF THE ANNUAL POWER ELECTRONICS SPECIALISTS CONFERENCE (PESC)], NEW YORK, IEEE, US, vol. 1, 29 June 1992 (1992-06-29), pages 404-410, XP000369055, DOI: 10.1109/PESC.1992.254852 ISBN: 978-0-7803-0695-0**

**EP 4 005 076 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines steuerbaren Stromrichters mit einem Zwischenkreiskondensator. Ferner betrifft die Erfindung einen steuerbaren Stromrichter mit einer Regelungseinheit zur Durchführung eines derartigen Verfahrens, wobei der steuerbare Stromrichter abschaltbare Halbleiter und einen Zwischenkreiskondensator aufweist.

**[0002]** Ein steuerbarer Stromrichter mit einem Zwischenkreiskondensator dient dazu, eine Gleichspannung am Eingang des Stromrichters, die am Zwischenkreis und damit auch am Zwischenkreiskondensator anliegt, in eine Wechselspannung mit einer vorgebbaren Amplitude und einer vorgebbaren Frequenz umzuwandeln. Dazu verwendet der steuerbare Stromrichter abschaltbare, insbesondere abschaltbare, Halbleiter.

**[0003]** Am Zwischenkreiskondensator liegt dabei im Wesentlichen eine Gleichspannung an. Dieser Gleichspannung kann allerdings, beispielsweise durch eine unsymmetrische Last oder durch ein unsymmetrisches Energieversorgungsnetz eine Wechselspannung überlagert sein. Diese Wechselspannung ist gerade dann störend, wenn damit Resonanzen angeregt werden, da es dann zu einer unzulässigen Belastung von Komponenten kommen kann oder die Regelung des Stromrichters gestört wird. Beides kann zu einer Zerstörung von Komponenten oder zu einem Fehlverhalten im Betrieb des Stromrichters oder einer damit aufgebauten Anlage wie beispielsweise einem Antriebssystem führen.

**[0004]** Im Gegensatz zu einem steuerbaren Stromrichter gibt es auch ungesteuerte Stromrichter wie beispielsweise eine B2- oder B6-Diodenbrücke, die ohne Steuerung oder Regelung eine Wechselspannung in eine Gleichspannung umwandeln können.

**[0005]** Relevanter Stand der Technik für die vorliegende Erfindung ist EP3343742 A1. Diese Druckschrift offenbart einen elektrischen Antrieb und beschäftigt sich mit der Problematik einer Zwischenkreisspannungsschwankung, wobei diese Schwankung durch ein aktives Eingreifen in den Motorstrom reduziert wird.

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen steuerbaren Stromrichter insbesondere hinsichtlich seines Betriebsverhaltens, zu verbessern.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Betreiben eines steuerbaren Stromrichters mit einem Zwischenkreiskondensator, wobei in Abhängigkeit einer am Zwischenkreiskondensator anliegenden Zwischenkreisspannung ein zusätzlicher Leistungsanteil über den steuerbaren Stromrichter derart übertragen wird, dass der für den zusätzlich Leistungsanteil entstehende elektrische Strom durch den steuerbaren Stromrichter einer Schwingung der Zwischenkreisspannung entgegenwirkt wobei der zusätzliche Leistungsanteil in Form eines pulsierenden Zusatzmomentes mittels des steuerbaren Stromrichters an den Motor übertragen wird, wobei der zusätzliche Leistungsanteil nur dann übertragen wird, wenn eine periodische Schwingung der Zwischenkreis-

spannung erkannt wird und diese periodische Schwingung in einem vorgegebenen Frequenzbereich liegt, wobei der vorgegebene Frequenzbereich eine Resonanzfrequenz aus Zwischenkreiskondensator (2) und Motorinduktivität des Motors (3) umfasst. Die Aufgabe wird weiter durch einen steuerbaren Stromrichter mit einer Regelungseinheit eingerichtet zur Durchführung eines derartigen Verfahrens gelöst, wobei der steuerbare Stromrichter abschaltbare Halbleiter und einen Zwischenkreiskondensator aufweist, wobei der Zwischenkreiskondensator als Folienkondensator ausgebildet ist, wobei die Regeleinheit dazu eingerichtet ist,

- 5
- 10
- 15 - den zusätzlichen Leistungsanteil (Padd) nur dann zu übertragen, wenn eine periodische Schwingung der Zwischenkreisspannung (UzK) erkannt wird und diese periodische Schwingung in einem vorgegebenen Frequenzbereich liegt,
- 20 - wobei der vorgegebene Frequenzbereich eine Resonanzfrequenz aus Zwischenkreiskondensator (2) und Motorinduktivität des Motors (3) umfasst.

**[0008]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0009]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich der Betrieb eines Stromrichters verbessern lässt, indem Schwingungen im Zwischenkreis des Stromrichters dadurch beseitigt werden, dass ein zusätzlicher Leistungsanteil über den Stromrichter übertragen wird, der dem Schwingen der Zwischenkreisspannung entgegenwirkt. Diese Schwingungen können sich beispielsweise aufgrund von Resonanzstellen ergeben, die beispielsweise durch den Betrieb des Stromrichters angeregt werden. Üblicherweise werden die Resonanzstellen mit Hilfe von Widerständen bedämpft, um zu große Spannungsschwankungen zu verhindern. Diese Widerstände erhöhen allerdings die Verluste des Stromrichters. Die Widerstände können beispielsweise durch parasitäre ohmsche Verluste des Zwischenkreiskondensators in das System eingebracht werden. Durch die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann dann die Dämpfung im Stromrichter reduziert werden und damit reduzieren sich die Verluste des Stromrichters. Durch den höheren Wirkungsgrad wird der Betrieb des Stromrichters günstiger.

**[0010]** Durch den zusätzlich Leistungsanteil, der über den Stromrichter übertragen wird, entsteht ein Strom im Zwischenkreis des Stromrichters. Dieser Strom, multipliziert mit der Zwischenkreisspannung ergibt die zusätzlich Augenblicksleistung, die über den Stromrichter übertragen wird. Diese zusätzliche Augenblicksleistung wird als zusätzlicher Leistungsanteil bezeichnet. Er wird so gewählt, dass der entstehende Strom über die bekannte Beziehung am Kondensator

$$i = C \cdot \dot{u}$$

der Schwankung der Kondensatorspannung entgegenwirkt. Somit wird durch die Halbleiter des Stromrichters als ein aktives Element zur Dämpfung durch Einprägen einer entsprechenden Augenblicksleistung entgegengewirkt. Ein passives, und damit in seiner Flexibilität starres Element, wie beispielsweise ein Widerstand oder widerstandsbehaftete Schienenelement, ist nicht erforderlich.

**[0011]** Eine konstante Gleichspannung am Zwischenkreis ist wichtig für eine gute Regelung/Steuerung des Stromrichters. Schwingungen in der Zwischenkreisspannung führen oftmals zu einem nur ungenauen Regelverhalten des Stromrichters. Sollwerte wie Spannung, Frequenz an den wechsellspannungsseitigen Anschlüssen des Stromrichters sowie Moment oder Drehzahl eines am Stromrichter angeschlossenen Motors können dann nicht mehr exakt eingehalten werden. Somit können durch das erfindungsgemäße Verfahren Sollwerte an dem Stromrichter oder an Komponenten, die am Stromrichter angeschlossen sind, wie beispielsweise ein Motor oder ein Energieversorgungsnetz, genau als Istwerte eingehalten werden. Es kommt nur zu einer geringen Regelabweichung.

**[0012]** Darüber hinaus hat das erfindungsgemäße Verfahren den Vorteil, dass es einfach auf die jeweiligen Einsatzbedingungen anpassbar ist. Die Anpassung, beispielsweise aufgrund der vorhandenen Resonanzfrequenz, kann auf einfache Weise in der Regelungssoftware erfolgen. Hardwareänderungen sind nicht erforderlich. Somit kann der Stromrichter einfach und kostengünstig an seine technische Umgebung angepasst werden. Eine Anpassung an andere Kombinationen/Ausführungen von Leistungsteilen der Stromrichter ist entweder nicht oder nur per Software-Parametrierung nötig. Bei passiven Elementen wie beispielsweise Widerständen oder einer widerstandsbehafteten Stromschiene muss immer eine individuelle Auslegung erfolgen, welche das technische Umfeld berücksichtigt. Darüber hinaus bietet dieses softwarebasierte Verfahren die Möglichkeit der dynamischen Anpassung an variierende Netzverhältnisse (Impedanzen bei Motor und/oder Energieversorgungsnetz).

**[0013]** Mit anderen Worten besteht der Vorteil des Verfahrens darin, dass zur Dämpfung einer Zwischenkreisspannungsschwingung ein aktives Konzept eingesetzt wird. Die grundlegende Idee ist es dabei, basierend auf einer Ermittlung der Zwischenkreisspannung Resonanzschwingungen zu identifizieren und mit Hilfe eines geeigneten Zusatzmomentes die Energie aus dem Zwischenkreis abzuführen.

**[0014]** Dabei ist der steuerbare Stromrichter mit einem Motor verbunden, wobei der zusätzliche Leistungsanteil in Form eines pulsierenden Zusatzmomentes mittels des steuerbaren Stromrichters an den Motor übertragen wird. Eine besonders positive Anwendung des Verfahrens ergibt sich bei einem elektrischen Antriebssystem, das einen Motor umfasst. Dabei wird der Motor mittels des Stromrichters mit elektrischer Energie versorgt und kann dabei derart gesteuert oder geregelt werden, dass der

zusätzliche Leistungsanteil in Form eines Zusatzmomentes auf den Motor übertragen wird. Das durch den zusätzlichen Leistungsanteil übertragene Zusatzmoment ist im Vergleich zum gewünschten Moment am Motor derart klein, dass der Stromrichter diesen zusätzlichen Leistungsanteil als Drehmoment an den Motor übertragen kann, ohne im Betrieb nennenswerte Nachteile zu erzeugen. Damit kann die Zwischenkreisspannung auf einfache Weise geglättet werden, während sich das Verhalten des elektrischen Antriebssystems nicht merklich verschlechtert. Darüber hinaus sind aufgrund des Verzichts auf Widerstände keine erhöhten Verluste im Motor zu verzeichnen, so dass das elektrische Antriebssystem einen hohen Wirkungsgrad und geringe Betriebskosten aufweist.

**[0015]** Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Zwischenkreiskondensator als Folienkondensator ausgebildet. Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es möglich, Resonanzerscheinungen besser entgegenzutreten zu können und gleichzeitig eine stabile und zuverlässige Regelung des Stromrichters implementieren zu können. Die Resonanzstellen bedürfen dadurch eine deutlich geringere Dämpfung mittels eines passiven Bauelementes wie beispielsweise einem Widerstand. Daher können für einen Stromrichter mit einer derartigen Regelung auch ein Folienkondensator im Zwischenkreis zum Einsatz kommen. Dieser Folienkondensator weist im Gegensatz zu dem heute vielfach verwendeten Elektrolytkondensator einen deutlich geringeren parasitären Widerstand auf. Der Widerstand, auch als ESR bezeichnet, weist dabei bei einem Folienkondensator mit einer Kapazität von 1mF einen Wert von 1m $\Omega$  bis 1,5m $\Omega$  auf. Somit beträgt der ESR eines Zwischenkreiskondensators, der aus einer Parallelschaltung von mehreren Folienkondensatoren aufgebaut ist, bei einer Kapazität von 20mF in etwa 50 $\mu\Omega$  bis 75 $\mu\Omega$ . Diese Werte sind jeweils auf Anwendungen in der Niederspannung (<1000V) bezogen. Negative Auswirkungen wie Spannungsschwankungen oder Beschädigungen/Zerstörungen von Komponenten aufgrund der dann weitaus weniger gedämpften Resonanzstellen können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verhindert werden, wobei gleichzeitig der Stromrichter wegen geringerer Verluste effizienter wird. Dies wirkt sich dann auch positiv auf die Betriebskosten des Stromrichters aus. Mit anderen Worten wird die Verwendung von kostengünstigen und verlustärmeren Folienkondensatoren durch die Anwendung des Verfahrens möglich.

**[0016]** Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Nennspannung des steuerbaren Stromrichters kleiner oder gleich 1000 V, insbesondere gleich 400V. Diese Klasse von Stromrichtern wird auch als Niederspannung oder LowVoltage bezeichnet. Aufgrund der vorhandenen, im Vergleich zu Mittelspannungsanwendungen deutlich größeren Kapazitäten sowie deutlich größeren Netz- bzw. Motorinduktivitäten liegen Resonanzerscheinungen bereits in einem Frequenzbereich zwischen 100Hz und 300Hz vor, während

sie bei Mittelspannungsanwendungen deutlich darüber liegen. Erschwerend kommt hinzu, dass gerade auch die Anregungen bei Niederspannungsanwendungen besonders hoch sind und Resonanzeffekte auslösen können. Das macht die Anwendung von Folienkondensatoren gerade für Niederspannungsanwendungen bisher schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, zumindest ohne weitere Maßnahmen wie eine verlustbehaftete Dämpfung vorzusehen. Durch die Anwendung des Verfahrens hingegen lassen sich nun auch Niederspannungsanwendungen, insbesondere Stromrichter mit einer Nennspannung von 400V, zuverlässig und verlustarm mit Folienkondensatoren betreiben.

**[0017]** Sofern zwei steuerbare Stromrichter vorhanden sind, ein erster steuerbarer Stromrichter zwischen dem Energieversorgungsnetz und dem Zwischenkreis und ein zweiter steuerbare Stromrichter zwischen dem Zwischenkreis und dem Motor, können beide dieser Stromrichter für die Dämpfung von Zwischenkreisspannungsschwankungen herangezogen werden. Damit werden Auswirkungen auf Energieversorgungsnetz sowie Motor gegenüber einer Anwendung mit nur einem steuerbaren Stromrichter weiter reduziert. Die Aufteilung kann dabei beispielsweise aufgrund von geltenden Vorschriften für den Anschluss an das Energieversorgungsnetz oder aus Anforderungen an das Verhalten der Last vorgenommen werden.

**[0018]** Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der zusätzliche Leistungsanteil nur dann übertragen, wenn eine periodische Schwingung der Zwischenkreisspannung erkannt wird und diese periodische Schwingung in einem vorgegebenen Frequenzbereich liegt. Man kann die Schwingungen dahingehend bewerten, ob sie für die Regelung/Steuerung problematisch sind, beispielsweise, da sie als Resonanzstelle eine nur geringe Dämpfung aufweisen, und/oder das Verhalten des Stromrichters nicht oder nur unwesentlich beeinflussen. Für Schwingungen, die den steuerbaren Stromrichter nicht oder nur unwesentlich beeinflussen, kann auf das Beseitigen der Schwingungen verzichtet werden. Die Stellreserve des Reglers bzw. der Steuerung wird dann ausschließlich für die eigentliche Aufgabe, wie beispielsweise die Steuerung eines Antriebssystems bzgl. Drehzahl oder Drehmoment, und auf die störenden Schwingungen im Antriebssystem fokussiert werden. Dies erlaubt, schnell auf störende Schwingungen reagieren zu können, da sie in einem begrenzten Frequenzbereich einfacher und schneller erkannt werden können. Die Regelung wird dadurch besonders stabil und verleiht dem Antriebssystem eine hohe Robustheit und Zuverlässigkeit gegenüber Störungen von außen.

**[0019]** Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der steuerbare Stromrichter Teil eines Antriebssystems, wobei das Antriebssystem ein Energieversorgungsnetz, insbesondere das oben genannte Energieversorgungsnetz, und/oder einen Motor, insbesondere den oben genannten, aufweist, wobei der vorgegebene Frequenzbereich eine Resonanzfrequenz aus Zwi-

schenkreiskondensator und Netzimpedanz des Energieversorgungsnetz und/oder aus Zwischenkreiskondensator und Motorinduktivität des Motors umfasst. In vielen Antriebssystemen treten aufgrund der vorhandenen Netzinduktivitäten, der Motorinduktivitäten und der für den Betrieb des steuerbaren Stromrichters erforderlichen Kapazität des Zwischenkreiskondensators Resonanzerscheinungen, insbesondere in einem Frequenzbereich zwischen 100Hz und 300Hz auf. Diese lassen sich durch das Verfahren auf besonders einfache Weise dämpfen. Dabei hat es sich gezeigt, dass die für den Betrieb von Antrieben zulässigen Netzurückwirkungen durch das Verfahren nicht überschritten werden. Gleichzeitig wirkt sich auch das Zusatzmoment, das sich durch das Verfahren ergibt, wenn der steuerbare Stromrichter den Motor mit Energie speist, nicht störend für die Antriebsaufgabe des Motors aus. Daher ist gerade die Verwendung des Verfahrens für einen elektrischen Antrieb, der einen steuerbaren Stromrichter für die Verbindung mit einem Energieversorgungsnetzes und/oder einen Stromrichter für die Verbindung des Zwischenkreises mit einem Motor vorsieht, besonders vorteilhaft. Es lässt sich damit ein kostengünstiger Antrieb mit einem oder mehreren Folienkondensatoren anstelle von Elektrolytkondensatoren aufbauen und, wie oben bereits beschrieben, kostengünstig betreiben.

**[0020]** Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird zur Erkennung der periodischen Schwingung der Zwischenkreisspannung die Zwischenkreisspannung am Zwischenkreiskondensator und/oder der Strom durch den Zwischenkreiskondensator gemessen. Die Erkennung einer Schwingung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Auf einfache Weise kann die Spannung am Zwischenkreiskondensator gemessen werden. Alternativ oder ergänzend kann auch der Strom durch den Zwischenkreiskondensator gemessen werden und daraus die Spannung am Zwischenkreiskondensator bestimmt werden. Darüber hinaus ist es alternativ oder ergänzend auch möglich, aus Kenntnis des Stromrichterverhaltens und anderen Messgrößen wie beispielsweise einer Netzspannung und/oder Netzströmen des Energieversorgungsnetzes oder auch aus Motorströmen die Spannung am Zwischenkreiskondensator rechnerisch, insbesondere auf Basis eines Rechenmodells, zu bestimmen und damit Schwingungen zu erkennen.

**[0021]** Mit anderen Worten kann anstelle der Zwischenkreis-Spannungsmessung auch der Strom in den Kondensator oder der Strom des Stromrichters, der für die Verbindung mit dem Energieversorgungsnetz oder mit dem Motor vorgesehen ist, als Eingangsgröße für das Filter oder den Regler verwendet werden.

**[0022]** Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Messwerte der Zwischenkreisspannung und/oder des Stroms durch den Zwischenkreiskondensator gefiltert. Damit kann auf einfache Weise das Verfahren auf bestimmte Frequenzbereiche eingeschränkt werden. Darüber hinaus ist es gerade bei der

Verwendung in einem elektrischen Antriebssystem besonders vorteilhaft, Schwingungen, die aufgrund eines ungesteuerten Stromrichters wie beispielsweise einer B2-Diodenbrücke oder B6-Diodenbrücke entstehen, bei der Beseitigung von Schwingungen nicht zu berücksichtigen, also die Schwingungen, die aufgrund eines ungesteuerten Stromrichters wie beispielsweise einer B2-Diodenbrücke oder B6-Diodenbrücke entstehen, bei der Beseitigung von Schwingungen unberücksichtigt zu lassen, da sie prinzipbedingt vorhanden und tolerierbar sind. Eine Beseitigung würde eine zu große Regelreserve des steuerbaren Stromrichters erfordern. Da gleichzeitig durch den ungesteuerten Stromrichter das Antriebssystem besonders kostengünstig herstellbar ist, kann die Kombination von steuerbaren und ungesteuerten Stromrichter in einem Antrieb mit einem Verfahren zur Beseitigung von Schwingungen außerhalb der doppelten oder 6-fachen Netzfrequenz und deren Vielfachen, wie sie bei der Verwendung von Diodenbrücken entstehen, ein besonders gutes, kostengünstiges und zuverlässiges Antriebssystem hergestellt werden.

**[0023]** Die Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

- FIG 1 einen Stromrichter mit Spannungswischenkreis,  
 FIG 2 und 3 jeweils ein elektrisches Antriebssystem,  
 FIG 4 ein Regelungsdiagramm und  
 FIG 5 den Ausschnitt einer Wirkstromregelung.

**[0024]** Die FIG 1 zeigt einen steuerbaren Stromrichter 1 mit einem Zwischenkreiskondensator 2. Der steuerbare Stromrichter 1 wandelt dabei eine Spannung  $U_{ZK}$ , die am Zwischenkreiskondensator 2 anliegt, in eine Wechselspannung um, die an den drei Ausgängen des steuerbaren Stromrichters 1 anliegt. Dazu verwendet der steuerbare Stromrichter 1 Halbleiter 7, die entsprechend geschaltet werden. Durch den Zwischenkreiskondensator 2 fließt der Kondensatorstrom  $i_c$ .

**[0025]** Je nach eingestellten Spannungen wird eine Leistung über den Stromrichter 1 übertragen. Dabei kann zu der für den Betrieb gewünschten Leistung, die beispielsweise ein Moment an einem hier nicht dargestellten Motor bewirkt, ein zusätzlicher Leistungsanteil übertragen werden, der einen Strom  $i_c$  durch den Zwischenkreiskondensator 2 verursacht und eine dort vorhandene Schwankung in der Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$  entgegenwirkt.

**[0026]** Die FIG 2 zeigt als eine typische Anwendung für einen steuerbaren Stromrichters 1 ein Antriebssystem 5. Der Zwischenkreis mit seinem Zwischenkreiskondensator 2 wird dabei über einen Diodengleichrichter 11, auch als Diodenbrücke bezeichnet, aus einem Energieversorgungsnetz 4 mit Energie versorgt. Diese Energie wird weiter über den steuerbaren Stromrichter 1 an einen dort angeschlossenen Motor 3 übertragen. Mit Hilfe des

steuerbaren Stromrichters 1 ist das Verhalten des Motors 3, insbesondere in Hinblick auf sein Moment oder Drehzahl, steuer- oder regelbar. Mit Hilfe des steuerbaren Stromrichters 1 können Schwankungen in der Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$  beseitigt werden, indem ein zusätzlicher Leistungsanteil  $P_{add}$  an den Motor 3 übertragen wird. Dieser zusätzliche Leistungsanteil  $P_{add}$  bewirkt dann im Motor 3 ein zusätzliches Moment. Für eine genauere Beschreibung des steuerbaren Stromrichters wird auf die Beschreibung zur FIG 1 und die dort eingeführten Bezugszeichen verwiesen.

**[0027]** Die FIG 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Antriebssystems 5. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird auf die Beschreibung zur FIG 2 sowie auf die dort eingeführten Bezugszeichen verwiesen. Im Gegensatz zum vorhergehenden Ausführungsbeispiel ist hier anstelle des Diodengleichrichters 11 ein weiterer steuerbarer Stromrichter 1 angeordnet. Mit den nun vorhandenen zwei steuerbaren Stromrichtern 1 kann nun die Dämpfung der Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$  durch beide Stromrichter 1 vorgenommen werden. Dies bewirkt dann je nach Aufteilung auf die beiden Stromrichter 1 Ströme in das Energieversorgungsnetz und ein Zusatzmoment im Motor.

**[0028]** Die FIG 4 zeigt ein vereinfachtes Regelungsdiagramm zur Durchführung des Verfahrens. Ausgehend von einer Spannungserfassung 8 wird der Wert der Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$  an ein Filter 6 übertragen. Das Filter 6 kann dabei die Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$  nur in bestimmten Frequenzbereichen übertragen oder spezielle Frequenzen herausfiltern, um das Verhalten des Verfahrens zum Beseitigen von Spannungsschwankungen zu verbessern. Die Frequenzen können dabei fest vorgegeben werden oder sich in Abhängigkeit von der Motorfrequenz ergeben.

**[0029]** Bei diesem Filter 6 handelt es sich um einen optionalen Bestandteil der Regelung, auf die durchaus verzichtet werden kann, wenn die Dämpfung der Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$  breitbandig erfolgen soll. Verzichtet man auf das Filter 6, so kann die Motorfrequenz  $f_{Mot}$ , wie auch die Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$  direkt dem Regler 9 zugeführt werden. Der Regler 9 bestimmt aus dem Wert der Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$ , direkt oder aus dem gefilterten Signal, den zusätzlichen Leistungsanteil  $P_{add}$ , der vom steuerbaren Stromrichter 1 zur Reduzierung oder Beseitigung der Spannungsschwankung am Zwischenkreiskondensator 2 zu übertragen ist. Die Stromrichterregelung 10 wandelt diese Information wieder in Schaltimpulse für die Halbleiter 7 um. Dabei können die Aufgaben des Reglers 9 und die der Stromrichterregelung 10 in einer Hardwarebaugruppe für die Regelung des Stromrichters 1 vereinigt werden. Teile der Stromrichterregelung 10 zur Regelung der Wirkkomponenten des Stromes durch den steuerbaren Stromrichter 1 zeigt FIG 5. Sowohl das Sollmoment für den Motor 3 des Antriebssystems 5 als auch der zusätzliche Leistungsanteil  $P_{add}$  wird in jeweilige Stromkomponenten  $i_{add}$ ,  $i_{SR,soll}$  umgerechnet. Diese Stromkomponenten

werden addiert und ergeben den Sollwert für den Wirkstrom  $i_{q,soll}$  innerhalb der Stromrichterregelung 10. Die Wirkstromregelung wird dann in bekannter Weise in Steuerimpulse für die Halbleiter 7 des steuerbaren Stromrichters 1 umgesetzt.

**[0030]** Zusammenfassend betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines steuerbaren Stromrichters mit einem Zwischenkreiskondensator. Zur Verbesserung des steuerbaren Stromrichters, insbesondere im Hinblick auf sein Regelverhalten, wird vorgeschlagen, dass in Abhängigkeit einer am Zwischenkreiskondensator anliegenden Zwischenkreisspannung ein zusätzlicher Leistungsanteil über den steuerbaren Stromrichter derart übertragen wird, dass der für den zusätzlich Leistungsanteil entstehende elektrische Strom durch den steuerbaren Stromrichter einer Schwingung der Zwischenkreisspannung entgegenwirkt. Ferner betrifft die Erfindung einen steuerbaren Stromrichter mit einer Regelungseinheit zur Durchführung eines derartigen Verfahrens, wobei der steuerbare Stromrichter abschaltbare Halbleiter und einen Zwischenkreiskondensator aufweist, wobei der Zwischenkreiskondensator als Folienkondensator ausgebildet ist.

**[0031]** Mit anderen Worten betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines steuerbaren Stromrichters mit einem Zwischenkreiskondensator. Zur Verbesserung des steuerbaren Stromrichters, insbesondere im Hinblick auf sein Regelverhalten, wird vorgeschlagen, dass in Abhängigkeit einer am Zwischenkreiskondensator anliegenden Zwischenkreisspannung ein zusätzlicher Leistungsanteil über den steuerbaren Stromrichter derart übertragen wird, dass der für den zusätzlich Leistungsanteil entstehende elektrische Strom durch den steuerbaren Stromrichter einer Schwingung der Zwischenkreisspannung entgegenwirkt, wobei der zusätzliche Leistungsanteil in Form eines pulsierenden Zusatzmomentes mittels des steuerbaren Stromrichters an den Motor übertragen wird.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines steuerbaren Stromrichters (1) mit einem Zwischenkreiskondensator (2), wobei der steuerbare Stromrichter (1) mit einem Motor (3) verbunden ist, wobei in Abhängigkeit einer am Zwischenkreiskondensator (2) anliegenden Zwischenkreisspannung ( $U_{ZK}$ ) ein zusätzlicher Leistungsanteil ( $P_{add}$ ) über den steuerbaren Stromrichter (1) derart übertragen wird, dass der für den zusätzlichen Leistungsanteil entstehende elektrische Strom durch den steuerbaren Stromrichter (1) einer Schwingung der Zwischenkreisspannung ( $U_{ZK}$ ) entgegenwirkt, wobei der zusätzliche Leistungsanteil ( $P_{add}$ ) in Form eines pulsierenden Zusatzmomentes mittels des steuerbaren Stromrichters (1) an den Motor (3) übertragen wird, wobei der Zwischenkreiskondensator (2) als Folienkondensator ausgebildet ist,

wobei der zusätzliche Leistungsanteil ( $P_{add}$ ) nur dann übertragen wird, wenn eine periodische Schwingung der Zwischenkreisspannung ( $U_{ZK}$ ) erkannt wird und diese periodische Schwingung in einem vorgegebenen Frequenzbereich liegt, wobei der vorgegebene Frequenzbereich eine Resonanzfrequenz aus Zwischenkreiskondensator (2) und Motorinduktivität des Motors (3) umfasst.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Nennspannung des steuerbaren Stromrichters (1) kleiner oder gleich 1000 V, insbesondere gleich 400V, ist.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei zur Erkennung der periodischen Schwingung der Zwischenkreisspannung ( $U_{ZK}$ ) die Zwischenkreisspannung ( $U_{ZK}$ ) am Zwischenkreiskondensator (2) und/oder der Strom ( $i_c$ ) durch den Zwischenkreiskondensator (2) gemessen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Messwerte der Zwischenkreisspannung ( $U_{ZK}$ ) und/oder des Stroms ( $i_c$ ) durch den Zwischenkreiskondensator (2) gefiltert werden.
5. Steuerbarer Stromrichter (1) mit einer Regelungseinheit eingerichtet zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der steuerbare Stromrichter (1) abschaltbare Halbleiter und einen Zwischenkreiskondensator (2) aufweist, wobei der Zwischenkreiskondensator (2) als Folienkondensator ausgebildet ist, wobei die Regeleinheit dazu eingerichtet ist,
  - den zusätzlichen Leistungsanteil ( $P_{add}$ ) nur dann zu übertragen, wenn eine periodische Schwingung der Zwischenkreisspannung ( $U_{ZK}$ ) erkannt wird und diese periodische Schwingung in einem vorgegebenen Frequenzbereich liegt,
  - wobei der vorgegebene Frequenzbereich eine Resonanzfrequenz aus Zwischenkreiskondensator (2) und Motorinduktivität des Motors (3) umfasst.

## Claims

1. Method for operating a controllable converter (1) with an intermediate circuit capacitor (2), wherein the controllable converter (1) is connected to a motor (3), wherein an additional power component ( $P_{add}$ ) is transmitted via the controllable converter (1) in dependence on an intermediate circuit voltage ( $U_{ZK}$ ) applied to the intermediate circuit capacitor (2) in such a way that the electric current produced for the additional power component counteracts oscillation of the intermediate circuit voltage ( $U_{ZK}$ ) by means of the controllable converter (1), wherein the additional

power component ( $P_{add}$ ) is transmitted to the motor (3) in the form of a pulsating additional torque by means of the controllable converter (1), wherein the intermediate circuit capacitor (2) is embodied as a film capacitor, wherein the additional power component ( $P_{add}$ ) is only transmitted if a periodic oscillation of the intermediate circuit voltage ( $U_{ZK}$ ) is detected and this periodic oscillation lies in a predetermined frequency range, wherein the predetermined frequency range comprises a resonant frequency from the intermediate circuit capacitor (2) and motor inductance of the motor (3).

2. Method according to claim 1, wherein the nominal voltage of the controllable converter (1) is less than or equal to 1000 V, in particular equal to 400 V.
3. Method according to one of claims 1 or 2, wherein the intermediate circuit voltage ( $U_{ZK}$ ) at the intermediate circuit capacitor (2) and/or the current ( $i_c$ ) through the intermediate circuit capacitor (2) is measured to detect the periodic oscillation of the intermediate circuit voltage ( $U_{ZK}$ )
4. Method according to claim 3, wherein the measured values of the intermediate circuit voltage ( $U_{ZK}$ ) and/or the current ( $i_c$ ) are filtered by the intermediate circuit capacitor (2).
5. Controllable converter (1) with a regulating unit configured to carry out a method according to one of claims 1 to 4, wherein the controllable converter (1) has semiconductors that can be switched off and an intermediate circuit capacitor (2), wherein the intermediate circuit capacitor (2) is embodied as a film capacitor, wherein the regulating unit is configured
  - to only transmit the additional power component ( $P_{add}$ ) if a periodic oscillation of the intermediate circuit voltage ( $U_{ZK}$ ) is detected and this periodic oscillation lies in a predetermined frequency range,
  - wherein the predetermined frequency range comprises a resonant frequency from the intermediate circuit capacitor (2) and motor inductance of the motor (3).

### Revendications

1. Procédé pour faire fonctionner un onduleur (1), qui peut être commandé, ayant un condensateur (2) de circuit intermédiaire, dans lequel l'onduleur (1), qui peut être commandé, est connecté à un moteur (3), dans lequel en fonction d'une tension ( $U_{ZK}$ ) de circuit intermédiaire s'appliquant au condensateur (2) de circuit intermédiaire, on transmet une proportion

( $P_{add}$ ) supplémentaire de puissance par l'intermédiaire de l'onduleur (1), pouvant être commandé, de manière à ce que le courant électrique, créé par la proportion supplémentaire de puissance, dans l'onduleur (1) pouvant être commandé, s'oppose à une oscillation de la tension ( $U_{ZK}$ ) de circuit intermédiaire, dans lequel on transmet au moteur (3) au moyen l'onduleur (1) pouvant être commandé la proportion ( $P_{add}$ ) supplémentaire de puissance sous la forme d'un couple supplémentaire pulsé, dans lequel le condensateur (2) de circuit intermédiaire est constitué sous la forme d'un condensateur à armature, dans lequel on ne transmet la proportion ( $P_{add}$ ) supplémentaire de puissance que si l'on détecte une oscillation périodique de la tension ( $U_{ZK}$ ) du circuit intermédiaire et que si cette oscillation périodique se trouve dans un domaine de fréquence donné à l'avance, dans lequel le domaine de fréquence donné à l'avance comprend une fréquence de résonance du condensateur (2) de circuit intermédiaire et de l'inductance du moteur (3).

2. Procédé suivant la revendication 1, dans lequel la tension nominale de l'onduleur (1), pouvant être commandé, est inférieure ou égale à 1000 V en étant, en particulier égale à 400 V.
3. Procédé suivant l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel, pour la détection de l'oscillation périodique de la tension ( $U_{ZK}$ ) du circuit intermédiaire, on mesure la tension ( $U_{ZK}$ ) du circuit intermédiaire aux bornes du condensateur (2) du circuit intermédiaire et/ou le courant ( $i_c$ ) passant dans le condensateur (2) du circuit intermédiaire.
4. Procédé suivant la revendication 3, dans lequel on filtre les valeurs de mesure de la tension ( $U_{ZK}$ ) du circuit intermédiaire et/ou du courant ( $i_c$ ) passant dans le condensateur (2) du circuit intermédiaire.
5. Onduleur (1), pouvant être commandé, comprenant une unité de régulation agencée pour effectuer un procédé suivant l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'onduleur (1), pouvant être commandé, a des semi-conducteurs pouvant être mis à l'état bloqué et un condensateur (2) de circuit intermédiaire, dans lequel le condensateur (2) de circuit intermédiaire est constitué en condensateur à armature, dans lequel l'unité de régulation est agencée pour
  - ne transmettre la proportion ( $P_{add}$ ) supplémentaire de puissance que si l'on détecte une oscillation périodique de la tension ( $U_{ZK}$ ) du circuit intermédiaire et que si cette oscillation périodique est dans un domaine de fréquence donné à l'avance,
  - dans lequel le domaine de fréquence donné à l'avance comprend une fréquence de résonnan-

ce du condensateur (2) de circuit intermédiaire  
et de l'inductance du moteur (3).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

8



FIG 1

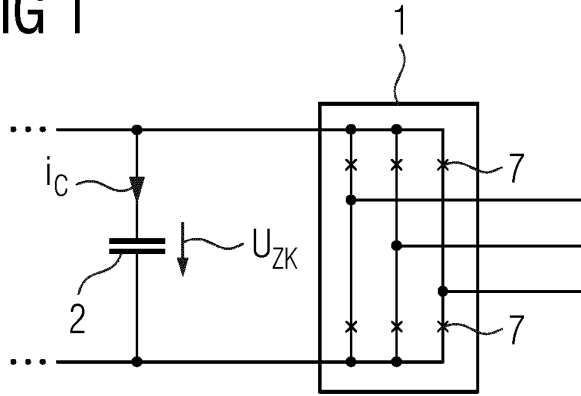


FIG 2

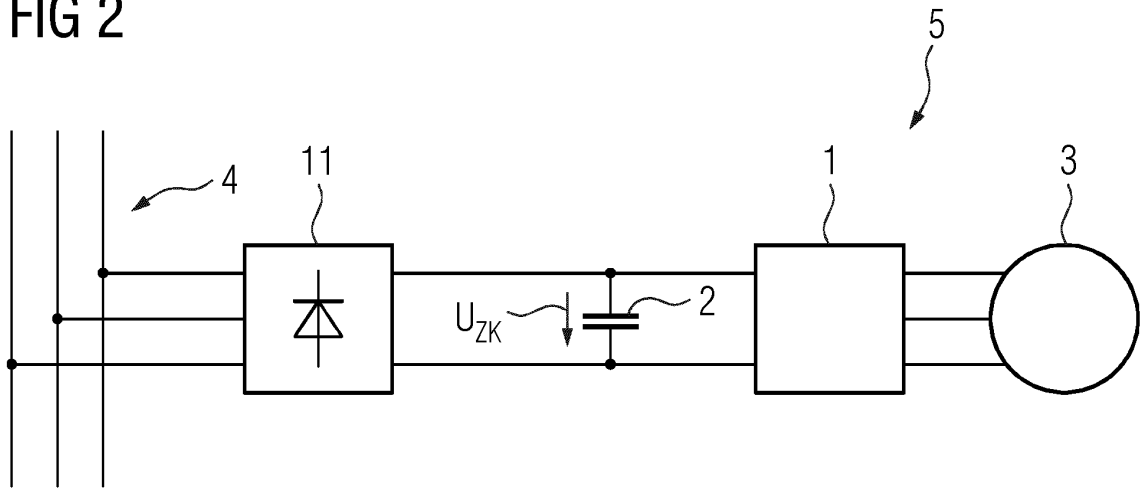


FIG 3

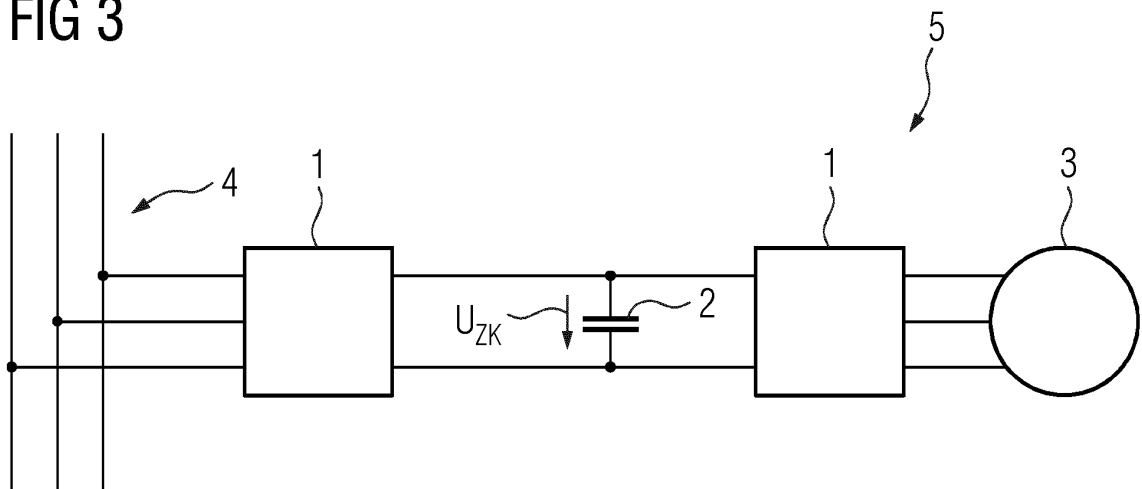


FIG 4

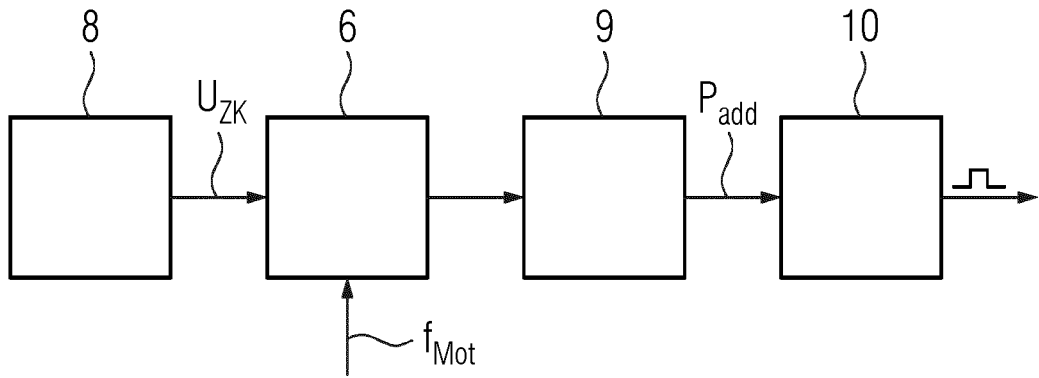
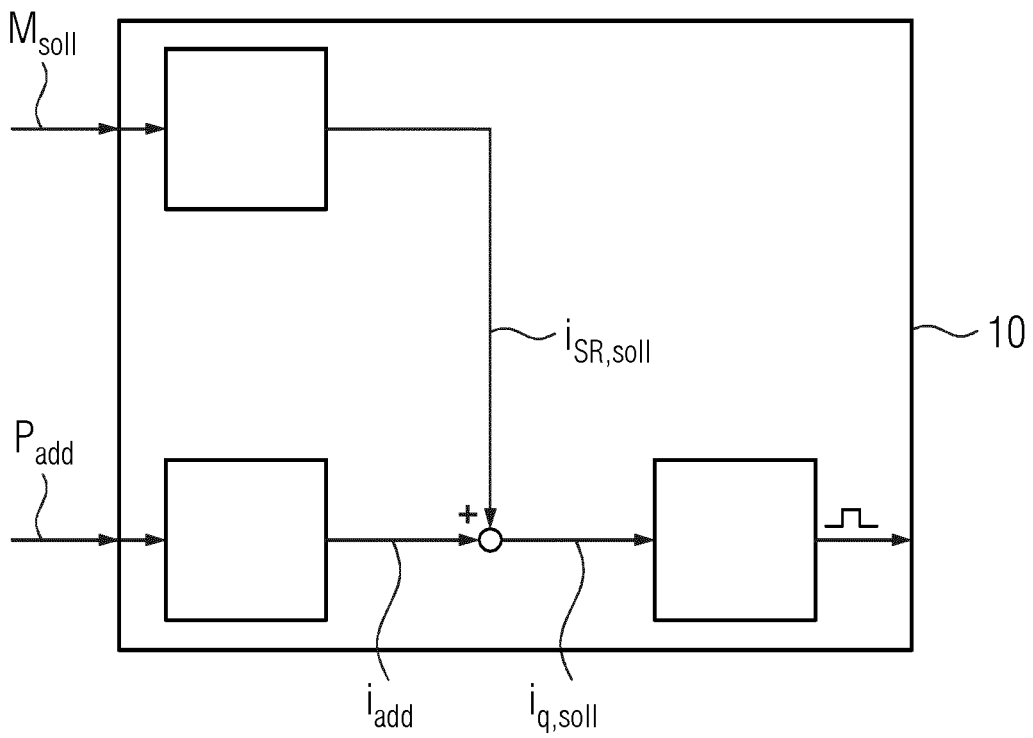


FIG 5



**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 3343742 A1 [0005]