

(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
09. Dezember 2021 (09.12.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/245023 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 3/156 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/064541

(22) Internationales Anmeldedatum:
31. Mai 2021 (31.05.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
20177953.5 03. Juni 2020 (03.06.2020) EP

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München
(DE).

(72) Erfinder: MUHR, Hannes; Feldgasse 26, 2463 Gallbrunn
(AT). DEMOULIN, Harald; Franz Schubertgasse 8, 2340
Mödling (AT). SPANDL, Manfred; Hofstattgasse 24/8,
1180 Wien (AT).

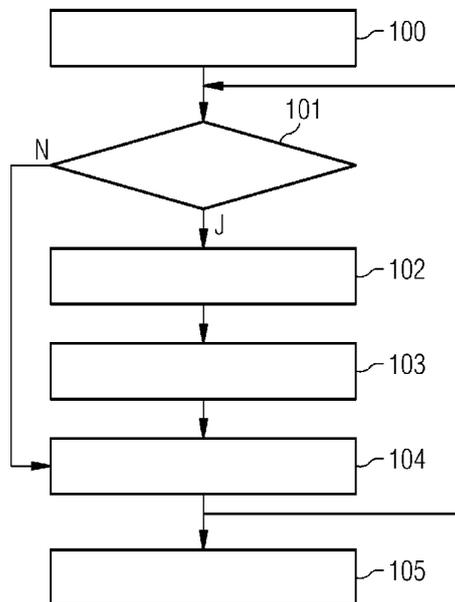
(74) Anwalt: MAIER, Daniel; Siemens Aktiengesellschaft,
Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A DC CONVERTER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG EINES GLEICHSPANNUNGSWANDLER

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling a DC converter (DC) having at least one cycling switch element and converting an input voltage (U_e) into a controlled output voltage (U_a), wherein a control variable (SG) of a controller unit (RE) for controlling the output voltage (U_a) is used to derive (105) a control signal (S) for actuating (AS) the at least one cycling switch element. The DC converter (DC) can adopt at least two different operating states according to the input and output voltage (U_e , U_a) or a transfer ratio between the input and output voltage (U_e , U_a). If a transition or status change (SC) from a first to a second operating state of the at least two different operating states of the DC converter (DC) is established (101), during the established status change (SC), deviations between the control variable (SG) before the respective established status change (SC) and the control variable (SG) after the respective established status change (SC) are determined and stored (102). A respective current correction factor (K) is derived (103) from the determined deviations, which is used (104) to determine a compensated control variable (SG_{comp}). For the compensated control variable (SG_{comp}), the respective current control variable (SG) or a respective current value of the control variable (SG), which is continuously provided by the controller unit (RE), is corrected using the respective current determined correction factor (K), until a more recent status change is established (101).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Gleichspannungswandlers (DC), welcher zumindest ein taktendes Schaltelement aufweist und eine Eingangsspannung (U_e) in eine gezielte Ausgangsspannung (U_a) umwandelt, wobei eine Stellgröße (SG) einer Reglereinheit (RE) zur Regelung der Ausgangsspannung (U_a) dazu verwendet wird, um ein Steuersignal (S) zur Ansteuerung (AS) des zumindest eine taktenden Schaltelements

WO 2021/245023 A1

TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

abzuleiten (105). Der Gleichspannungswandler (DC) kann in Abhängigkeit von der Eingangs- und Ausgangsspannung (U_e , U_a) bzw. einem Übertragungsverhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung (U_e , U_a) zumindest zwei unterschiedliche Betriebszustände annehmen. Wird ein Übergang bzw. Zustandswechsel (SC) von einem ersten auf einen zweiten Betriebszustand der zumindest zwei unterschiedlichen Betriebszustände des Gleichspannungswandlers (DC) festgestellt (101), werden beim festgestellten Zustandswechsel (SC) Abweichungen zwischen der Stellgröße (SG) vor dem jeweils festgestellten Zustandswechsel (SC) und der Stellgröße (SG) nach dem jeweils festgestellten Zustandswechsel (SC) ermittelt und gespeichert (102). Aus den ermittelten Abweichungen wird ein jeweils aktueller Korrekturfaktor (K) abgeleitet (103), welche für die Ermittlung einer kompensierten Stellgröße (SG_{comp}) verwendet wird (104). Für die kompensierte Stellgröße (SG_{comp}) wird die jeweils aktuelle Stellgröße (SG) bzw. ein jeweils aktueller Wert der Stellgröße (SG), welcher von der Reglereinheit (RE) laufend zur Verfügung gestellt wird, unter Verwendung des jeweils aktuell ermittelten Korrekturfaktors (K) korrigiert, bis ein neuerlicher Zustandswechsel festgestellt wird (101).

Beschreibung

Verfahren zur Regelung eines Gleichspannungswandler

5

Technisches Gebiet

Die gegenständliche Erfindung betrifft allgemein das Gebiet der Elektrotechnik, insbesondere den Bereich der Leistungselektronik sowie leistungselektronischer Schaltungen. Im Speziellen bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein Verfahren zur Regelung eines Gleichspannungswandlers, welcher zumindest ein taktendes Schaltelement aufweist und eine Eingangsspannung in eine geregelte Ausgangsspannung umwandelt, wobei eine Stellgröße einer Reglereinheit zur Regelung der Ausgangsspannung dazu verwendet wird, um ein Steuersignal zur Ansteuerung des zumindest eine taktenden Schaltelements abzuleiten. Weiterhin kann der Gleichspannungswandler in Abhängigkeit von der Eingangs- und Ausgangsspannung bzw. einem Übertragungsverhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers zumindest zwei unterschiedliche Betriebszustände annehmen.

Stand der Technik

Heutzutage sind Gleichspannungswandler, auch DC-DC-Wandler genannt, Bestandteil von vielen elektronischen Geräten. DC-DC-Wandler werden auch in vielen Bereichen, wie z.B. Automatisierung des Industriebereichs, Automotivbereich, etc., beim Betrieb von bzw. zur Stromversorgung von vielen elektrischen Produkten (z.B. Steuergeräte, Antrieben, etc.) oder Anlagen eingesetzt.

Ein Gleichspannungswandler bzw. DC-DC-Wandler stellt üblicherweise eine elektrische Schaltung dar, durch welche eine am Eingang anliegende (meist unstabilisierte bzw. schwankende) Gleichspannung (z.B. eine gleichgerichtete Wechselspannung, Gleichspannung aus einem Batteriemodul, etc.) in eine konstante und häufig vorgegebene Gleichspannung am Ausgang (=

Ausgangsspannung) umgewandelt wird. Diese konstante Ausgangsspannung wird von einer Last bzw. einem Verbraucher (z.B. Antrieb, Motor, Steuergerät, etc.) zur Energieversorgung benötigt und kann ein niedrigeres, gleiches, höheres oder gegebenenfalls auch invertiertes Spannungsniveau als die am Eingang zugeführte Spannung bzw. als die Eingangsspannung aufweisen. Die Konstanz der Ausgangsspannung und/oder des Ausgangsstromes zur Versorgung der Last wird dabei durch Steuerung und Regelung des Energieflusses im Wandler bzw. in die Last erzielt. Vor allem im höheren Leistungsbereich geht es primär auch um eine möglichst verlustfreie Konvertierung.

Je nach Erfordernissen gibt es eine Vielzahl an Wandlertopologien für Gleichspannungswandler, welche üblicherweise durch eine geeignete Kombination eines Energiespeichers, insbesondere eines induktiven Energiespeichers (z.B. Spule, Drossel, Transformator), mit aktiven bzw. passiven Schaltelementen (z.B. Halbleiterschaltelemente, Transistoren, Dioden, etc.) realisiert sind. Eine grundlegende Funktionsweise eines Gleichspannungswandler besteht darin, dass eine am Eingang anliegende Gleichspannung durch periodisches Öffnen und Schließen (d.h. durch periodisches Takten) zumindest eines Schaltelements (z.B. Transistor) beispielsweise in eine rechteckförmige Wechselspannung transformiert wird. Durch eine anschließende Filterung (z.B. eine Kombination aus Induktivität und Kapazität) bzw. mit Hilfe eines (meist induktiven) Energiespeichers wird diese Wechselspannung wieder in eine Gleichspannung mit einem zum Eingang abweichenden, vorgegebenen Spannungsniveau am Ausgang des Wandlers zurückgewandelt. Die Energie wird üblicherweise über den Energiespeicherstrom, insbesondere den Strom über die Induktivität, übertragen.

Das Übertragungsverhältnis zwischen Eingangsspannung und Ausgangsspannung und damit die Ausgangsspannung wird dabei üblicherweise von einem Pulsbreitenfaktor bzw. einem Tastverhältnis des zumindest eine taktenden Schaltelements geregelt. Der Pulsbreitenfaktor kann dabei als Division einer Einschaltdauer

er geteilt durch eine Ausschaltdauer des Schaltelements definiert werden. Unter Tastverhältnis des taktenden Schaltelements wird üblicherweise die Einschaltdauer im Verhältnis zur gesamten Periodendauer eines Schaltzyklus des Schaltelements (d.h. zur Summe aus Einschalt- und Ausschaltdauer) verstanden. Der Pulsbreitenfaktor bzw. das Tastverhältnis kann beispielsweise als Stellgröße für die Regelung der Ausgangsspannung verwendet werden, um daraus ein Steuersignal bzw. eine Ansteuerung für das zumindest eine taktende Schaltelement des Gleichspannungswandlers abzuleiten.

Einige Gleichspannungswandlertypen können beispielsweise in Abhängigkeit vom Übertragungsverhältnis zwischen der Eingangs- und der Ausgangsspannung unterschiedliche Betriebszustände annehmen. Ein derartiger Gleichspannungswandler ist z.B. ein sogenannter Tief-Hochsetzsteller, welcher auch als Abwärts-Aufwärtswandler oder Buck-Boost-Konverter bezeichnet wird und - je nach Anwendungsfall - eine Ausgangsspannung größer, gleich und/oder kleiner als eine Eingangsspannung liefern kann. Beim Tief-Hochsetzsteller ist beispielsweise einem Tiefsetzsteller bzw. Buck-Konverter ein Hochsetzsteller bzw. Boost-Konverter nachgeschaltet, wobei sowohl der Tiefsetzstellerteil als auch der Hochsetzstellerteil des Buck-Boost-Konverters zumindest ein taktendes Schaltelement aufweisen können. Beispielhafte Schaltungen eines Buck-Boost-Konverters bzw. Tief-Hochsetzstellers sind z.B. aus den Schriften EP 2 188 886 B1 oder EP 2 479 878 B1 bekannt.

In Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung kann z.B. der Buck-Boost-Konverter in unterschiedlichen Betriebszuständen betrieben werden. Ist beispielsweise die Eingangsspannung wesentlich größer als die Ausgangsspannung, so wird der Tief-Hochsetzsteller meist im so genannten Tiefsetzer- bzw. Buck-Modus betrieben. Im Buck-Modus wird beispielsweise nur das Schaltelement des Tiefsetzstellers geschaltet, während das Schaltelement des Hochsetzstellers konstant ausgeschaltet bleibt. Nimmt eine Differenzspannung zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung des Buck-

Boost-Konverter z.B. aufgrund dynamischer Vorgänge (z.B. Schwankungen der Eingangsspannung und/oder Laständerungen) ab, so wird der Buck-Boost-Konverter üblicherweise im so genannten Mischbetrieb betrieben. D.h. es werden beispielsweise beide Schaltelemente des Buck-Boost-Konverters mit unterschiedlichem Tastverhältnis geschaltet. Weiterhin kann der Buck-Boost-Konverter in einem so genannten Boost-Modus betrieben werden, wenn z.B. die Eingangsspannung unter die Ausgangsspannung sinkt. Im Boost-Modus ist das Schaltelement des Tiefsetzstellers permanent eingeschaltet, während das Schaltelement des Hochsetzstellers getaktet wird. Aus der Schrift US 2020/0091822 A1 ist beispielsweise ein Verfahren für einen nicht-invertierenden Buck-Boost-Konverter mit vier getakteten Schaltelementen bekannt, durch welches automatisch in Abhängigkeit von der Eingangsspannung ein Betriebsmodus bestimmt und die entsprechenden Schaltelemente entsprechend ein- oder ausgeschaltet bzw. aktiviert und deaktiviert werden.

Eine Regelung der Ausgangsspannung bzw. eine Steuerung des Übertragungsverhältnisses zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung eines Gleichspannungswandlers wie z.B. dem Tief-Hochsetzsteller kann beispielsweise durch geeignete Einstellung des Tastverhältnisses eines Steuersignals für das zumindest einen taktenden Schaltelement z.B. mit Hilfe eines übergeordneten Regelkreises erfolgen. Das bedeutet, die Regelung eines Gleichspannungswandlers wie z.B. eines Buck-Boost-Konverters erfolgt üblicherweise durch entsprechende Taktung bzw. durch entsprechendes Ein- und Ausschalten des zumindest einen Schaltelements bzw. der Schaltelemente. Dabei müssen allerdings Einflüsse (z.B. variable bzw. schwankende Eingangsspannung, Laständerungen, Bauteilvarianzen, etc.) berücksichtigt werden.

Weiterhin weisen unterschiedliche Betriebszustände des Gleichspannungswandlers - wie z.B. beim Buck-Boost-Konverter der Buck-Modus, der Mischbetrieb, Boost-Modus, etc. - zumeist unterschiedliche, nicht-lineare Übertragungsfunktionen auf, welche vor allem bei einer optimalen und möglichst verlust-

freien Regelung der Ausgangsspannung z.B. bereits von einer Reglereinheit des übergeordneten Regelkreises berücksichtigt werden müssen. Dabei können speziell an den Übergängen zwischen den unterschiedlichen Betriebszuständen – beim Buck-Boost-Konverter z.B. vom Buck-Modus auf den Mischbetrieb oder umgekehrt – Unstetigkeiten auftreten, welche – abhängig vom jeweiligen Einsatzfall – periodische Schwingungen im Regelkreis bedingen können, welche nachteilige Auswirkungen auf das Gesamtsystem – d.h. Gleichspannungswandler und übergeordneten Regelkreis – haben können.

Ein Möglichkeit, die Eigenschaften des übergeordneten Regelkreises zu verbessern, stellt beispielsweise ein Einsatz von so genannte Kompensatoren dar, welche z.B. die durch den Gleichspannungswandler als Regelstrecke in den Regelkreis eingebrachten Nicht-Linearitäten im Anschluss an die Reglereinheit kompensieren. Dabei können z.B. für die jeweiligen Betriebszustände des Gleichspannungswandlers unterschiedliche Kompensatoren eingesetzt werden. Der Einsatz von Kompensatoren hat allerdings den Nachteil, dass vor allem beim Übergang zwischen den unterschiedlichen Betriebszuständen – d.h. bei einem Betriebszustandswechsel – des Gleichspannungswandlers weiterhin und/oder zusätzlich Unstetigkeiten auftreten. Diese Unstetigkeiten werden beispielsweise durch produktionstechnische Varianzen in der Ansteuer Elektronik (z.B. Reglereinheit, Kompensatoren) und der Regelstrecke (d.h. im Gleichspannungswandler) hervorgerufen. Insbesondere kann auch die unstetige Gesamtübertragungsfunktion des Gleichspannungswandlers, welche durch die unterschiedlichen, meist nicht-linearen Übertragungsfunktionen der unterschiedlichen Betriebszustände gebildet wird, nur schwer bzw. nicht vollkommen analytisch erfasst werden. Damit können sich z.B. Sprünge in der Stellgröße ergeben, welche zur Regelung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers herangezogen wird. Diese Sprünge können unterschiedlichste negative Auswirkungen auf die Eigenschaften (z.B. Wirkungsgrad, mechanische Schwingungen im hörbaren Bereich, etc.) des Gesamtsystems – d.h. Gleichspannungswandler und übergeordneten Regelkreis – haben.

Aus der Schrift US 2016/0248325 A1 ist ein DC-DC-Wandler mit vier Schaltelementen bekannt, welcher je nach Taktung der vier Schaltelementen im Tiefsetzer- oder im Hochsetzer-Modus arbeiten kann. Die Schaltelemente werden dazu jeweils über
5 eines der zwei pulsweiten modulierten Signale entsprechend angesteuert, welche über eine Steuereinheit mit zwei Reglereinheiten zur Verfügung gestellt werden. Dabei wird ein Proportionalitätsfaktor der Reglerfunktion der zweiten Reglereinheit in Abhängigkeit vom Betriebsmodus des DC-DC-
10 Wandlers analog angepasst.

Aus der Schrift Hyeon-Seok, Lee et al.: „High-Efficiency Bidirectional Buck-Boost Converter for Photovoltaic and Energy Storage Systems in a Smart Grid“, IEEE Transactions on
15 Power Electronics, Vol. 34, No. 5, Seiten 4316 - 4328, Mai 2019. ist ein bidirektionaler Buck-Boost-Konverter mit vier getakteten Schaltelementen bekannt, welcher je nach Richtung des Energietransfers im Tiefsetzer-, Misch- oder Hochsetzerbetrieb arbeiten kann, und bei welchem die Schaltelemente
20 mittels PWM-Steuersignalen entsprechend dem jeweiligen Betriebsmodus angesteuert werden. Dabei wird für den jeweiligen Betriebsmodus ein Hauptschaltelement sowie mittels Spannungsregelung eine zum Hauptschaltelement zugehörige, relative Einschaltdauer. Von dieser Einschaltdauer werden dann die
25 Einschaltdauern der anderen Schaltelemente des Buck-Boost-Konverters für den jeweiligen Betriebsmodus abgeleitet. Weiterhin ist eine Hysterese-Steuerung vorgesehen, von welcher für einen glatten Übergang zwischen den Betriebsmodi unterschiedliche Spannungsverstärkungen verwendet werden.

30

Weiterhin ist aus der Schrift Yaow-Ming, Chen et al.: „Progressive smooth transition for four-switch-buck-boost converter in photovoltaic applications“, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Seiten 3620-3625, September 2011. ein
35 Verfahren bekannt, welches einen Übergang zwischen unterschiedlichen Betriebsmodi eines Buck-Boost-Konverters mit vier Schaltelementen eines Photovoltaik-Systems beschreibt. Dabei wird in Abhängigkeit von jeweiligen Betriebsmodus -

d.h. Tiefsetzer-Modus, Hochsetzer-Modus sowie Mischbetrieb in einen entsprechenden Übergangsbereich zwischen Tief- und Hochsetzer-Modus - und von einer Spannungsverstärkung anhand einer Tabelle ein Vorgabewert für die jeweilige Einschaltdauer der Schaltelemente vorgegeben, durch welchen im Übergangsbereich zwischen Tief- und Hochsetzer-Modus eine lineare Regelung erreicht wird.

Darstellung der Erfindung

10

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung eines Gleichspannungswandlers mit zumindest einem taktenden Schaltelement anzugeben, durch welches auf einfache Weise eine weitere Verbesserung des Verhaltens des Gesamtregelkreises, insbesondere bei Übergängen zwischen unterschiedlichen Betriebszuständen des Gleichspannungswandlers, erzielt und negative Auswirkungen durch Unstetigkeiten, etc. reduziert werden.

20

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß dem unabhängigen Anspruch gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

25

Erfindungsgemäß erfolgt die Lösung der Aufgabe durch ein Verfahren zur Regelung eines Gleichspannungswandlers mit zumindest einem taktenden Schaltelement, von welchem eine zumeist unstabilisierte Eingangsspannung in einen geregelte Ausgangsspannung umgewandelt wird. Dabei wird eine Stellgröße einer Reglereinheit zur Regelung der Ausgangsspannung dazu verwendet, ein Steuersignal für einen Ansteuerung des zumindest einen taktenden Schaltelements des Gleichspannungswandlers abzuleiten. Weiterhin kann der Gleichspannungswandler in Abhängigkeit von der Eingangs- und Ausgangsspannung bzw. von einem Übertragungsverhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung zumindest zwei oder mehrere unterschiedliche Betriebszustände annehmen.

Für das erfindungsgemäßen Regelungsverfahren eines Gleichspannungswandlers ist weiterhin vorgesehen, dass ein Übergang von einem aktuellen Betriebszustand des Gleichspannungswandlers (z.B. Tiefsetzer-Modus bei einem Buck-Boost-Konverter) in einen anderen, neuen Betriebszustand (z.B. Mischbetrieb bei einem Buck-Boost-Konverter) der zumindest zwei unterschiedlichen Betriebszustände des Gleichspannungswandlers erkannt wird. D.h. ein Zustandswechsel von einem aktuellen, ersten Betriebszustand auf einen anderen, weiteren bzw. zweiten Betriebszustand der unterschiedlichen Betriebszustände des Gleichspannungswandlers wird anhand der jeweils aktuellen Eingangs- und Ausgangsspannung festgestellt. Bei diesem Zustandswechsel werden Abweichungen des Wertes der Stellgröße nach dem Zustandswechsel vom Wert der Stellgröße vor dem Zustandswechsel bestimmt und abgespeichert. D.h., es wird die z.B. sprunghafte Veränderung der Stellgröße beim Zustandswechsel z.B. aufgrund der unstetigen Gesamtübertragungsfunktion des Gesamtregelkreises ermittelt und die Abweichungen der Stellgröße von einer idealen Kennlinie der Gesamtübertragungsfunktion (d.h. ohne „Sprung“ der Stellgröße beim jeweiligen Zustandswechsel) aufgezeichnet. Aus den ermittelten und gespeicherten Abweichungen wird dann ein jeweils aktueller Korrekturfaktor ermittelt, welche für die Ermittlung einer kompensierten Stellgröße verwendet wird. Dazu wird die jeweils aktuelle Stellgröße bzw. ein jeweils aktueller Wert der Stellgröße, welcher von der Reglereinheit zur Verfügung gestellt wird, unter Verwendung des jeweils aktuell ermittelten Korrekturfaktors laufend korrigiert, bis ein neuerlicher Zustandswechsel festgestellt wird.

30

Der Hauptaspekt der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Lösung besteht darin, dass bei einem Zustandswechsel eines Gleichspannungswandlers von einem Betriebszustand auf einen anderen Betriebszustand Abweichungen der Stellgröße von einer optimalen bzw. idealen Kennlinie (d.h. ohne „Sprünge“ bzw. Unstetigkeiten) bestimmt werden. In der Folge wird die Stellgröße laufend korrigiert und damit an die optimale bzw. ideale Kennlinie der Gesamtübertragungsfunktion des Regelkreises

35

bzw. an die Übertragungsfunktion des aktuellen Betriebszustands des Gleichspannungswandlers nach dem Zustandswechsel angepasst. Dies hat eine Verbesserung des Verhaltens des Gesamtregelkreises – zumindest umfassend die Reglereinheit und
5 des Gleichspannungswandler als Regelstrecke – zur Folge, da die Regelung mit einer geringeren Anzahl an störenden Regelgrößen (z.B. Unstetigkeiten, produktionstechnische Varianzen der Bauteile, etc.) beaufschlagt wird. Weiterhin sorgt eine verbesserte Regelung des Gleichspannungswandler bzw. der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers auch für einen Verbesserung des Wirkungsgrads. Zusätzlich können beispielsweise störende mechanische Schwingungen, insbesondere im hörbaren Bereich, und/oder akustische Auswirkungen einer periodischen Netzspannung (z.B. bei einem netzgeführten Betrieb) reduziert
10 und/oder vermieden werden.

Idealerweise wird für die Ermittlung des jeweils aktuellen Korrekturfaktors eine Filterung vorgenommen, um eine bessere Anpassung der jeweils aktuellen Stellgröße an die Übertragungsfunktion des jeweils aktuellen Betriebszustand des Gleichspannungswandlers zu ermöglichen. Dazu wird eine vorgegebene Anzahl an Abweichungen verwendet, welche für einen gleichartigen Zustandswechsel wie den aktuell festgestellten Zustandswechsel ermittelt und gespeichert wurden. D.h., es
20 werden beispielsweise die Abweichungen für auftretenden Zustandswechsel von einem ersten Betriebszustand des Gleichspannungswandlers (z.B. Buck-Modus) auf einen zweiten Betriebszustand des Gleichspannungswandlers (z.B. Mischbetrieb) ermittelt und gespeichert. Tritt wieder ein derartiger Zustandswechsel auf, wird eine vorgegebenen Anzahl der zuletzt
25 gespeicherten Abweichungen für die Ermittlung des entsprechenden Korrekturfaktors verwendet.

Bei der Verwendung einer vorgegebenen Anzahl an für einen Zustandswechsel ermittelten Abweichungen ist es günstig, wenn
35 für die Ermittlung des Korrekturfaktors beispielsweise ein arithmetisches Mittel oder ein gewichtetes arithmetisches Mittel aus den ermittelten Abweichungen gebildet wird. Der

Korrekturfaktor kann dann z.B. als Mittelwert aus der vorgegebenen Anzahl an den ermittelten Abweichungen bestimmt werden, um z.B. Ungenauigkeiten und/oder statische Abweichungen bei der Ermittlung der Abweichungen auszugleichen. Alternativ
5 oder zusätzlich, können die gespeicherten Abweichungen z.B. auch je nach Ermittlungszeitpunkt gewichtet werden. So können beispielweise früher ermittelte und gespeicherte bzw. ältere Abweichungen mit einer niedrigeren Gewichtung versehen werden als aktueller bzw. neuer Abweichungen des jeweiligen Zu-
10 standswechsel. Aus der Anzahl an entsprechende gewichteten Abweichungen kann für den Korrekturfaktor z.B. ein gewichteter arithmetischer Mittelwert berechnet werden, in welchen z.B. ältere Abweichungen weniger einfließen als neuer Abweichungen.

15

Alternativ kann es auch günstig sein, wenn als Filterung bei der Ermittlung des Korrekturfaktors aus einer vorgegebenen Anzahl an ermittelten Abweichungen für gleichartige Zustandswechsel beispielsweise eine Tiefpass-Filterung eingesetzt
20 wird. Durch eine Tiefpass-Filterung können z.B. sehr einfach z.B. fehlerhaft ermittelte Abweichungen oberhalb eines vorgegebenen Grenzwertes weggefiltert werden. Für die Umsetzung der Filterung können beispielsweise so genannte Infinite Impuls Response-Filter (IIR-Filter) eingesetzt werden, welche
25 sehr einfach sehr einfach z.B. in digitalen Signalprozessoren oder in digitaler Hardware (z.B. FPGAs, ASICs, etc.) realisiert werden können.

Es ist weiterhin vorteilhaft, wenn der Korrekturfaktor für
30 die Ermittlung der kompensierten Stellgröße zumindest einen Offset-Wert und/oder Parameter für eine Anpassung an eine optimale Übertragungsfunktion des jeweils aktuellen Betriebszustands des Gleichspannungswandler umfasst. Auf diese Weise kann die von der Reglereinheit aktuell gelieferte Stellgröße
35 optimal - d.h. entsprechend der jeweiligen Übertragungsfunktion des jeweiligen Betriebszustands - korrigiert werden. Die einfachste Form des Korrekturfaktors umfasst beispielsweise nur einen Offset-Wert, welcher für die Bildung der kompen-

sierten Stellgröße z.B. zur jeweils aktuellen Stellgröße adaptiert wird. Für eine bessere bzw. genauere Korrektur der von der Reglereinheit aktuell gelieferten Stellgröße kann der Korrekturfaktor z.B. auch Parameter für eine Anpassung der Stellgröße an eine Steigung und/oder Krümmung der Übertragungsfunktion des jeweils aktuellen Betriebszustands des Gleichspannungswandlers umfassen. Dadurch können beispielsweise weitere Verbesserung im Regelkreisverhalten – vor allem bei Übergängen zwischen Betriebszuständen des Gleichspannungswandlers – erzielt werden.

Ein zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass für eine Durchführung des erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens ein Analysemodul eingesetzt wird. Dieses Analysemodul ist dazu eingerichtet, anhand zumindest der Eingangsspannung und der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers Übergänge zwischen Betriebszuständen des Gleichspannungswandlers bzw. Zustandswechsel zur erkennen. Weiterhin wird dem Analysemodul von der Reglereinheit die jeweils aktuelle Stellgröße als Eingangsparameter zur Verfügung gestellt.

Idealerweise weist das Analysemodul zumindest eine Analysekomponente und eine Kompensationskomponente auf. Von der Analysekomponente werden beispielsweise Zustandswechsel erkannt und die Abweichungen der Stellgröße vor und nach dem jeweiligen Zustandswechsel ermittelt und analysiert. Weiterhin kann die Analysekomponente die ermittelten Abweichungen speichern, wobei die Speicherung z.B. in einer externen oder internen Speichereinheit erfolgen kann oder als Cloudbasierte Lösung ausgestaltet sein kann. Zusätzlich wird von der Analysekomponente der jeweils aktuelle Korrekturfaktor ermittelt und der Kompensationskomponente zur Verfügung gestellt. Von der Kompensationskomponente wird dann beispielsweise aus der jeweils aktuell von der Reglereinheit zur Verfügung gestellten Stellgröße und dem jeweils aktuellen Korrekturfaktor die kompensierte Stellgröße für die Ansteuerung des Gleichspannungswandlers bzw. des zumindest einen zugehörigen Schaltelements ermittelt.

Es ist dabei günstig, wenn das Analysemodul als digitale Schaltung unter Verwendung eines Mikrokontrollers bzw. in einem Mikrokontroller realisiert ist. In die digitale Schaltung kann beispielsweise die Reglereinheit und gegebenenfalls für die unterschiedlichen Betriebszustände des Gleichspannungswandlers verwendete Kompensatoren integriert sein. Das Analysemodul und die Reglereinheit mit den gegebenenfalls verwendeten Kompensatoren können beispielsweise in getrennten Mikrokontrollern oder in einem gemeinsamen Mikrokontroller realisiert sein.

Es ist von Vorteil, wenn als Stellgröße, welche von der Reglereinheit zur Verfügung gestellt wird, ein Tastverhältnis des zumindest einen Schaltelements verwendet wird. Durch eine Regelung des Tastverhältnisses bzw. einer Einschaltdauer des zumindest einen taktenden Schaltelements des Gleichspannungsreglers kann auf einfache Weise das Übertragungsverhältnis zwischen Eingangsspannung und Ausgangsspannung und damit die Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers geregelt werden. Insbesondere wenn als Stellgröße das Tastverhältnis des zumindest einen taktenden Schaltelements verwendet wird, kann sehr einfach von der jeweiligen kompensierten Stellgröße das Steuersignal für das zumindest eine taktende Schaltelement des Gleichspannungswandlers für den jeweils aktuellen Betriebszustand abgeleitet werden. Dabei gibt das Steuersignal dem zumindest einen Schaltelement die jeweils für den aktuellen Betriebszustand passenden Ein- und Ausschaltimpulse vor. Für die Ableitung des Steuersignals kann beispielsweise die so genannte Pulsweitenmodulation verwendet werden.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass als Reglereinheit zur Regelung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers ein Spannungsregler mit einer unterlagerten Stromregelung verwendet wird. Insbesondere wird von der Reglereinheit als Regelmethode die so genannte Average Current Mode Control eingesetzt. Dabei gibt ein Spannungsregler auf Basis eines Ist- und Sollwertes z.B. der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers einem untergeordneten

Stromregler einen mittleren Stromsollwert beispielsweise für einen Mittelwert eines Stroms durch den induktiven Energiespeicher (z.B. die Induktivität bzw. Drossel) des Gleichspannungswandlers vor. Vom untergeordneten Stromregler wird dann
5 der Strom z.B. durch den induktiven Energiespeichers des Gleichspannungswandlers mittelbar oder unmittelbar erfasst und die Stellgröße erzeugt, welche zum Generieren des Steuerungssignals für das zumindest eine Schaltelement verwendet wird.

10 **Kurzbeschreibung der Zeichnung**

Die Erfindung wird nachfolgend in beispielhafter Weise anhand der beigefügten Figuren erläutert. Es zeigen:

15 Figur 1 in schematischer und beispielhafter Weise ein System zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung eines Gleichspannungswandlers mit unterschiedlichen Betriebszuständen

20 Figur 2 beispielhaft eine Anlauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung eines Gleichspannungswandlers

Ausführung der Erfindung

25 Figur 1 zeigt schematisch und beispielhaft ein System bzw. einen Gesamtregelkreis zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Regelung eines Gleichspannungswandlers DC, welcher zumindest ein taktendes Schaltelement aufweist, um eine meist ungestabilisierte Eingangsspannung U_e in eine geregelte Ausgangsspannung U_a umzuwandeln. In Abhängigkeit von
30 der Eingangsspannung U_e und der Ausgangsspannung U_a bzw. einem Übertragungsverhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung U_e , U_a kann der Gleichspannungswandler (z.B. ein Tief-Hochsetzer) zumindest zwei unterschiedliche Betriebszustände (z.B. Buck-Modus, Mischbetrieb, Boost-Modus) annehmen
35 kann, wobei diese Betriebszustände üblicherweise unterschiedliche, meist nicht-lineare Übertragungsfunktionen aufweisen. Daraus ergibt sich beispielsweise eine nicht-lineare Gesamt-

übertragungsfunktion, welche vor allem bei Übergängen zwischen den Betriebszuständen Unstetigkeiten aufweist.

Für die Regelung der Ausgangsspannung U_a z.B. auf einen vorgebbaren Sollwert $U_{a,soll}$ wird das zumindest eine Schaltelement des Gleichspannungswandlers DC mittels eines Steuersignals S angesteuert. Das Steuersignal S - z.B. ein pulsweitenmodulierter und/oder frequenzmoduliertes Steuersignal - wird beispielsweise mittels einer Ansteuerung AS aus einer von einer Reglereinheit RE zur Verfügung gestellten Stellgröße SG abgeleitet. Als Stellgröße SG kann beispielsweise ein Tastverhältnis (d.h. ein Verhältnis einer Einschaltdauer zur einer Periodendauer eine Schaltzyklus bestehend aus einem Einschalten und einem Ausschalten des Schaltelements) des zumindest einen Schaltelements des Gleichspannungswandlers DC verwendet werden. Bei einem Tief-Hochsetzsteller, welcher beispielsweise zumindest zwei Schaltelemente (z.B. ein Schaltelement im Tiefsetzerteil und ein Schaltelement im Hochsetzerteil) aufweisen kann, die Tastverhältnisse der zumindest zwei Schaltelemente entsprechend geregelt.

Als Regelmethode kann beispielsweise die so genannte genannten Average Current Mode Control verwendet werden. Dabei wird eine Reglereinheit RE eingesetzt, welche z.B. als Spannungsregler mit einer unterlagerten Stromregelung ausgestaltet ist. Es wird einem untergeordneten Stromregler von einem Spannungsregler z.B. auf Basis eines vorgebbaren Sollwerts $U_{a,soll}$ und der aktuellen Ausgangsspannung U_a des Gleichspannungswandlers DC ein mittlerer Stromsollwert - beispielsweise für einen Mittelwert eines Stroms durch den induktiven Energiespeicher (z.B. Induktivität, Drossel, etc.) - vorgegeben. Vom untergeordneten Stromregler wird dann ein Strom, wie z.B. der Strom durch den induktiven Energiespeicher des Gleichspannungswandlers, mittelbar oder unmittelbar erfasst und daraus die Stellgröße SG ermittelt.

Im Anschluss an die Reglereinheit RE können im Regelkreis eine oder mehrere Kompensatoren $COMP1$, $COMP2$, $COMP3$ vorgesehen

sein. Die Kompensatoren COMP1, COMP2, COMP3 können die durch die Regelstrecke bzw. den Gleichspannungswandler DC eingebrachten Nichtlinearitäten und Abweichungen von der Übertragungsfunktion eines Betriebszustands kompensieren. Dabei kann
5 in Abhängigkeit vom jeweiligen Betriebszustand des Gleichspannungswandlers DC ein eigener Kompensator COMP1, COMP2, COMP3 zur Anwendung kommen, durch welche die Stellgröße SG z.B. an eine Übertragungsfunktion des jeweiligen Betriebszustands des Gleichspannungswandlers DC angepasst und dadurch
10 die Regelkreiseigenschaften verbessert werden.

Für eine Durchführung des erfindungsgemäßen Regelverfahrens, welches in der Folge anhand von Figur 2 näher erläutert wird, ist im Regelkreis weiterhin ein Analysemodul AM vorgesehen,
15 welchem von der Reglereinheit RE bzw. vom für den jeweiligen Betriebszustand verwendeten Kompensator COMP1, COMP2, COMP3 die jeweils aktuelle Stellgröße SG bzw. deren Wert zugeführt wird. Weiterhin ist das Analysemodul AM dazu eingerichtet, auf Basis der Eingangsspannung U_e und auf Basis der Ausgangs-
20 spannung U_a einen Zustandswechsel SC des Gleichspannungswandlers DC zu erkennen. Ein Zustandswechsel SC bezeichnet dabei einen Übergang von einem ersten bzw. jeweils aktuellen Betriebszustand des Gleichspannungswandlers DC auf einen zweiten bzw. anderen, neuen Betriebszustand des Gleichspannungswandlers DC. Die Zustandswechsel SC in Figur 1 sind beispielhaft bzw. symbolisch durch einen Schalter dargestellt.
25

Das Analysemodul AM kann beispielsweise als digitale Schaltung unter Verwendung eines Mikrokontrollers bzw. in einem
30 Mikrokontroller realisiert sein. In diese digitale Schaltung können z.B. auch die Reglereinheit RE und gegebenenfalls vorhandene Kompensatoren COMP1, COMP2, COMP3 integriert sind. Alternativ können die Reglereinheit RE und die gegebenenfalls vorhandenen Kompensatoren COMP1, COMP2, COMP3 auch als eigene
35 digitale Schaltung (z.B. Mikrokontroller, etc.) ausgeführt sein.

Weiterhin weist das Analysemodul AM zumindest eine Analysekomponente SCA und eine Kompensationskomponente SCC auf. Die Analysekomponente SCA kann beispielsweise anhand der Eingangs- und Ausgangsspannung U_e , U_a einen Zustandswechsel SC
5 zwischen Betriebszuständen des Gleichspannungswandlers DC erkennen. Weiterhin kann die Analysekomponente SCA für einen festgestellten Zustandswechsel SC Abweichungen der Stellgröße SG (bzw. des Stellgrößenwerts) vor dem Zustandswechsel SC und der Stellgröße SG (bzw. des Stellgrößenwerts) nach dem Zu-
10 standswechsel SC ermitteln. D.h. von der Analysekomponente AM wird der „Sprung“ der Stellgröße SG beim Zustandswechsel SC bestimmt, welcher aufgrund des Wechsels von der Übertragungsfunktion des ersten bzw. aktuellen Betriebszustands auf die Übertragungsfunktion des zweiten bzw. neuen Betriebszustands
15 beim Zustandswechsel auftritt. Die ermittelten Abweichungen können von der Analysekomponenten SCA z.B. in einer internen oder externen Speichereinheit oder cloud-basiert beispielsweise gemeinsam mit dem jeweiligen Zustandswechsel abgespeichert werden. Auf Basis der ermittelten Abweichungen kann von
20 der Analysekomponente SCA dann ein für den festgestellten Zustandswechsel aktueller Korrekturfaktor K ermittelt werden. Dabei können beispielsweise unterschiedliche Filterungen angewendet werden, um z.B. einen verbesserten Korrekturfaktor K zu erhalten bzw. um z.B. fehlerhafte

25

Der Kompensationskomponente SCC des Analysemoduls AM wird dann der jeweils aktuell Korrekturfaktor K von der Analysekomponente zur Verfügung gestellt. Die Kompensationskomponente ermittelt dann auf Basis des Korrekturfaktors K und der
30 jeweils aktuellen Stellgröße SG, welche von der Reglereinheit RE – gegebenenfalls durch einen Kompensator COMP1, COMP2, COMP3 angepasst – zur Verfügung gestellt wird, eine kompensierte Stellgröße SG_{comp} . Die Kompensationskomponente SCC korrigiert die Stellgröße SG auf Basis des jeweils aktuellen
35 Korrekturfaktors K solange, bis vom Analysemodul AM bzw. der Analysekomponente SCA ein neuerlicher Zustandswechsel SC festgestellt wird, für welchen dann ein neuer, aktueller Korrekturfaktor K bestimmt wird. Die vom Analysemodul AM bzw.

der Kompensationskomponente SCC bestimmte kompensierte Stellgröße SG wird dann von der Ansteuerung AS verwendet, um ein entsprechendes Steuersignal S für das zumindest ein Schaltelement des Gleichspannungswandler DC beispielsweise mittels Pulsweitenmodulation abzuleiten.

In Figur 2 ist beispielhaft und schematisch ein Ablauf des erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens für einen Gleichspannungswandler DC mit zumindest einem Schaltelement dargestellt, welcher zumindest zwei unterschiedliche Betriebszustände annehmen kann. In einem Startschritt 100 befindet sich der Gleichspannungswandler DC z.B. nach einem Einschaltvorgang bzw. nach einem Hochfahren aufgrund der Eingangsspannung U_e und der geregelten Ausgangsspannung U_a in einem aktuellen, ersten Betriebszustand (z.B. im Buck-Modus oder im Mischbetrieb bei einem Tief-Hochsetzsteller) der zumindest zwei unterschiedlichen Betriebszustände. Das zumindest eine taktende Schaltelement des Gleichspannungswandlers DC wird entsprechend dem aktuellen Betriebszustand vom Steuersignal S angesteuert, wobei das Steuersignal S aus der Stellgröße SG der Reglereinheit abgeleitet wird.

Treten Veränderungen bei der Eingangs- und/oder der Ausgangsspannung U_e , U_a des Gleichspannungswandler z.B. Schwankungen bei der Eingangsspannung U_e , Schwankungen bei der Last des Gleichspannungswandlers DC, etc., dann kann es zu einer Veränderung im Übertragungsverhältnis zwischen der Eingangs- und Ausgangsspannung U_e , U_a des Gleichspannungswandler DC kommen. Dadurch kann es zu einer Veränderung des Betriebszustands des Gleichspannungswandlers DC kommen. Ein Tief-Hochsetzsteller wechselt beispielsweise von Buck-Modus in den Mischbetrieb, wenn sich Eingangsspannung U_e und Ausgangsspannung U_a annähern bzw. ihr Verhältnis sich einem Wert von Eins nähert, oder z.B. vom Mischbetrieb in einen Boost-Modus, wenn die Eingangsspannung U_e unter die Ausgangsspannung U_a sinkt, oder von einem Mischbetrieb in den Buck-Modus, wenn die Eingangsspannung U_e einen meist wesentlich größeren Wert als die Ausgangsspannung U_a annimmt.

In einem Überprüfungsschritt 101 wird beispielsweise anhand der jeweils aktuellen Eingangs- und Ausgangsspannung U_e , U_a ein Zustandswechsel SC vom aktuellen bzw. ersten Betriebszustand des Gleichspannungswandlers DC in einen anderen, zweiten Betriebszustand des Gleichspannungswandlers DC erkannt.
5 Der Zustandswechsel SC kann z.B. vom Analysemodul AM bzw. der zugehörigen Analysekomponente SCA festgestellt werden.

In einem Analyseschritt 102 werden dann z.B. von der Analysekomponente SCA des Analysemoduls AM Abweichungen der Stellgröße SG (bzw. des Stellgrößenwerts) vor dem Zustandswechsel SC und der Stellgröße SG (bzw. des Stellgrößenwerts) nach dem Zustandswechsel SC für den im Überprüfungsschritt 101 festgestellten Zustandswechsel SC ermitteln. Weiterhin werden die
10 ermittelten Abweichungen abgespeichert. Dabei können die Abweichungen beispielsweise mit einer Angabe über den jeweiligen Zustandswechsel SC (z.B. Wechsel von Buck-Modus auf Mischbetrieb, Wechsel von Mischbetrieb auf Buck-Modus, etc.) und z.B. einen Zeitstempel oder einer fortlaufenden Nummer,
15 etc. versehen werden. Auf diese Weise können Abfolgen von z.B. gleichartigen Zustandswechsel SC sehr einfach gespeichert werden. Dabei kann beispielsweise eine Anzahl an Abweichungen für gleichartige Zustandswechsel SC, welche aktuell gespeichert werden, vorgegeben werden, so dass z.B. nur die
20 vorgegebene Anzahl an aktuell ermittelten Abweichungen je gleichartigen Zustandswechsel SC gespeichert sind. Die gespeicherten Abfolgen an gleichartigen Zustandswechsel SC können z.B. für eine Auswertung und/oder Filterung genutzt werden. Die Abspeicherung kann z.B. in einer internen Speichereinheit des Analysemoduls AM, einer externen Speichereinheit
25 oder cloudbasiert erfolgen.
30

In einem Ermittlungsschritt 103 wird dann aus den ermittelten und abgespeicherten Abweichungen ein jeweils aktueller Korrekturfaktor K ermittelt. Für die Ermittlung des Korrekturfaktors K werden z.B. die im Analyseschritt 102 aktuell ermittelten Abweichungen verwendet. D.h. im einfachsten Fall wird der Korrekturfaktor K direkt aus den im Analyseschritt
35

102 bestimmten und gespeicherten Abweichungen ermittelt. Es ist aber auch möglich, dass bei der Ermittlung des Korrekturfaktor K eine Filterung durchgeführt wird. Dazu kann – sofern vorhanden – die gespeicherte Abfolge bzw. eine vorgegebene Anzahl an Abweichungen verwendet werden, welche für gleichartige Zustandswechsel SC wie dem aktuell im Prüfschritt 101 festgestellten Zustandswechsel SC gespeichert wurden. Als Filterungsmethoden können beispielsweise die Bildung eines arithmetischen Mittels oder eines gewichteten arithmetischen Mittels oder eine Tiefpass-Filterung der vorgegebenen Anzahl an gespeicherten Abweichungen verwendet werden, um den jeweils aktuellen Korrekturfaktor K aus den Stellgrößen-Abweichungen beim aktuell festgestellten Zustandswechsel abzuleiten. Der Korrekturfaktor K kann z.B. einen Vektor- oder Matrixform aufweisen und beispielsweise einen Offset-Wert und/oder Parameter für eine Anpassung an eine optimale Übertragungsfunktion des jeweils aktuellen Betriebszustands des Gleichspannungswandlers DC an dem aktuell festgestellten Zustandswechsel SC umfassen. Derartige Parameter können beispielsweise Angaben und Werte für eine Anpassung der Stellgröße SG an eine Steigung, Krümmung, etc. der optimalen Übertragungsfunktion umfassen. Im einfachsten Fall kann der Korrekturfaktor K aus einem eindimensionalen Vektor bzw. einem Offset-Wert bestehen, welche anhand der im Analyseschritt 102 ermittelten Abweichungen bestimmt wurde.

Der Korrekturfaktor K wird dann in einem Kompensationsschritt 104 zur Ermittlung der kompensierten Stellgröße SG_{comp} verwendet. Die kompensierte Stellgröße SG_{comp} wird auf Basis der von der Reglereinheit RE und den gegebenenfalls eingesetzten Kompensatoren $COMP1$, $COMP2$, $COMP3$ gelieferte, aktuelle Stellgröße SG und des jeweils aktuellen Korrekturfaktors K ermittelt. Dazu wird z.B. der jeweils aktuelle Korrekturfaktor K von der Analysekomponente SCA des Analysemoduls AM an die Kompensationskomponente SCC des Analysemoduls AM weitergeleitet. Die Korrektur der jeweils aktuellen Stellgröße SG mit dem jeweils aktuellen bzw. aktuell gültigen Korrekturfaktor K wird dabei laufend solange vorgenommen, bis im Überprüfungs-

schritt 102 z.B. anhand der Eingangs- und Ausgangsspannung U_e , U_a wieder ein (neuerlicher) Zustandswechsel SC bzw. eine Änderung des Betriebszustands des Gleichspannungswandlers DC festgestellt wird.

5

Solange kein neuerlicher Zustandswechsel SC festgestellt wird, wird die kompensierte Stellgröße SG_{comp} , welche im Kompensationsschritt 104 aus der jeweils aktuellen Stellgröße SG und dem aktuell gültigen Korrekturfaktor K laufend ermittelt wird, in einem Steuerungsschritt 105 für die Ableitung des Steuersignal S für das zumindest eine taktende Schaltelement des Gleichspannungswandlers verwendet. Das zumindest eine taktende Schaltelement wird damit entsprechend des aktuellen Betriebszustands angesteuert.

15

Wird im Überprüfungsschritt 102 ein neuerlicher Zustandswechsel SC des Gleichspannungswandlers DC festgestellt, so werden wieder der Analyseschritt 102 sowie der Ermittlungsschritt 103 durchlaufen, um für den neuerlichen Zustandswechsel einen neuen, aktuellen Korrekturfaktor K zu bestimmen. Dieser neue Korrekturfaktor K wird dann im Kompensationsschritt 104 zum Ermitteln einer neuen kompensierten Stellgröße SG_{comp} genutzt, um diese wieder an den nun mehr aktuellen Betriebszustand des Gleichspannungswandlers DC anzupassen und im Gesamtsystem für eine optimale Regelung zu sorgen.

25

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Gleichspannungswandler (DC) mit zumindest einem taktenden Schaltelement zur Umwandlung einer Eingangsspannung (Ue) in eine geregelte Ausgangsspannung (Ua), wobei aus einer Stellgröße (SG) einer Reglereinheit (RE) zur Regelung der Ausgangsspannung (Ua) ein Steuersignal (S) zur Ansteuerung (AS) des zumindest eine taktenden Schaltelements abgeleitet wird (105), und wobei der Gleichspannungswandler (DC) in Abhängigkeit von der Eingangsspannung (Ue) und der Ausgangsspannung (Ua) zumindest zwei unterschiedliche Betriebszustände annehmen kann, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest folgende Schritte ausgeführt werden:
- Feststellen eines Zustandswechsels (SC, 101) von einem ersten auf einen zweiten Betriebszustand der zumindest zwei unterschiedlichen Betriebszustände des Gleichspannungswandlers (DC) anhand der jeweils aktuellen Eingangsspannung (Ue) und der jeweils aktuellen Ausgangsspannung (Ua);
 - Ermitteln von Abweichungen zwischen der Stellgröße (SG) vor dem jeweils festgestellten Zustandswechsel (SC) und der Stellgröße (SG) nach dem jeweils festgestellten Zustandswechsel (SC) und Speichern der ermittelten Abweichungen beim festgestellten Zustandswechsel (SC, 102);
 - Ermitteln eines jeweils aktuellen Korrekturfaktors (K) unter Verwendung der ermittelten Abweichungen (103);
 - Ermitteln einer kompensierten Stellgröße (SGcomp ,104), für welche die jeweils aktuelle Stellgröße (SG), welche von der Reglereinheit (RE) zur Verfügung gestellt wird, auf Basis des jeweils aktuellen Korrekturfaktors (K) bis zum Feststellen eines neuerlichen Zustandswechsels (SC ,101) laufend korrigiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Ermittlung des jeweils aktuellen Korrekturfaktors (K) eine vorgegebene Anzahl an Abweichungen verwendet

wird (103), welche für gleichartige Zustandswechsel (SC) ermittelt und gespeichert wurden (102).

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass**
5 für die Ermittlung des Korrekturfaktor (K) ein arithmetisches Mittel oder ein gewichtetes arithmetisches Mittel aus der vorgegebenen Anzahl an gespeicherten Abweichungen gebildet wird (103).
- 10 4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Korrekturfaktor (K) mittels Tiefpass-Filterung aus der vorgegebenen Anzahl an gespeicherten Abweichungen abgeleitet wird (103).
- 15 5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** vom Korrekturfaktor (K) für die Ermittlung der kompensierten Stellgröße (SGcomp) zumindest ein Offset-Wert und/oder Parameter für eine Anpassung an eine optimale Übertragungsfunktion des jeweils
20 aktuellen Betriebszustands des Gleichspannungswandlers (DC) nach dem festgestellten Zustandswechsels (SC) umfasst werden.
- 25 6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für eine Durchführung ein Analysemodul (AM) eingesetzt wird, welches dazu eingerichtet ist, auf Basis der Eingangsspannung (Ue) und der Ausgangsspannung (Ua) des Gleichspannungswandlers (DC) Zustandswechsel (SC) zu erkennen (101), und welchem von
30 der Reglereinheit (RE) die jeweils aktuelle Stellgröße (SG) zur Verfügung gestellt wird.
- 35 7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** vom Analysemodul (AM) zumindest eine Analysekomponente (SCA) zum Erkennen von Zustandswechsel (SC, 101) und zum Ermitteln und Speichern der Abweichungen (102) sowie zum Ermitteln des jeweils aktuellen Korrekturwerts (K, 103)

und eine Kompensationskomponente (SCC) zum Ermitteln der kompensierten Stellgröße (SGcomp, 104) umfasst werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Analysemodul (AM) als digitale Schaltung unter Verwendung eines Mikrokontrollers realisiert wird.
9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Stellgröße (SG), welche von der Reglereinheit (RE) zur Verfügung gestellt wird, ein Tastverhältnis des zumindest einen Schaltelements verwendet wird.
10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Steuersignal (S) für das zumindest eine Schaltelement des Gleichspannungswandlers (DC) aus der kompensierten Stellgröße (SGcomp) abgeleitet wird (105).
11. Verfahren nach einem der vorgegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Reglereinheit (RE) zur Regelung der Ausgangsspannung (Ua) des Gleichspannungswandler (DC) ein Spannungsregler mit einer unterlagerten Stromregelung verwendet wird.

FIG 1

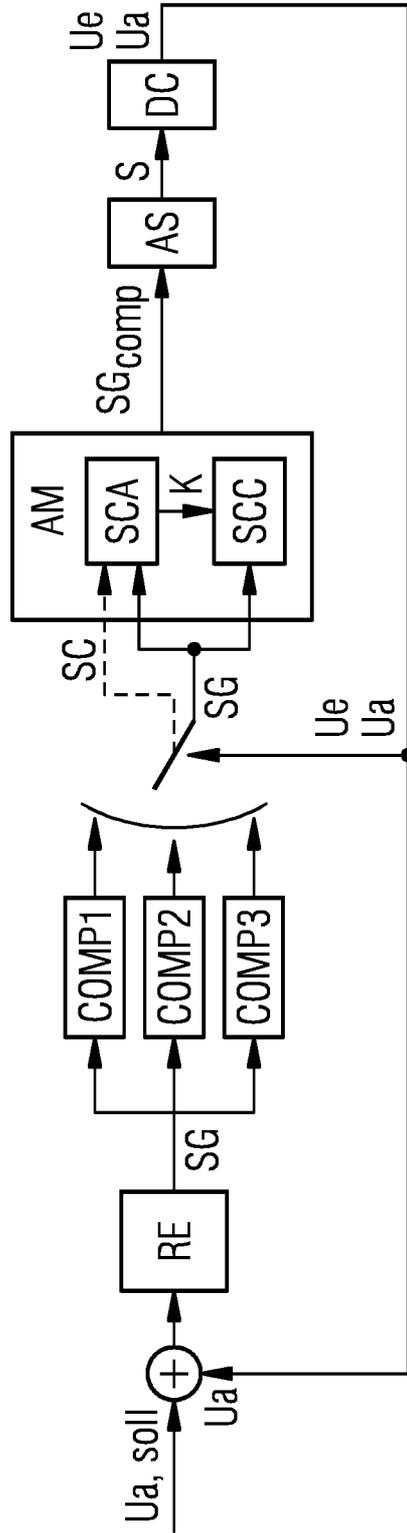
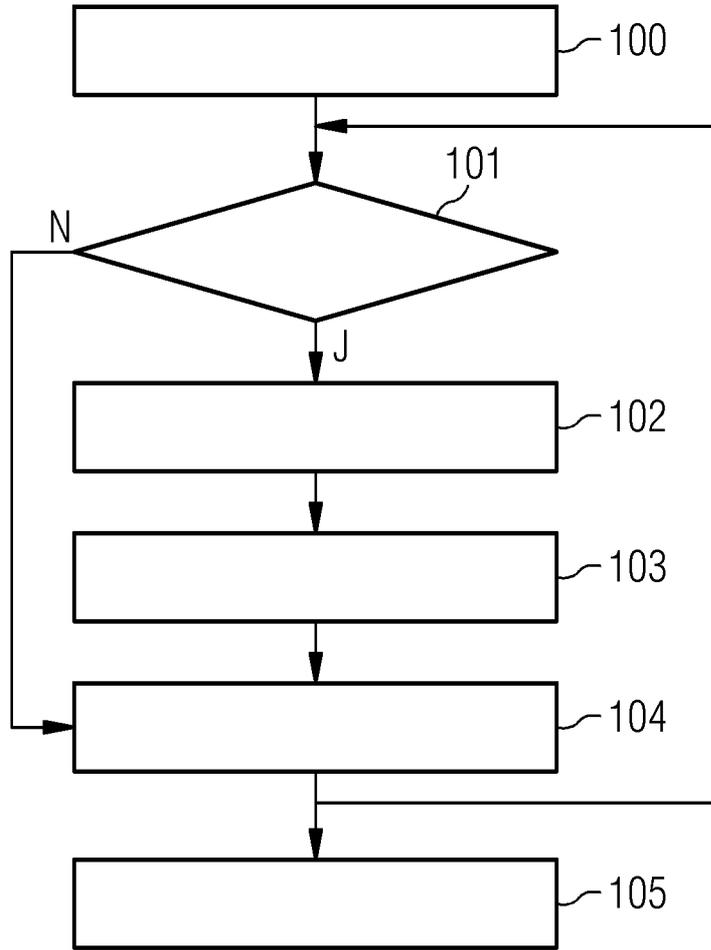


FIG 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/064541

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H02M 3/156</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02M		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 2016248325 A1 (TAJIMA HIDEYUKI [JP]) 25 August 2016 (2016-08-25) paragraph [0027] - paragraph [0047]; figure 1	1,6-11 2-5
X	LEE HYEON-SEOK ET AL. "High-Efficiency Bidirectional Buck-Boost Converter for Photovoltaic and Energy Storage Systems in a Smart Grid" <i>IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA</i> , Vol. 34, No. 5, 01 May 2019 (2019-05-01), pages 4316-4328, [retrieved on 2019-04-02] DOI: 10.1109/TPEL.2018.2860059 ISSN: 0885-8993, XP011717904 page 4322 - page 4324	1,6-10
A	YAOW-MING CHEN ET AL. "Progressive smooth transition for four-switch buck-boost converter in photovoltaic applications" <i>ENERGY CONVERSION CONGRESS AND EXPOSITION (ECCE), 2011 IEEE, IEEE</i> , 17 September 2011 (2011-09-17), pages 3620-3625 DOI: 10.1109/ECCE.2011.6064260 ISBN: 978-1-4577-0542-7. XP032067652 page 3621 - page 3622	1-11
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 16 July 2021		Date of mailing of the international search report 26 July 2021
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Jonda, Sven Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/064541

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102012018760 A1 (TRIDONIC GMBH & CO KG [AT]) 28 March 2013 (2013-03-28) paragraph [0015] - paragraph [0061]; figure 2	1-11
A	US 2020091822 A1 (OU JIONG [DE] ET AL) 19 March 2020 (2020-03-19) paragraph [0005] - paragraph [0097]	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/EP2021/064541

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2016248325	A1	25 August 2016	JP	6445348	B2	26 December 2018
				JP	2016158366	A	01 September 2016
				US	2016248325	A1	25 August 2016
				US	2017222558	A1	03 August 2017

DE	102012018760	A1	28 March 2013	NONE			

US	2020091822	A1	19 March 2020	CN	112689947	A	20 April 2021
				DE	112019004590	T5	29 July 2021
				US	2020091822	A1	19 March 2020
				WO	2020055787	A1	19 March 2020

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02M3/156 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H02M		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2016/248325 A1 (TAJIMA HIDEYUKI [JP]) 25. August 2016 (2016-08-25)	1,6-11
A	Absatz [0027] - Absatz [0047]; Abbildung 1 -----	2-5
X	LEE HYEON-SEOK ET AL: "High-Efficiency Bidirectional Buck-Boost Converter for Photovoltaic and Energy Storage Systems in a Smart Grid", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA, Bd. 34, Nr. 5, 1. Mai 2019 (2019-05-01), Seiten 4316-4328, XP011717904, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL.2018.2860059 [gefunden am 2019-04-02] Seite 4322 - Seite 4324 ----- -/--	1,6-10
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts	
16. Juli 2021	26/07/2021	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Jonda, Sven	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>YAOW-MING CHEN ET AL: "Progressive smooth transition for four-switch buck-boost converter in photovoltaic applications", ENERGY CONVERSION CONGRESS AND EXPOSITION (ECCE), 2011 IEEE, IEEE, 17. September 2011 (2011-09-17), Seiten 3620-3625, XP032067652, DOI: 10.1109/ECCE.2011.6064260 ISBN: 978-1-4577-0542-7 Seite 3621 - Seite 3622</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-11
A	<p>DE 10 2012 018760 A1 (TRIDONIC GMBH & CO KG [AT]) 28. März 2013 (2013-03-28) Absatz [0015] - Absatz [0061]; Abbildung 2</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-11
A	<p>US 2020/091822 A1 (OU JIONG [DE] ET AL) 19. März 2020 (2020-03-19) Absatz [0005] - Absatz [0097]</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/064541

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2016248325 A1	25-08-2016	JP 6445348 B2	26-12-2018
		JP 2016158366 A	01-09-2016
		US 2016248325 A1	25-08-2016
		US 2017222558 A1	03-08-2017

DE 102012018760 A1	28-03-2013	KEINE	

US 2020091822 A1	19-03-2020	CN 112689947 A	20-04-2021
		DE 112019004590 T5	29-07-2021
		US 2020091822 A1	19-03-2020
		WO 2020055787 A1	19-03-2020
