(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
12. September 2008 (12.09.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/107119 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 3/158 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/001599

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. Februar 2008 (29.02.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 010 819.4 6. März 2007 (06.03.2007) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **AUDI AG** [DE/DE]; 85045 Ingolstadt (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **STADLER, Michael** [DE/DE]; Pestalozzistrasse 6a, 85055 Ingolstadt (DE). **PFORR, Johannes** [DE/DE]; Hornstrasse 5, 80797 München (DE).

(74) Anwalt: **MADER, Wilfried**; Audi AG, Patentabteilung, Postfach 1144, 74148 Neckarsulm (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** CURRENT BALANCING CIRCUIT, AND METHOD FOR BALANCING THE PHASE CURRENTS FOR A MULTIPHASE DC-DC CONVERTER SYSTEM

(54) **Bezeichnung:** STROMSYMMETRIERUNGSSCHALTUNG UND VERFAHREN ZUR SYMMETRIERUNG DER PHASENSTRÖME FÜR EIN MEHRPHASIGES DC-DC-WANDLERSYSTEM

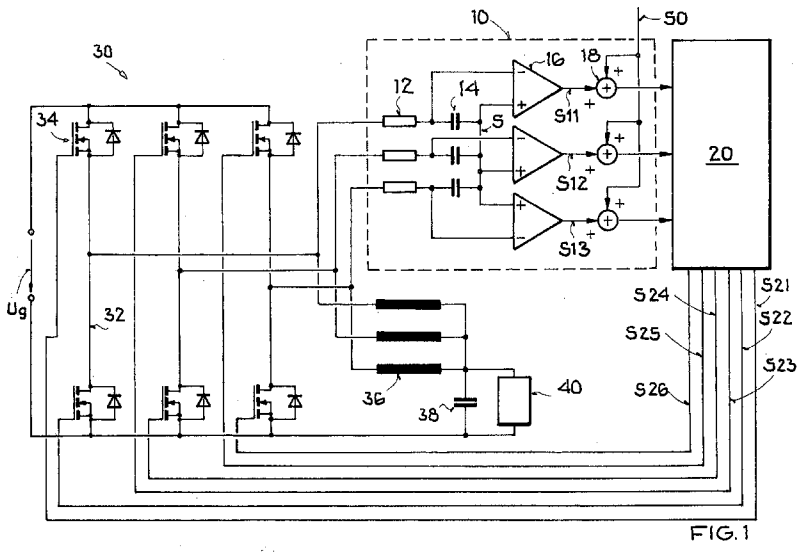


FIG. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a current balancing circuit (10) for a multiphase DC-DC converter system (30), having one low-pass filter (12, 14) for each phase of the converter system (30) for filtering a voltage correlated with said phase, wherein each low-pass filter (12, 14) has at least one capacitor (14). In said circuit, one electrode of each capacitor (14) is connected to a common neutral point (S) decoupled from ground, in order to filter a difference between the voltage of the respective phase and a variable reference voltage present at the neutral point (S), and in order to make the filtered voltage available for the current balance regulation of the DC-DC converter system (30). The invention additionally relates to a corresponding method for balancing the phase currents of a multiphase DC-DC converter system (30).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/107119 A1

MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Stromsymmetrierungsschaltung (10) für ein mehrphasiges DC-DC-Wandlersystem (30) mit jeweils einem Tiefpassfilter (12, 14) für jede Phase des Wandlersystems (30) zur Filterung einer mit dieser Phase korrelierten Spannung, wobei jeder Tiefpassfilter (12, 14) mindestens einen Kondensator (14) aufweist, wobei jeweils eine Elektrode eines jeden Kondensators (14) mit einem gemeinsamen von Masse entkoppelten Sternpunkt (S) verbunden ist, um jeweils eine Differenz der Spannung der jeweiligen Phase und einer an dem Sternpunkt (S) anliegenden variablen Bezugsspannung zu filtern und die gefilterte Spannung für eine Stromsymmetrieregelung des DC-DC-Wandlersystems (30) zur Verfügung zu stellen. Außerdem betrifft die Erfindung ein entsprechendes Verfahren zur Symmetrierung der Phasenströme eines mehrphasigen DC-DC-Wandlersystems (30).

Stromsymmetrierungsschaltung und Verfahren zur Symmetrierung der Phasenströme für ein mehrphasiges DC-DC-Wandlersystem

BESCHREIBUNG:

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Stromsymmetrierungsschaltung für ein mehrphasiges DC-DC-Wandlersystem mit jeweils einem Tiefpassfilter für jede Phase des Wandlersystems zur Filterung einer mit dieser Phase korrelierten Spannung, wobei jeder Tiefpassfilter mindestens einen Kondensator aufweist, sowie ein entsprechendes Verfahren zur Symmetrierung der Phasenströme eines mehrphasigen DC-DC-Wandlersystems.

DC-DC-Wandler werden verwendet, um eine Ausgangsgleichspannung in gewünschter Höhe zur Verfügung zu stellen. Im einfachsten Fall ist eine Schalteinrichtung vorgesehen, die eine Verbindung zu einer Gleichspannungsquelle herstellt oder unterbricht, wobei das Tastverhältnis der Schalteinrichtung die Höhe der Ausgangsspannung bestimmt. Mittels einer mit der Schalteinrichtung verbundenen Induktivität kann die Spannung gefiltert werden, um eine Gleichspannung zu erzeugen. Zum Erzielen hoher Leistungen werden bevorzugt mehrphasige Wandler aus mehreren parallel geschalteten Einheiten, die phasenverschoben angesteuert werden, verwendet, da dadurch eine Reduzierung der benötigten Filterbauelemente ermöglicht wird. Bei solchen mehrphasigen Wandlern tritt nun das Problem auf, dass aufgrund von Bauteiltoleranzen auch bei gleicher Pulsweite des Ansteuersignals sich eine unsymmetrische Stromverteilung auf die einzelnen Phasen ergeben kann. Dies ist jedoch unerwünscht, da zum einen die Verluste aufgrund des ohmschen Widerstands des Wandlers steigen und sich der Wirkungsgrad des Wandlers dadurch verschlechtert. Außerdem können aufgrund des ungleich verteilten Phasenstroms einzelne Induktivitäten infolge eines zu hohen Phasenstroms sättigen, was zu einer Verminderung der maximalen Leistung des Wandlers führt. Deshalb ist bei mehrphasigen Wandlersystemen eine Stromsymmetrierung erforderlich.

Es ist bekannt, eine solche Stromsymmetrierung durch eine konventionelle Stromregelung zu verwirklichen. Dazu wird der Strom einer Phase durch Messung des Spannungsabfalls über einen Messwiderstand gemessen und berechnet. Die Dynamik dieser Regelung ist jedoch abhängig von der angeschlossenen Induktivität des DC-DC-Wandlers. Diese Abhängigkeit verschlechtert die Dynamik der Stromregelung. Ein zusätzlicher Nachteil dieses Konzepts ist die Notwendigkeit der Messung des Stroms.

Eine weitere Möglichkeit, eine Stromsymmetrierung herbeizuführen, besteht darin, die Spannung der einzelnen Phasen zu regeln. Hierbei wird die Ausgangsspannung der einzelnen Einheiten des DC-DC-Wandlers durch einen Filter gemessen, mit einem Sollwert verglichen und die entsprechende Stellgröße berechnet. Eine solche Stromsymmetrierung ist beispielsweise in der US 6 292 378 B1 beschrieben. Die dort offenbarte Schaltung stellt ein mehrphasiges Wandlersystem dar, wobei jede Phase eine aus zwei Schaltern bestehende Halbbrücke umfasst, an die eine Induktivität angeschlossen ist, und jede Phase mit einer eigenen Spannungsquelle verbunden ist. Die Ausgangsspannung der Halbbrücke wird mittels eines aus einem Widerstand und einem gegen Masse geschalteten Kondensator bestehenden Tiefpassfilters gefiltert. Die gefilterte Spannung wird in eine Steuerschaltung eingegeben, wo sie mit der gefilterten Spannung einer ausgewählten Phase als Referenzspannung verglichen wird.

Eine auf einer Regelung der Spannungen der einzelnen Phasen beruhende Stromsymmetrierung hat jedoch den Nachteil, dass bei einer sprunghaften Änderung der gewünschten Ausgangsspannung und einer damit einhergehenden sprunghaften Änderung der Aussteuerung der Phasen die einzelnen Kondensatoren des Messfilters auf die neuen Mittelwerte der Spannungen der einzelnen Phasen umgeladen werden müssen, da sich der Mittelwert der Phasenspannung gegen Masse ändert. Die Dynamik der Spannungsregelung ist somit direkt abhängig von den Zeitkonstanten der Filterung. Die Bauteiltoleranzen der verwendeten Kondensatoren können zu Differenzen beim Umladevorgang der Kondensatoren führen, welche nicht vernachlässigt werden können.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Stromsymmetrierungsschaltung sowie ein Verfahren zur Symmetrierung der Phasenströme für ein mehrphasiges DC-DC-Wandlersystem zu schaffen, womit eine besonders präzise Stromsymmetrierung ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Stromsymmetrierungsschaltung für ein mehrphasiges DC-DC-Wandlersystem mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und durch ein Verfahren zur Symmetrierung der Phasenströme eines mehrphasigen DC-DC-Wandlersystems mit den Schritten des Patentanspruchs 11.

Bei der erfindungsgemäßen Stromsymmetrierungsschaltung ist jeweils eine Elektrode eines jeden Kondensators mit einem gemeinsamen von Masse entkoppelten Sternpunkt verbunden, um jeweils eine Differenz der Spannung der jeweiligen Phase und einer an dem Sternpunkt anliegenden variablen Bezugsspannung zu filtern und die gefilterte Spannung für eine Stromsymmetrieregelung des DC-DC-Wandlersystems zur Verfügung zu stellen.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich der Einfluss von Bauteiltoleranzen reduzieren lässt, wenn man statt der Filterung der absoluten Spannungen der einzelnen Phasen die Differenzen dieser Phasenspannungen direkt filtert. Dies wird dadurch ermöglicht, dass, statt sie gegen Masse zu schalten, die Kondensatoren der Tiefpassfilter mit einem gemeinsamen Sternpunkt verbunden werden, an dem ein aus den Spannungen der einzelnen Phasen gebildeter Summenwert anliegt. Dadurch müssen die Kondensatoren bei einer sprunghaften Änderung der Sollspannung nicht umgeladen werden, und die Gesamtdynamik wird nicht durch Bauteiltoleranzen beeinflusst.

Vorzugsweise handelt es sich bei der variablen Bezugsspannung um einen aus den Spannungen der einzelnen Phasen gebildeten Summenwert.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Stromsymmetrierungsschaltung ferner Mittel zum Erzeugen eines Differenzsignals für jede Phase auf, dessen Wert zu der Differenz der mittleren Spannung der jeweiligen Phase und dem aus den Spannungen der einzelnen Phasen gebildeten Summenwert proportional ist.

Gemäß einer alternativen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Stromsymmetrierungsschaltung Mittel zum Erzeugen eines Differenzsignals zumindest für jede Phase außer einer vorbestimmten Phase auf, dessen Wert zu der Differenz der mittleren Spannung der jeweiligen Phase und einer mittleren Spannung der vorbestimmten Phase proportional ist. Indem die

mittlere Spannung einer Phase als Referenzwert gewählt wird, kann auf eine Stromsymmetrieregelung für diese Phase verzichtet werden.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Stromsymmetrierungsschaltung ferner Mittel zum Addieren des Differenzsignals der jeweiligen Phase zu einem Stellsignal des DC-DC-Wandlersystems für jede Phase des Wandlersystems, für die ein Differenzsignal vorliegt, auf.

Besonders einfach lassen sich die verwendeten Tiefpassfilter jeweils durch einen Tiefpassfilter erster Ordnung, insbesondere ein RC-Glied, realisieren.

Vorzugsweise weist ein DC-DC-Wandler mit einer erfindungsgemäßen Stromsymmetrierungsschaltung für jede Phase eine Schalteinrichtung zum Variieren der DC-DC-Eingangsspannung auf, wobei die einzelnen Schalteinrichtungen parallel zueinander geschaltet sind und jeweils ein Tiefpassfilter der Stromsymmetrierungsschaltung an eine Schalteinrichtung angeschlossen ist.

Besonders bevorzugt handelt sich bei der Schalteinrichtung um eine Halbbrücke, und der DC-DC-Wandler weist außerdem für jede Phase eine Induktivität auf, die an einen Ausgang der jeweiligen Halbbrücke angeschlossen ist. Durch die Verwendung von Halbbrücken, wobei eine Halbbrücke zwei Halbleiterschalter, insbesondere MOSFETs, umfasst, kann der DC-DC-Wandler als bidirektionaler Aufwärts-/Abwärtswandler betrieben werden.

Es ist weiterhin besonders bevorzugt, dass die Induktivitäten der einzelnen Phasen miteinander gekoppelt sind. Hierzu wird für jede Phase ein Wicklungspaket mit gleicher Windungszahl und gleichem Wicklungssinn verwendet. Dadurch heben sich die magnetischen Flüsse aufgrund des Gleichanteils der Phasenströme gegenseitig auf, solange die Gleichanteile der Phasenströme gleich groß sind. Der Kern der Induktivitäten muss nur noch für die maximal auftretende Wechselflussamplitude ausgelegt werden, die gegenüber den Gleichanteilen des magnetischen Flusses klein ist. Dies führt zu einer Reduzierung des benötigten Querschnitts des Kernmaterials und damit zu einer Reduzierung des benötigten Kernmaterials. Allerdings führen bei der Verwendung von gekoppelten Induktivitäten bereits geringe Differenzströme zur Sättigung des Kernmaterials, was eine besonders präzise Stromsymmetrierung erforderlich macht.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist der DC-DC-Wandler außerdem eine Steuereinrichtung zur Ansteuerung der Schalteinrichtungen in Abhängigkeit von einem mittels der gefilterten Spannung modifizierten Stellsignal auf.

Die im Vorhergehenden am Beispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellten Vorteile der Erfindung gelten selbstverständlich auch für das erfindungsgemäße Verfahren.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der in der Zeichnung dargestellten Figuren, die Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung darstellen, näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Stromsymmetrierungsschaltung für einen dreiphasigen DC-DC-Wandler und

Fig. 2 ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Stromsymmetrierungsschaltung für einen dreiphasigen DC-DC-Wandler.

Fig. 1 zeigt einen dreiphasigen DC-DC-Wandler 30 mit einer Stromsymmetrierungsschaltung 10 gemäß einem ersten bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Wenn die Erfindung auch anhand eines dreiphasigen Wandlers beschrieben wird, so ist sie genauso auf Wandler mit einer anderen Anzahl an Phasen anwendbar. Gleiche oder entsprechende Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen bezeichnet. Bei dem dargestellten Wandler 30 handelt es sich um einen bidirektionalen Aufwärts-/Abwärtswandler, wobei der Wandler bei seinem Betrieb als Aufwärtswandler einen weiten Ausgangsspannungsbereich abdecken kann. Ein solcher Wandler kommt beispielsweise in einem der Energienetzstabilisierung dienenden Rekuperationssystem eines Kraftfahrzeugs zum Einsatz. Die erfindungsgemäße Stromsymmetrierung 10 ist aber ebenso auf unidirektionale Wandler und Wandler mit einem festen Spannungsübersetzungsverhältnis anwendbar.

Der DC-DC-Wandler 30 weist drei parallel geschaltete Halbbrücken 32 auf, eine für jede Phase. Die Halbbrücken 32 umfassen jeweils zwei Schalter 34,

von denen ein Schalter 34 mit Masse und der andere Schalter 34 mit einer Eingangsgleichspannung verbunden ist. Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die Schalter 34 durch MOSFETs realisiert. Es lassen sich aber genau so gut andere Halbleiterschalter verwenden oder, im Falle eines unidirektionalen Wandlers, ein Schalter und eine Diode. Der DC-DC-Wandler 30 weist ferner für jede Phase eine Induktivität 36 auf, die auf der einen Seite mit dem Ausgang der jeweiligen Halbbrücke 32 verbunden ist. Auf der anderen Seite sind die Induktivitäten 36 der einzelnen Phasen miteinander verbunden und über einen Kondensator 38 gegen Masse geschaltet. Der Kondensator 38 bildet den Ausgang des Wandlers 30, an dem eine Last 40 anliegt. Weiterhin ist eine Steuereinrichtung 20 vorgesehen, die in Abhängigkeit von einem mittels der Stromsymmetrierungsschaltung 10 modifizierten Stellsignal Steuersignale S21 bis S26 für die Ansteuerung der MOSFETs 34 ausgibt.

Die Stromsymmetrierungsschaltung 10 gemäß Fig. 1 umfasst für jede Phase einen aus einem Widerstand 12 und einem Kondensator 14 bestehenden Tiefpassfilter. Der Eingang jedes Tiefpassfilters ist mit dem Ausgang der Halbbrücke 32 der jeweiligen Phase verbunden, während die dem jeweiligen Widerstand 12 abgewandten Elektroden der Kondensatoren 14 zu einem gemeinsamen Sternpunkt S zusammengeführt sind. Dadurch wird erreicht, dass die Tiefpassfilter jeweils eine Differenz der Halbbrückenausgangsspannungen und eines am Sternpunkt S anliegenden Summenwerts der Halbbrückenausgangsspannungen filtern. Um die gefilterte Spannung zu erfassen, ist gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ein Operationsverstärker 16 für jede Phase vorgesehen, an dessen invertierendem Eingang die gemittelte Spannung der jeweiligen Phase und an dessen nicht invertierendem Eingang die sich am Sternpunkt S einstellende Bezugsspannung anliegt. So erzeugt jeder Operationsverstärker 16 ein Differenzsignal S11, S12 und S13, das ein Maß für die Differenz der mittleren Ausgangsspannung der jeweiligen Halbbrücke und den am Sternpunkt S anliegenden Summenwert der Halbbrückenausgangsspannungen darstellt. Schließlich ist für jede Phase noch eine Additionsschaltung 18 vorgesehen, die dazu dient, das jeweilige Differenzsignal S11, S12 oder S13 zu einem zur Festlegung der Sollspannung des DC-DC-Wandlers 30 dienenden Stellsignal S0 zu addieren.

Im Folgenden wird die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Stromsymmetrierungsschaltung 10 erläutert. Das Stellsignal S0 dient zur Regelung der

Ausgangsspannung des DC-DC-Wandlers 30. Eine Möglichkeit zur Regelung der Ausgangsspannung ist die Pulsweitenmodulation (PWM). Dabei wirkt sich die Größe des Stellsignals S0 auf die Dauer der Einschaltzeit der Schalter 34 aus. Durch Toleranzen der verwendeten Bauteile stellen sich minimale Differenzen der in den einzelnen Phasen fließenden Ströme ein. Dies kann, insbesondere wenn die Induktivitäten 36 der einzelnen Phasen miteinander gekoppelt sind, zu einem Versagen des Wandlers führen. Um eine unsymmetrische Verteilung der Ströme auf die einzelnen Phasen zu verhindern, werden erfindungsgemäß die Differenzen der Halbbrückenausgangsspannungen der einzelnen Phasen und des am Sternpunkt S anliegenden Summenwerts der Halbbrückenausgangsspannungen der einzelnen Phasen gefiltert. Dadurch müssen bei einer sprunghaften Änderung der Sollspannung des DC-DC-Wandlers 30 die Kondensatoren 14 der Tiefpassfilter nicht auf die neuen Mittelwerte der Halbbrückenausgangsspannungen umgeladen werden, da die am Sternpunkt S anliegende Bezugsspannung sich aus den Halbbrückenausgangsspannungen zusammensetzt und sich daher automatisch mitändert. Mittels der Operationsverstärker 16 wird ein Signal S11, S12 oder S13 erzeugt, das zu der Differenz der mittleren Halbbrückenausgangsspannung der jeweiligen Phase und der am Sternpunkt anliegenden Bezugsspannung proportional ist. Dieses Differenzsignal S11, S12 oder S13 wird jeweils in einer Additionsschaltung 18 zu dem Stellsignal S0 hinzuaddiert. Dadurch wird das Stellsignal S0 für jede Phase entsprechend der Abweichung der mittleren Halbbrückenausgangsspannung dieser Phase von der am Sternpunkt S anliegenden Bezugsspannung modifiziert. Die modifizierten Stellsignale werden der Steuerschaltung 20 zugeführt, die daraus die Steuersignale S21 bis S26 zur Ansteuerung der Schalter 34 erzeugt.

Fig. 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Stromsymmetrierungsschaltung 10 und einen DC-DC-Wandler 30, der von seinem Aufbau dem in Fig. 1 dargestellten Wandler entspricht. Die Stromsymmetrierungsschaltung 10 gemäß Fig. 2 umfasst auch aus jeweils einem Widerstand 12 und einem Kondensator 14 bestehende Tiefpassfilter, die jeweils an die Ausgänge der Halbbrücken 32 des Wandlers 30 angeschlossen sind. Wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel sind auch hier die den Widerständen 12 abgewandten Elektroden der Kondensatoren 14 mit einem gemeinsamen Sternpunkt S verbunden. Das vorliegende Ausführungsbeispiel unterscheidet sich dadurch von dem vorhergehenden Ausführungsbeispiel, dass die Mittelwerte der Halbbrückenausgangsspannungen, die an den invertierenden Eingängen von Operationsverstärkern 16 anliegen, statt mit

dem am Sternpunkt S anliegenden Summenwert der Halbbrückenausgangsspannungen mit dem Mittelwert der Halbbrückenausgangsspannung einer ausgewählten Phase verglichen werden. Dazu ist in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel die gefilterte Ausgangsspannung der mittleren oder zweiten Phase mit dem nicht invertierenden Eingang der jeweiligen Operationsverstärker 16 verbunden. Der dieser Phase zugeordnete Operationsverstärker ist damit überflüssig und kann weggelassen werden. In Fig. 2 sind daher nur zwei Operationsverstärker dargestellt. Jeder dieser Operationsverstärker 16 erzeugt ein Differenzsignal S11 oder S13, das ein Maß für die Differenz der mittleren Ausgangsspannung der jeweiligen Halbbrücke und der mittleren Ausgangsspannung einer ausgewählten, in diesem Falle der mittleren oder zweiten Halbbrücke darstellt. Diese Differenzsignale S11 und S13 werden Additionsschaltungen 18 zugeführt, in denen sie dem zur Festlegung der Sollspannung des DC-DC-Wandlers 30 dienenden Stellsignal S0 hinzuaddiert werden. Für die mittlere oder zweite Phase, mit deren Spannung im vorliegenden Fall die Spannungen der übrigen Phasen verglichen werden, wird kein Differenzsignal erzeugt. Für diese Phase ist daher auch keine Additionsschaltung vorgesehen.

Die Funktionsweise der in Fig. 2 dargestellten Stromsymmetrierungsschaltung 10 unterscheidet sich von der der in Fig. 1 dargestellten Schaltung dadurch, dass statt des am Sternpunkt S anliegenden Summenwerts der Halbbrückenausgangsspannungen als Referenzwert der Mittelwert der Halbbrückenausgangsspannung einer ausgewählten Phase, im vorliegenden Fall der zweiten Phase, verwendet wird. Mittels zweier Operationsverstärker 16 wird ein Signal S11 oder S13 erzeugt, das zu der Differenz der mittleren Halbbrückenausgangsspannung der jeweiligen Phase und der mittleren Halbbrückenausgangsspannung der zweiten Phase proportional ist. Dieses Differenzsignal S11 oder S13 wird jeweils in einer Additionsschaltung 18 zu dem Stellsignal S0 hinzuaddiert, um dieses entsprechend der Abweichung der mittleren Halbbrückenausgangsspannung dieser Phase von der mittleren Halbbrückenausgangsspannung der zweiten Phase zu modifizieren. Für die zweite Phase wird kein Differenzsignal erzeugt, da dieses Null ergäbe. Für diese Phase wird statt des modifizierten Stellsignals direkt das Stellsignal S0 der Steuerschaltung 20 zugeführt.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Stromsymmetrierungsschaltung (10) für mehrphasiges DC-DC-Wandlersystem (30) mit jeweils einem Tiefpassfilter (12, 14) für jede Phase des Wandlersystems (30) zur Filterung einer mit dieser Phase korrelierten Spannung, wobei jeder Tiefpassfilter (12, 14) mindestens einen Kondensator (14) aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass
jeweils eine Elektrode eines jeden Kondensators (14) mit einem gemeinsamen von Masse entkoppelten Sternpunkt (S) verbunden ist, um jeweils eine Differenz der Spannung der jeweiligen Phase und einer an dem Sternpunkt (S) anliegenden variablen Bezugsspannung zu filtern und die gefilterte Spannung für eine Stromsymmetrieregelung des DC-DC-Wandlersystems (30) zur Verfügung zu stellen.

2. Stromsymmetrierungsschaltung (10) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei der variablen Bezugsspannung um einen aus den Spannungen der einzelnen Phasen gebildeten Summenwert handelt.

3. Stromsymmetrierungsschaltung (10) nach Anspruch 2,
gekennzeichnet durch
Mittel (16) zum Erzeugen eines Differenzsignals (S11 – S13) für jede Phase, dessen Wert zu der Differenz der mittleren Spannung der jeweiligen Phase und der Bezugsspannung proportional ist.

4. Stromsymmetrierungsschaltung (10) nach Anspruch 1 oder 2,
gekennzeichnet durch
Mittel (16) zum Erzeugen eines Differenzsignals (S11 – S13) zumindest für jede Phase außer einer vorbestimmten Phase, dessen Wert zu der Differenz der mittleren Spannung der jeweiligen Phase und einer mittleren Spannung der vorbestimmten Phase proportional ist.

5. Stromsymmetrierungsschaltung (10) nach Anspruch 3 oder 4,
gekennzeichnet durch
Mittel (18) zum Addieren des Differenzsignals (S11 – S13) der jeweiligen Phase zu einem Stellsignal (S0) des DC-DC-Wandlersystems (30) für jede Phase des Wandlersystems (30), für die ein Differenzsignal (S11 – S13) vorliegt.

6. Stromsymmetrierungsschaltung (10) nach einem der vorausgehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei dem Tiefpassfilter (12, 14) jeweils um einen Tiefpassfilter erster Ordnung, insbesondere ein RC-Glied, handelt.

7. DC-DC-Wandler (30) mit einer Stromsymmetrierungsschaltung (10) nach einem der vorausgehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der DC-DC-Wandler (30) für jede Phase eine Schalteinrichtung (32) zum Variieren der DC-Eingangsspannung aufweist, wobei die einzelnen Schalteinrichtungen (32) parallel zueinander geschaltet sind und jeweils ein Tiefpassfilter (12, 14) der Stromsymmetrierungsschaltung (10) an eine Schalteinrichtung (32) angeschlossen ist.

8. DC-DC-Wandler (30) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei der Schalteinrichtung um eine Halbbrücke (32) handelt, und der DC-DC-Wandler (30) außerdem für jede Phase eine Induktivität (36) aufweist, die an einen Ausgang der jeweiligen Halbbrücke (32) angeschlossen ist.

9. DC-DC-Wandler (30) nach Anspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Induktivitäten (36) der einzelnen Phasen miteinander gekoppelt sind.

10. DC-DC-Wandler (30) nach einem der Ansprüche 7 bis 9,
gekennzeichnet durch
eine Steuereinrichtung (20) zur Ansteuerung der Schalteinrichtungen (32) in Abhängigkeit von einem mittels der gefilterten Spannung modifizierten Stellsignal (S0).

11. Verfahren zur Symmetrierung der Phasenströme eines mehrphasigen DC-DC-Wandlersystems (30) mit folgenden Schritten:
- Filtern einer Differenz der Spannung einer jeden Phase des Wandlersystems (30) und einer an einem Sternpunkt (S) anlie-

genden variablen Bezugsspannung mittels jeweils eines Tiefpassfilters (12, 14); und

Bereitstellen der gefilterten Spannung für eine Stromsymmetrieregelung des DC-DC-Wandlersystems (30).

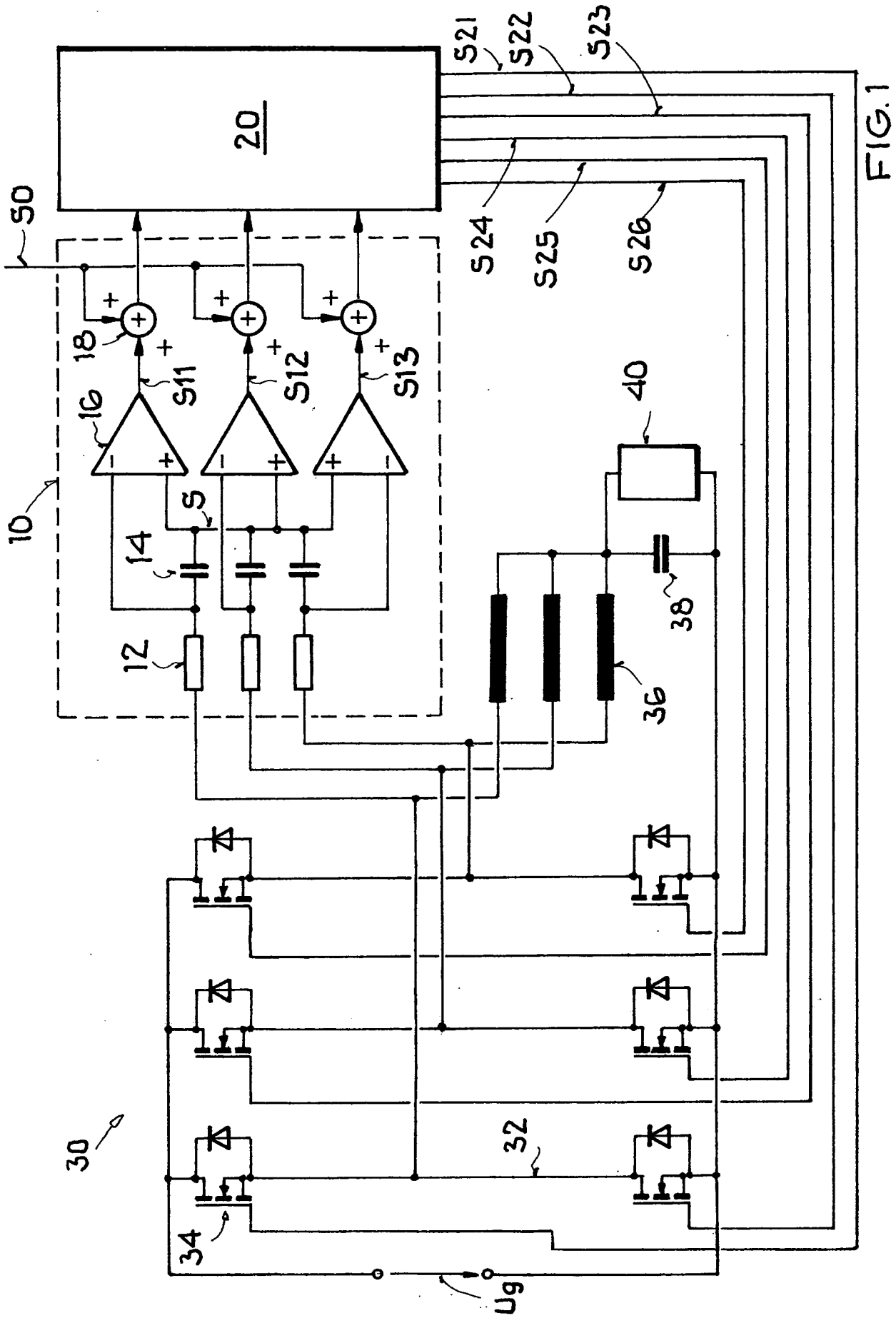

20
S21
S22
S23
S24
S25
S26
50
18
16
S11
S12
S13
40
10
S
14
12
38
36
30
32
34
Ug

FIG. 1

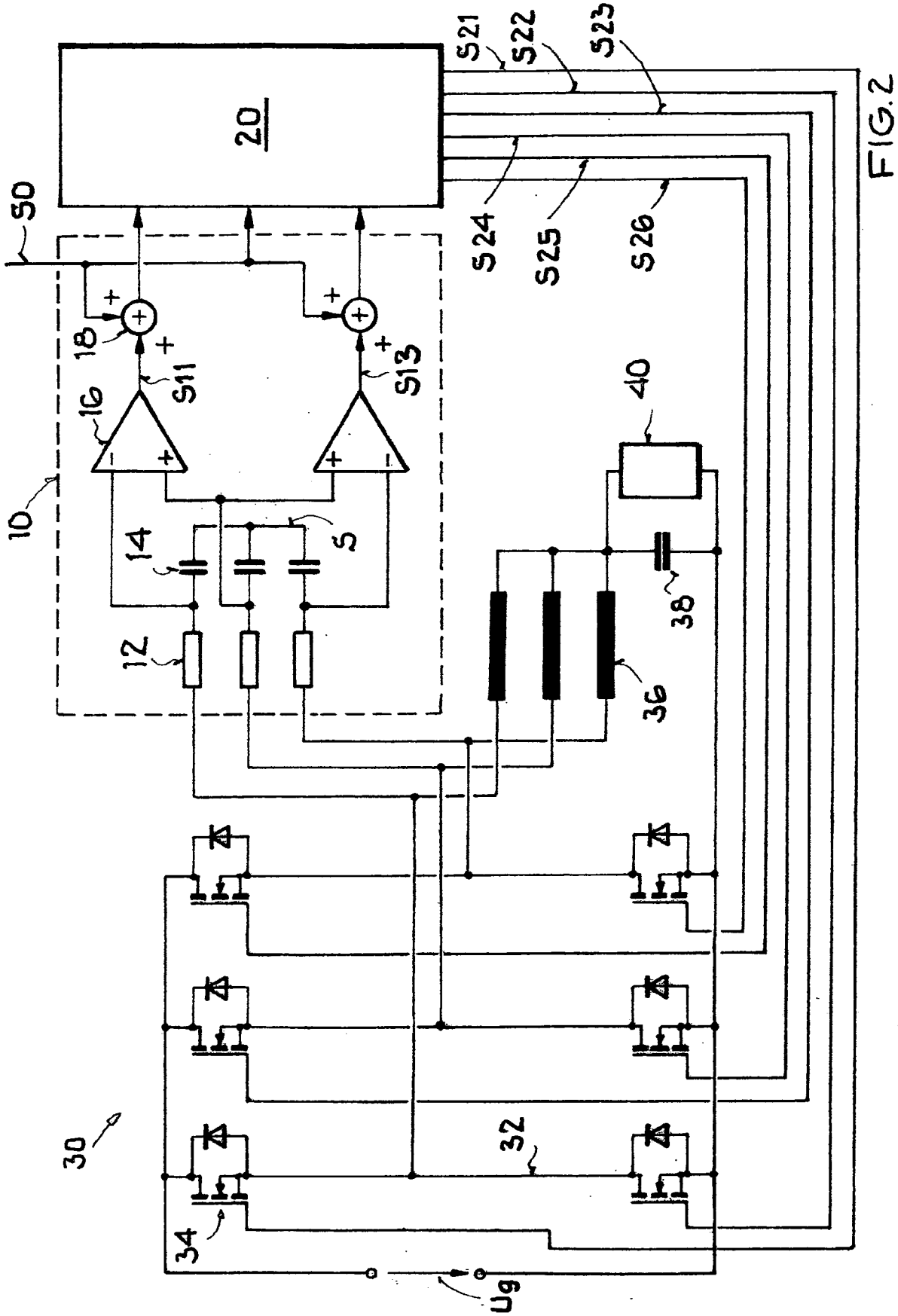

20
S21
S22
S23
S24
S25
S26
50
18
16
S11
S13
40
10
14
S
38
12
36
30
32
34
Ug

FIG.2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/001599

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02M3/158

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 H02J

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 practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/073288 A1 (HARRIS MATTHEW B [US]) 7 April 2005 (2005-04-07) figures 1,2 paragraphs [0003], [0025], [0026], [0028]	1-3,5-8, 10,11
Y		9
A		4

X	WO 2006/109329 A (ST MICROELECTRONICS SRL [IT]; ZAMBETTI OSVALDO ENRICO [IT]; ZAFARANA A) 19 October 2006 (2006-10-19) figures 10,12 abstract page 8, lines 12,13 page 10, lines 10-13 page 14, lines 8-12	1-3,5-8, 10,11
A		4,9

	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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 document 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	Date of mailing of the international search report
8 Mai 2008	26/05/2008

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Zettler, Karl-Rudolf

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/001599

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	STADLER M ET AL: "Zero-Voltage Switched Multi-Phase Converter utilizing nonlinear and coupled Inductors" APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE, APEC 2007 - TWENTY SECOND ANNUAL IEEE, IEEE, PI, 1 February 2007 (2007-02-01), pages 1038-1042, XP031085338 ISBN: 978-1-4244-0713-2 page 1038, left-hand column	9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2008/001599

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005073288 A1	07-04-2005	CN 1619933 A	25-05-2005
		TW 274975 B	01-03-2007
WO 2006109329 A	19-10-2006	EP 1875591 A1	09-01-2008

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/001599

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02M3/158

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02M H02J

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/073288 A1 (HARRIS MATTHEW B [US]) 7. April 2005 (2005-04-07) Abbildungen 1,2 Absätze [0003], [0025], [0026], [0028]	1-3,5-8, 10,11
Y		9
A		4

X	WO 2006/109329 A (ST MICROELECTRONICS SRL [IT]; ZAMBETTI OSVALDO ENRICO [IT]; ZAFARANA A) 19. Oktober 2006 (2006-10-19) Abbildungen 10,12 Zusammenfassung Seite 8, Zeilen 12,13 Seite 10, Zeilen 10-13 Seite 14, Zeilen 8-12	1-3,5-8, 10,11
A		4,9

	-/--	

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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" älteres Dokument, 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 anderen 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
8. Mai 2008	26/05/2008
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	**Bevollmächtigter Bediensteter** Zettler, Karl-Rudolf

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/001599

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	STADLER M ET AL: "Zero-Voltage Switched Multi-Phase Converter utilizing nonlinear and coupled Inductors" APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE, APEC 2007 - TWENTY SECOND ANNUAL IEEE, IEEE, PI, 1. Februar 2007 (2007-02-01), Seiten 1038-1042, XP031085338 ISBN: 978-1-4244-0713-2 Seite 1038, linke Spalte	9

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/001599

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005073288 A1	07-04-2005	CN 1619933 A	25-05-2005
		TW 274975 B	01-03-2007
WO 2006109329 A	19-10-2006	EP 1875591 A1	09-01-2008