

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
3. Oktober 2013 (03.10.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/143762 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/052927
- (22) Internationales Anmeldedatum: 14. Februar 2013 (14.02.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2012 204 963.0 28. März 2012 (28.03.2012) DE
- (71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder: PAIS, Guillaume; Georgenstr. 42, 80799 München (DE). BACHMAIER, Georg; Kohlstraße 2, 80469 München (DE). BACHMANN, Christian; Heimeranstr. 52, 80339 München (DE). BERGMANN, Dominik; Holzkirchner Straße 21, 83679 Sachsenkam (DE). CYRIACKS, Marco; Aribonenstraße 1a, 81669

München (DE). GERLICH, Matthias; Maximilian-Wetzger-Straße 9, 80636 München (DE). GÖDECKE, Andreas; Beblostr. 1, 81677 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

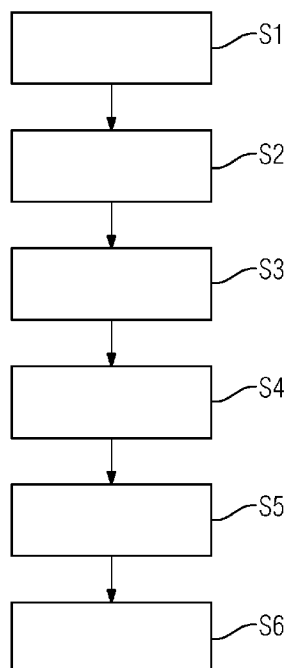
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR REDUCING CURRENT HARMONICS

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR REDUZIERUNG VON STROM-OBERSCHWINGUNGEN

FIG 7



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for reducing current harmonics in harmonic frequencies of a fundamental frequency (f_0), said frequencies being produced by an AC/DC converter (2) which can be connected to a multiphase system (1). The method has the following steps: detecting (S1) a voltage angle (θ) and phase currents (I_a , I_b , I_c) of the multiphase system (1); calculating (S2) a fundamental space vector (RZ_i) for the fundamental frequency (f_0) of the measured phase currents (I_a , I_b , I_c) using the detected voltage angle (θ); calculating (S3) additional space vectors (RZ_i) for harmonic frequencies (f_i) of the measured phase currents (I_a , I_b , I_c) using harmonic multiples of the detected voltage angle ($h \cdot \theta$); adding (S4) the calculated space vectors (RZ_0 , RZ_i) of the fundamental frequency (f_0) and of the harmonic frequencies (f_i) in order to calculate a sum space vector (SRZ); generating (S5) PWM control signals dependent on the calculated sum space vector (SRZ); and controlling (S6) the AC/DC converter (2) of the multiphase system (1) using the generated PWM control signals.

(57) Zusammenfassung: Verfahren und Vorrichtung zum Reduzieren von Strom- Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz (f_0), welche von einem an ein Mehrphasensystem (1)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

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

schaltbaren AC/DC-Konverter (2) hervorgerufen werden, mit den Schritten: Erfassen (S1) eines Spannungswinkels (θ) und von Phasenströmen (I_a, I_b, I_c) des Mehrphasensystems (1); Berechnen (S2) eines Grund-Raumzeigers (RZ_i) für die Grundfrequenz (f_0) der gemessenen Phasenströme (I_a, I_b, I_c) anhand des erfassten Spannungswinkels (θ); Berechnen (S3) von weiteren Raumzeigern (RZ_i) für harmonische Frequenzen (f_i) der gemessenen Phasenströme (I_a, I_b, I_c) anhand von harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels ($h \cdot \theta$); Addieren (S4) der berechneten Raumzeiger (RZ_0, RZ_i) der Grundfrequenz (f_0) und der harmonischen Frequenzen (f_i) zur Berechnung eines Summen-Raumzeigers (SRZ); Generieren (S5) von PWM- Steuersignalen in Abhängigkeit des berechneten Summen- Raumzeigers (SRZ) und Ansteuern (S6) des AC/DC-Konverters (2) des Mehrphasensystems (1) mit den generierten PWM- Steuersignalen.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-
Oberschwingungen

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz, welche von einem an einem Mehrphasensystem schaltbaren AC/DC-Konverter hervorgerufen werden.

10

In vielen Mehrphasensystemen sind schaltbare AC/DC-Konverter vorgesehen, welche ein mehrphasiges analoges Stromsignal in eine Gleichspannung umwandeln, welche beispielsweise zum Laden einer Batterie, insbesondere einer Fahrzeugbatterie, verwendet werden kann. Diese AC/DC-Konverter bzw. Wandler werden teilweise auch als Inverter bezeichnet. Die AC/DC-Konverter weisen herkömmlicherweise Halbleiterschaltelemente auf, insbesondere IGBTs und MOSFET-Schalter, die mit einem

20 pulsweitenmodulierten Steuersignal angesteuert werden. Durch Nichtlinearitäten der Schaltelemente innerhalb des AC/DC-Konverters entstehen bei der Umwandlung des analogen bzw. Spannungssignals in eine Gleichspannung Strom-

25 Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen der Grundfrequenz. Der Umfang der Strom-Oberschwingungen kann als Gesamtverzerrungsfaktor THD (Total Harmonic Distortion) ausgedrückt werden.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reduzierung von derartigen Strom-Oberschwingungen zu schaffen.

30

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den in Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst.

35

Die Erfindung schafft demnach ein Verfahren zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz, welche insbesondere von einem an einem Mehr-

phasensystem schaltbaren AC/DC-Konverter hervorgerufen werden, mit den Schritten:

Erfassen eines Spannungswinkels und von Phasenströmen des Mehrphasensystems,

5 Berechnen eines Grund-Raumzeigers für die Grundfrequenz der gemessenen Phasenströme anhand des erfassten Spannungswinkels,

Berechnen von weiteren Raumzeigern für harmonische Frequenzen der gemessenen Phasenströme anhand von harmonischen Vielfachen des erfassten Raumwinkels,

10 Addieren der berechneten Raumzeiger der Grundfrequenz und der harmonischen Frequenzen zur Berechnung eines Summen-Raumzeigers,

Generieren von PWM-Steuersignalen in Abhängigkeit des berechneten Summen-Raumzeigers und

15 Ansteuern des AC/DC-Konverters des Mehrphasensystems mit den generierten PWM-Steuersignalen.

Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden zur Berechnung eines Raumzeigers für eine harmonische Frequenz der Phasenströme des Mehrphasensystems die Phasenströme mittels einer d/q-Transformation anhand des harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels in einen zweidimensionalen Stromvektor I_{dq} überführt.

25 Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird dieser zweidimensionale Stromvektor I_{dq} durch ein Tiefpassfilter zur Dämpfung der übrigen harmonischen Frequenzen gefiltert.

30 Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der durch das Tiefpassfilter gefilterte zweidimensionale Stromvektor I_{dq} einem Stromregler zugeführt, der den gefilterten zweidimensionalen Stromvektor zur Erzeugung eines Modulationsgrades M_{dq} regelt.

35 Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Modulationsgrad M_{dq} mittels einer inver-

sen d/q-Transformation anhand des harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels in den Raumzeiger der jeweiligen harmonischen Frequenz transformiert.

- 5 Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Summen-Raumzeiger einer inversen Clarke-Transformation unterzogen.

10 Die Erfindung schafft ferner eine Vorrichtung mit den in Patentanspruch 4 angegebenen Merkmalen.

Die Erfindung schafft demnach eine Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz, die von einem an einem Mehrphasensystem schaltbaren AC/DC-Konverter hervorgerufen werden, mit:

- 15 (a) einer Erfassungseinheit zur Erfassung eines Spannungswinkels (θ) und von Phasenströmen (I_a , I_b , I_c) des Mehrphasensystems;
- 20 (b) einer ersten Berechnungseinheit zur Berechnung eines Grund-Raumzeigers (RZ_0) für eine Grundfrequenz (f_0) der erfassten Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand des erfassten Spannungswinkels (θ);
- 25 (c) mehreren zweiten Berechnungseinheiten (HC_i), die jeweils einen weiteren Raumzeiger (RZ_i) für eine harmonische Frequenz (f_i) der erfassten Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand von harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels ($h \cdot \theta$) berechnen;
- 30 (d) einer Addiereinheit zum Addieren der berechneten Raumzeiger der Grundfrequenz (f_0) und der harmonischen Frequenzen (f_i) zur Berechnung eines Summen-Raumzeigers (SRZ);
- 35 (e) einem PWM-Generator (PWM-GEN) zum Generieren von PWM-Steuersignalen in Abhängigkeit des berechneten Summen-Raumzeigers (SRZ), wobei die generierten PWM-Steuersignale den AC/DC-Konverter des Mehrphasensystems ansteuern.

Bei einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist die zweite Berechnungseinheit auf:

- einen Multiplikator zur Multiplikation des erfassten Spannungswinkels (θ) mit einem harmonischen Multiplikationsfaktor der jeweiligen harmonischen Frequenz (f_i);
- eine d/q-Transformationseinheit zur Transformation der Phasenströme (I_a , I_b , I_c) des Mehrphasensystems anhand des erfassten harmonischen Vielfachen ($h \cdot \theta$) des erfassten Spannungswinkels (θ) in einen zweidimensionalen Stromvektor (I_{dq});
- ein Tiefpassfilter (TPF), das den zweidimensionalen Stromvektor (I_{dq}) zur Dämpfung der übrigen harmonischen Frequenzanteile filtert;
- einen Stromregler (SR), der den gefilterten zweidimensionalen Stromvektor (I_{dq}) zur Erzeugung eines Modulationsgrades (M_{dq}) regelt und
- eine inverse d/q-Transformationseinheit, welche den erzeugten Modulationsgrad (M_{dq}) mittels einer inversen d/q-Transformation anhand des harmonischen Vielfachen ($h \cdot \theta$) des erfassten Spannungswinkels (θ) in den Raumzeiger (RZ_i) der jeweiligen harmonischen Frequenz (f_i) transformiert.

Bei einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist das Tiefpassfilter einer für eine bestimmte harmonische Frequenz vorgesehenen zweiten Berechnungseinheit eine Übertragungscharakteristik auf, die an den übrigen harmonischen Frequenzen Nullstellen besitzt.

Bei einer möglichen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung handelt es sich bei dem Tiefpassfilter um ein FIR(Finite Impulse Response)-Filter.

Die Erfindung schafft ferner ein Mehrphasensystem mit einer Vorrichtung zur Reduzierung von Stromschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz, die von einem an dem

Mehrphasensystem schaltbaren AC/DC-Konverter hervorgerufen werden,

wobei die Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen aufweist:

- 5 (a) eine Erfassungseinheit zur Erfassung eines Spannungswinkels (θ) und von Phasenströmen (I_a , I_b , I_c) des Mehrphasensystems;
- (b) eine erste Berechnungseinheit zur Berechnung eines Grund-Raumzeigers (RZ_0) für eine Grundfrequenz (f_0) der
10 erfassten Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand des erfassten Spannungswinkels (θ);
- (c) mehrere zweite Berechnungseinheiten (HC_i), die jeweils einen weiteren Raumzeiger (RZ_i) für eine harmonische Frequenz (f_i) der erfassten Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand
15 von harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels ($h \cdot \theta$) berechnen;
- (d) eine Addiereinheit zum Addieren der berechneten Raumzeiger der Grundfrequenz (f_0) und der harmonischen Frequenzen (f_i) zur Berechnung eines Summen-Raumzeigers (SRZ);
- 20 (e) einen PWM-Generator (PWM-GEN) zum Generieren von PWM-Steuersignalen in Abhängigkeit des berechneten Summen-Raumzeigers (SRZ), wobei die generierten PWM-Steuersignale den AC-/DC-Konverter des Mehrphasensystems ansteuern.

25

Bei einer möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Mehrphasensystems wandelt der AC/DC-Konverter die Phasenströme des Mehrphasensystems in eine Gleichspannung für eine Last um.

30

Bei einer möglichen Ausführungsform handelt es sich bei dieser Last um eine Fahrzeugbatterie eines Fahrzeuges.

35

Bei einer weiteren möglichen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Mehrphasensystems ist der AC/DC-Konverter zwischen dem Mehrphasensystem und einer Drehfeldmaschine, insbesondere einem Drehfeldmotor, umschaltbar.

Die Erfindung schafft ferner ein Elektrofahrzeug mit einer Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz, wobei das Elektrofahrzeug eine Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei den harmonischen Frequenzen der Grundfrequenz enthält, wobei die Vorrichtung aufweist:

- (a) eine Erfassungseinheit zur Erfassung eines Spannungswinkels (θ) und von Phasenströmen (I_a , I_b , I_c) des Mehrphasensystems;
- 10 (b) eine erste Berechnungseinheit zur Berechnung eines Grund-Raumzeigers (RZ_0) für eine Grundfrequenz (f_0) der erfassten Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand des erfassten Spannungswinkels (θ);
- (c) mehrere zweite Berechnungseinheiten (HC_i), die jeweils
15 einen weiteren Raumzeiger (RZ_i) für eine harmonische Frequenz (f_i) der erfassten Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand von harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels ($h \cdot \theta$) berechnen;
- (d) eine Addiereinheit zum Addieren der berechneten Raumzeiger der Grundfrequenz (f_0) und der harmonischen Frequenzen (f_i) zur Berechnung eines Summen-Raumzeigers (SRZ);
- 20 (e) einen PWM-Generator (PWM-GEN) zum Generieren von PWM-Steuersignalen in Abhängigkeit des berechneten Summen-Raumzeigers (SRZ), wobei die generierten PWM-
- 25 Steuersignale den AC/DC-Konverter des Mehrphasensystems ansteuern,

wobei der AC/DC-Konverter zwischen dem Mehrphasensystem und einem Elektromotor schaltbar ist und wobei das Elektrofahrzeug ferner eine Fahrzeugbatterie aufweist, die als Last an
30 den AC/DC-Konverter angeschlossen ist.

Im Weiteren werden mögliche Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen unter Bezugnahme auf
35 die beigefügten Figuren näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel für ein Mehrphasensystem, bei dem das erfindungsgemäße Verfahren zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen einsetzbar ist;
- 5 Fig. 2 ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel eines Mehrphasensystems innerhalb eines Elektrofahrzeuges, bei dem das erfindungsgemäße Verfahren zur Reduzierung von Strom-
- 10 Oberschwingungen einsetzbar ist;
- Fig. 3 ein Blockschaltbild einer Steuereinrichtung, die eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen gemäß der Erfindung aufweist;
- 15 Fig. 4 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels für eine Berechnungseinheit, die bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei einer Ausführungsvariante verwendet werden kann;
- 20 Fig. 5 ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel eines bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendbaren Stromreglers;
- 25 Fig. 6a, 6b Filterkurven bei verschiedenen Ausführungsvarianten eines bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendbaren Tiefpassfilters;
- 30 Fig. 7 ein Ablaufdiagramm zur Darstellung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen;
- 35 Fig. 8 ein Signaldiagramm zur Erläuterung der Funktionsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen;

Fig. 9a, 9b Signaldiagramme zur Erläuterung der durch das
erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungs-
gemäße Vorrichtung hervorgerufenen Reduzierung
von Strom-Oberschwingungen;

Fig. 10a, 10b Signalspektren zur Darstellung der durch das
erfindungsgemäße Verfahren und durch die er-
findungsgemäße Vorrichtung hervorgerufenen Re-
duzierung von Strom-Oberschwingungen;

Fig. 11 ein Schaltdiagramm zur Darstellung eines Aus-
führungsbeispiels eines AC/DC-Konverters, bei
dem das erfindungsgemäße Verfahren und die er-
findungsgemäße Vorrichtung zur Reduzierung von
Strom-Oberschwingungen eingesetzt werden kön-
nen.

Wie man aus Fig. 1 erkennen kann, kann in einem Mehrphasen-
system 1 ein AC/DC-Konverter 2 vorgesehen sein, der über Spu-
len bzw. Drosseln 3-1, 3-2, 3-3 Phasenströme I_a , I_b , I_c von
drei Phasen L1, L2, L3 des Mehrphasensystems 1 erhält. Der
AC/DC-Konverter 2 kann beispielsweise wie in Fig. 11 darge-
stellt aufgebaut sein. Der AC/DC-Konverter 2 wandelt die Pha-
senströme des Mehrphasensystems 1 in eine Gleichspannung DC
für eine Last 4 um. Parallel zu der ohmschen Last 4 kann ein
Kondensator 5 mit einer bestimmten Kapazität C geschaltet
sein. An den Ausgang des AC/DC-Konverters 2 kann beispiels-
weise eine Fahrzeugbatterie eines Elektrofahrzeuges ange-
schlossen sein. Der AC/DC-Konverter 2 enthält intern Schalt-
elemente, beispielsweise IGBT-Schalter oder MOSFETs, die
durch PWM-Steuersignale angesteuert werden. Diese PWM-
Steuersignale werden durch eine Steuereinrichtung 6 gene-
riert, welche an Sensoren 7 und/oder Stellglieder 8 ange-
schlossen sein kann. Bei dem in Fig. 11 dargestellten Ausführ-
ungsbeispiel verfügt der AC/DC-Konverter 2 für jede der drei
Phasen L1, L2, L3 bzw. für jeden der drei Phasenströme I_a ,
 I_b , I_c über zwei Schaltelemente, beispielsweise IGBT- oder

MOSFET-Schalter. Die Steuerelektroden der Schaltelemente innerhalb des AC/DC-Konverters 2 erhalten von der Steuerschaltung 6 die PWM-Steuersignale. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel liefert die Steuerschaltung 6 sechs PWM-Steuersignale $CRTL_{PWM}$ für die sechs Steuerelektroden des in Fig. 11 dargestellten AC/DC-Konverters 2.

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild für ein Anwendungsbeispiel, bei dem ein AC/DC-Konverter 2 zwischen einem externen Mehrphasensystem 1 und einer Drehfeldmaschine 9 mithilfe von Schaltern 10-1, 10-2, 10-3 umschaltbar ist. Bei diesem Anwendungsbeispiel befindet sich der AC/DC-Konverter 2 innerhalb eines Elektrofahrzeuges 11, das über eine Schnittstelle 12 an ein Dreiphasensystem mit drei Phasen L1, L2, L3 anschließbar ist. Bei der Drehfeldmaschine 9 handelt es sich um einen Elektromotor, dessen Spulen U, V, W an die Schalter 10-1, 10-2, 10-3 angeschlossen sind. Der AC/DC-Konverter 2 ist mithilfe der Schalter 10-i zwischen dem Mehrphasensystem 1 und dem Elektromotor 9 umschaltbar. Ausgangsseitig ist der AC/DC-Konverter 2 mit einer Fahrzeugbatterie des Elektrofahrzeuges 11 verbunden, welche den Kondensator 5 und den Widerstand 4 aufweist. Der AC/DC-Konverter 2 wandelt die Phasenströme I_a , I_b , I_c des Mehrphasensystems 1 in eine Gleichspannung V_{dc} der Fahrzeugbatterie um.

Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel für die erfindungsgemäße Vorrichtung 13 zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz, die beispielsweise in einer Steuervorrichtung 6, wie sie in den Figuren 1, 2 dargestellt ist, integriert sein kann.

Die Vorrichtung 13 zum Reduzieren von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz f_0 , die von einem an das Mehrphasensystem 1 schaltbaren AC/DC-Konverter 2 hervorgerufen werden, enthält bei einer möglichen Ausführungsform mehrere Einheiten. Die Vorrichtung 13 enthält eine

Erfassungseinheit ME zur Erfassung eines Spannungswinkels und von Phasenströmen des Mehrphasensystems 1.

Fig. 8 zeigt ein Signaldiagramm für ein Dreiphasensystem, in
5 der mehrere Phasenspannungen V_a , V_b , V_c im Zeitverlauf dargestellt sind. Eine Messeinheit bzw. eine Erfassungseinheit kann mithilfe von Sensoren S, wie in Fig. 3 dargestellt, diese Phasenspannungen V_a , V_b , V_c erfassen. Aus den Phasenspannungen V_a , V_b , V_c ermittelt die Erfassungseinheit ME einen
10 Spannungswinkel θ , der bei einer möglichen Ausführungsvariante an eine d/q-Transformationseinheit angelegt wird, wie in Fig. 3 dargestellt. Die Vorrichtung 13 umfasst bei einer möglichen Ausführungsform eine erste Berechnungseinheit zur Berechnung eines Grund-Raumzeigers RZ_0 für eine Grundfrequenz
15 f_0 der erfassten Phasenströme I_a , I_b , I_c anhand des erfassten Spannungswinkels θ . Die Phasenströme I_a , I_b , I_c können bei einer möglichen Ausführungsvariante, wie in Fig. 3 dargestellt, sensorisch mithilfe von Sensoren S erfasst werden. Die d/q-Transformationseinheit dient dazu, die dreiphasigen Stromgrößen
20 in ein zweiachsiges Koordinatensystem zu überführen. Durch die d/q-Transformationseinheit, wie sie in Fig. 3 dargestellt ist, werden die Phasenströme des Mehrphasensystems 1 in einen zweidimensionalen Stromvektor I_{dq} überführt. Dieser zweidimensionale Stromvektor I_{dq} wird an einen AC-Stromregler
25 AC-SR angelegt, wie in Fig. 13 dargestellt.

Die Vorrichtung 13 enthält ferner einen DC-Stromregler DC-SR-A, welcher einen einstellbaren Gleichstrom IDC_{SOLL} mit einem sensorisch erfassten Gleichstrom I_{dc} vergleicht. Der DC-
30 Stromregler DC-SR-A vergleicht beispielsweise den an einer Fahrzeugbatterie von dem AC/DC-Konverter 2 abgegebenen Ladestrom I_{dc} mit einem Soll-Ladestrom. Bei dem DC-Stromregler kann es sich beispielsweise um einen PID- oder PI-Stromregler handeln. Der erste Stromregler DC-SR-A liefert eine DC-
35 Sollspannung, die durch einen zweiten DC-Spannungsregler DC-SR-B mit einer gemessenen Gleichspannung V_{dc} verglichen wird. Beispielsweise wird die an einer Fahrzeugbatterie anliegende Gleichspannung V_{dc} mithilfe eines Sensors sensorisch erfasst

und mit der von dem Stromregler DC-SR-A gelieferten Soll-Gleichspannung V_{DCSOLL} verglichen. Der DC-Spannungsregler DC-SR-B kann beispielsweise ein PID-Regler sein. Der DC-Spannungsregler DC-SR-B kann einen Sollstrom I_{QSOLL} an den AC-Stromregler AC-SR abgeben, wie in Fig. 3 dargestellt. Dieser erhält zusätzlich die sensorisch erfasste DC-Gleichspannung, die beispielsweise an einer Fahrzeugbatterie sensorisch erfasst wird. Weiterhin erhält der AC-Stromregler AC-SR einen einstellbaren Strom I_{DSOLL} , wie in Fig. 3 dargestellt. Die Mess- bzw. Erfassungseinheit ME liefert ferner eine von dem AC-Stromregler AC-SR auswertbare Spannungsamplitude V_{amp} . Ausgangsseitig ist an den AC-Stromregler AC-SR eine d/q-Rücktransformationseinheit d/q^{-1} vorgesehen, die einen Grund-Raumzeiger RZ_0 für die Grundfrequenz f_0 der gemessenen Phasenströme anhand des erfassten Spannungswinkels θ liefert.

Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine Berechnungseinheit zur Berechnung eines Grund-Raumzeigers RZ_0 für eine Grundfrequenz f_0 der erfassten Phasenströme anhand des erfassten Spannungswinkels. Bei dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel enthält diese zwei PI-Regler, welche einen momentanen Stromwert mit einem Sollwert vergleichen, wobei der erste PID-Regler und der zweite PIQ-Regler jeweils über ein Integrationsglied lokal rückgekoppelt sind. Ausgangsseitig sind an die beiden PI-Regler Addier- bzw. Summiereinrichtungen angeschlossen, die jeweils einen an einer Feedforward-Berechnungseinrichtung gelieferten Dekoppelwert durch den Ausgangswert des jeweiligen Reglers aufsummieren, wie in Fig. 5 zu erkennen. In der Feedforward-Berechnungseinheit erfolgt eine Berechnung der beiden Dekoppelwerte für die beiden Signalpfade, wobei bei einer Ausführungsvariante die beiden Dekoppelwerte wie folgt berechnet werden:

```
function [CC_D_DECOUPLE, CC_Q_DECOUPLE, CC_D_DECOUPLE_RCOMPONENT,
CC_Q_DECOUPLE_RCOMPONENT] = feedforward(ID_SP, IQ_SP, RS, LD, LQ, VAMP)
% This block supports the Embedded MATLAB subset.
% See the help menu for details.
```

CC_D_DECOUPLE_RCOMPONENT = RS*ID_SP;

CC_Q_DECOUPLE_RCOMPONENT = RS*IQ_SP;

5 CC_D_DECOUPLE = RS*ID_SP - WE*LQ*IQ_SP;

CC_Q_DECOUPLE = RS*IQ_SP + WE*(LD*ID_SP) + VAMP;

Bei einer möglichen Ausführungsvariante können die beiden PI-Regler, die in Fig. 5 dargestellt sind, durch einen PID-Regler oder durch eine gekoppelte Steuereinrichtung, beispielsweise MIMO, ersetzt werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz f_0 weist neben der in Fig. 5 dargestellten ersten Berechnungseinheit zur Berechnung eines Grund-Raumzeigers RZ_0 für die Grundfrequenz f_0 mehrere zweite Berechnungseinheiten auf, die jeweils einen weiteren Raumzeiger RZ_i für eine harmonische Frequenz der erfassten Phasenströme I_a , I_b , I_c berechnen. Wie in Fig. 3 dargestellt, weist die Vorrichtung 13 mehrere zweite Berechnungseinheiten $HC_1 \dots HC_n$ für die verschiedenen harmonischen Frequenzen auf. Die weiteren Raumzeiger RZ_i für die harmonischen Frequenzen werden jeweils anhand von harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels $h \cdot \theta$ berechnet, wie in Fig. 3 dargestellt. Der durch die Erfassungseinheit ermittelte Spannungswinkel θ ist mit Multiplikationseinrichtungen bzw. Multiplikatoren mit einem harmonischen Multiplikationsfaktor h_i multipliziert welcher der Ordnung der jeweiligen harmonischen Frequenz f_i entspricht. Die von den verschiedenen zweiten Berechnungseinheiten HC_i gelieferten zusätzlichen Raumzeiger RZ_i werden durch eine Addiereinrichtung aufsummiert. Die Addiereinrichtung addiert den berechneten Raumzeiger RZ_0 der Grundfrequenz f_0 sowie die Raumzeiger RZ_i der harmonischen Frequenzen f_i zur Berechnung eines Summen-Raumzeigers SRZ, wie in Fig. 3 dargestellt. Ein PWM-Generator PWM-GEN generiert die PWM-Steuersignale in Abhängigkeit des berechneten Summen-Raumzeigers SRZ. Dabei können die generierten PWM-Steuersignale beispielsweise dem in

Fig. 1 oder 2 dargestellten AC/DC-Konverter 2 zugeführt werden.

Fig. 4 zeigt ein Blockschaltbild für ein Ausführungsbeispiel einer zweiten Berechnungseinheit HC_i , wie sie bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung 13 zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen eingesetzt werden kann. Wie in Fig. 3 dargestellt, wird zunächst der erfasste Spannungswinkel θ mit einem Multiplikator mit einem harmonischen Multiplikationsfaktor h_i multipliziert. Die sensorisch erfassten Phasenströme I_a , I_b , I_c werden einer d/q-Transformationseinheit zugeführt, welche die Phasenströme des Mehrphasensystems anhand des erfassten harmonischen Vielfachen ($h \cdot \theta$) des erfassten Spannungswinkels θ in einen zweidimensionalen Stromvektor I_{dq} transformiert. Ein Tiefpassfilter TPF filtert den erzeugten zweidimensionalen Stromvektor I_{dq} zur Dämpfung der übrigen harmonischen Frequenzanteile. Ein Stromregler SR regelt den gefilterten zweidimensionalen Stromvektor I_{dq} zur Erzeugung eines Modulationsgrades M_{dq} , wie in Fig. 4 dargestellt. Eine inverse d/q-Transformationseinheit transformiert den erzeugten Modulationsgrad M_{dq} mittels einer inversen d/q-Transformation anhand des harmonischen Vielfachen ($h \cdot \theta$) des erfassten Spannungswinkels θ in den jeweiligen Raumzeiger RZ_i der jeweiligen harmonischen Frequenz f_i .

Das in der zweiten Berechnungseinheit HC_i vorgesehene Tiefpassfilter TPF kann beispielsweise durch ein FIR(Finite Impulse Response)-Filter gebildet werden. Das Tiefpassfilter TPF weist eine Übertragungscharakteristik $H(f)$ auf, die an den übrigen harmonischen Frequenzen Nullstellen bildet. Bei einer möglichen Ausführungsvariante handelt es sich bei dem Tiefpassfilter um ein Moving-Average-Filter, d.h. um ein Filter mit gleitendem Mittelwert, bei dem insbesondere alle Koeffizienten gleich sein können. Die Anzahl N der Datensamples, welche zur Berechnung des gleitenden Mittelwertes verwendet werden, können bei einer Ausführungsvariante mittels einer fundamentalen bzw. Grundfrequenz f_0 und einer Samplefrequenz f_s wie folgt bestimmt werden:

$$N = \text{round} (f_s : f_0),$$

wobei dieses Filter eine Verstärkung von 0 bei den Frequenzen $K \cdot f_0$ aufweist, wobei $K \in \mathbb{Z}^*$ (positive und negative Integerwerte ohne 0, d.h. $-3 \cdot f_0$, $-2 \cdot f_0$, $-f_0$, $+f_0$, $+2 \cdot f_0$, $+3 \cdot f_0$ usw. aufweist.

Fig. 6a zeigt das Spektrum eines derartigen Tiefpassfilters TPF mit einer Grundfrequenz von $f_0 = 50$ Hz. Viele Mehrphasensysteme weisen eine derartige Grundfrequenz von $f_0 = 50$ Hz auf. Wie man aus Fig. 6a erkennen kann, weist die Tiefpassfiltercharakteristik an der Grundfrequenz f_0 und an den Vielfachen der Grundfrequenz jeweils Nullstellen auf. Falls sich die Fundamental- bzw. Grundfrequenz f_0 verändert, kann die Anzahl der Samples angepasst werden, um eine bessere Filtercharakteristik zu erreichen.

In den meisten Anwendungsfällen sind die geradzahligen Harmonischen $f(2K)$ nicht vorhanden oder weisen nur niedrige Amplitudenwerte auf. Bei derartigen Anwendungsszenarien ist es nicht notwendig, diese geradzahligen Harmonischen durch das Tiefpassfilter TPF wegzufiltern und es wird nur der zweite Harmonische durch das Tiefpassfilter herausgefiltert. Die Anzahl der Samples ist hierbei:

$$N = \text{round} ((f_s) : (2 \cdot f_0))$$

Bei dieser Ausführungsvariante ist nur die Hälfte der Datensamples notwendig und auch die Gruppenverzögerung (Group Delay) kann auf die Hälfte reduziert werden. Mit einer verminderten Gruppenverzögerung weist die Steuereinrichtung bzw. der Controller auch eine bessere Performance auf.

Fig. 6b zeigt die Filtercharakteristik für ein Tiefpassfilter TPF für eine Grundfrequenz von $f_0 = 50$ Hz, das Nullstellen bei 100 Hz, 200 Hz usw. aufweist, d.h. nur bei jeder zweiten harmonischen Frequenz. Bei einer möglichen Ausführungsvarian-

te ist es möglich, ein derartiges Moving-Average-Tiefpassfilter durch mehrere Filter zu implementieren, um die Anzahl der Samples zu reduzieren, wobei jedes Mal ein Downsample eingefügt wird.

5

Bei den Phasenströmen I_a , I_b , I_c des Mehrphasensystems kann es sich beispielsweise auch um Motorströme eines Elektromotors handeln. Falls sich der Motor mit 50 Hz in eine normale Betriebsrichtung dreht, liegt die Grundfrequenz beispielsweise bei $f_0 = 50$ Hz. Falls sich der Elektromotor in die entgegengesetzte Richtung mit der gleichen Geschwindigkeit dreht, liegt die Fundamental- bzw. Grundfrequenz nicht mehr bei +50 Hz, sondern bei -50 Hz. Dies gilt auch für die harmonischen Frequenzen.

15

Die Verwendung eines FIR-Filters als Tiefpassfilter TPF bietet den Vorteil, dass an der Grundfrequenz f_0 und den übrigen harmonischen vielfachen Frequenzen genau ein Verstärkungsfaktor von 0 einstellbar ist. Die Anzahl der Koeffizienten ist dabei abhängig von der jeweiligen Grundfrequenz f_0 .

20

Fig. 7 zeigt ein Ablaufdiagramm zur Darstellung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz f_0 .

25

In einem Schritt S1 wird zunächst ein Spannungswinkel θ und die Phasenströme I_a , I_b , I_c des Mehrphasensystems 1 erfasst.

In einem weiteren Schritt S2 wird ein Grund-Raumzeiger RZ_0 für die Grundfrequenz f_0 der gemessenen Phasenströme I_a , I_b , I_c anhand des erfassten Spannungswinkels θ berechnet.

30

In einem weiteren Schritt S3 werden weitere Raumzeiger RZ_i für harmonische Frequenzen f_i der gemessenen Phasenströme anhand von harmonischen Vielfachen des erfassten Raumwinkels $h \cdot \theta$ berechnet.

35

In einem weiteren Schritt S4 werden die berechneten Raumzeiger der Grundfrequenz f_0 sowie der harmonischen Vielfachen bzw. harmonischen Frequenzen zu einem Summen-Raumzeiger SRZ aufaddiert.

5

In einem weiteren Schritt S5 werden die PWM-Steuersignale in Abhängigkeit des berechneten Summen-Raumzeigers SRZ generiert.

- 10 In einem weiteren Schritt S6 wird schließlich ein AC/DC-Konverter des Mehrphasensystems 1 mit den generierten PWM-Steuersignalen angesteuert.

Zur Berechnung eines Raumzeigers RZ_i für eine harmonische
15 Frequenz f_i der Phasenströme des Mehrphasensystems in Schritt S3 werden bei einer möglichen Ausführungsform die Phasenströme I_a , I_b , I_c zunächst mittels einer d/q-Transformation anhand des harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels ($h \cdot \theta$) in einen zweidimensionalen Stromvektor I_{dq} überführt,
20 der durch ein Tiefpassfilter TPF zur Dämpfung der übrigen harmonischen Sequenzen gefiltert und einem Stromregler zugeführt wird. Dieser Stromregler regelt den gefilterten zweidimensionalen Stromvektor I_{dq} zur Erzeugung eines Modulationsgrades M_{dq} . Der erzeugte Modulationsgrad M_{dq} wird mittels ei-
25 ner inversen d/q-Transformation anhand des harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels θ in den jeweiligen Raumzeiger RZ_i der jeweiligen harmonischen Frequenz f_i zurücktransformiert.

- 30 Anschließend werden in Schritt S4 die berechneten Raumzeiger der Grundfrequenz und der harmonischen Frequenzen zur Berechnung des Summen-Raumzeigers SRZ aufaddiert. Der Summen-Raumzeiger SRZ kann dabei vorzugsweise einer inversen Clarke-Transformation unterzogen werden.

35

Figuren 9a, 9b zeigen den Verlauf eines sinusförmigen Stromsignals mit und ohne Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen. Fig. 9a zeigt den

herkömmlichen Verlauf des sinusförmigen Stromsignals, wie es beispielsweise von einem herkömmlichen AC/DC-Konverter geliefert wird. Fig. 9b zeigt den Signal-Verlauf bei Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem beispielsweise ein
5 AC/DC-Konverter mit einer Steuervorrichtung angesteuert wird, die die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz enthält. Wie man aus Figuren 9a, 9b erkennen kann, sind durch das erfindungsgemäße Verfahren die Verzer-
10 rungen in dem Stromsignal deutlich reduziert.

Die Figuren 10a, 10b zeigen Signalspektren von Stromsignalen mit und ohne Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen. Dabei wird die Amplitu-
15 de des jeweiligen Stromsignals in dB über der Signalfrequenz f dargestellt. Fig. 10a zeigt das Spektrum ohne Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen, wohingegen Fig. 10b das Spektrum eines Stromsignals unter Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens
20 zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen bei einer Grundfrequenz von beispielsweise 50 Hz darstellt. Wie man aus den beiden Figuren 10a, 10b erkennen kann, sind die Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz von 50 Hz, insbesondere bei
25 $f = 150 \text{ Hz}$, $f = 250 \text{ Hz}$, $f = 350 \text{ Hz}$ deutlich reduziert.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen können insbesondere zur Ansteuerung eines AC/DC-Konverters 2 eingesetzt werden, wie er beispielsweise in Fig. 11 dargestellt
30 ist. Ein derartiger AC/DC-Konverter 2 kann sich beispielsweise in einem Elektrofahrzeug 11 befinden, das über einen Elektromotor 9 verfügt, wie in Fig. 2 dargestellt. Durch die Reduzierung der Strom-Oberschwingungen bei den harmonischen
35 Frequenzen einer Grundfrequenz von beispielsweise $f_0 = 50 \text{ Hz}$ ist es möglich, bei einer möglichen Ausführungsvariante denselben AC/DC-Konverter 2 sowohl für einen Elektromotor des Elektrofahrzeuges als auch zur Aufladung einer Fahrzeugbatte-

rie zu verwenden. Ein AC/DC-Konverter kann für hohe Stromstärken von beispielsweise $300\text{ A}_{\text{rms}}$ ausgelegt sein. Die Fahrzeugbatterie wird herkömmlicherweise mit geringeren Strömen, beispielsweise 16, 32 oder 64 A_{rms} aufgeladen. Daher sind

5 Strom-Oberschwingungen bei den harmonischen Frequenzen der Grundfrequenz vorhanden und können mithilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung beseitigt werden, sodass der gleiche AC/DC-Konverter 2 sowohl für den Elektromotor als auch zum Aufladen der Fahrzeugbatterie

10 verwendbar ist. Bei herkömmlichen Vorrichtungen werden die harmonischen Frequenzen üblicherweise durch Einsatz weiterer Hardwarekomponenten, wie beispielsweise größere Drosselspulen, aktiven Filtern oder dergleichen, reduziert. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, die Strom-

15 Oberschwingungen bei den harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz ohne Einsatz größerer oder zusätzlicher Hardwarekomponenten, wie beispielsweise Drosselspulen oder aktiven Filtern, effektiv zu dämpfen bzw. zu beseitigen.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Reduzieren von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz (f_0), welche
5 von einem an ein Mehrphasensystem (1) schaltbaren AC/DC-Konverter (2) hervorgerufen werden, mit den Schritten:
 - (a) Erfassen (S1) eines Spannungswinkels (θ) und von Phasenströmen (I_a , I_b , I_c) des Mehrphasensystems (1);
 - 10 (b) Berechnen (S2) eines Grund-Raumzeigers (RZ_0) für die Grundfrequenz (f_0) der gemessenen Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand des erfassten Spannungswinkels (θ);
 - (c) Berechnen (S3) von weiteren Raumzeigern (RZ_i) für
15 harmonische Frequenzen (f_i) der gemessenen Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand von harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels ($h \cdot \theta$);
 - (d) Addieren (S4) der berechneten Raumzeiger (RZ_0 , RZ_i) der Grundfrequenz (f_0) und der harmonischen Frequenzen (f_i) zur Berechnung eines Summen-
20 Raumzeigers (SRZ);
 - (e) Generieren (S5) von PWM-Steuersignalen in Abhängigkeit des berechneten Summen-Raumzeigers (SRZ) und
 - (f) Ansteuern (S6) des AC/DC-Konverters (2) des Mehr-
25 phasensystems (1) mit den generierten PWM-Steuersignalen.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
wobei zur Berechnung eines Raumzeigers (RZ_i) für eine
30 harmonische Frequenz (f_i) der Phasenströme (I_a , I_b , I_c) des Mehrphasensystems (1) die Phasenströme (I_a , I_b , I_c) mittels einer d/q-Transformation anhand des harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels ($h \cdot \theta$) in einen zweidimensionalen Stromvektor I_{dq} (I_d , I_q) überführt werden,
35 der durch ein Tiefpassfilter (TPF) zur Dämpfung der übrigen harmonischen Frequenzen gefiltert und einem Stromregler zugeführt wird, der den gefilterten zweidimensionalen Stromvektor (I_{dq}) zur Erzeugung eines Modula-

tionsgrades (M_{dq}) regelt, welcher mittels einer inversen d/q-Transformation anhand des harmonischen Vielfachen ($h \cdot \theta$) des erfassten Spannungswinkels (θ) in den Raumzeiger (RZ_i) der jeweiligen harmonischen Frequenz (f_i) transformiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
wobei der Summen-Raumzeiger (SRZ) einer inversen Clarke-Transformation unterzogen wird.
4. Vorrichtung zur Reduzierung von Strom-Oberschwingungen bei harmonischen Frequenzen einer Grundfrequenz (f_0), die von einem an ein Mehrphasensystem (1) schaltbaren AC/DC-Konverter (2) hervorgerufen werden, mit:
 - (a) einer Erfassungseinheit zur Erfassung eines Spannungswinkels (θ) und von Phasenströmen (I_a , I_b , I_c) des Mehrphasensystems (1);
 - (b) einer ersten Berechnungseinheit zur Berechnung eines Grund-Raumzeigers (RZ_0) für eine Grundfrequenz (f_0) der erfassten Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand des erfassten Spannungswinkels (θ);
 - (c) mehreren zweiten Berechnungseinheiten (HC_i), die jeweils einen weiteren Raumzeiger (RZ_i) für eine harmonische Frequenz (f_i) der erfassten Phasenströme (I_a , I_b , I_c) anhand von harmonischen Vielfachen des erfassten Spannungswinkels ($h \cdot \theta$) berechnen;
 - (d) einer Addiereinheit zum Addieren der berechneten Raumzeiger der Grundfrequenz (f_0) und der harmonischen Frequenzen (f_i) zur Berechnung eines Summen-Raumzeigers (SRZ);
 - (e) einem PWM-Generator (PWM-GEN) zum Generieren von PWM-Steuersignalen in Abhängigkeit des berechneten Summen-Raumzeigers (SRZ), wobei die generierten PWM-Steuersignale den AC/DC-Konverter (2) des Mehrphasensystems (1) ansteuern.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4,
wobei die zweite Berechnungseinheit (HC) an einen Multi-

plikator angeschlossen ist, der zur Multiplikation des erfassten Spannungswinkels (θ) mit einem harmonischen Multiplikationsfaktor der jeweiligen harmonischen Frequenz (f_i) vorgesehen ist.

5

6. Vorrichtung nach Anspruch 5,

wobei die zweite Berechnungseinheit (HC) aufweist:

- eine d/q-Transformationseinheit zur Transformation der Phasenströme (I_a , I_b , I_c) des Mehrphasensystems (1) anhand des erfassten harmonischen Vielfachen ($h \cdot \theta$) des erfassten Spannungswinkels (θ) in einen zweidimensionalen Stromvektor (I_{dq});
- ein Tiefpassfilter (TPF), das den zweidimensionalen Stromvektor (I_{dq}) zur Dämpfung der übrigen harmonischen Frequenzanteile filtert;
- einen Stromregler (SR), der den gefilterten zweidimensionalen Stromvektor (I_{dq}) zur Erzeugung eines Modulationsgrades (M_{dq}) regelt und
- eine inverse d/q-Transformationseinheit, welche den erzeugten Modulationsgrad (M_{dq}) mittels einer inversen d/q-Transformation anhand des harmonischen Vielfachen ($h \cdot \theta$) des erfassten Spannungswinkels (θ) in den Raumzeiger (RZ_i) der jeweiligen harmonischen Frequenz (f_i) transformiert.

10
15
20
25

7. Vorrichtung nach Anspruch 6,

wobei das Tiefpassfilter (TPF) einer für eine bestimmte harmonischen Frequenz (f_i) vorgesehenen zweiten Berechnungseinheit eine Übertragungscharakteristik $H(f)$ aufweist, die an den übrigen harmonischen Frequenzen (f_i) Nullstellen aufweist.

30

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7,

dadurch gekennzeichnet, dass das Tiefpassfilter (TPF) ein FIR-Filter ist.

35

9. Mehrphasensystem mit einer Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche 4 - 8.

10. Mehrphasensystem nach Anspruch 9,
wobei der AC/DC-Konverter (2) die Phasenströme (I_a , I_b ,
 I_c) des Mehrphasensystems (1) in eine Gleichspannung für
5 eine Last, insbesondere eine Fahrzeugbatterie, umwandelt.
11. Mehrphasensystem nach Anspruch 9 oder 10,
wobei der AC/DC-Konverter (2) zwischen dem Mehrphasensys-
tem (1) und einer Drehfeldmaschine schaltbar ist.
10
12. Elektrofahrzeug (11) mit einer Vorrichtung nach einem der
vorangehenden Ansprüche 4 - 8, und mit einem AC/DC-
Konverter (2), welcher zwischen dem Mehrphasensystem (1)
und einem Elektromotor (9) schaltbar ist, und mit einer
15 Fahrzeugbatterie, die als Last an den AC/DC-Konverter (2)
angeschlossen ist.

FIG 1

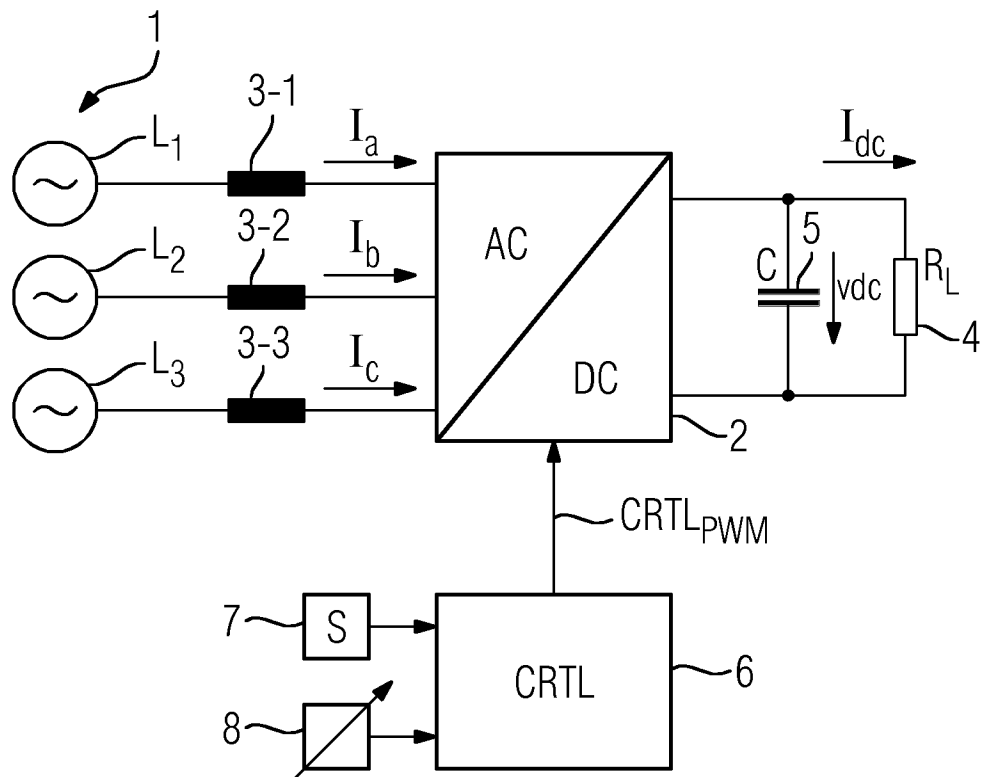
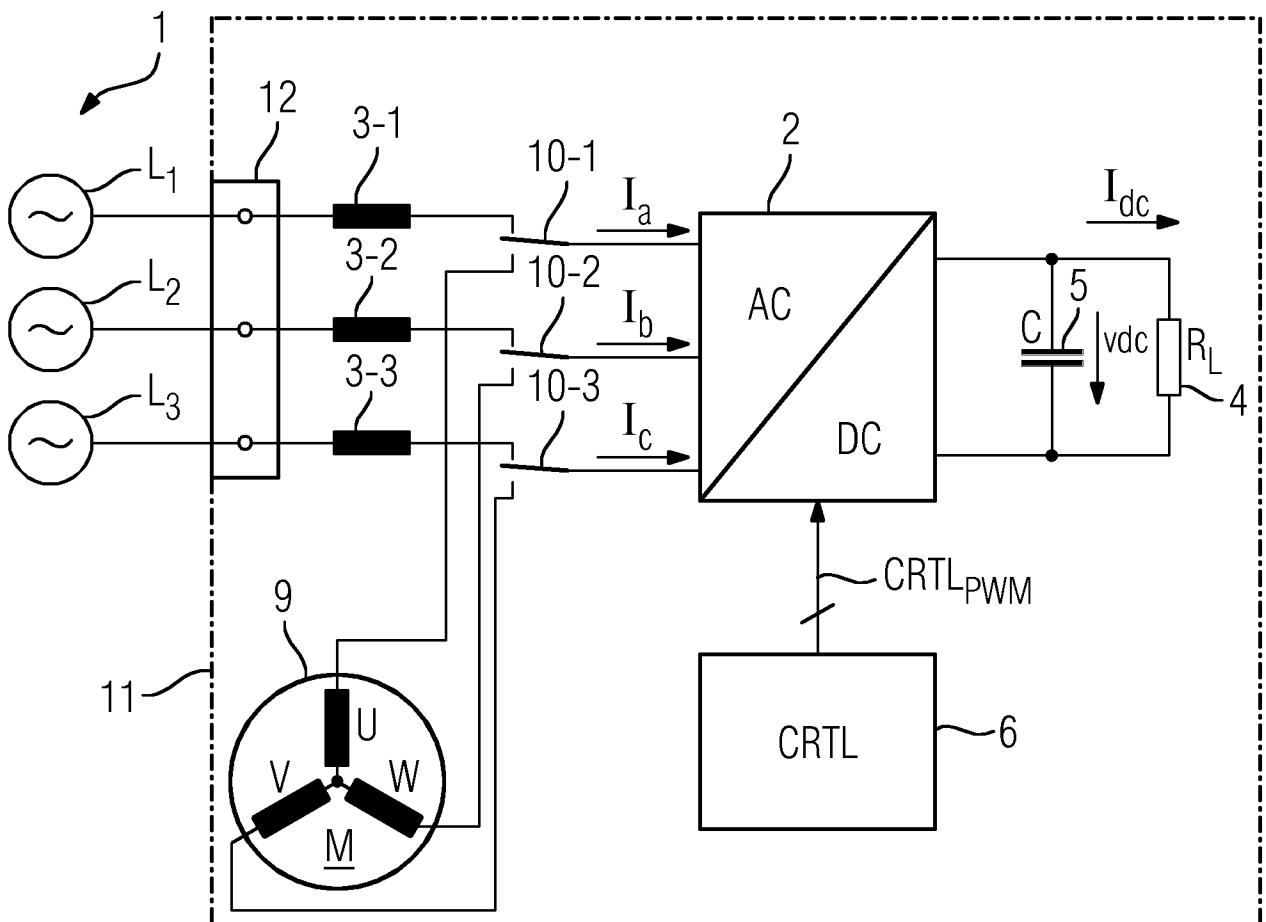


FIG 2



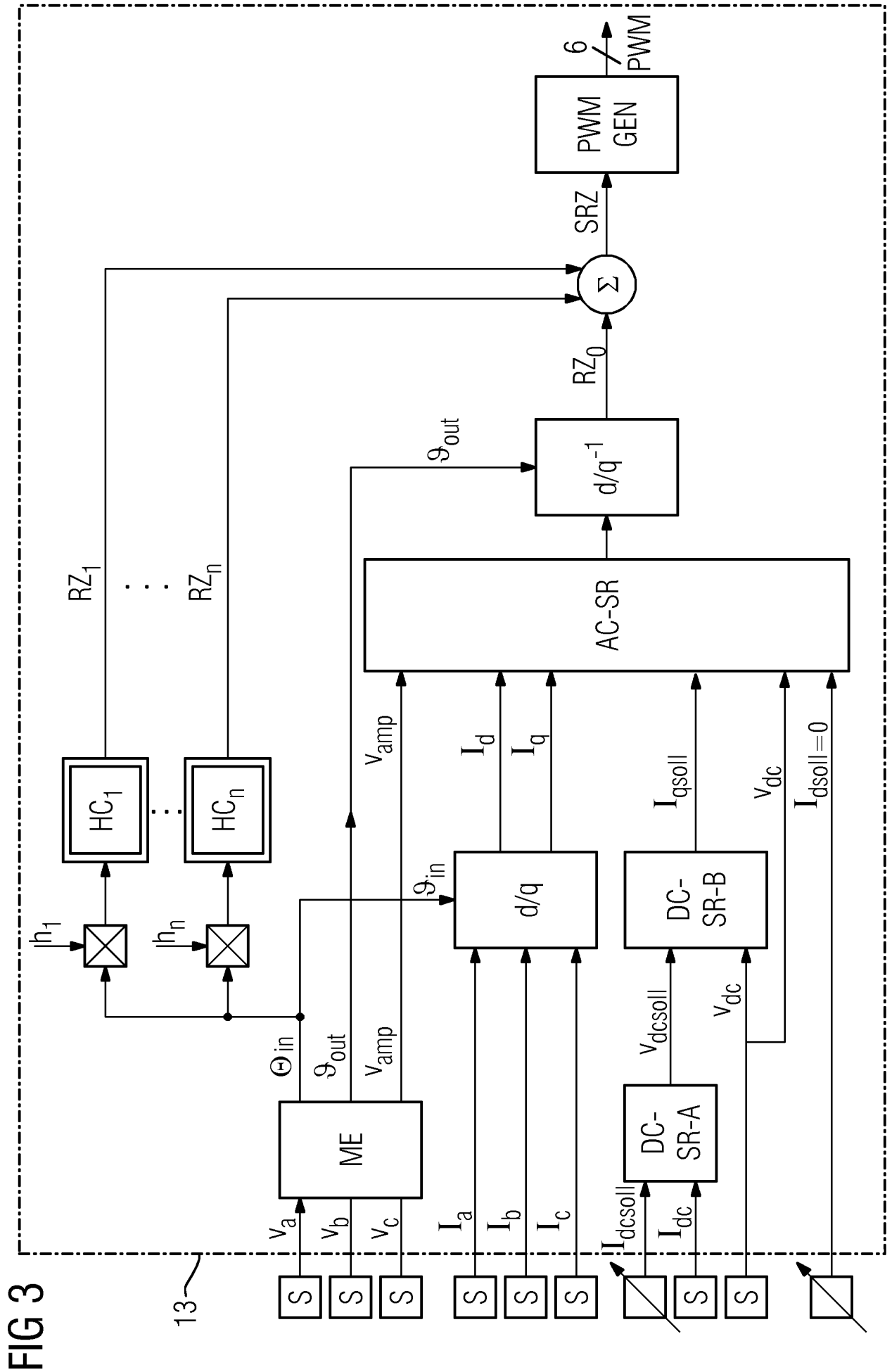


FIG 4

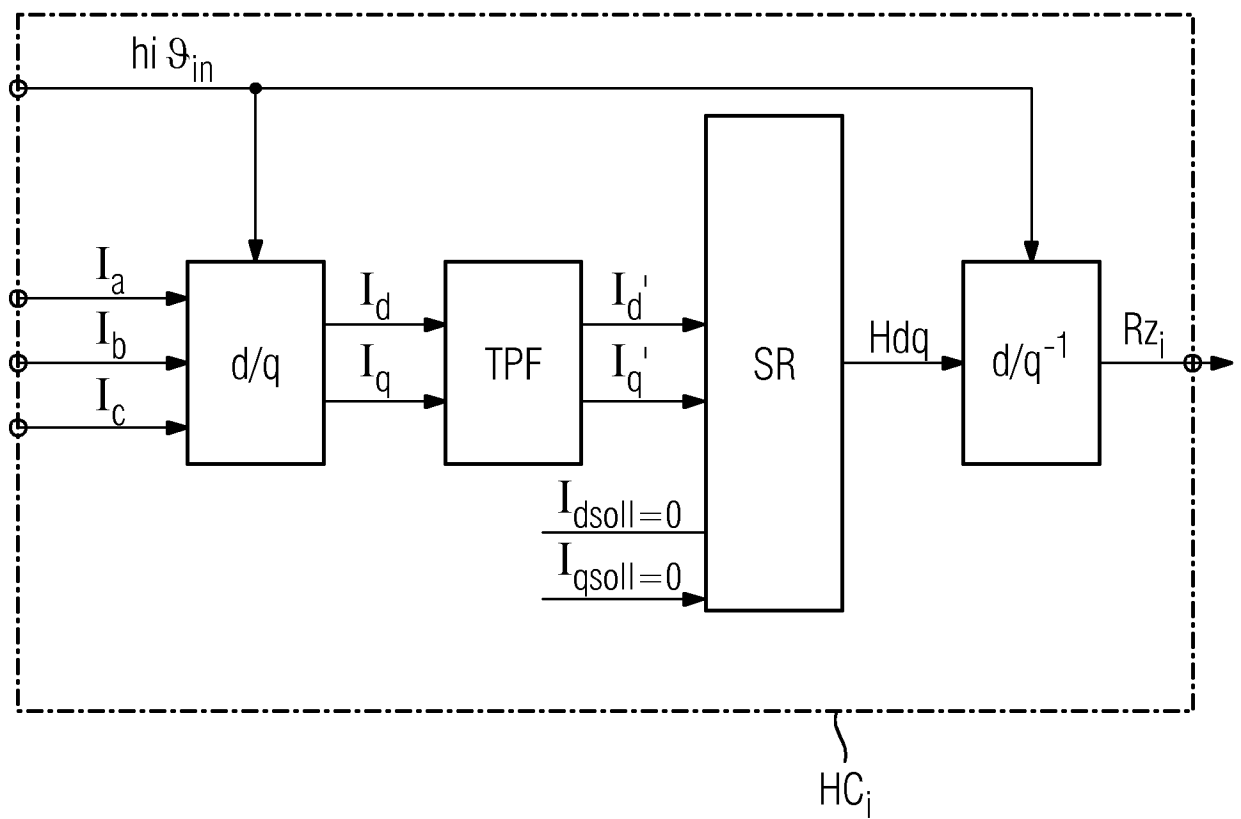


FIG 5

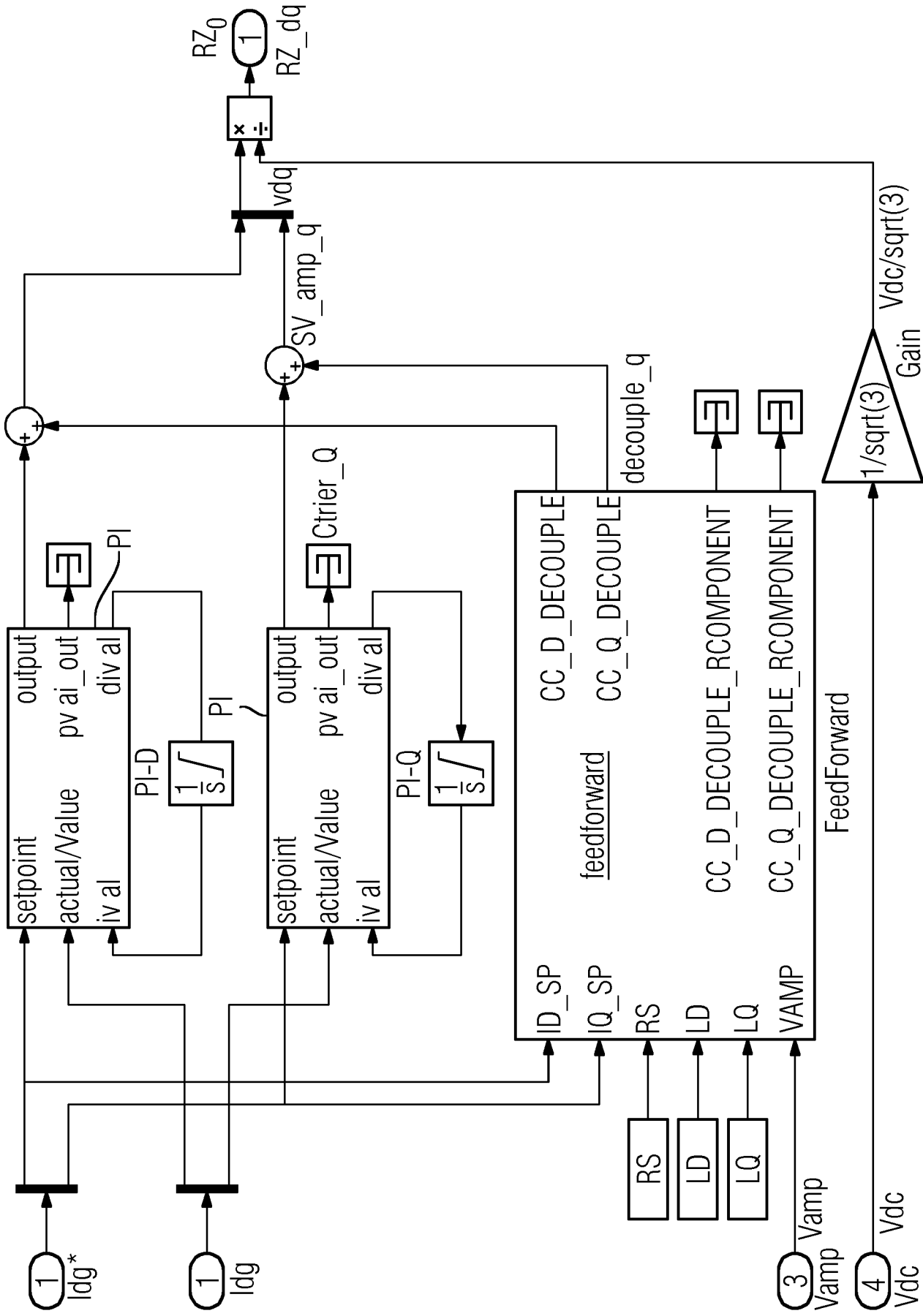


FIG 6A

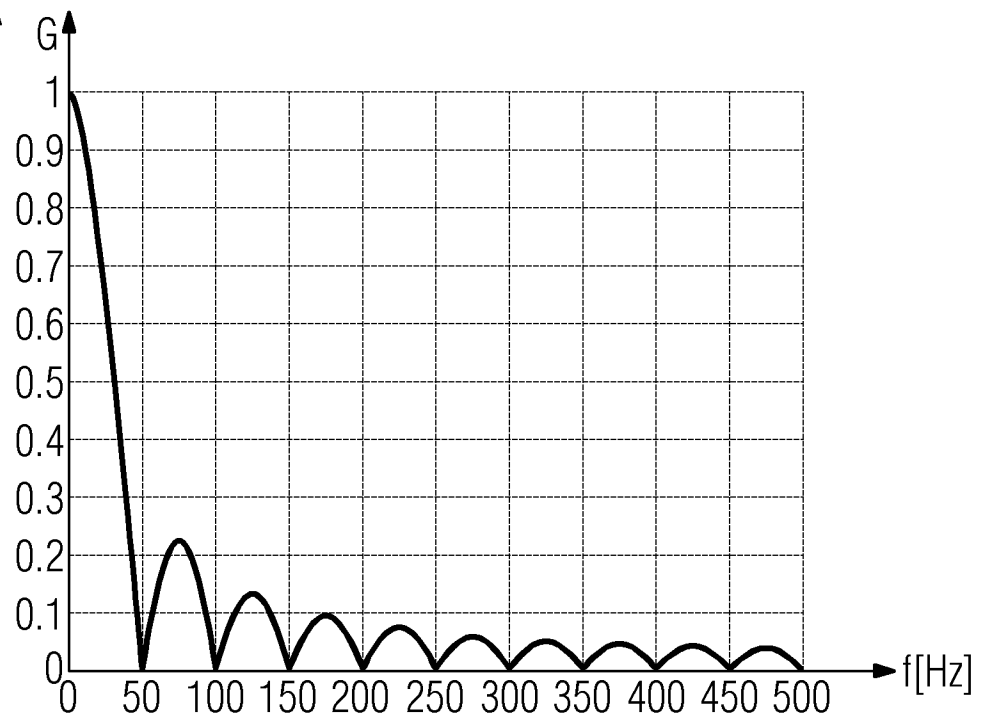


FIG 6B

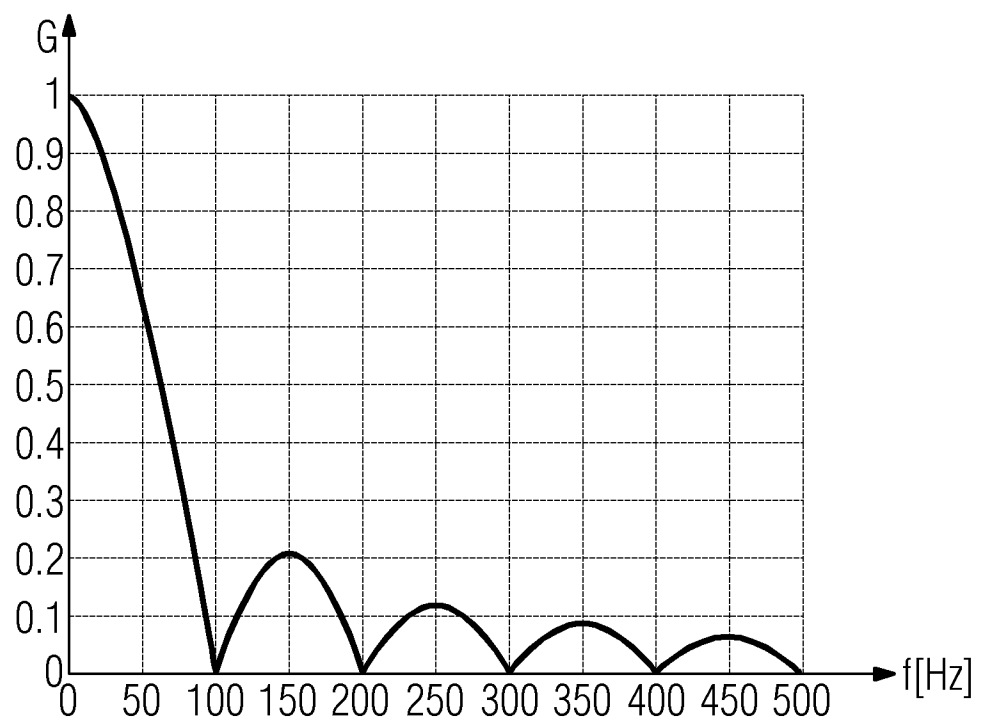


FIG 7

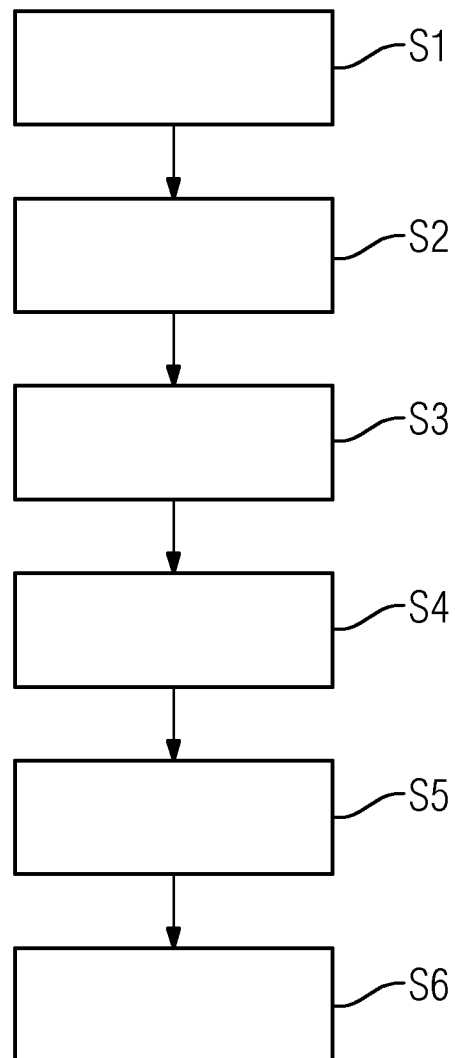


FIG 8

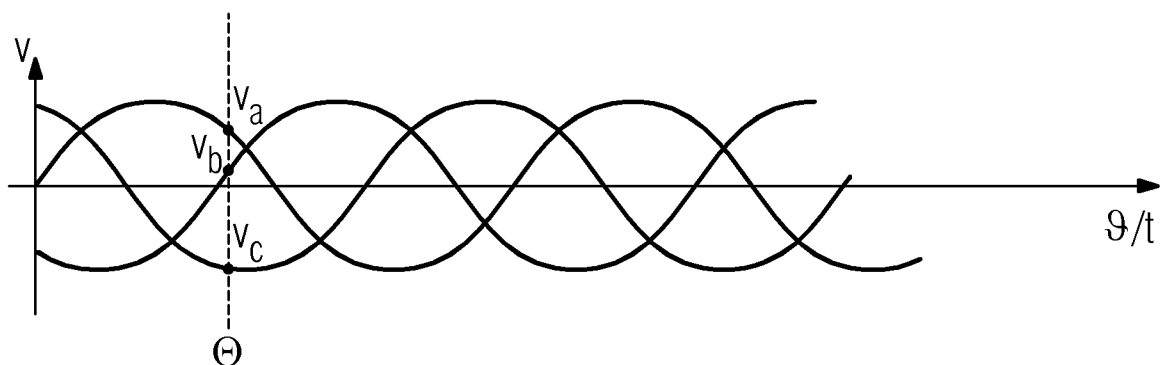


FIG 9A

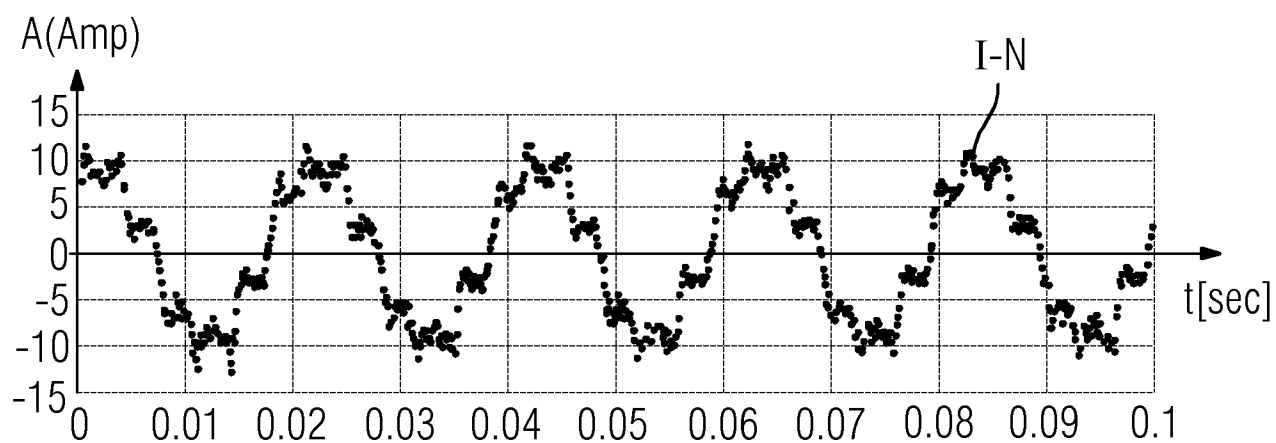


FIG 9B

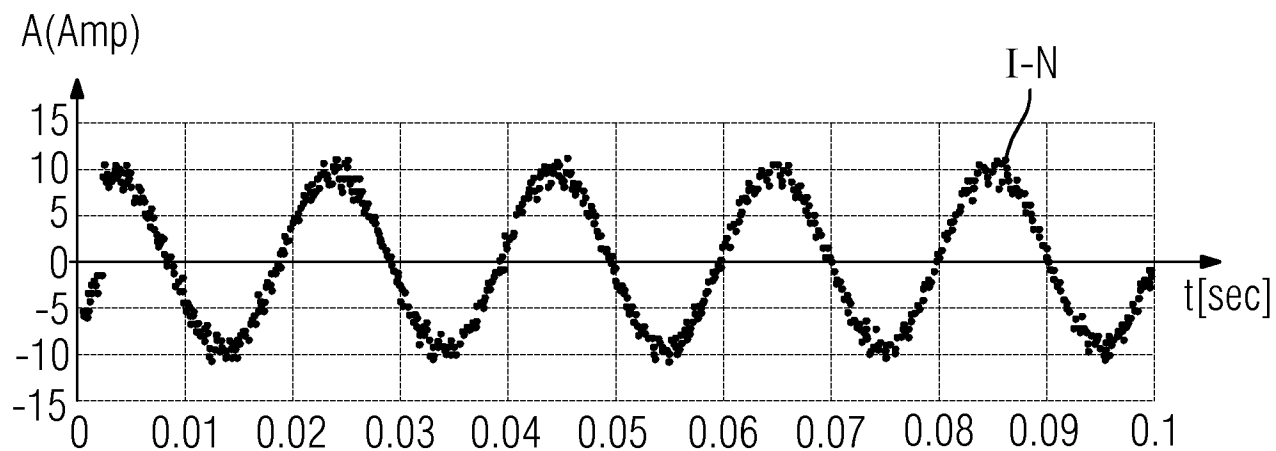


FIG 10A

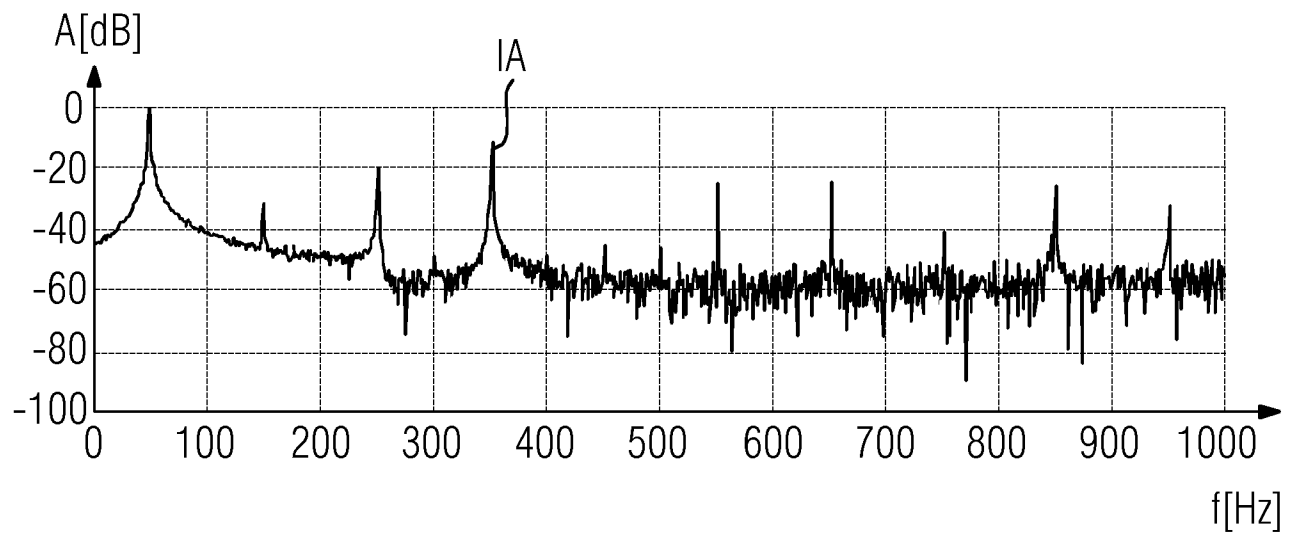


FIG 10B

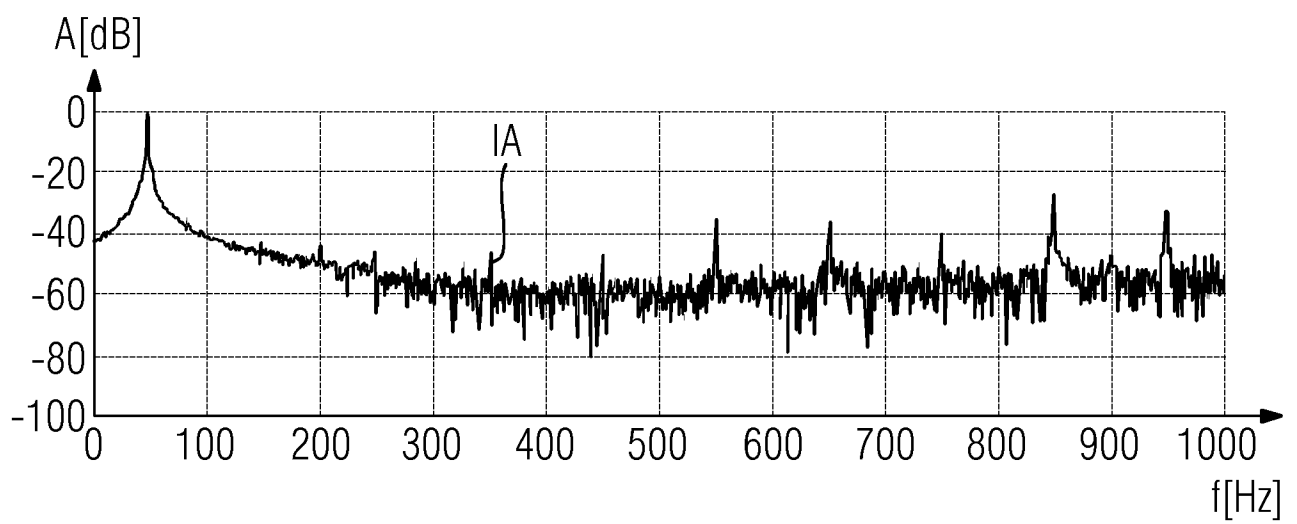


FIG 11

