

(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
6. Dezember 2012 (06.12.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/163651 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 7/162 (2006.01) **H02M 7/219** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/058705
- (22) Internationales Anmeldedatum:
11. Mai 2012 (11.05.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2011 076 676.6 30. Mai 2011 (30.05.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MEHRINGER, Paul** [DE/DE]; Brandenkopfweg 9, 70569 Stuttgart (DE). **MAGINI, Fabio** [DE/DE]; Theodor-Heuss-Str. 18, 71282 Hemmingen (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (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, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

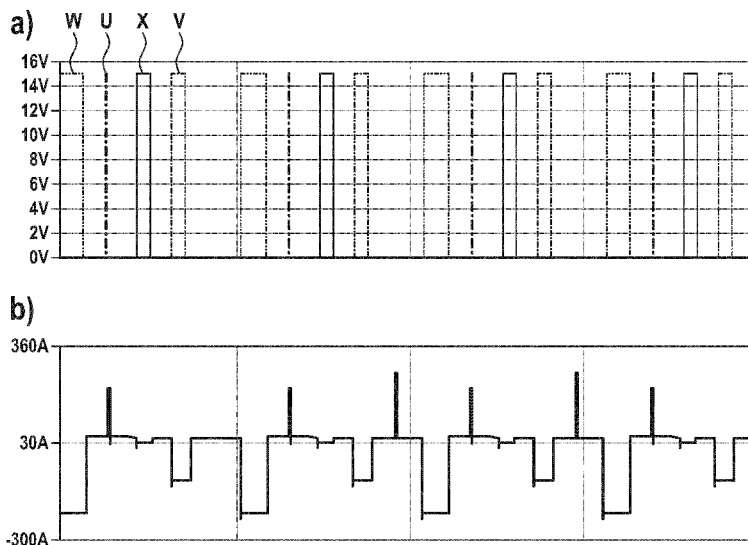
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: METHOD FOR ACTUATING A POLYPHASE MACHINE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR ANSTEUERUNG EINER MEHRPHASIGEN MASCHINE

FIG. 5



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for actuating a polyphase machine which has an intermediate circuit provided with an intermediate circuit capacitor, phase windings and, for each phase, a high-side switch and a low-side switch. The switches associated with the individual phases have control signals applied to them by a control unit. The control unit provides pulsed control signals for the switches in successive actuation cycles, the pulse widths and pulse starts of the said control signals within an actuation cycle each being varied such that the intermediate circuit current is reduced.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ansteuerung einer mehrphasigen Maschine, welche einen mit einem Zwischenkreiskondensator versehenen Zwischenkreis, Phasenwicklungen und pro Phase einen Highside-Schalter und einen Lowside-Schalter aufweist. Die den einzelnen Phasen zugeordneten Schalter werden von einer Steuereinheit mit Steuersignalen beaufschlagt. Die Steuereinheit stellt in aufeinanderfolgenden Ansteuerzyklen pulsförmige Steuersignale für die Schalter bereit, deren Pulsbreiten und

Pulsanfänge innerhalb eines Ansteuerzyklus jeweils derart variiert sind, dass der Zwischenkreisstrom reduziert ist.

5 Beschreibung

Titel

Verfahren zur Ansteuerung einer mehrphasigen Maschine

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ansteuerung einer mehrphasigen Maschine.

Stand der Technik

15 Elektrische Drehfeldantriebe sind bekannt. Dabei kommen unterschiedliche wie in der DE 10 2008 042 352 A1 angegebene Modulationsarten zum Einsatz wie beispielsweise eine Sinusmodulation oder eine Blockmodulation bzw. Blockkommutierung.

20 Des Weiteren sind sogenannte Start-Stopp-Systeme bekannt. Diese dienen zum Stoppen und Wiederstarten von Verbrennungsmotoren, beispielsweise bei einem Halt an einer Ampel. Derartige Start-Stopp-Systeme werden verwendet, um den Kraftstoffverbrauch und die Abgasemissionen des jeweiligen Fahrzeugs zu reduzieren. Es existieren Start-Stopp-Systeme auf Basis eines konventionellen Starters, wobei der Starter durch ein elektronisches Steuergerät angesteuert wird und
25 mittels eines Ritzels in den Zahnkranz am Schwungrad eingreift. Des Weiteren sind Startergeneratoren mit Riementrieb bekannt, die auf Basis eines Klauenpolgenerators mit einem zusätzlichen elektronischen Steuergerät arbeiten.

30 Um im Bremsfall des Fahrzeugs höhere Energien rekuperieren zu können, sind Systeme mit höheren Leistungen notwendig. Zur Begrenzung der Ströme werden getaktete Verfahren angewendet, die einen Zwischenkreis mit einem Zwischenkreiskondensator großer Kapazität benötigen. Oft ist die Dimensionierung des Zwischenkreises ausschlaggebend für den Platzbedarf der Leistungselektronik.

35

Offenbarung der Erfindung

Ein Verfahren mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen weist demge-
genüber den Vorteil auf, dass die auftretenden Zwischenkreisströme im Vergleich
zu bekannten Ansteuerverfahren um bis zu 40% reduziert werden können. Die-
ser Vorteil wird durch ein Verfahren zur Ansteuerung einer mehrphasigen Ma-
schine erreicht, welche einen mit einem Zwischenkreiskondensator versehenen
Zwischenkreis und pro Phase einen Highside-Schalter, einen Lowside-Schalter
und eine Phasenwicklung aufweist, wobei die den einzelnen Phasen zugeordne-
ten Schalter von einer Steuereinheit mit Steuersignalen beaufschlagt werden und
die Steuereinheit in aufeinanderfolgenden Ansteuerzyklen pulsförmige Steuer-
signale für die Schalter bereitstellt, deren Pulsbreiten und Pulsanfänge innerhalb
eines Ansteuerzyklus jeweils derart variiert sind, dass der Zwischenkreisstrom
reduziert ist.

Dies geschieht vorzugsweise derart, dass die Steuereinheit die den einzelnen
Phasen zugeordneten Schalter nach dem Flattop-Verfahren ansteuert und Steu-
ersignale für die Schalter in aufeinanderfolgenden Flattop-Fenstern relativ zuein-
ander verschiebt. Dies wiederum erfolgt vorzugsweise derart, dass Überlappun-
gen von positiven Phasenströmen reduziert werden und/oder positive und nega-
tive Phasenströme sich gegenseitig zumindest teilweise kompensieren. Durch
diese Verschiebung der Steuersignale wird ein Ansteuermuster erzeugt, auf-
grund dessen die Stromverteilung derart verbreitert wird, dass der Effektivwert
des Zwischenkreisstromes und damit die thermische Belastung des Zwischen-
kreiskondensators reduziert wird.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Figur 1 eine Skizze zur Erläuterung einer fünfphasigen Maschine in Drudenfuß-
verschaltung mit einer B10-Brücke,

Figur 2 Diagramme zur Veranschaulichung eines bekannten Center-Aligned-
Ansteuerungsmusters und dabei auftretender Ströme,

Figur 3 ein vergrößerter Ausschnitt aus den in der Figur 2 gezeigten Diagrammen,

Figur 4 Diagramme zur Veranschaulichung eines fünfphasigen Sinussystems,

Figur 5 Diagramme zur Veranschaulichung eines Ansteuermusters gemäß der Erfindung und des dabei auftretenden Zwischenkreisstromes,

Figur 6 ein Diagramm zu einer Detailbetrachtung der Spannungshöhen innerhalb einer Flattop-Phase bei dem in der Figur 4 gezeigten fünfphasigen Sinussystem und

Figur 7 Diagramme zur Veranschaulichung eines Ansteuermusters gemäß einer Weiterbildung der Erfindung und des dabei auftretenden Zwischenkreisstromes.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ansteuerung einer mehrphasigen Maschine, welche einen mit einem Zwischenkreiskondensator versehenen Zwischenkreis und pro Phase einen Highside-Schalter, einen Lowside-Schalter und eine Phasenwicklung aufweist, wobei die den einzelnen Phasen zugeordneten Schalter von einer Steuereinheit mit Steuersignalen beaufschlagt werden. Dieses Verfahren ist nicht an eine bestimmte Phasenzahl der Maschine gebunden, wird aber nachfolgend anhand einer fünfphasigen Maschine näher erläutert.

Die Figur 1 zeigt eine Skizze zur Erläuterung einer fünfphasigen Maschine in Drudenfußverschaltung mit einer B10-Brücke. Als Drudenfußverschaltung wird ein Verschaltungstyp verstanden, bei dem die insgesamt fünf Phasenwicklungen der Schaltung elektrisch derart miteinander verbunden sind, dass die Form des Schaltbildes ein Pentagramm ergibt.

Die gezeigte Maschine weist insgesamt fünf Phasenanschlüsse A1, A2, A3, A4, A5 und insgesamt fünf Phasenwicklungen 1, 2, 3, 4, 5 auf, wobei jede dieser Phasenwicklungen zwischen zwei der genannten Phasenanschlüsse geschaltet ist. Des Weiteren weist die gezeigte Maschine eine mit den Phasenanschlüssen verbundene Leistungselektronik LE und eine Batterie B auf. Die Batterie B hat einen Pluspol B+ und einen Minuspol B-. Zwischen der Batterie B und der Leis-

Leistungselektronik LE befindet sich ein Zwischenkreis ZK, der einen Zwischenkreiskondensator C_ZK enthält.

Die Leistungselektronik LE enthält fünf Zweige Ph1, Ph2, Ph3, Ph4 und Ph5, von denen jeder eine Reihenschaltung zweier Schalter aufweist, wobei jedem dieser Schalter eine Diode antiparallel geschaltet ist. Diese Anordnung ergibt sich bei der Verwendung von herkömmlichen Feldeffekttransistoren als Schalter, da diese eine Inversdiode beinhalten. Grundsätzlich ist jedoch auch die Verwendung von anderen Schaltelementen, beispielsweise IGBTs, möglich.

Der Zweig Ph1 der Leistungselektronik LE, der die Schalter HS1 und LS1 enthält, ist an einem Verbindungspunkt zwischen den beiden Schaltern HS1 und LS1 mit dem Phasenanschluss A1 des Ständers der Maschine verbunden. Der Schalter HS1 des Zweigs Ph1 ist ein Highside-Schalter. Antiparallel zum Schalter HS1 ist eine Diode geschaltet. Der Schalter LS1 des Zweigs Ph1 ist ein Lowside-Schalter. Antiparallel zum Schalter LS1 ist eine Diode geschaltet. Die Schalter HS1 und LS1 werden von einer Steuereinheit S mit Steuersignalen S1 und S2 angesteuert.

Der Zweig Ph2 der Leistungselektronik LE, der die Schalter HS2 und LS2 enthält, ist an einem Verbindungspunkt zwischen den beiden Schaltern HS2 und LS2 mit dem Phasenanschluss A2 des Ständers der Maschine verbunden. Der Schalter HS2 des Zweigs Ph2 ist ein Highside-Schalter. Antiparallel zum Schalter HS2 ist eine Diode geschaltet. Der Schalter LS2 des Zweigs Ph2 ist ein Lowside-Schalter. Antiparallel zum Schalter LS2 ist eine Diode geschaltet. Die Schalter HS2 und LS2 werden von der Steuereinheit S mit Steuersignalen S3 und S4 angesteuert.

Der Zweig Ph3 der Leistungselektronik LE, der die Schalter HS3 und LS3 enthält, ist an einem Verbindungspunkt zwischen den beiden Schaltern HS3 und LS3 mit dem Phasenanschluss A3 des Ständers der Maschine verbunden. Der Schalter HS3 des Zweigs Ph3 ist ein Highside-Schalter. Antiparallel zum Schalter HS3 ist eine Diode geschaltet. Der Schalter LS3 des Zweigs Ph3 ist ein Lowside-Schalter. Antiparallel zum Schalter LS3 ist eine Diode geschaltet. Die Schalter HS3 und LS3 werden von der Steuereinheit S mit Steuersignalen S5 und S6 angesteuert.

Der Zweig Ph4 der Leistungselektronik LE, der die Schalter HS4 und LS4 enthält, ist an einem Verbindungspunkt zwischen den Schaltern HS4 und LS4 mit dem Phasenanschluss A4 des Ständers der Maschine verbunden. Der Schalter HS4 des Zweigs Ph4 ist ein Highside-Schalter. Antiparallel zum Schalter HS4 ist eine Diode geschaltet. Der Schalter LS4 des Zweigs Ph4 ist ein Lowside-Schalter. Antiparallel zum Schalter LS4 ist eine Diode geschaltet. Die Schalter HS4 und LS4 werden von der Steuereinheit S mit Steuersignalen S7 und S8 angesteuert.

Der Zweig Ph5 der Leistungselektronik LE, der die Schalter HS5 und LS5 enthält, ist an einem Verbindungspunkt zwischen den beiden Schaltern HS5 und LS5 mit dem Phasenanschluss A5 des Ständers der Maschine verbunden. Der Schalter HS5 des Zweigs Ph5 ist ein Highside-Schalter. Antiparallel zum Schalter HS5 ist eine Diode geschaltet. Der Schalter LS5 des Zweigs Ph5 ist ein Lowside-Schalter. Antiparallel zum Schalter LS5 ist eine Diode geschaltet. Die Schalter HS5 und LS5 werden von der Steuereinheit S mit Steuersignalen S9 und S10 angesteuert.

Im Betrieb der in der Figur 1 gezeigten Maschine gilt für jeden beliebigen Zeitpunkt die folgende Beziehung:

$$I_{ZK} = I_{Bat} - I_{Gen}.$$

Dabei ergibt sich der Generatorstrom I_{Gen} in Abhängigkeit von Stellung der Schalter der Leistungselektronik aus einer Überlagerung der Phasenströme I_1 bis I_5 für diejenigen Phasen, deren Highside-Schalter in dem jeweiligen Zeitpunkt durchgesteuert ist.

Es ist bereits eine sogenannte Center-Aligned-Ansteuerung bekannt. Bei dieser ist der Zeitbereich für den Stromfluss auf einen kleinen Zeitbereich konzentriert. Ein Ansteuermuster für eine derartige Center-Aligned-Ansteuerung und dabei auftretender Ströme sind in den in der Figur 2 gezeigten Diagrammen veranschaulicht.

Dabei sind in der Figur 2a die Ansteuersignale für die Schalter, in der Figur 2b der Zwischenkreisstrom I_{ZK} , in der Figur 2c die am Pluspol der Batterie anlie-

gende Spannung V_{B+} , in der Figur 2d der Batteriestrom I_{Bat} und in der Figur 2e die Phasenströme I_X bis I_Y dargestellt.

Aus der Figur 2a ist insbesondere ersichtlich, dass bei einer Center-Aligned-Ansteuerung die Pulsmitten der Ansteuerimpulse zeitlich übereinstimmen, wie es durch eine senkrecht gestrichelte Linie in der Figur 2a angedeutet ist. Ferner geht aus der Figur 2a hervor, dass die Flanken der Ansteuerimpulse zeitlich voneinander verschieden sind und sich in einem begrenzten zeitlichen Bereich befinden. Mit dem Text „Freilauf LS“ ist angedeutet, dass in diesem Zeitintervall alle Lowside-Schalter durchgesteuert sind. Mit dem Text „Freilauf HS“ ist angedeutet, dass in diesem Zeitintervall alle Highside-Schalter durchgesteuert sind. Mit dem Text „Antrieb“ wird zum Ausdruck gebracht, dass in diesem engen Zeitfenster durch die Schalterstellungen die el. Maschine an die äußere Spannung angeschlossen wird. Dadurch wird eine Stromänderung in den Ständerwicklungen hervorgerufen. Befindet sich ein Ansteuerimpuls auf dem Spannungsniveau 16 V, dann ist der jeweils zugehörige Highside-Schalter durchgesteuert. Befindet sich ein Ansteuerimpuls auf einem Spannungsniveau von 0 V, dann ist der jeweils zugehörige Lowside-Schalter durchgesteuert.

Der Figur 2b ist entnehmbar, dass der Zwischenkreisstrom I_{ZK} im zeitlichen Bereich der Flanken der Ansteuerimpulse starken Veränderungen unterworfen ist, wie noch anhand der Figur 3 näher veranschaulicht wird.

Aus der Figur 2c ist ersichtlich, dass auch die Batteriespannung V_{B+} im zeitlichen Bereich der Flanken der Ansteuerimpulse starken Veränderung unterworfen ist.

Die Figur 2d zeigt den Batteriestrom I_{Bat} und die Figur 2e die Phasenströme I_X bis I_Y , welche in Abhängigkeit von der Stellung des jeweils zugehörigen Highside-Schalters einen Beitrag zum Zwischenkreisstrom leisten oder nicht.

Die Figur 3 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt aus den in der Figur 2 gezeigten Diagrammen. Dabei sind in der Figur 3a wiederum die Ansteuersignale für die Schalter, in der Figur 3b der Zwischenkreisstrom I_{Zk} , in der Figur 3c die am Pluspol der Batterie anliegende Spannung V_{B+} , in der Figur 3d der Batteriestrom I_{Bat} und in der Figur 3e die Phasenströme I_X bis I_Y dargestellt.

Aus der Figur 3b ist ersichtlich, dass der Zwischenkreisstrom I_{ZK} durch eine Überlagerung des Batteriestromes I_{Bat} mit dem bzw. den jeweils aktiven Phasenströmen gebildet wird und dass im Falle einer Durchsteuerung der den Phasenanschlüssen X, U und W zugehörigen Highside-Schalter ein hoher Zwischenkreisstrom fließt, der im vorliegenden Beispiel etwa – 420 A beträgt, während der Batteriestrom etwa 80A und der effektive Phasenstrom etwa 200A beträgt.

Nach alledem geht aus den Figuren 2 und 3 hervor, dass sich bei einer Verwendung der bekannten Center-Aligned-Ansteuerung im Zwischenkreis Stromsprünge einstellen, die mit den einzelnen Schaltereignissen zeitlich korrelieren. Während der Freilaufzeiten, die in der Figur 2 angedeutet sind, d. h. wenn alle Highside- bzw. Lowside-Schalter geschlossen sind, wird $I_{Gen} = 0$. Folglich gilt für den Zwischenkreisstrom: $I_{ZK} = I_{Bat}$. In dieser Phase wird der Zwischenkreiskondensator nachgeladen. In der Ansteuerphase summieren sich die Ströme.

Für die Verlustleistungsbetrachtung des Zwischenkreiskondensators ist der Effektivstrom ausschlaggebend. Es gilt die folgende Beziehung:

$$X = \left(\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x(t)^2 \cdot dt \right)^{1/2}.$$

Das arithmetische Mittel des Kondensatorstromes liegt im Falle einer Vernachlässigung der Eigenverluste bei 0. Der Effektivwert steigt stark an, wenn die Ströme stark aufaddiert werden, d. h. wenn der Stromverlauf „spitz“ zuläuft. Aufgrund dieses starken Anstiegs des Effektivwertes ist die thermische Belastung des Zwischenkreiskondensators hoch. Eine derartige hohe thermische Belastung, wie sie bei Verwendung einer Center-Aligned-Ansteuerung auftritt, wird bei einem Verfahren gemäß der Erfindung vermieden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Stromverteilung durch ein neues Ansteuermuster in die Breite gezogen und damit der Effektivwert des Zwischen-

kreisstromes und die thermische Belastung des Zwischenkreiskondensators reduziert.

Die Figur 4a zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung eines fünfphasigen Sinussystems, wie es bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird, wobei in diesem Diagramm die Phasenfolge im Vergleich zu den in den Figuren 2 und 3 gezeigten Diagrammen verändert ist. Dabei sind längs der Abszisse der Winkel in π -Einheiten und längs der Ordinate Sollspannungsvorgaben für eine Ansteuerung der Schalter aufgetragen. Die zugehörigen Phasenströme sind mit U, V, W, X und Y bezeichnet. Ein oberer Grenzwert ist mit G_o und ein unterer Grenzwert mit G_u bezeichnet. Diese Grenzwerte sind in der Figur 4a gestrichelt veranschaulicht. Der obere Grenzwert G_o ist geringfügig kleiner als der maximale positive Sollspannungswert. Der andere Grenzwert G_u ist geringfügig größer als der minimale negative Sollspannungswert.

Die genannten Grenzwerte werden wie folgt ermittelt:

$$G_o = U_{\text{Soll\_amplitude}} \cdot \cos(360^\circ / (4 \cdot PZ))$$
$$G_u = -G_o,$$

wobei PZ die Phasenzahl der Maschine ist.

Bei der vorliegenden Erfindung stellt die Steuereinheit in aufeinanderfolgenden Ansteuerzyklen pulsformige Steuersignale für die Schalter bereit, deren Pulsbreiten und Pulsanfänge innerhalb eines Ansteuerzyklus jeweils derart variiert sind, dass der Zwischenkreisstrom reduziert ist.

Dies geschieht beispielsweise nach dem Flattop-Verfahren. Bei diesem Verfahren erfolgt ein aufeinanderfolgendes Durchschalten bestimmter Schalter, wie es nachfolgend erläutert wird.

In der Figur 4a sind Winkelintervalle bzw. Flattopfenster $\alpha_1, \dots, \alpha_{10}$ markiert, in denen Spannungsvorgaben in dem Sinne existieren, dass entweder der einer Stromphase zugeordnete Sollspannungswert größer ist als der obere Grenzwert G_o oder kleiner ist als der untere Grenzwert G_u . Ist der einer Stromphase zugeordnete Sollspannungswert größer als der obere Grenzwert G_o , dann wird im

zugehörigen Winkelintervall der zugehörige Highside-Schalter durchgesteuert. Ist hingegen der einer Stromphase zugeordnete Sollspannungswert kleiner als der untere Grenzwert G_u , dann wird im zugehörigen Winkelintervall der zugehörige Lowside-Schalter durchgesteuert, wie nachfolgend anhand der Figur 4b erläutert wird.

Diese veranschaulicht eine Erzeugung von Ansteuermustern für sinuskommutierte elektrische Maschinen durch einen Sinus-Dreiecks-Vergleich. Durch Beaufschlagung der Dreiecks-Funktion mit einem Offset-Faktor, der jeweils zum Zeitpunkt einer Flattop-Fenster-Umschaltung umgeschaltet wird, ergibt sich automatisch eine rotierende Durchsteuerung der 10 beteiligten Schalter. Die sinusförmigen Signale entsprechen den Sollspannungsvorgaben.

Aus den Figuren 4a und 4b ist ersichtlich, dass

- im Winkelintervall α_1 der Highside-Schalter der Phase X durchgeschaltet ist,
- im Winkelintervall α_2 der Lowside-Schalter der Phase V durchgeschaltet ist,
- im Winkelintervall α_3 der Highside-Schalter der Phase W durchgeschaltet ist,
- im Winkelintervall α_4 der Lowside-Schalter der Phase U durchgeschaltet ist,
- im Winkelintervall α_5 der Highside-Schalter der Phase Y durchgeschaltet ist,
- im Winkelintervall α_6 der Lowside-Schalter der Phase X durchgeschaltet ist,
- im Winkelintervall α_7 der Highside-Schalter der Phase V durchgeschaltet ist,
- im Winkelintervall α_8 der Lowside-Schalter der Phase W durchgeschaltet ist,
- im Winkelintervall α_9 der Highside-Schalter der Phase U durchgeschaltet ist und
- im Winkelintervall α_{10} der Lowside-Schalter der Phase Y durchgeschaltet ist.

Bei einer Phasenverschiebung von Strom und Spannung kann es sinnvoll sein, die Winkelintervalle $\alpha_1 - \alpha_{10}$ nach rechts oder links zu verschieben, wobei im vorliegenden Fall eine max. Verschiebung um 18° , allgemein um $360^\circ/(4 \cdot \text{Phasenzahl})$, möglich ist.

In jedem dieser Winkelintervalle werden abgesehen von dem Phasenstrom, der dem jeweils durchgesteuerten Schalter zugehörig ist, alle weiteren Phasenströme zur Reduzierung des Zwischenkreisstromes verwendet. Dies geschieht dadurch, dass die Steuereinheit durch ein geeignetes Ansteuermuster die genannten weiteren Phasenströme relativ zueinander derart verschiebt, dass der resultierende Zwischenkreisstrom reduziert ist. Dies kann dadurch erreicht werden,

dass die Verschiebung der genannten weiteren Phasenströme derart erfolgt, dass Überlappungen von positiven Phasenströmen reduziert werden und/oder dadurch, dass die Verschiebung der genannten weiteren Phasenströme derart erfolgt, dass positive und negative Phasenströme sich zumindest teilweise kompensieren.

Die Figur 5 zeigt Diagramme zur Veranschaulichung eines Ansteuermusters gemäß der Erfindung und des dabei auftretenden Zwischenkreisstromes. Dabei ist in der Figur 5a das Ansteuermuster und in der Figur 5b der dabei auftretende Zwischenkreisstrom gezeigt. Aus der Figur 5a ist ersichtlich, dass die den Phasen zugeordneten Ansteuerimpulse für die jeweils zugehörigen Schalter zeitlich voneinander separiert sind, d. h. einander nicht überlagert sind. Aus der Figur 5b ist ersichtlich, dass mit jedem Schaltvorgang gemäß der Figur 5a ein entsprechender Ausgleichsstrom im Zwischenkreis fließt. Die Absolutwerte des Zwischenkreisstromes sind im Vergleich zu dem in der Figur 2b gezeigten Zwischenkreisstrom um ca. 30% und damit deutlich reduziert. Diese Reduktion ist darauf zurückzuführen, dass es nicht mehr aufgrund einer systematischen Überlagerung der Phasenströme zu einer starken Überhöhung des Zwischenkreisstromes kommt.

In einem weiteren Optimierungsschritt können darüber hinaus die in positiver Richtung verlaufenden Stromspitzen des in der Figur 5b gezeigten Zwischenkreisstromes eliminiert werden. Dies wird anhand der Figur 6 erläutert, die ein Diagramm zu einer Detailbetrachtung der Spannungshöhen innerhalb einer Flat-top-Phase bei dem in der Figur 4 gezeigten fünfphasigen Sinussystem zeigt. In dem in der Figur 6 gezeigten Diagramm ist wiederum längs der Abszisse der Winkel in π (Φ) und längs der Ordinate Sollwertvorgaben U_{Soll} für eine Sinusansteuerung aufgetragen. Die Phasenströme sind wiederum mit U, V, W, X und Y bezeichnet. Ein oberer Grenzwert ist mit G_o und ein unterer Grenzwert mit G_u bezeichnet. Diese Grenzwerte sind in der Figur 6 gestrichelt dargestellt. Der in der Figur 6 gezeigte Winkelbereich liegt zwischen 0 und $0,2 \pi$ und entspricht etwa dem in der Figur 4a gezeigten Winkelbereich α_1 . In diesem Bereich α_1 ist der Highside-Schalter der Phase X durchgeschaltet, so dass die Phase X aufgrund des verwendeten Flattop-Verfahrens von jeglichen Taktungen ausgenommen ist. Die weiteren Phasenströme, d. h. die den Phasen U, V, W und Y zugeordneten Phasenströme, werden in diesem Winkelintervall zu einer Reduzierung

des Zwischenkreisstromes verwendet. Zum Zwecke dieser Reduzierung des Zwischenkreisstromes wird versucht, einen Zustand herbeizuführen, in welchem sich der Zwischenkreisstrom stets in der Nähe seiner Nulllinie bewegt. Besonders störend in diesem Zusammenhang sind Stromanteile, die eine Addition des Batteriestromes bewirken.

Beispielsweise ist aus der Figur 6 ersichtlich, dass die den Phasen U und V zugehörigen Phasenströme jeweils einen positiven Strombeitrag liefern, der im Falle einer Addition zu einer unerwünschten Erhöhung des Zwischenkreisstromes führen würde.

Diese unerwünschte Überlagerung der den Phasen U und V zugehörigen Phasenströme wird dadurch vermieden, dass die zugehörigen Ansteuerimpulse innerhalb einer Ansteuerperiode in geeigneter Weise verschoben werden. Diese Verschiebung kann ohne Einschränkung der Wirkung einer Sinuskommutierung innerhalb einer Ansteuerperiode beliebig erfolgen. Folglich kann der effektive Zwischenkreisstrom nochmals reduziert werden, wenn die Ansteuerung der Phasen, deren beide Schalter im momentanen Flattopfenster nicht durchgeschaltet sind, relativ zueinander derart verschoben werden, dass Überlappungen von positiven oder auch negativen Phasenströmen vermieden werden und/oder dass sich positive und negative Phasenströme gegenseitig zumindest teilweise kompensieren.

So ist aus der Figur 6 ersichtlich, dass an der Winkelposition $\Phi = 0$ folgende Augenblickswerte der Stromhöhen vorliegen:

$$I_V = 0 \text{ A}$$

$$I_X = 9,51 \text{ A}$$

$$I_U = 5,88 \text{ A}$$

$$I_W = -5,88 \text{ A}$$

$$I_Y = -9,51 \text{ A}$$

Aufgrund der gleichzeitigen Ansteuerung der Phasen W und U löschen sich die zugehörigen Phasenströme I_W und I_U gegenseitig aus. Des Weiteren löschen sich an dieser Winkelposition auch die Phasenströme I_X und I_Y aus, so dass der Generatorstrom I_{Gen} (siehe Figur 1) insgesamt 0 A beträgt und somit nicht zu einer unerwünschten Erhöhung des Zwischenkreisstromes führt.

Des Weiteren geht aus der Figur 6 hervor, dass an der Winkelposition $\Phi = 0,1$ folgende Augenblickswerte der Stromhöhen vorliegen:

$$I_U = 3,09 \text{ A}$$

$$I_X = 10 \text{ A}$$

$$I_V = 3,09 \text{ A}$$

$$I_W = -8,09 \text{ A}$$

$$I_Y = -8,09 \text{ A}.$$

Die Figur 7 zeigt Diagramme zur Veranschaulichung eines Ansteuermusters gemäß der vorstehend beschriebenen Weiterbildung der Erfindung, gemäß welcher eine Überlagerung positiver und negativer Phasenströme derart erfolgt, dass der Zwischenkreisstrom reduziert ist, und des dabei auftretenden Zwischenkreisstromes. Dabei ist in der Figur 7a das Ansteuermuster und in der Figur 7b der dabei auftretende Zwischenkreisstrom gezeigt. Im Vergleich zur Figur 5b ist ersichtlich, dass die positiven Spitzen des Zwischenkreisstromes nicht mehr vorhanden sind. Im Vergleich zur Figur 2b ist ersichtlich, dass die Maximalamplitude des Zwischenkreisstromes reduziert ist und dass die Verteilung des Zwischenkreisstromes verbreitert ist.

Die Figuren 5 und 7 sind im Hinblick auf die jeweils gezeigten Winkelpositionen unterschiedlich gewählt und deshalb nicht direkt miteinander vergleichbar. Der gewünschte Effekt, die positiven Spitzen des Zwischenkreisstromes, wie sie in der Figur 5b gezeigt sind, zu vermeiden, ist jedoch in der Figur 7 korrekt veranschaulicht.

Gemäß der Erfindung wird nach alledem ein Verfahren zur Ansteuerung einer mehrphasigen Maschine bereitgestellt, welches zu einer Reduzierung der effektiven Zwischenkreisströme in einer Größenordnung von bis zu 40% bei fünfphasigen Maschinen führt.

5 Ansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung einer mehrphasigen Maschine, welche einen mit einem Zwischenkreiskondensator versehenen Zwischenkreis, Phasenwicklungen und pro Phase einen Highside-Schalter und einen Lowside-Schalter aufweist, wobei die den einzelnen Phasen zugeordneten Schalter von einer Steuereinheit mit Steuersignalen beaufschlagt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (S) in aufeinanderfolgenden Ansteuerzyklen pulsförmige Steuersignale (S1 - S10) für die Schalter (HS1 - HS5, LS1 - LS5) bereitstellt, deren Pulsbreiten und Pulsanfänge innerhalb eines Ansteuerzyklus jeweils derart variiert sind, dass der Zwischenkreisstrom reduziert ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit die den einzelnen Phasen zugeordneten Schalter (HS1 - HS5, LS1 - LS5) nach dem Flattop-Verfahren ansteuert und Steuersignale für die Schalter in aufeinanderfolgenden Flattop-Fenstern relativ zueinander verschiebt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (S) die Steuersignale für die Schalter (HS1 - HS5, LS1 - LS5) derart zueinander verschiebt, dass Überlappungen von positiven oder negativen Phasenströmen im Zwischenkreis vermieden werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (S) die Steuersignale für die Schalter (HS1 - HS5, LS1 - LS5) derart zueinander verschiebt, dass positive und negative Phasenströme im Zwischenkreis sich gegenseitig zumindest teilweise kompensieren.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2-4, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Flattopfenster dem Doppelten der Phasenzahl der Maschine ent-

spricht, dass sich aufeinanderfolgende Flattopfenster jeweils zwischen Highside und Lowside abwechseln und dass sich ein Flattopfenster jeweils im Bereich eines positiven oder negativen Maximalwertes einer jeweils zugehörigen Spannungsvorgabe befindet.

5

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2-4, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Flattopfenster der Phasenzahl der Maschine entspricht, dass sich die Flattopfenster nur auf Highside oder Lowside beziehen und dass sich ein Flattopfenster jeweils im Bereich eines positiven oder negativen Maximalwertes einer jeweils zugehörigen Spannungsvorgabe befindet.

10

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit ein aufeinanderfolgendes Durchschalten der einzelnen Stromphasen zugeordneten Highside- und Lowside-Schalter (HS1 - HS5, LS1 - LS5) vornimmt, wobei ein einer Stromphase zugeordneter Highside-Schalter durchgesteuert wird, wenn der zugehörige Spannungssollwert größer ist als ein oberer Grenzwert (G_o) und ein einer Stromphase zugeordneter Lowside-Schalter durchgesteuert wird, wenn der zugehörige Spannungssollwert kleiner ist als ein unterer Grenzwert (G_u).

15

20

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 – 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Reduzierung des Zwischenkreisstromes durch ein zeitliches Verschieben der Steuersignale der Phasen vorgenommen wird, die einer momentan nicht durchgeschalteten Phase zugeordnet sind.

FIG. 1

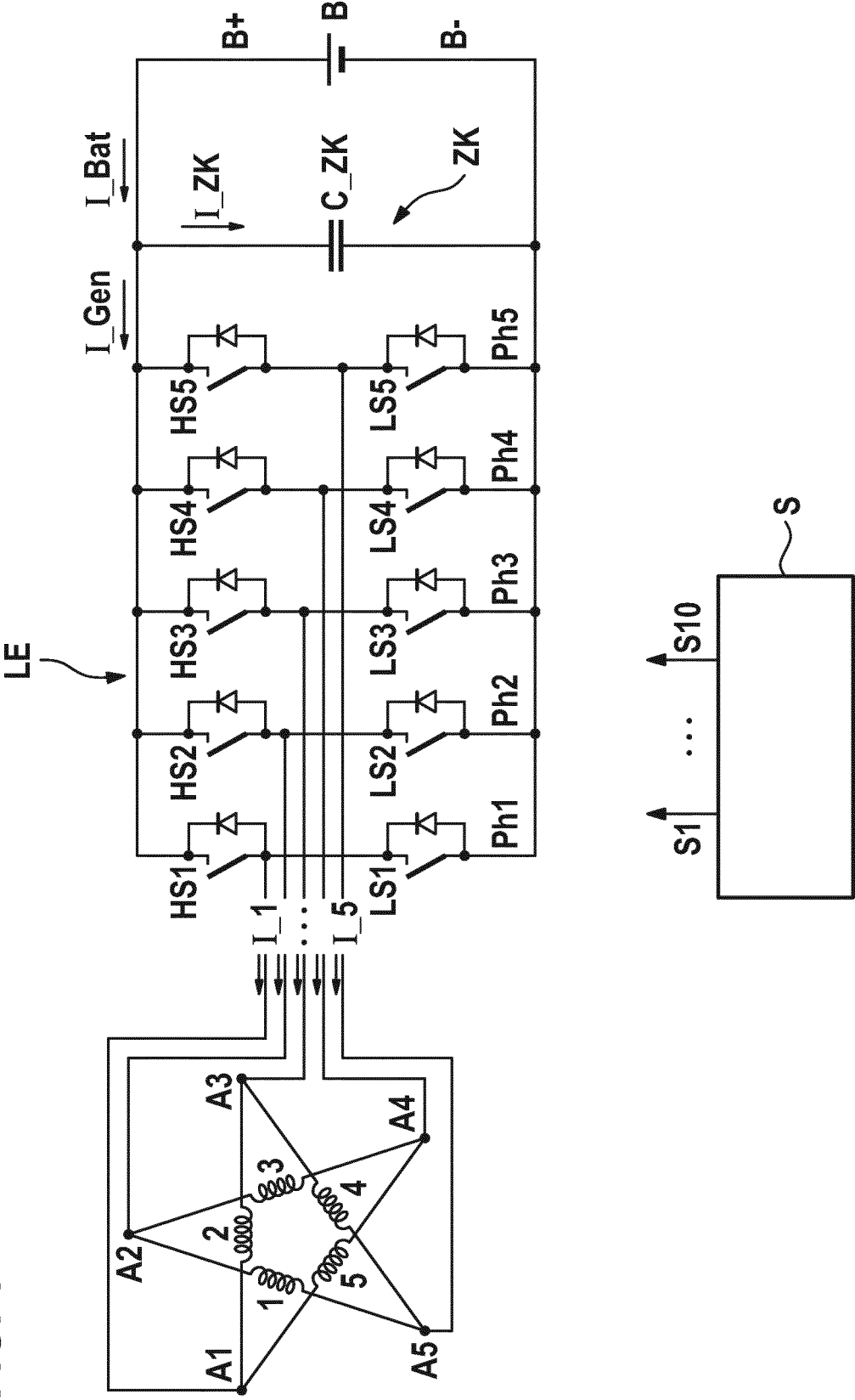


FIG. 2

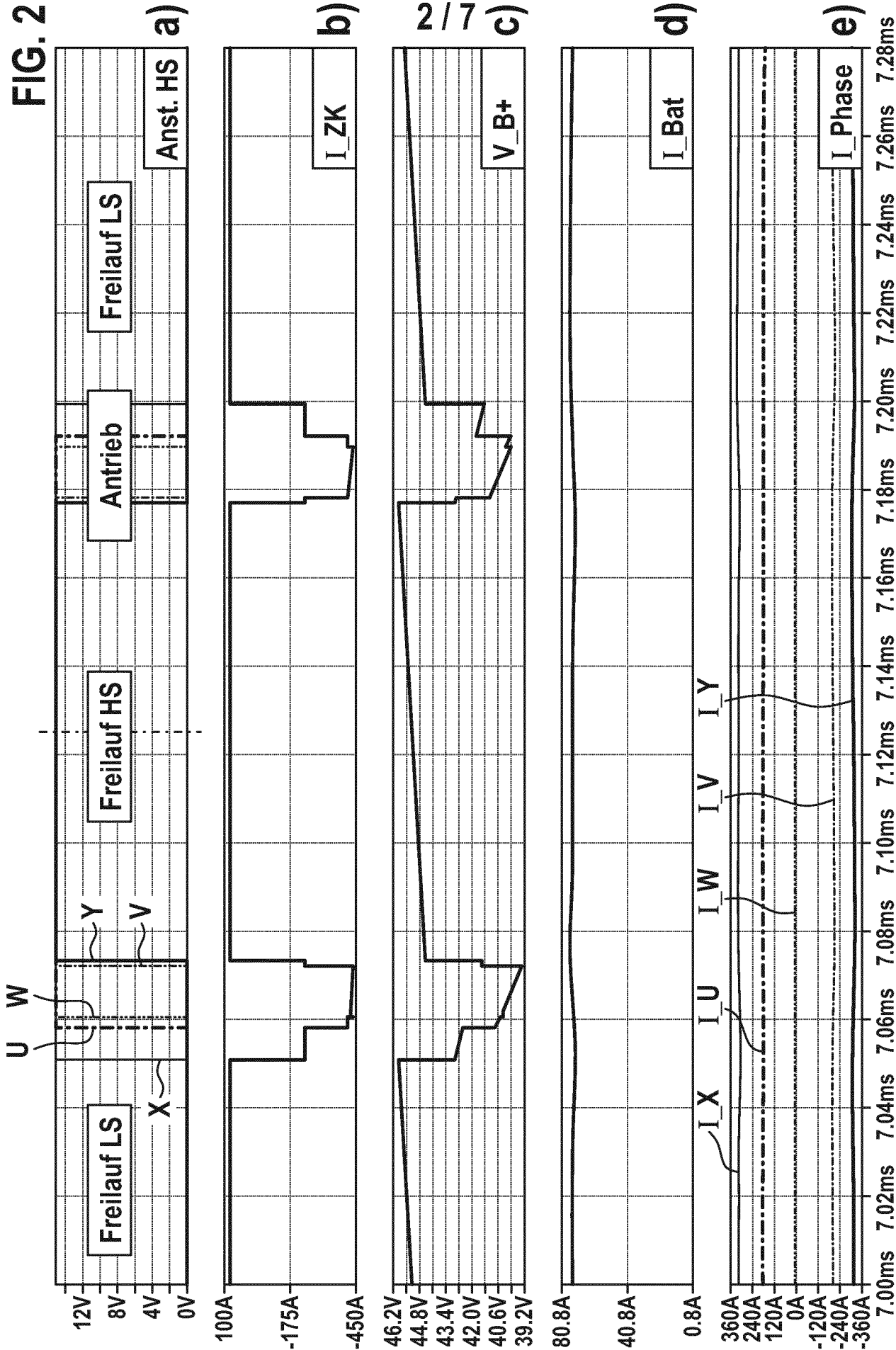
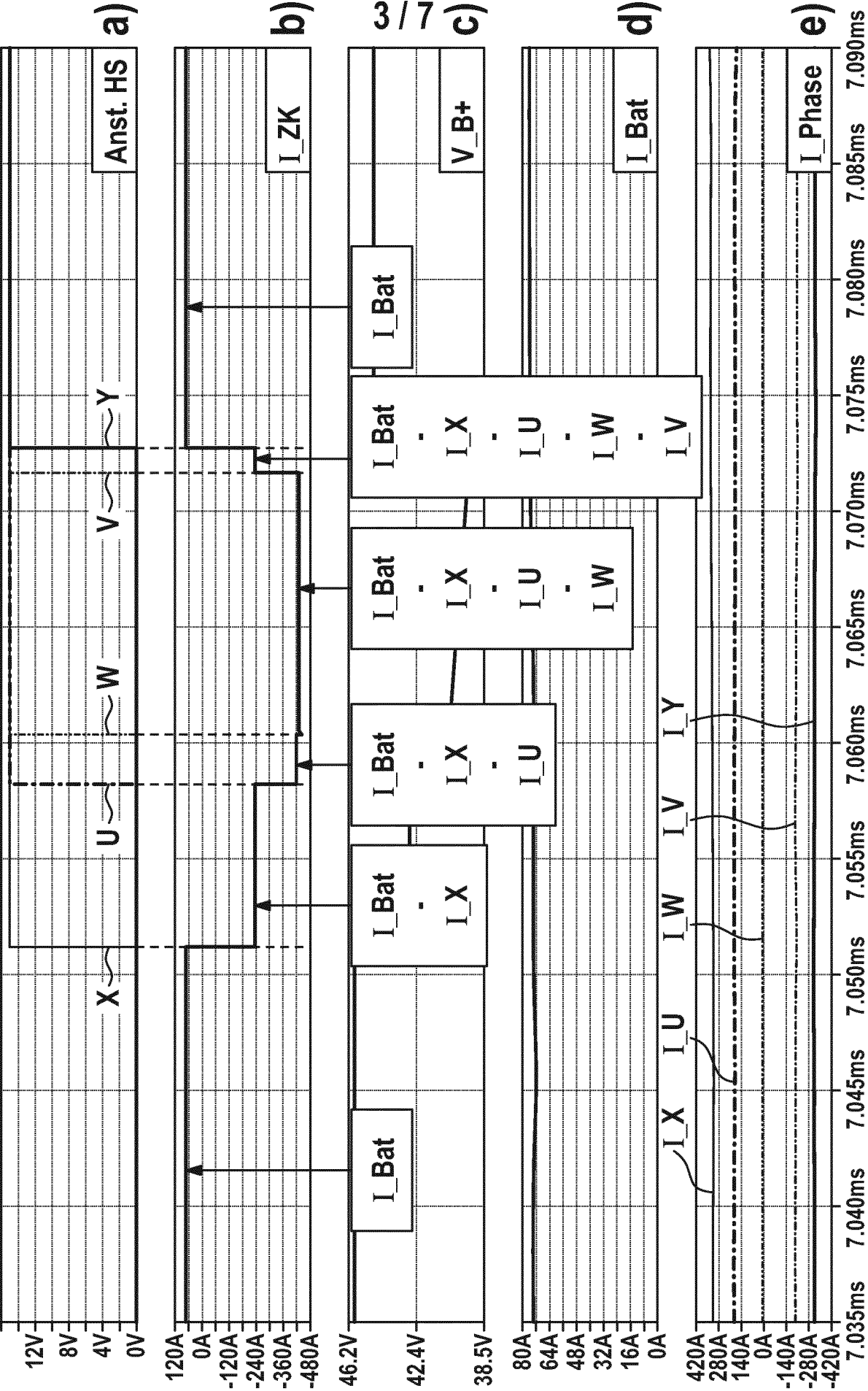


FIG. 3



4 / 7

FIG. 4

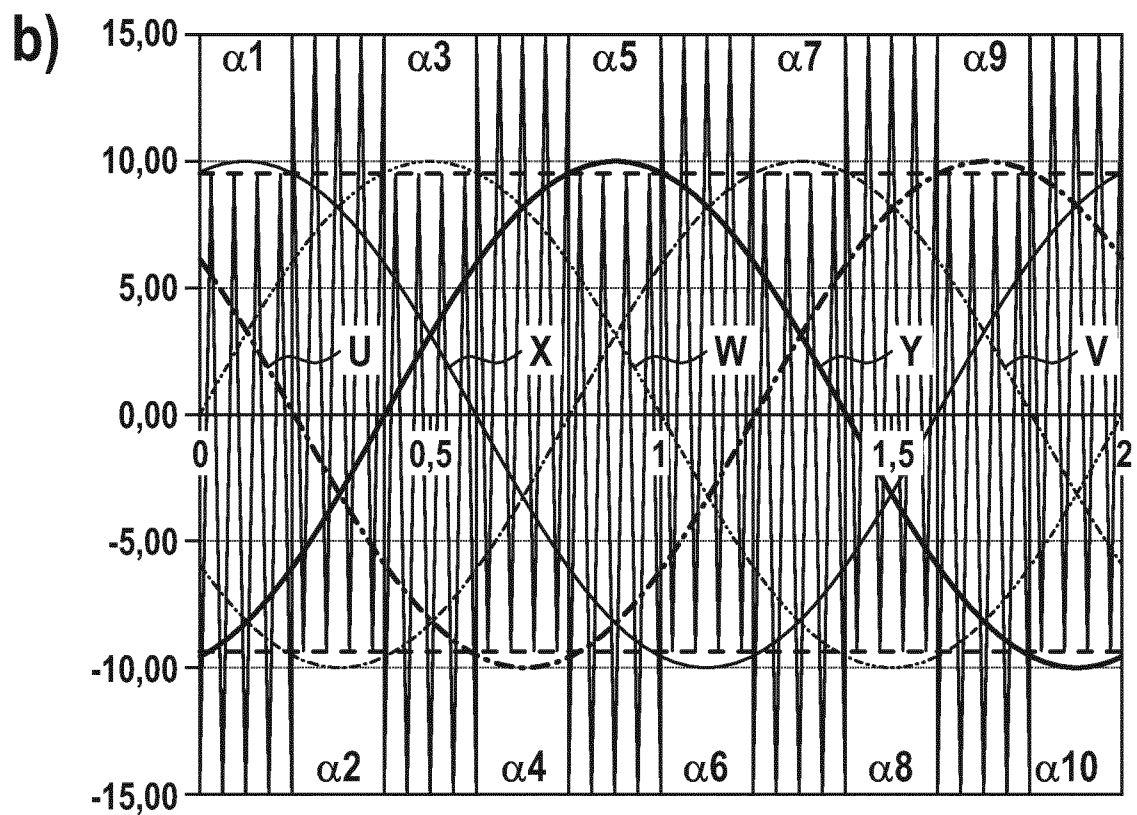
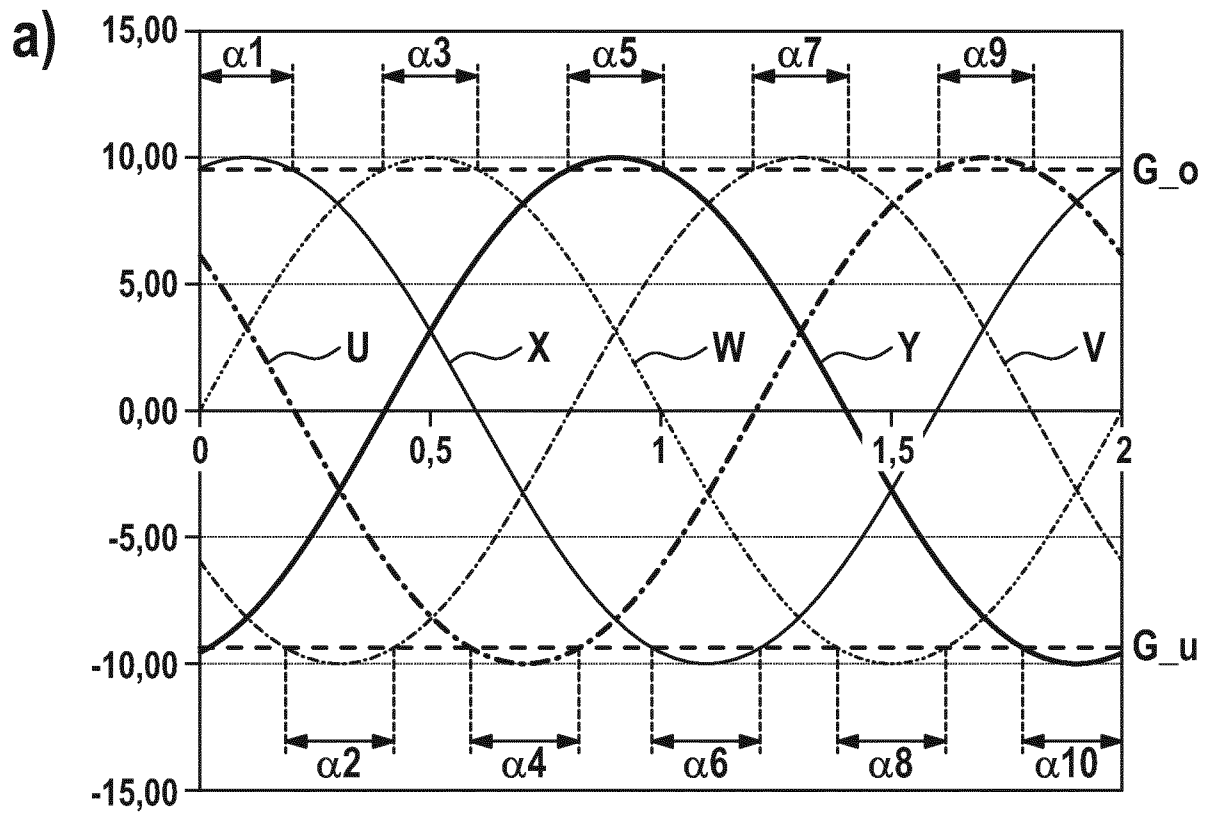
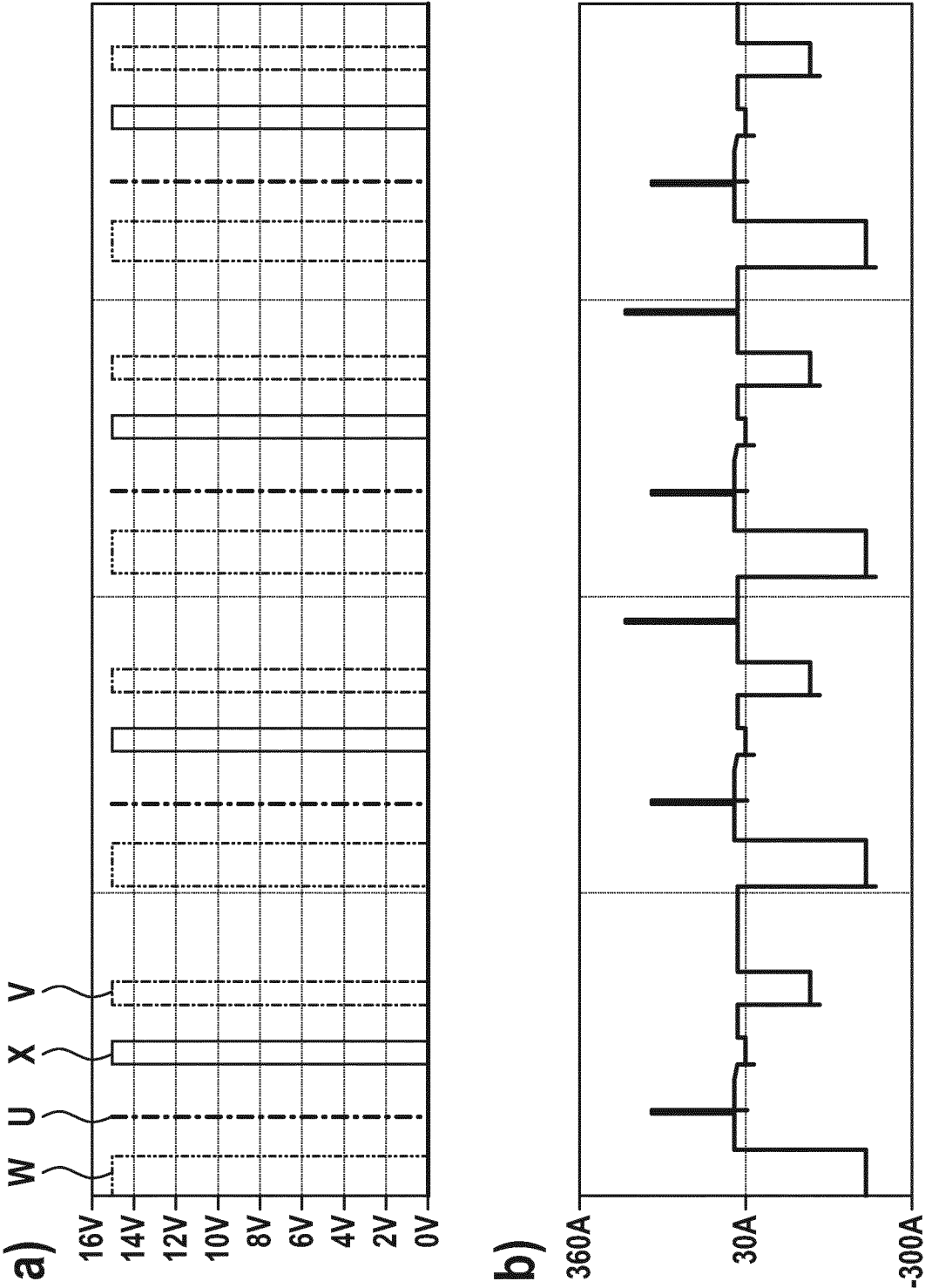


FIG. 5



6 / 7

FIG. 6

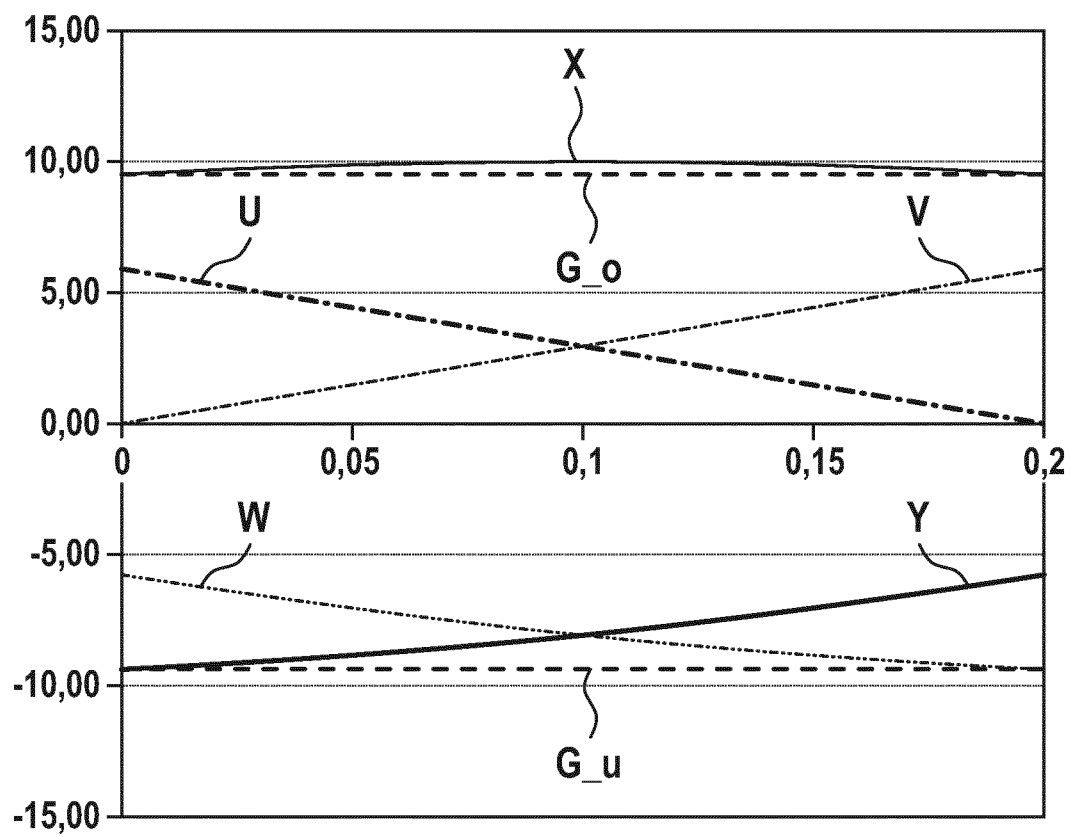
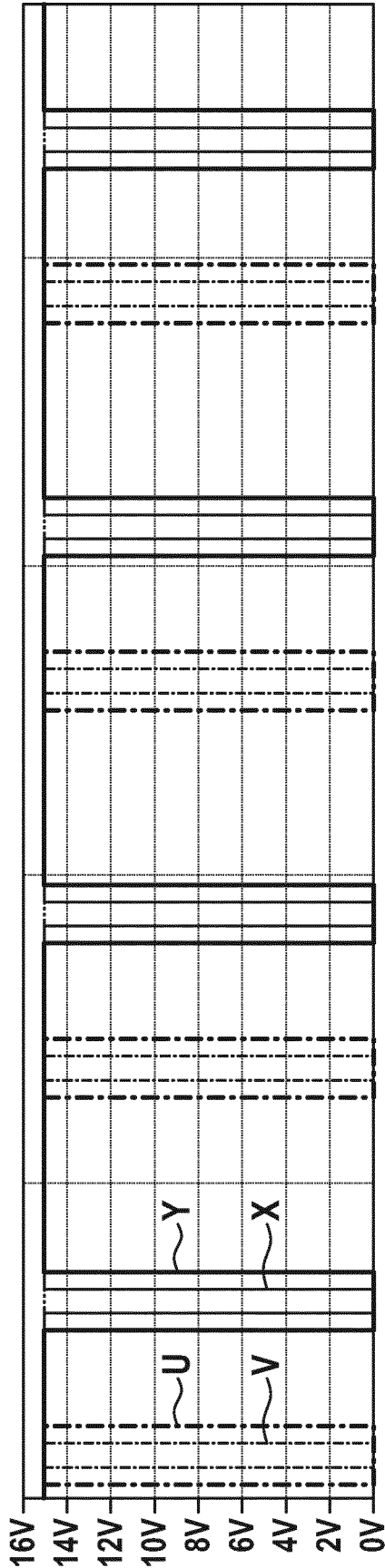
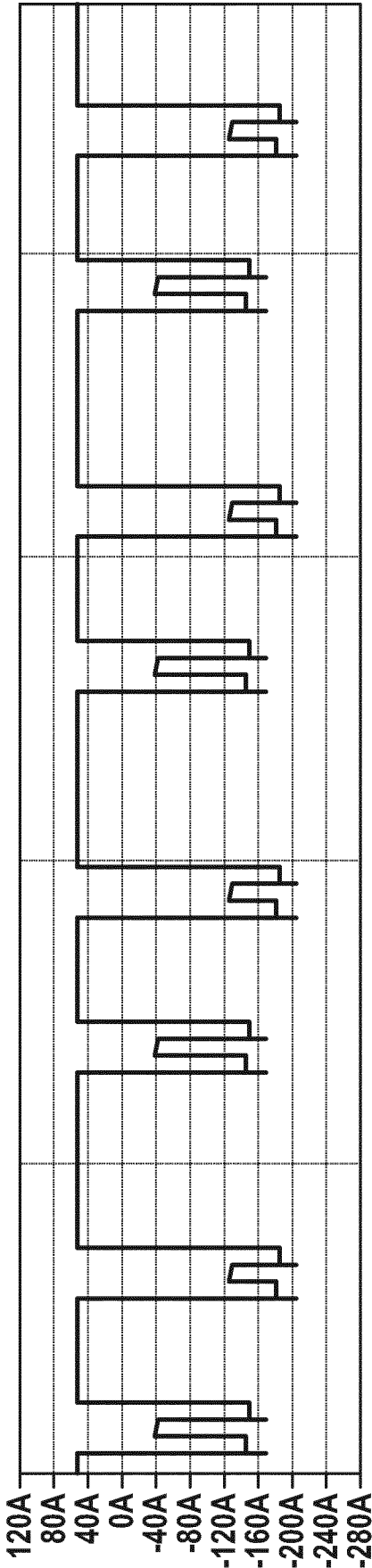


FIG. 7

a)



b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/058705

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H02M7/162 H02M7/219
ADD.

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 H02P

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	RUSONG WU ET AL: "A PWM AC TO DC CONVERTER WITH FIXED SWITCHING FREQUENCY", CONFERENCE RECORD OF THE INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL MEETING (IAS). PITTSBURGH, OCT. 2 - 7, 1988; [CONFERENCE RECORD OF THE INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL MEETING (IAS)], NEW YORK, IEEE, US, vol. CONF. 23, no. PART 1, 1988, 2 October 1988 (1988-10-02), pages 706-711, XP000011678, figures 2,4,9,10 -----	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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

10 October 2012

Date of mailing of the international search report

19/10/2012

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Taccoen, J

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02M7/162 H02M7/219
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02M H02P

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	RUSONG WU ET AL: "A PWM AC TO DC CONVERTER WITH FIXED SWITCHING FREQUENCY", CONFERENCE RECORD OF THE INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL MEETING (IAS). PITTSBURGH, OCT. 2 - 7, 1988; [CONFERENCE RECORD OF THE INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL MEETING (IAS)], NEW YORK, IEEE, US, Bd. CONF. 23, Nr. PART 1, 1988, 2. Oktober 1988 (1988-10-02), Seiten 706-711, XP000011678, Abbildungen 2,4,9,10 -----	1-6



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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

10. Oktober 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/10/2012

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

Taccoen, J