



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 120 845.8**

(22) Anmeldetag: **01.12.2015**

(43) Offenlegungstag: **16.06.2016**

(51) Int Cl.: **H02P 6/182 (2016.01)**
H02P 27/08 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
TO2014A001038 15.12.2014 IT

(71) Anmelder:
STMicroelectronics S.r.l., Agrate Brianza, IT

(74) Vertreter:
**KSNH Patentanwälte Klunker/Schmitt-Nilson/
Hirsch, 80796 München, DE**

(72) Erfinder:
**D Ángelo, Giuseppe, Tufino, IT; Clemente,
Virginia, Montesarchio, IT; Bisogno, Michele,
Cava de Tirreni, IT**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

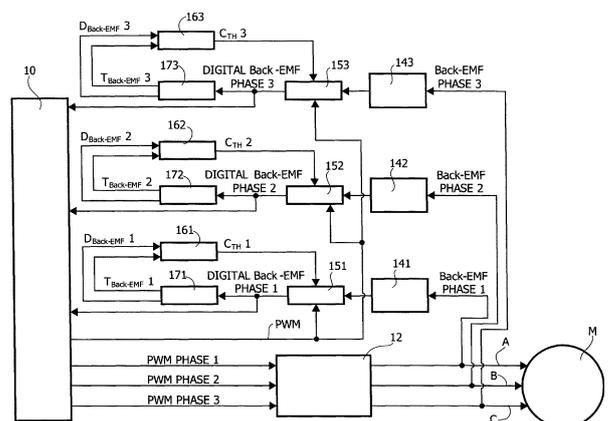
(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Ansteuern von bürstenlosen Motoren, entsprechende Vorrichtung, Motor und Computerprogrammprodukt**

(57) Zusammenfassung: Eine Ansteuervorrichtung zum Ansteuern von Gleichstrommotoren (z. B. BLDC-Motoren) mittels PWM-modulierter Ansteuersignale (PWM PHASE 1, PWM PHASE 2 und PWM PHASE 3) durch Erfassen von Back-EMF-Signalen während der Ein-Zeit der PWM-modulierten Ansteuersignale weist auf:

– Vergleichsschaltungen (151, 152, 153) zum Erzeugen von digitalisierten Back-EMF-Signalen (DIGITAL Back-EMF) mit ersten und zweiten Werten als eine Funktion davon, dass die Back-EMF-Signale über oder unter einem entsprechenden Schwellenwert (C_{TH}) liegen,

– einen Wechselrichter (12) zum Treiben der PWM-modulierten Ansteuersignale (PWM PHASE 1, PWM PHASE 2 und PWM PHASE 3) in einer gleichphasigen Beziehung mit den digitalisierten Back-EMF Signalen (DIGITAL Back-EMF);

– Steuerschaltungen (161, 162, 163; 171, 172, 173), die dafür konfiguriert sind, die entsprechenden Schwellenwerte (C_{TH}) durch Minimieren des Fehlers zwischen einer gemessenen Zeit (171, 172, 173) zwischen zwei aufeinanderfolgenden entgegengesetzten Flanken (beispielsweise einer positiven Flanke und der folgenden fallenden Flanke) des digitalisierten Back-EMF-Signals und der Hälfte einer gemessenen Zeit (171, 172, 173) zwischen zwei aufeinanderfolgenden homologen Flanken (beispielsweise zwei aufeinanderfolgenden steigenden Flanken oder zwei aufeinanderfolgenden fallende Flanken) des digitalisierten Back-EMF-Signals (DIGITAL Back-EMF) zu steuern.



Beschreibung

[0001] Die Beschreibung bezieht sich auf Techniken zum Ansteuern von bürstenlosen Motoren.

[0002] Eine oder mehrere Ausführungsformen können auf das Steuern von bürstenlosen Gleichstrom (BLDC)-Motoren angewendet werden.

[0003] In den letzten Jahren haben bürstenlose Gleichstrom(BLDC)Motoren zunehmend Interesse erweckt, beispielsweise für Anwendungen im Automobilbereich. Dies ist unter anderem begründet durch die höhere Zuverlässigkeit/Lebensdauer, den geringeren Wartungsaufwand und den ruhigeren Betrieb, die ein BLDC im Vergleich zu dessen Gleichstrom-Gegenstück „mit Bürste“ aufweist. Im Laufe des letzten Jahrzehnts haben kontinuierliche Verbesserungen bei Leistungshalbleitern und Controller-IC sowie die Produktion von bürstenlosen Motoren mit Permanentmagnet die Herstellung von zuverlässigen, kosteneffektiven Lösungen für einen breiten Bereich von Anwendungen mit einstellbarer Geschwindigkeit ermöglicht.

[0004] Anwendungen, für die BLDC-Motoren ausgelegt sind bzw. derzeit verwendet werden, umfassen beispielsweise Servolenkungen, Motorkühlgebläse, Kraftstoff/Wasserpumpen, Klimakompressoren sowie Heizungs-, Ventilations- und Klima(HVAC)-Gebläsemotoren.

[0005] Die „Phasen“ eines BLDC-Motors können mit Strömen gespeist werden, die Pulsbreitenmodulation (PWM) mit einem variablen Tastverhältnis unterzogen werden. Die Steuerung eines BLDC-Motors kann das Erfassen der gegenelektromotorischen Kraft (Back-EMF) beinhalten, die sowohl während der PWM-Ein-Zeit als auch während der PWM-Aus-Zeit auftreten kann.

[0006] Back-EMF-Nulldurchgangsdetektion während der PWM-Ein-Zeit kann sich als kritisch erweisen.

[0007] Ein theoretisch korrekter Vergleichsschwellenwert für diesen Zweck ist die Hälfte der Gleichstrombusspannung $V_{DC}/2$ für jede Motorphase. Gewisse Faktoren, wie beispielsweise die schwankende Dämpfung, die durch Tiefpassfiltern gemäß der Drehzahl eingeführt wird, sowie die Verwendung von Widerständen mit geringer Präzision für Spannungsteiler in kostengünstigen Anwendungen können zu einem korrekten Vergleichsschwellenwert führen, der sich von dem theoretischen Wert unterscheidet und für jede Motorphase unterschiedlich sein kann.

[0008] Die Verwendung eines falschen Vergleichsschwellenwerts kann zu Zeitsteuerungsfehlern für Wechselrichter-Dreiphasen-Kommutierung

führen; diese Zeitsteuerungsfehler können verschiedene Nachteile, wie beispielsweise einen erhöhten Energieverbrauch bei einer festen Drehzahl, verstärkte hörbare Geräusche sowie eine erhöhte Drehzahlwelligkeit, bewirken.

[0009] Aus diesem Grund kann eine Back-EMF-Erfassung während der PWM-Aus-Zeit bevorzugt werden. Allerdings erfordert eine Back-EMF-Erfassung während der PWM-Aus-Zeit, dass eine Mindest-PWM-„Aus“-Zeit vorhanden sein sollte, um das PWM-Tastverhältnis auf weniger als 100% zu begrenzen. In verschiedenen Anwendungen kann dies einen inakzeptablen Nachteil darstellen.

[0010] Eine oder mehrere Ausführungsformen haben somit die Aufgabe, verbesserte Anordnungen bereitzustellen, die u. a. solch einen Nachteil überwinden.

[0011] Eine oder mehrere Ausführungsformen erfüllen diese Aufgabe dank einem Verfahren mit den in den folgenden Ansprüchen dargelegten Eigenschaften.

[0012] Eine oder mehrere Ausführungsformen können sich auf eine entsprechende Steuervorrichtung, einen entsprechenden mit einer solchen Steuervorrichtung ausgestatteten Motor sowie auf ein Computerprogrammprodukt beziehen, das in den Speicher mindestens einer Prozessor-Vorrichtung geladen werden kann und Softwarecodeteile zum Ausführen der Schritte des Verfahrens beinhaltet, wenn das Produkt auf mindestens einem Computer ausgeführt wird. Die Bezugnahme auf solch ein Computerprogrammprodukt ist hierin zu verstehen als ein Äquivalent zur Bezugnahme auf eine computerlesbare Einrichtung, die Anweisungen zum Steuern des Verarbeitungssystems enthält, um die Umsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens zu koordinieren. Die Bezugnahme auf „mindestens eine Prozessorvorrichtung“ soll die Möglichkeit betonen, die vorliegende Erfindung in modularer und/oder verteilter Form umzusetzen.

[0013] Die Ansprüche sind ein fester Bestandteil der Offenbarung einer oder mehrerer beispielhafter Ausführungsformen, wie hierin dargelegt.

[0014] Eine oder mehrere Ausführungsformen können eine Anordnung zum automatischen Auswählen eines korrekten Vergleichsschwellenwerts für jede Motorphase zur Verbesserung der Back-EMF-Erfassung während der PWM-Aus-Zeit bereitstellen.

[0015] In einer oder mehreren Ausführungsformen kann ein korrekter Vergleichsschwellenwert für jede Motorphase automatisch ausgewählt werden, um die Back-EMF-Erfassung während der PWM-Aus-Zeit ohne die Verwendung einer zusätzlichen exter-

nen Schaltungsanordnung und mit einer geringen Rechenlast zu verbessern.

[0016] In einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Aktion einer Steuervorrichtung Fehler kompensieren, die beispielsweise durch eine durch Tiefpassfiltern gemäß der Drehzahl eingeführte schwankende Dämpfung, die Verwendung von Widerständen mit geringer Präzision für Spannungsteiler, die Verwendung eines virtuellen Neutralpunkts und/oder Schwankungen in der Energieversorgungsspannung bedingt sind.

[0017] Eine oder mehrere Ausführungsformen werden jetzt rein mittels nicht beschränkender Beispiele mit Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben. In denen zeigen:

[0018] Fig. 1 ein allgemeines Blockdiagramm einer Steueranordnung für einen bürstenlosen Gleichstrommotor;

[0019] Fig. 2 bis Fig. 4 Blockdiagramme als Beispiele für mögliche Einzelheiten der Anordnung gemäß Fig. 1; und

[0020] Fig. 5 ein weiteres Blockdiagramm als Beispiel für mögliche Einzelheiten der Anordnung gemäß Fig. 1.

[0021] In der folgenden Beschreibung werden eine oder mehrere spezielle Einzelheiten mit dem Ziel dargestellt, ein tieferes Verständnis der beispielhaften Ausführungsformen zu schaffen. Die Ausführungsformen können ohne eine oder mehrere der speziellen Einzelheiten oder mit anderen Verfahren, Komponenten, Materialien usw. erlangt werden. In anderen Fällen sind bekannte Strukturen, Materialien oder Vorgänge nicht im Detail dargestellt oder beschrieben, um bestimmte Aspekte von Ausführungsformen nicht zu überdecken.

[0022] Die Bezugnahme auf „eine Ausführungsform“ im Rahmen der vorliegenden Beschreibung soll darauf hinweisen, dass eine bestimmte im Bezug zu der Ausführungsform beschriebene Konfiguration, Struktur oder Eigenschaft in mindestens einer Ausführungsform enthalten ist. Somit beziehen sich Ausdrücke wie beispielsweise „in einer Ausführungsform“, die in einem oder mehreren Punkten der vorliegenden Beschreibung vorkommen können, nicht notwendigerweise auf ein und dieselbe Ausführungsform. Außerdem können bestimmte Konfigurationen, Strukturen oder Eigenschaften auf jegliche adäquate Weise in einer oder mehreren Ausführungsformen kombiniert werden.

[0023] Die hierin verwendeten Bezugszeichen sind nur zum besseren Verständnis vorgesehen und de-

finieren somit nicht den Schutzzumfang oder Anwendungsbereich der Ausführungsformen.

[0024] Fig. 1 ist ein allgemeines Blockdiagramm einer Steueranordnung für einen mit M gekennzeichneten bürstenlosen Gleichstrom(BLDC)-Motor.

[0025] BLDC-Motoren sind elektronisch kommutierte Motoren mit einem linearen Strom/Spannung-zu-Drehmoment/Drehzahl-Verhältnis.

[0026] In wie in Fig. 1 als Beispiel dargestellten Anordnungen kann ein BLDC-Motor (an sich kein Teil einer oder mehrerer Ausführungsformen) über einen Dreiphasenwechselrichter **12** von einer Hauptsteuereinrichtung **10** angesteuert werden, beispielsweise durch Verwendung von Sechs-Schritt-Kommutierung für einfache Anwendungen.

[0027] In wie in Fig. 1 als Beispiel dargestellten Anordnungen kann die Steuereinrichtung **10** beispielsweise drei PWM-modulierte (Strom) Ansteuersignale PWM PHASE 1, PWM PHASE 2 und PWM PHASE 3 an den Wechselrichter **12** schicken (beispielsweise eines für jede der Motor-„Phasen“ A, B, C). Eine beispielhafte Kommutierungsphasenabfolge kann AB-AC-BC-BA-CA-CB sein, wobei die Leitintervalle für jede Phase gleich 120 Grad elektrisch betragen. In einer solchen Anordnung leiten jedes Mal, wenn die dritte Phase schwebend ist, nur zwei der Phasen Strom.

[0028] Um einen maximalen Drehmoment herzustellen, kann der Drei-Phasen-Wechselrichter **12** alle 60 Grad elektrisch kommutiert werden, so dass jeder Motorphasenstrom gleichphasig mit dem Back-EMF ist. Die Kommutierungszeitsteuerung wird durch die Rotorposition bestimmt, die alle 60 Grad elektrisch durch Detektierung von Nulldurchgängen von Back-EMF bei der schwebenden Phase des Motors bestimmt werden kann.

[0029] Dafür können Back-EMF-Signale für jede der Phasen, d. h. Back-EMF PHASE 1, Back-EMF PHASE 2, Back-EMF PHASE 3, erfasst werden und zur Hauptsteuereinrichtung **10** rückgekoppelt werden.

[0030] Wie angegeben, kann jedes Back-EMF-Signal während der PWM-Aus-Zeit oder während der PWM-Ein-Zeit detektiert werden.

[0031] Während der PWM-Aus-Zeit ist die Anschlussspannung bei der schwebenden Phase direkt proportional zu der Phase Back-EMF, während sie während der PWM-Ein-Zeit direkt proportional zu der Back-EMF-Spannung plus die Hälfte der Gleichstrombusspannung V_{DC} ist.

[0032] Für weitere Einzelheiten von wie vorstehend beschriebenen Anordnungen kann auf Dokumente wie beispielsweise Shao, J.: „An Improved Microcontroller-Based Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drive for Automotive Applications“ IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 42, NO. 5, 2006, Bezug genommen werden.

[0033] In einer oder mehreren wie in **Fig. 1** als Beispiel dargestellten Ausführungsformen können die Back-EMF-Signale Back-EMF PHASE 1, Back-EMF PHASE 2, Back-EMF PHASE 3 über Sensorschaltungen **141**, **142** und **143** erfasst werden, die möglicherweise dafür ausgelegt sind, eine Konditionierungsaktion auszuführen, so dass das Sensorsignal in einem erwünschten Spannungsbereich liegt und/oder überlapptes Rauschen daraus entfernt wird.

[0034] **Fig. 2** ist ein Beispiel für eine optionale, jedoch nicht zwingend erforderliche Sensoranordnung von Sensorschaltungen **141**, **142** und **143** (für die Back-EMF für Phasen A, B und C), die einen Spannungsteiler, der Widerstände R1, R2 aufweist, und ein RC Tiefpassfilter, dem die Ausgabe von dem Spannungsteiler R1, R2 zugeführt wird und das einen Widerstand R3 und einen Kondensator C1 aufweist, aufweist.

[0035] Back-EMF-Nulldurchgangsereignisse in einer Motorphase treten zweimal für jeden elektrischen „Durchgang“ auf; das erste Ereignis ist ein positiver Nulldurchgang (PZC) und das zweite Ereignis ist ein negativer Nulldurchgang (NZC). Auf der Grundlage dieses Konzepts kann das Back-EMF-Signal für jede Motorphase digitalisiert werden, beispielsweise so, dass es einen ersten Wert (beispielsweise einen hohen Pegel oder „1“) annimmt, wenn das Back-EMF-Signal größer ist als der Vergleichsschwellenwert, und einen zweiten Wert (beispielsweise einen niedrigen Pegel oder „0“) annimmt, wenn das Back-EMF-Signal kleiner ist als der Vergleichsschwellenwert.

[0036] Die Umwandlung von digitalen Back-EMF-Signalen kann beispielsweise eine Schwellenwertvergleichseinrichtung beinhalten. In dem Diagramm in **Fig. 1** sind somit drei beispielhafte Vergleichsblöcke **151**, **152** und **153** gezeigt, denen die Ausgangssignale von den Blöcken **141**, **142** und **143** für die Phasen A, B und C zugeführt werden.

[0037] In einer oder mehreren Ausführungsformen können die in den Vergleichsblöcken **151**, **152** und **153** erzeugten digitalisierten Back-EMF-Werte an die Hauptsteuereinrichtung **10** geschickt werden, um in dieser (auf eine an sich bekannte Weise) bei der Erzeugung der Ansteuersignale PWM PHASE 1, PWM PHASE 2 und PWM PHASE 3 für die Phasen A, B und C des Motors M verwendet zu werden.

[0038] Ein Fachmann wird schnell verstehen, dass, während die übliche Bezeichnung „Nulldurchgang“ hierin in Verbindung mit z. B. Ereignissen von positivem Nulldurchgang (PZC) und negativem Nulldurchgang (NZC) verwendet werden kann, sich die hierin betrachteten Ereignisse tatsächlich auf Durchgänge, in die positive und in die negative Richtung, durch einen Schwellenwert, der möglicherweise nicht Null ist (beispielsweise $V_{DC}/2$, $C_{TH} X$), beziehen können: beispielsweise kann ein angenommener Vergleichsschwellenwert zum Detektieren der Ereignisse eines positiven und eines negativen „Nulldurchgangs“ während der PWM-Ein-Zeit auf die Hälfte einer Gleichstrombusspannung $V_{DC}/2$ für jede Motorphase eingestellt werden.

[0039] Ein korrekter Vergleichsschwellenwert, d. h., ein Vergleichsschwellenwert, der dafür ausgelegt ist, einen korrekten Motorbetrieb sicherzustellen, kann sich von dem theoretischen Wert unterscheiden und für jede Motorphase unterschiedlich sein. Wie angegeben, kann dies durch verschiedene Faktoren bedingt sein, wie beispielsweise die durch Tiefpassfiltern gemäß der Drehzahl eingeführte schwankende Dämpfung, durch die Verwendung von Widerständen mit geringer Präzision für Spannungsteiler bedingte Fehler, durch die Verwendung eines virtuellen Neutralpunktes bedingte Fehler und/oder durch Schwankungen der Versorgungsspannung bedingte Fehler.

[0040] In einer oder mehreren Ausführungsformen können die Vergleichsschwellenwerte für die Vergleichsblöcke **151**, **152** und **153** (für Phasen A, B und C) nicht fest, sondern variabel (beispielsweise programmierbar) gestaltet sein. Dies ist schematisch in **Fig. 3** dargestellt, in der ein Block als Beispiel für einen beliebigen der Vergleichsblöcke **151**, **152** und **153** gezeigt ist, der zusätzlich zu einem PWM-Auslösesignal von der Hauptsteuereinrichtung **10** (das es dem Vergleichsblock ermöglicht, die PWM-Ein-Zeit zu identifizieren, während der Back-EMF erfasst wird) einen variablen Schwellenwert empfängt, wie er von einem Steuerblock **161**, **162** und **163** erzeugt wird.

[0041] Die Steuerblöcke **161**, **162** und **163** reagieren wiederum auf Ausgangssignale von Phasen A, B und C von Messblöcken **171**, **172** und **173**.

[0042] In der beispielhaften Darstellung in **Fig. 1** sind der Einfachheit halber drei getrennte Verarbeitungsketten **141**, **151**, **161**, **171**; **142**, **152**, **162**, **172**; und **143**, **153**, **163**, **173** für Phasen A, B und C gezeigt.

[0043] In einer oder mehrerer Ausführungsformen können diese Ketten vollständig oder teilweise in einer einzelnen Verarbeitungseinheit integriert sein, die dafür ausgebildet ist, die Phasen A, B und C zu verarbeiten (beispielsweise in einer Zeiteilungsverarbeitungsanordnung). Das bedeutet, eine oder mehrere Ausführungsformen können entweder eine einzi-

ge Steuereinrichtung für alle drei Motorphasen oder drei unabhängige Steuereinrichtungen (eine pro Motorphase) aufweisen. In einer oder mehreren Ausführungsformen kann dadurch, dass möglicherweise entschieden wird, unter Vernachlässigung von anderen Fehlertypen nur bestimmte Fehler, beispielsweise die durch Verwendung eines virtuellen Neutralpunkts oder durch die Energieversorgung eingeführten Fehler, oder die Fehler, die alle drei Phasen gleich beeinträchtigen zu kompensieren, ein einziger Vergleichsschwellenwert für alle Phasen verwendet werden.

[0044] Die Diagramme aus **Fig. 4** und **Fig. 5** sind beispielhaft für die Verarbeitung des DIGITAL Back-EMF X Signals von einer der Vergleichseinrichtungen **151**, **152**, **153** in einer entsprechenden der Messschaltungen **171**, **172**, **173**, um zwei Signale $D_{\text{Back-EMF } X}$ und $T_{\text{Back-EMF } X}$ zu erzeugen, die einem entsprechenden der Steuerblöcke **161**, **162**, **163** zugeführt werden, die wiederum Schwellenwertsteuersignale $C_{\text{TH } X}$ für die Vergleichseinrichtungen **151**, **152**, **153** erzeugen. Hierin ist X ein Index, der die drei Phasen identifiziert, beispielsweise X = 1, 2 und 3 für Phasen A, B und C.

[0045] Das bedeutet, in einer oder mehreren Ausführungsformen wie in **Fig. 1** als Beispiel dargestellt:

- wird das DIGITAL Back-EMF 1 Signal von der Vergleichseinrichtung **151** in der Messvorrichtung **171** verarbeitet, um zwei Signale $D_{\text{Back-EMF } 1}$ und $T_{\text{Back-EMF } 1}$ zu erzeugen, die dem Block **161** zugeführt werden, um ein Schwellenwertsteuersignal $C_{\text{TH } 1}$ für die Vergleichseinrichtung **151** zu erzeugen;
- wird das DIGITAL Back-EMF 2 Signal von der Vergleichseinrichtung **152** in der Messvorrichtung **172** verarbeitet, um zwei Signale $D_{\text{Back-EMF } 2}$ und $T_{\text{Back-EMF } 2}$ zu erzeugen, die dem Block **162** zugeführt werden, um ein Schwellenwertsteuersignal $C_{\text{TH } 2}$ für die Vergleichseinrichtung **152** zu erzeugen;
- wird das DIGITAL Back-EMF 3 Signal von der Vergleichseinrichtung **153** in der Messvorrichtung **173** verarbeitet, um zwei Signale $D_{\text{Back-EMF } 3}$ und $T_{\text{Back-EMF } 3}$ zu erzeugen, die dem Block **163** zugeführt werden, um ein Schwellenwertsteuersignal $C_{\text{TH } 3}$ für die Vergleichseinrichtung **153** zu erzeugen.

[0046] In einer oder mehreren Ausführungsformen kann der Vergleich in den Vergleichsblöcken **151**, **152**, **153** von dem PWM-Auslösesignal synchron mit der PWM-„Ein“-Zeit ausgelöst werden, wobei das Vergleichsergebnis (Niedrigpegelsignal oder Hochpegelsignal) bis zum nächsten Vergleich gespeichert wird.

[0047] Das digitalisierte Back-EMF-Signal, das das DIGITAL Back-EMF X für jede Motorphase ist, kann

somit grundsätzlich ein PWM-Signal mit einer Periode $T_{\text{Back-EMF } X}$ gleich der Zeit zwischen dem Auftreten eines PZC und dem nächsten PZC und ein „Tastverhältnissignal“ sein, das beispielsweise gleich der Zeit $D_{\text{Back-EMF } X}$ zwischen dem Auftreten eines PZC und dem darauffolgenden NZC (das heißt, die Zeit des Signals ist „hoch“) oder der Zeit zwischen dem Auftreten eines NZC und dem folgenden PZC (d. h. die Zeit des Signals ist „niedrig“) sein kann.

[0048] Auch hier wird zu verstehen sein, dass die betreffenden „Null“-Durchgangseignisse (PZC, NZC) tatsächlich gegen Schwellenwerte stattfinden, die im Allgemeinen Schwellenwerte sind, die nicht Null sind. Die Bezugnahme auf das Signal $D_{\text{Back-EMF } X}$ als ein „Tastverhältnis“-Signal berücksichtigt außerdem die Tatsache, dass der Wert eines solchen Signals (beispielsweise das Verhältnis des Signals zu der Periode $T_{\text{Back-EMF } X}$) das Tastverhältnis des relativen Signals identifiziert.

[0049] Die Werte $D_{\text{Back-EMF } X}$ und $T_{\text{Back-EMF } X}$ können somit von den Messschaltungen **171**, **172**, **173** gemessen werden (vergleiche beispielsweise **Fig. 4**).

[0050] In einer oder mehreren Ausführungsformen kann eine solche Messung beispielsweise einen Timer/Zähler zum Messen der Zeit $T_{\text{Back-EMF } X}$ zwischen den aufeinanderfolgenden steigenden Flanken des digitalisierten BACK-EMF-Signals DIGITAL Back-EMF und der Zeit $D_{\text{Back-EMF } X}$ zwischen einer steigenden Flanke und der darauffolgenden fallenden Flanke des gleichen Signals beinhalten.

[0051] In einer oder mehreren Ausführungsformen können die zum Messen der Zeit $T_{\text{Back-EMF } X}$ verwendeten homologen aufeinanderfolgenden Flanken anstatt von zwei aufeinanderfolgenden steigenden Flanken des digitalisierten Back-EMF-Signals DIGITAL Back-EMF X zwei aufeinanderfolgende fallende Flanken des gleichen Signals sein.

[0052] Auf ähnliche Weise können in einer oder mehreren Ausführungsformen die zum Messen der Zeit $D_{\text{Back-EMF } X}$ verwendeten entgegengesetzten aufeinanderfolgenden Flanken anstatt einer fallenden Flanke und der darauffolgenden steigenden Flanke des digitalisierten Back-EMF-Signals DIGITAL Back-EMF X eine fallende Flanke und die darauffolgende steigende Flanke des gleichen Signals sein.

[0053] In einer oder mehreren Ausführungsformen führt ein korrekter Vergleichsschwellenwert dazu, dass der Wert des Tastverhältnissignals $D_{\text{Back-EMF } X}$ gleich der Hälfte des werts des Periodensignals $T_{\text{Back-EMF } X}$ ist, das heißt $D_{\text{Back-EMF } X} = T_{\text{Back-EMF } X} / 2$ (für alle drei Phasen, d. h. wobei X = 1, 2, 3 für Phasen A, B und C).

[0054] Im Gegensatz dazu wird unter der Annahme, dass das Signal $D_{\text{Back-EMF}} X$ als „Hochpegel“-Zeit definiert ist:

- wenn der ausgewählte Vergleichsschwellwert höher ist als der korrekte Vergleichsschwellwert, der Wert des Tastverhältnissignals $D_{\text{Back-EMF}} X$ niedriger sein als die Hälfte des werts des Periodensignals $T_{\text{Back-EMF}} X$ ($D_{\text{Back-EMF}} X < T_{\text{Back-EMF}} X/2$).
- wenn der ausgewählte Vergleichsschwellwert niedriger ist als der korrekte Vergleichsschwellwert, der Wert des Tastverhältnissignals $D_{\text{Back-EMF}} X$ höher sein als die Hälfte des werts des Periodensignals $T_{\text{Back-EMF}} X$ ($D_{\text{Back-EMF}} X > T_{\text{Back-EMF}} X/2$).

[0055] Komplementäre Beziehungen gelten, wenn das Signal $D_{\text{Back-EMF}} X$ als „Niedrigpegel“-Zeit definiert wird.

[0056] In einer oder mehreren Ausführungsformen kann für jede Motorphase A, B und C sowohl das Tastverhältnissignal $D_{\text{Back-EMF}} X$ als auch das Periodensignal $T_{\text{Back-EMF}} X$ gemessen werden und kann eine Steuereinrichtung **161**, **162**, **163** (vergleiche beispielsweise **Fig. 5**) implementiert werden, um den korrekten Wert des relevanten Vergleichsschwellwerts auszuwählen.

[0057] In einer oder mehreren Ausführungsformen können die Steuereinrichtungen beispielsweise (auf jegliche zu diesem Zweck bekannte implementierte Art) PID-Steuereinrichtungen sein, wobei die Referenz das Signal $T_{\text{Back-EMF}} X$ ist, die Eingabe das Signal $D_{\text{Back-EMF}} X$ ist und die Ausgabe der Wert des relevanten Vergleichsschwellwerts $C_{\text{TH}} X$ ist.

[0058] In diesem Fall wird (durch eine an sich bekannte Vorgehensweise) eine PID-Steuereinrichtung den korrekten Vergleichsschwellwert C_{TH} auswählen, um den als $E = D_{\text{Back-EMF}} X - T_{\text{Back-EMF}} X/2$ definierten Fehler zu minimieren, und kann der Eingangswert des relevanten ausgewählten Vergleichsschwellwerts auf den theoretischen Wert $V_{\text{DC}}/2$ eingestellt werden.

[0059] In einer oder mehreren Ausführungsformen können die Werte für $D_{\text{Back-EMF}} X$ und $T_{\text{Back-EMF}} X$ wie vorstehend als Beispiel dargestellt, beispielsweise über einen Zeitgeber/Zähler erlangt werden, der von aufeinanderfolgenden Flanken (entweder homolog – wobei beispielsweise beide entweder steigende oder fallende Flanken sind – für $T_{\text{Back-EMF}} X$, oder entgegengesetzt – wobei beispielsweise eine steigende Flanke und die andere eine fallende Flanke ist oder umgekehrt – für $D_{\text{Back-EMF}} X$) der DIGITAL Back-EMFX-Signale ausgelöst wird.

[0060] In einer oder mehreren Ausführungsformen können die Werte für $D_{\text{Back-EMF}} X$ und $T_{\text{Back-EMF}}$

X von anderen Signalen abgeleitet werden, die äquivalente Informationen übertragen, beispielsweise durch Messen der Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schwellenwertdurchgangs („Nulldurchgangs“-Ereignissen der BACK-EMF-Signale Back-EMF PHASE 1, Back-EMF PHASE 2, Back-EMF PHASE 3, bevor diese in digitale Signale umgewandelt werden. Auch hier können diese Schwellenwertdurchgangsereignisse entweder homologe Durchgangsereignisse (beispielsweise beide in die positive Richtung oder beide in die negative Richtung) oder entgegengesetzt (beispielsweise eines in die positive Richtung und das andere in die negative Richtung oder umgekehrt) für $T_{\text{Back-EMF}} X$ bzw. $D_{\text{Back-EMF}} X$ sein.

[0061] In einer oder mehreren Ausführungsformen kann ein Wert für $T_{\text{Back-EMF}} X$ auch von der Drehzahl (wobei die Periode der reziproke Wert der Drehfrequenz ist), wie durch jegliche bekannte Einrichtung erfasst, erlangt werden.

[0062] In einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Ausgabe der Steuereinrichtung auch ein Korrekturwert des Vergleichsschwellwerts $C_{\text{TH}} X$ sein, d. h. der korrekte Vergleichsschwellwert $C_{\text{TH}} X$ kann als die Summe der Ausgabe der Steuereinrichtung und des theoretischen Werts $V_{\text{DC}}/2$ definiert werden.

[0063] In einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Steuereinrichtung ihre Aktivität einmal für eine festgelegte Anzahl von elektrischen Durchgängen ausführen.

[0064] In einer oder mehreren Ausführungsformen kann nach einer Übergangszeit, die von den Eigenschaften der Steuereinrichtung und/oder der Ausführungsfrequenz der Steuereinrichtung abhängt, der Wert des Vergleichsschwellwerts ($C_{\text{TH}} X$) auf den korrekten Wert für jede Motorphase eingestellt werden, wobei die Steuereinrichtung ausgeschaltet wird, um die Rechenlast zu reduzieren.

[0065] Unbeschadet der zugrundeliegenden Prinzipien können die Einzelheiten und Ausführungsformen bezüglich der Darstellungen hierin, die rein als nicht beschränkende Beispiele dienen, – sogar wesentlich – variieren, ohne dadurch von dem Schutzzumfang abzuweichen.

[0066] Der Schutzzumfang ist durch die folgenden Ansprüche bestimmt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Shao, J.: „An Improved Microcontroller-Based Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drive for Automotive Applications” IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 42, NO. 5, 2006 [0032]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern von Gleichstrommotoren mittels PWM-modulierter Ansteuersignale (PWM PHASE 1, PWM PHASE 2, PWM PHASE 3) durch Erfassen von Back-EMF-Signalen während der Ein-Zeit der PWM-modulierten Ansteuersignale, wobei das Verfahren beinhaltet:

- Erzeugen von digitalisierten Back-EMF-Signalen (DIGITAL Back-EMF X) mit ersten und zweiten Werten als eine Funktion davon, dass die Back-EMF-Signale über oder unter einem entsprechenden Schwellenwert ($C_{TH} X$) liegen,
- Treiben der PWM-modulierten Ansteuersignale (PWM PHASE 1, PWM PHASE 2, PWM PHASE 3) in einer gleichphasigen Beziehung mit den digitalisierten Back-EMF-Signalen (DIGITAL Back-EMF X)
- wobei die digitalisierten Back-EMF-Signale (DIGITAL Back-EMF X) eine erste Zeit ($T_{Back-EMF} X$) zwischen zwei aufeinanderfolgenden homologen Flanken des digitalisierten Back-EMF-Signals (DIGITAL Back-EMF X) und eine zweite Zeit ($D_{Back-EMF} X$) zwischen zwei aufeinanderfolgenden entgegengesetzten Flanken des digitalisierten Back-EMF-Signals (DIGITAL Back-EMF X) haben, wobei das Verfahren das Steuern des entsprechenden Schwellenwerts ($C_{TH} X$) durch Minimieren des Fehlers zwischen der zweiten Zeit ($D_{Back-EMF} X$) und der Hälfte der ersten Zeit ($T_{Back-EMF} X/2$) beinhaltet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Steuern des entsprechenden Schwellenwerts ($C_{TH} X$) das Implementieren einer Steuereinrichtung (**161**, **162**, **163**), vorzugsweise einer PID-Steuereinrichtung, beinhaltet, wobei die Referenz die erste Zeit ($T_{Back-EMF} X$) ist, die Eingabe die zweite Zeit ($D_{Back-EMF} X$) ist und die Ausgabe ein Wert für den entsprechenden Schwellenwert ($C_{TH} X$) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, das das Erzeugen einer ersten Zeitzählung zwischen zwei homologen Flanken des digitalisierten Back-EMF-Signals (DIGITAL Back-EMF X), um die erste Zeit ($T_{Back-EMF} X$) zu messen, und einer zweiten Zeitzählung zwischen zwei aufeinanderfolgenden entgegengesetzten Flanken des Back-EMF-Signals (DIGITAL Back-EMF), um die zweite Zeit ($D_{Back-EMF} X$) zu messen, beinhaltet.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das das Einstellen eines Eingangswerts des entsprechenden Schwellenwerts ($C_{TH} X$) auf $V_{DC}/2$ beinhaltet, wobei V_{DC} die Gleichstrombusspannung für jede Motorphase ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das das Steuern des entsprechenden Schwellenwerts ($C_{TH} X$) durch Erzeugen eines gesteuerten Werts als eine Summe einer gesteuerten Ausgabe und eines Referenzwerts für den entspre-

chenden Schwellenwert beinhaltet, wobei der Referenzwert vorzugsweise auf $V_{DC}/2$ eingestellt wird, wobei V_{DC} die Gleichstrombusspannung für jede Motorphase ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das mindestens einen der folgenden Schritte beinhaltet:

- Ableiten der ersten Zeit ($T_{Back-EMF} X$) von der Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden homologen Durchgangseignissen des entsprechenden Schwellenwerts durch die Back-EMF-Signale,
- Ableiten der ersten Zeit ($T_{Back-EMF} X$) von der Drehzahl, und
- Ableiten der zweiten Zeit ($D_{Back-EMF} X$) von der Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden entgegengesetzten Durchgangseignissen des entsprechenden Schwellenwerts durch die Back-EMF Signale.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das mindestens einen der folgenden Schritte beinhaltet:

- Steuern des entsprechenden Schwellenwerts ($C_{TH} X$) einmal für eine festgelegte Anzahl von elektrischen Durchgängen des angesteuerten Motors (M),
- Unterbrechen der Steuerung des entsprechenden Schwellenwerts ($C_{TH} X$), um die damit verbundene Rechenlast zu reduzieren.

8. Ansteuervorrichtung zum Ansteuern von Gleichstrommotoren mittels PWM-modulierter Ansteuersignale (PWM PHASE 1, PWM PHASE 2 und PWM PHASE 3) durch Erfassen von Back-EMF Signalen während der Ein-Zeit der PWM-modulierten Ansteuersignale, wobei die Vorrichtung aufweist:

- Vergleichsschaltungen (**151**, **152**, **153**) zum Erzeugen von digitalisierten Back-EMF Signalen (DIGITAL Back-EMFX) mit ersten und zweiten Werten als eine Funktion davon, dass die Back-EMF-Signale über oder unter einem entsprechenden Schwellenwert ($C_{TH} X$) liegen,
- einen Wechselrichter (**12**) zum Treiben der PWM-modulierten Ansteuersignale (PWM PHASE 1, PWM PHASE 2 und PWM PHASE 3) in einer gleichphasigen Beziehung mit den digitalisierten Back-EMF Signalen (DIGITAL Back-EMF X),
- Steuerschaltungen (**161**, **162**, **163**; **171**, **172**, **173**), die dafür konfiguriert sind, den entsprechenden Schwellenwert ($C_{TH} X$) gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zu steuern.

9. Ansteuervorrichtung nach Anspruch 8, aufweisend Konditionierungsschaltungen (**141**, **142**, **143**) für die Back-EMF-Signale, wobei die Konditionierungsschaltungen (**141**, **142**, **143**) vorzugsweise einen Spannungsteiler (R1, R2) und/oder ein Tiefpassfilter (R3, C1) zum Entfernen von Rauschen aufweisen.

10. Gleichstrom-Elektromotor (M), vorzugsweise ein mit einer Ansteuervorrichtung nach Anspruch 8 oder Anspruch 9 zum Erzeugen der PWM-modulierten Ansteuersignale (PWM PHASE 1, PWM PHASE 2 und PWM PHASE 3) durch Erfassen von Back-EMF Signalen von dem Motor (M) ausgestatteter bürstenloser Gleichstrommotor.

11. Computerprogrammprodukt, das in den Speicher mindestens einer Prozessor-Vorrichtung geladen werden kann und Softwarecodeabschnitte zum Ausführen der Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1–8, wenn das Produkt auf mindestens einer Prozessor-Vorrichtung ausgeführt wird, aufweist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

