



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 033 476.6**

(22) Anmeldetag: **05.08.2010**

(43) Offenlegungstag: **23.02.2012**

(51) Int Cl.: **B60L 15/00 (2006.01)**

B60L 15/20 (2006.01)

H02K 7/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Panasonic Electronic Devices Europe GmbH,
21337, Lüneburg, DE**

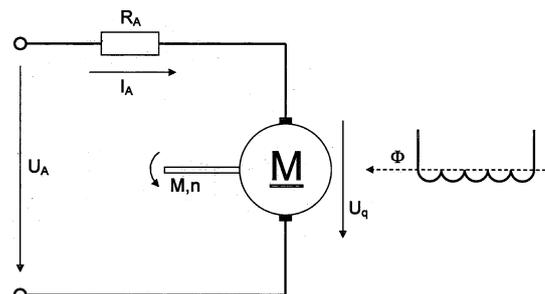
(72) Erfinder:

Zeiske, Karsten, Dr., 29223, Celle, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Starterkennung für einen sensorlosen Hybridantrieb aus Motor- und Muskelkraft**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zum Starten eines sensorlosen Hybridantriebs aus Motor- und Muskelkraft, die in eine Motorsteuerung integriert werden kann, bestehend aus mindestens einer Vorrichtung zur Messung des Ankerstroms des Motors, einer Signalverarbeitungseinheit für die Stromsignale und einer Schnittstelle zur Motorsteuerung, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalverarbeitungseinheit aus einem Abtasthalteglied, einem ersten Differenzierglied, einem zweiten Differenzierglied und einem Fensterkomparator besteht.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine sensorlose Starterkennung für einen muskel-elektrischen Hybridantrieb, z. B. für ein Elektrofahrrad. Der Motorstart kann sicher für den Fahrer eingeleitet werden, ohne dass zusätzliche Kraftsensoren notwendig sind.

[0002] Es werden zwei Typen von Elektrofahrrädern unterschieden: Elektrofahrräder, deren Motor unabhängig von der Tretleistung des Fahrers gesteuert wird, so dass fahren auch ohne Treten möglich ist, und Elektrofahrräder, bei denen die Hilfsantriebsunterstützung nur dann funktioniert, wenn gleichzeitig getreten wird. Die Motorleistung wird bei dem zweiten Typ über einen Kraftsensor bzw. Bewegungssensor automatisch an die Muskelkraft des Fahrers gekoppelt.

[0003] US 574 94 429 beschreibt eine pedalgesteuerte Motorregelung, die mittels einer Messvorrichtung das Moment des Motors mit dem durch die Tretkurbel abgegebenen Moment an der Kettenblattwelle vergleicht und den Motor so regelt, dass das Verhältnis Motormoment zu Tretkurbelmoment stets 1 zu 1 ist. Damit wird einer gesetzlichen Vorschrift genüge getan, die zu einer Befreiung der Helmpflicht führt. Diese Art der Motorregelung reagiert zwar unmittelbar, doch die Motorleistung schwankt bei jeder Tretkurbelumdrehung stark.

[0004] Prozessorgesteuerte Motorregelungen für ein Elektrofahrrad sind in US 5370200 und in US 566 4636 bekannt geworden. Dort erfasst ein Kraftsensor das Drehmoment der Tretkurbelachse und ein Rechner steuert nach Überschreiten einer bestimmten Schwelle den Motor proportional zu diesem Drehmoment. Ein Geschwindigkeitssensor verhindert jede Motorleistung, solange eine bestimmte Geschwindigkeit nicht überschritten worden ist, um ein unbeabsichtigtes Anfahren beim Auf- und Absteigen zu verhindern, wo bereits hohe Pedaldrehmomente wirken können.

[0005] DE 10 2009 014 388 beschreibt eine sensorlose Steuerung eines muskel-elektrischen Hybridantriebs, die die Motorleistung automatisch an die Muskelkraft koppelt, ohne dass zusätzliche Kraftsensoren notwendig sind. Aus der Ankerspannung, dem Ankerstrom und der Drehzahl wird eine Stellgröße gewonnen, mit der das abgegebene Drehmoment des angeschlossenen Motors auf ein einstellbares Vielfaches des Drehmoments geregelt wird, das durch die Muskelkraft erzeugt wird.

[0006] Alle geschilderten Antriebssysteme haben den Nachteil, dass ein Kraft- oder Drehmomentsensor in die Tretkurbel integriert werden muss.

[0007] Es sind auch Elektrofahrräder bekannt, die über eine drehgriffgesteuerte Anfahrhilfe verfügen, bei der das Fahrzeug ohne Pedaleinsatz auf eine Geschwindigkeit von 6 km/h beschleunigt wird. In Deutschland ist allerdings für derartige Anfahrhilfen eine Mofa-Prüfbescheinigung erforderlich, wenn Fahrer oder Fahrerinnen nach dem 31. März 1965 geboren wurden.

[0008] Des Weiteren sind verschiedene Methoden bekannt, um elektronisch kommutierte Motoren zu starten. DE 10 2007 050 663 A1 beschreibt z. B. ein Verfahren zur Stillstandsrotorpositionsbestimmung mit den Schritten:

- Beaufschlagung von zwei von drei Motoranschlüssen mit einer Messsequenz, bei der der wechselseitig nacheinander an jedem der zwei Motoranschlüsse und mit unterschiedlichem Vorzeichen Gleichspannungen angelegt wird, wobei die Gleichspannung in einem begrenzten Zeitraum im wesentlichen gleich bleibt,
- Messen der induzierten Spannung am jeweils dritten unbestromten Motoranschluss innerhalb des Zeitraums und ein oder mehrere Male während einer Messsequenz,
- Bewerten der während der Messsequenz gemessenen Spannungen, insbesondere deren Vorzeichen, hinsichtlich der Rotorposition.

[0009] DE 199 36 755 A1 beschreibt ein Verfahren zum Starten eines elektronisch kommutierten Gleichstrommotors, wobei in der Startphase die Wicklung mit Startpulsen vorgegebener Spannung und Frequenz erregt wird, deren Spannung über den Normalbetrieb erhöht wird und die Frequenz und Spannung nach und nach an den Normalbetrieb angepasst werden, wenn eine rückinduzierte Spannung gemessen wird.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, sicheres, Tretkurbel gesteuertes Anfahren zu gewährleisten, ohne zusätzliche Sensoren für das Tretkurbeldrehmoment zu erfordern.

[0011] Ein Kerngedanke der Erfindung ist, dass an die Wicklungen des Motors kurze Spannungsimpulse angelegt werden. Sind die Impulse kurz genug, so wird keine Drehung des Rotors hervorgerufen. Die Stromant-

worten der Wicklungen werden auf Änderungen analysiert. Eine Änderung der Stromantwort zeigt eine vom Fahrer initiierte Bewegung an. Falls der Motor direkt auf die Räder wirkt, kann nicht zwischen einem gewollten Anfahren oder dem Schieben des Fahrzeugs unterschieden werden. Wirkt der Motor auf den Antriebszweig der Tretkurbel, wird bei einem Freilaufmechanismus beim Schieben kein Drehmoment auf den Motor ausgeübt und kein fehlerhaftes Startsignal ausgelöst. Der Erfindung liegt also auch die Aufgabe vor, unabhängig von der Ausführung des Antriebstranges sicheres Anfahren zu gewährleisten und ungewolltes Anfahren zu verhindern.

[0012] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des 1. Patentanspruchs und ein Verfahren mit den Merkmalen des 4. Patentanspruchs gelöst, indem an mindestens zwei Wicklungen Spannungsimpulse angelegt werden, die den Antrieb in eine fixe Position bringen und dort verharren lassen, bis eine minimale Schwelle im Drehmoment vom Fahrer überwunden wird. Das führt zu einem leichten Ruck im Fahrzeug, wenn die elektromechanische Unterstützung aktiviert wird. Danach ist der Antrieb spürbar blockiert. Diese Blockierung muss vom Fahrer aktiv überwunden werden, um ein ungewolltes Anfahren zu verhindern.

[0013] Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass der Materialaufwand und damit die Kosten durch das Wegfallen der Kraftsensoren reduziert werden können. Eine Integration in die Motorregelung unter Ausnutzung von Synergien ist problemlos möglich.

[0014] Weitere Einzelheiten der Erfindung werden anhand der Figuren beschrieben. Es werden Ausführungen mit und ohne Freilaufmechanismus betrachtet:

[0015] [Fig. 1](#) zeigt die Prinzipschaltung eines Gleichstrommotors.

[0016] [Fig. 2](#) zeigt schematisch den Aufbau einer Drehzahlregelung für Gleichstromelektromotoren.

[0017] [Fig. 3](#) zeigt schematisch eine Ausführungsform der Erfindung.

[0018] [Fig. 4](#) zeigt schematisch eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung zum Starten eines sensorlosen Hybridantriebs aus Motor- und Muskelkraft.

[0019] In [Fig. 1](#) ist die Prinzipschaltung eines Gleichstrommotors im stationären Zustand angegeben. Unter Vernachlässigung des Spannungsabfalls an den Bürsten erhält man die Spannungsgleichung im Ankerkreis:

$$U_A = R_A \cdot I_A - L_A \frac{\partial I_A}{\partial t} + U_q \quad (1)$$

mit dem Widerstand R_A und der Induktivität L_A der Ankerwicklung und dem Ankerstrom I_A . Die Quellspannung $U_q = c \cdot \Phi \cdot n$ verschwindet bei Drehzahl $n = 0$. Für den Stromanstieg während eines Spannungspulses ergibt sich also:

$$\frac{\partial I_A}{\partial t} = \frac{1}{L_A} (R_A \cdot I_A - U_A) \quad (2)$$

[0020] Der Strom durch die Ankerwicklung I_A führt zu einem Magnetfeld mit einer Feldenergie $E_B = \frac{1}{2} \cdot L_A \cdot I_A^2$. Der Rotor richtet sich entsprechend zum Feld so aus, dass die Feldenergie minimiert wird. Entsprechend minimiert sich die Ankerinduktivität L_A . Wirkt ein Drehmoment auf den Rotor, so dass er aus der ausgerichteten Position verdreht wird, steigt die Feldenergie und mit ihr die Ankerinduktivität an. Der Stromanstieg während des Spannungspulses reduziert sich entsprechend. Somit kann durch Vergleich des Stromanstiegs ein Drehmoment am Rotor detektiert werden. Üblicherweise wird dieser Effekt aber von Inhomogenitäten im Rotor überdeckt, die jedoch selbst zu viel größeren Änderungen der Ankerinduktivität führen, wenn der Rotor bewegt wird. Daher kann ein Drehmoment, das auf den Rotor wirkt, an der Änderung des Anstiegs im Ankerstrom bei anliegenden Spannungspulsen erkannt werden.

[0021] Die erfindungsgemäße Startvorrichtung für einen Hybridantrieb aus Motor- und Muskelkraft ohne Kraft- oder Drehmomentsensor kann leicht in einen Drehzahlregler integriert werden. [Fig. 2](#) zeigt schematisch den Aufbau einer Drehzahlregelung für Gleichstromelektromotoren. Sie arbeitet mit einer Pulsweitensteuerung (PWM), bei der bei maximaler Drehzahl der Impuls lang und die Pause sehr kurz ist. Soll der Motor langsamer

laufen, wird die Pause verlängert und der Impuls verkürzt. Die Verlustleistung bleibt auf diese Weise selbst bei niedrigen Drehzahlen gering. Um im gesamten Drehzahlbereich, d. h. auch bei niedrigen Drehzahlen, dem Motor ein hohes Drehmoment zu verleihen, ist ein geschlossener Regelkreis unumgänglich. Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis der tatsächlichen Motordrehzahl, damit bei einem Absinken die Ansteuerleistung erhöht werden kann, um so wieder die gewünschte Drehzahl (Soll-Drehzahl) zu erreichen. Der Motor (4) wird für eine über einen PWM-Regler (2) variabel einstellbare Zeitdauer eingeschaltet. Die Frequenz des pulsweitenmodulierten Signals wird von einem Oszillator (1) vorgegeben. Als Leistungsschalter (3) kommt ein MOS-FET-Transistor zum Einsatz. Nach jedem Ansteuerimpuls wird eine gewisse Zeitspanne abgewartet, damit der Induktionsstrom der Motorwicklung abfließen kann. Danach arbeitet der Motor als Generator und gibt eine Spannung ab, die zu seiner momentanen Drehzahl direkt proportional ist. Diese Spannung gelangt über einen elektronischen Schalter (5) für einen kurzen Moment auf einen Speicherkondensator (6), dessen Spannung ein Maß für die Ist-Drehzahl des Motors darstellt. Ein elektronischer Regler (7) vergleicht die über ein Potentiometer (8) vorgegebene der Soll-Drehzahl entsprechenden Spannung mit der zurückgeführten der Ist-Drehzahl entsprechenden Spannung. Die aus diesen beiden Informationen gewonnene Regelspannung dient der Einstellung der Breite der Ansteuerimpulse. Hierdurch kann die Drehzahl des angeschlossenen Motors weitgehend unabhängig von der Belastung konstant gehalten werden.

[0022] Fig. 3 zeigt nun schematisch eine Ausführungsform der Erfindung. Sie ist in die Steuerung des Motors integriert. Die Drehzahlregelung aus Fig. 2 wurde um einen Shunt-Widerstand (9) zur Ankerstrommessung erweitert. Der Ankerstrom I_A wird mit dem Verstärker (10) verstärkt und mit einem Abtasthalteglied bestehend aus einem elektronischen Schalter (11) und einem Kondensator (12) mit den Spannungspulsen synchronisiert in einem ersten Differenzierglied (13) differenziert, so dass der Anstieg des Ankerstroms als Signal zur Verfügung steht. Mit einem zweiten Differenzierglied (14) werden nun die Änderungen der Steigung des Ankerstroms selektiert und mit einem Fensterkomparator (15) diskriminiert, so dass diese Änderungen, die durch ein Drehmoment M_H am Rotor erzeugt werden, erkannt und als Steuersignal an den PWM-Regler (2) geleitet werden. Der Oszillator (1) erzeugt die Frequenz für die Spannungsimpulse. Der PWM-Regler (2) moduliert die Pulsweite für die Spannungspulse, die über den Leistungsschalter (3) am Motor angelegt werden. Wird ein Drehmoment ausreichender Größe erkannt, das durch den Fahrer des Fahrzeugs erzeugt wird, so wechselt der Regler in den Anlaufmodus und führt die Drehzahl des Motors auf die gewünschte Drehzahl hoch.

[0023] Gleichstrommotoren der Vergangenheit verwendeten eine zwangsgesteuerte, elektromechanische Kommutation, d. h. die als Rotor ausgebildeten Elektromagnete wurden über Kontakte und Bürsten (oder auch "Kohlen") mit Strom versorgt und durch die Rotation der Motorachse synchron umgeschaltet. Ein Nachteil der konventionellen Gleichstrommaschinen sind die Funken, die bei den Bürsten entstehen („Bürstenfeuer“). Es begrenzt die maximale Drehgeschwindigkeit, da die Bürsten bei hohen Drehzahlen heiß werden und besonders schnell verschleifen. Weiterhin bewirken hohe Drehzahlen auch höhere Induktionsspannungen, die bis hin zum umlaufenden Bürstenfeuer führen können.

[0024] Bürstenlose Gleichstrommotoren (BLDC) haben ihre Elektromagnete im Stator und verwenden meist extrem leistungsfähige Dauermagnete im Rotor. Dadurch werden Schleifkontakte obsolet. Es muss nun allerdings dafür gesorgt werden, dass sich das im Stator aufgebaute Magnetfeld in Rotation versetzt. Es ist also durch eine geeignete Sequenz bei der Ansteuerung der Statorspulen ein rotierendes Magnetfeld zu erzeugen, das den dauermagnetischen Läufer auf der Achse "mitnimmt". BLDC-Motoren sind selbstgeführte Maschinen und benötigen einen Drehwinkellagegeber zum Betrieb. Der Ankerstrom bildet zusammen mit dem Feld des Permanentmagneten ein zeitlich möglichst konstantes Drehmoment. Die Weiterschaltung des Statorfeldes erfolgt mit Hilfe des Wechselrichters rotorstellungsabhängig beziehungsweise polradlageabhängig so, dass sich zwischen der Statorrehdurchflutung und dem Rotorfeld ein konstanter Winkel von $\pi/2$ elektrisch einstellt. Die Polradlage wird vorzugsweise über Sensoren erfasst oder aus Klemmenspannungen und/oder Klemmenströmen abgeleitet. Weitere Vorteile bürstenloser Gleichstrommaschinen sind eine lange Lebensdauer und wartungsarmer Betrieb, da keine Bürsten vorhanden sind. Der Läufer ist spannungslos und die Maschine hat einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad. Sie ist tauglich für hohe Drehzahlen und kurzzeitig stark überlastbar. Die Produktionskosten sind relativ gering. Ein Nachteil bürstenloser Gleichstrommaschinen ist, dass eine gesonderte Umrichterelektronik zur Ansteuerung benötigt wird. Diese kann aber in einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung derart erweitert werden, dass sie auch das abgegebene Drehmoment des angeschlossenen Motors proportional zur anliegenden Muskelkraft regelt.

[0025] Wie bereits erwähnt erfolgt bei BLDC-Motoren die Kommutierung der Spannung nicht wie bislang mittels Bürstenkontakten, sondern über das gezielte Schalten von Leistungshalbleitern. Damit der Motorcontroller die Schaltvorgänge exakt koordinieren kann, braucht er die Information über die aktuelle Ausrichtung des Rotors. Bekanntermaßen wird zu diesem Zweck die Lage der im Rotor befindlichen Magnete entweder mittels

Hall-Sensoren oder über die von den Magneten erzeugte rückinduzierte Spannung in den Statorwicklungen gemessen, wobei durch die Messung dieser "back-EMF" (BEMF) die Kosten gegenüber der Verwendung der Hall-Sensoren verringert werden können. Ebenfalls kann ein starker Anstieg des Ankerstroms als Indiz für die Kommutierung benutzt werden. Insbesondere bei niedrigen Drehzahlen ist das BEMF-Signal sehr klein, so dass sich die Ausnutzung des Stromverlaufs zur Positionsbestimmung als vorteilhaft erweist. Somit kann auch bei diesem Typ Motor die erfindungsgemäße Starterkennung in die Umrichterelektronik der Motorsteuerung integriert werden.

[0026] **Fig. 4** zeigt schematisch eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung zum Starten eines sensorlosen Hybridantriebs aus Motor- und Muskelkraft. Sie ist hier beispielhaft für einen Motor (**18**) mit drei Phasen dargestellt. Die erfindungsgemäßen Merkmale sind aber ohne Einschränkung für andere Motoren übertragbar. Die Regeleinheit (**16**) arbeitet wiederum mit einer Pulsbreitensteuerung. Die jeweilige Phase des Motors wird für eine über die PWM-Einheit (**16a**) des Reglers variabel einstellbare Zeitdauer eingeschaltet. Als Leistungsschalter (**17**) kommt hier eine Vollbrücke bestehend aus MOS-FET-Transistoren zum Einsatz. Die Motordrehzahl wird im Regler aus dem zeitlichen Wechsel der Signale des Positionssensors (**19**) des Rotors ermittelt, die in der Timer- und Analog-Digital-Wandlereinheit (**16c**) des Reglers aufgenommen werden. Der Ankerstrom wird in dieser als Spannungsabfall über einen Shunt-Widerstand (**20**) gemessen. Die Eingangsspannung U_{DD} ist bekannt. Wiederum werden nach der Aktivierung der Steuerung Spannungspulse an den Ankerwicklungen angelegt. Es können wahlweise zwei oder alle drei Phasen bestromt werden. Die erfindungsgemäßen Merkmale sind aber ohne Einschränkung für beide Varianten gültig. Je nach Länge der Spannungsimpulse kann es dabei zu einem Ruck im Fahrzeug kommen, wenn sich der Rotor zur Minimierung der Feldenergie ausrichtet. Dieser ist aber nicht störend, sondern eher der Sicherheit förderlich, da so eine haptische Rückführung der Aktivierung an den Fahrer gegeben ist. Übt nun der Fahrer Druck auf die Tretkurbel aus, so führt das zu einem Drehmoment am Rotor des Motors, das den Rotor ein wenig aus der ausgerichteten Lage auslenkt. Dadurch steigt die Feldenergie und damit die Induktivität der Motorwicklung. Dieser Effekt wird durch eine Änderung der Induktivität aufgrund der Inhomogenität des Rotors überlagert sein. Letztendlich zeigt die Änderung der Induktivität das vorhandene Drehmoment eindeutig an. Der Änderung der Induktivität folgt eine Änderung der Steilheit des Stromanstiegs in den Motorwicklungen aufgrund des Spannungspulses. Der Stromverlauf wird am Shunt-Widerstand abgenommen, in der Analog-Digital-Wandlereinheit (**16c**) des Reglers digitalisiert und von dem Rechenwerk (**16b**) des Reglers ausgewertet. Ein Überschreiten des vorgegebenen Schwellwertes für das Drehmoment wird als Startimpuls erkannt und die Steuerung leitet die Beschleunigung des Motors ein.

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 Patentliteratur

- US 57494429 [0003]
- US 5370200 [0004]
- US 5664636 [0004]
- DE 102009014388 [0005]
- DE 102007050663 A1 [0008]
- DE 19936755 A1 [0009]

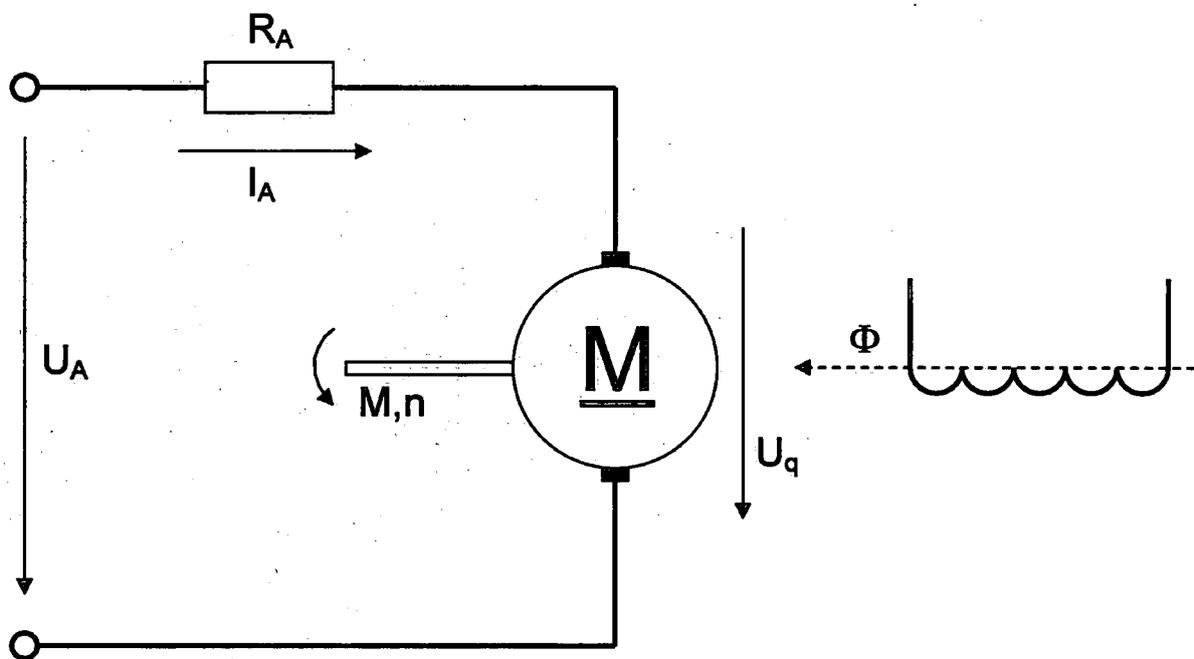
Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Starten eines sensorlosen Hybridantriebs aus Motor- und Muskelkraft, die in eine Motorsteuerung integriert werden kann, bestehend aus mindestens einer Vorrichtung zur Messung des Ankerstroms des Motors, einer Signalverarbeitungseinheit für die Stromsignale und einer Schnittstelle zur Motorsteuerung, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Signalverarbeitungseinheit aus einem Abtasthalteglied, einem ersten Differenzierglied, einem zweiten Differenzierglied und einem Fensterkomparator besteht.
2. Startvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalverarbeitungseinheit analog ausgeführt ist.
3. Startvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalverarbeitungseinheit digital ausgeführt ist.
4. Verfahren zum Starten eines sensorlosen Hybridantriebs aus Motor- und Muskelkraft, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Aktivierung Spannungsimpulse an mindestens einer Phase des Motors angelegt werden, der dadurch erzeugte Phasenstrom zeitlich synchron mit den Spannungsimpulsen aufgenommen, dieser zweifach integriert und mit einem positiven und einem negativen Schwellwert verglichen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der gesamte erzeugte Motorstrom zeitlich synchron mit den Spannungsimpulsen aufgenommen, dieser zweifach integriert und mit einem positiven und einem negativen Schwellwert verglichen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsimpulse an mindestens einer Phase des Motors ein Bremsmoment erzeugen, das mit einem Schub auf das Fahrzeug von mehr als 10 N überwunden werden kann.

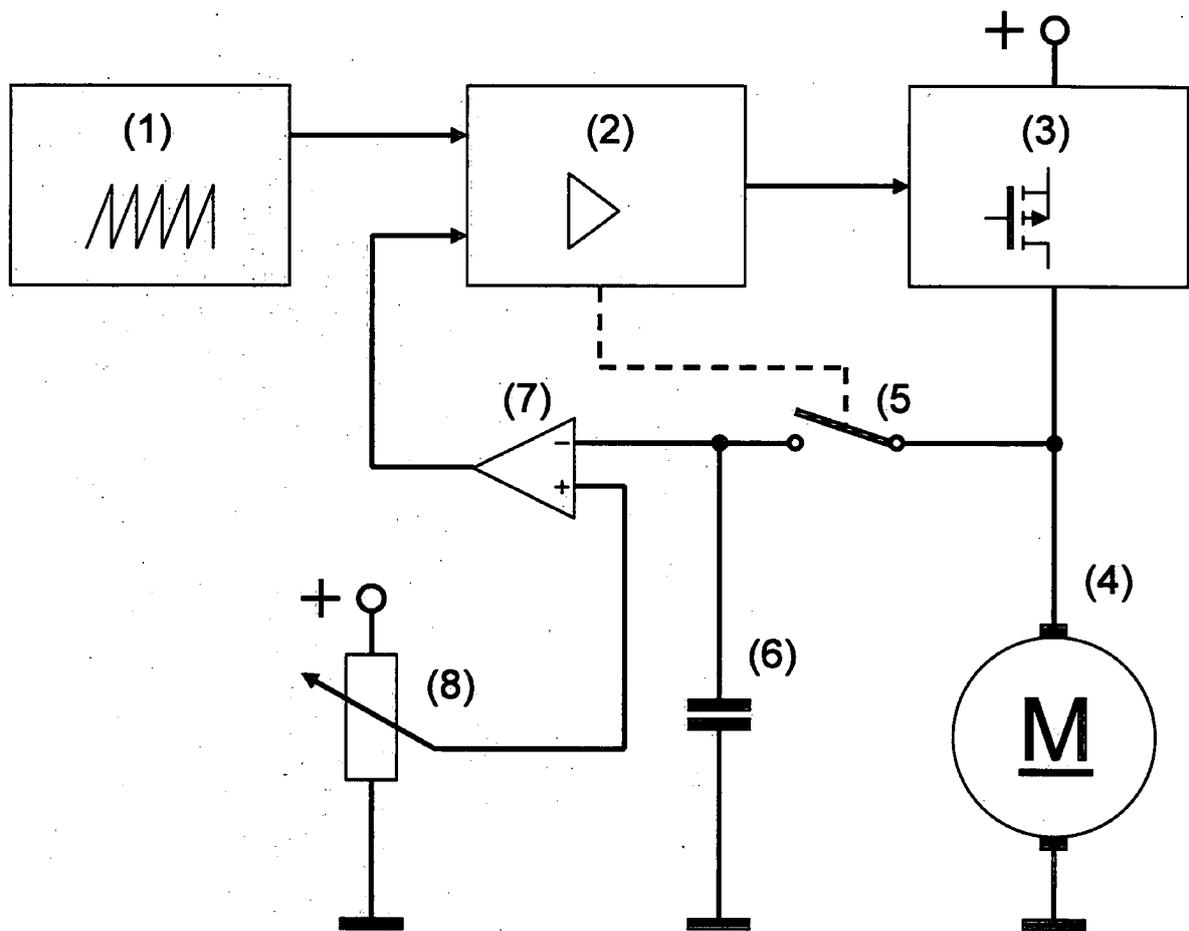
Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

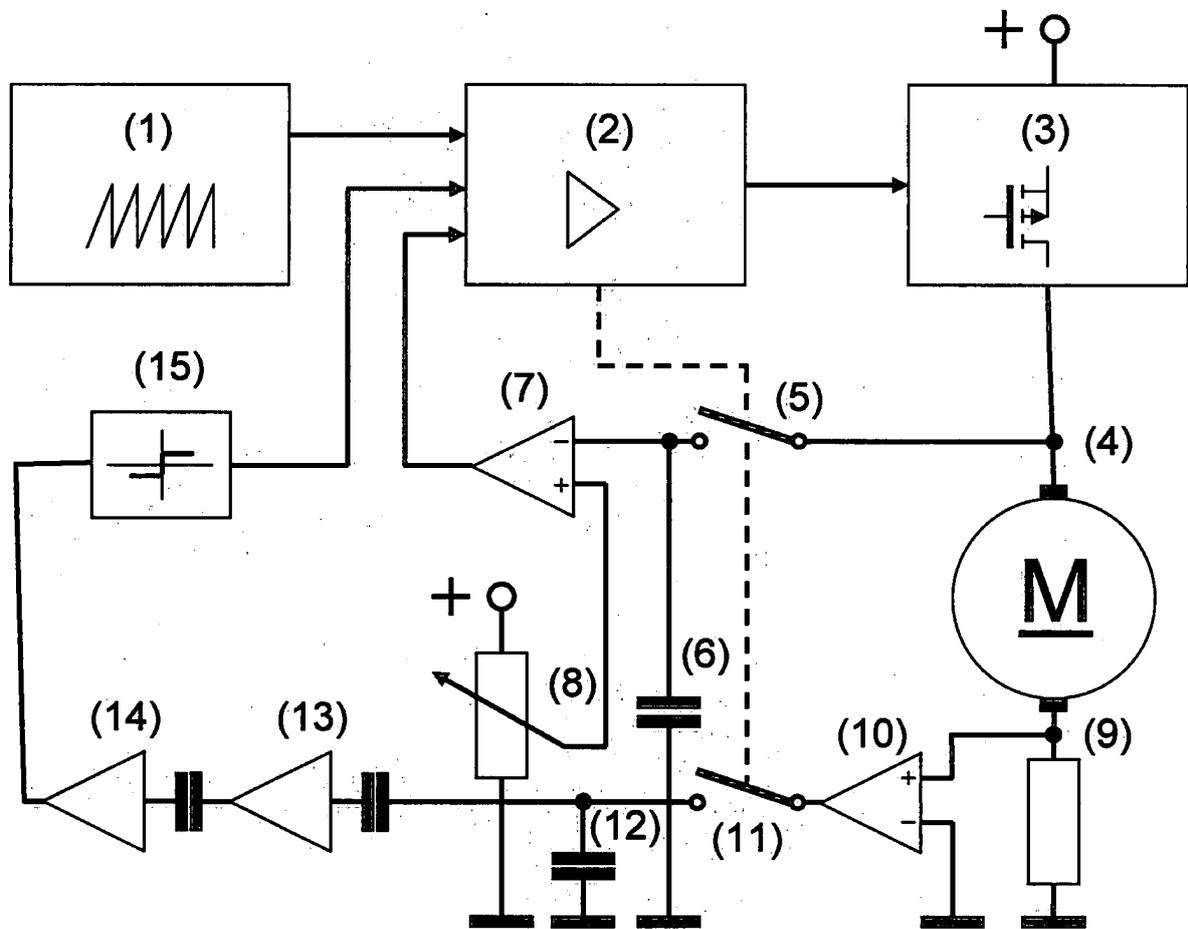
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

