



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 218 532.0**

(22) Anmeldetag: **29.11.2019**

(43) Offenlegungstag: **02.06.2021**

(51) Int Cl.: **H02P 21/22 (2016.01)**

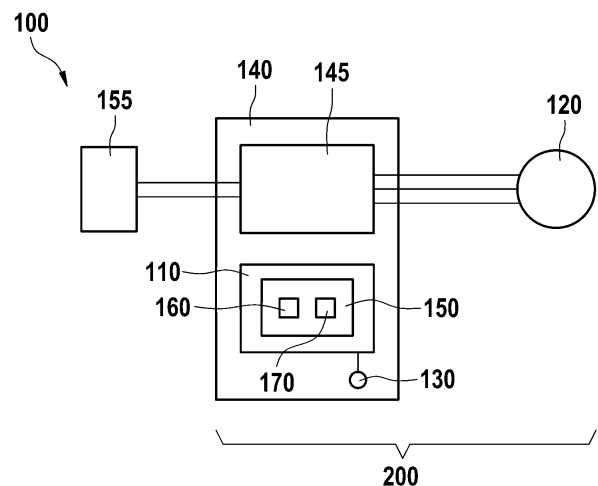
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Hirsch, Michele, 73730 Esslingen, DE; Chen,
Yuping, 71706 Markgröningen, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Kalibrierung einer Regelung einer elektrischen Maschine**

(57) Zusammenfassung: Verfahren (400) zur Kalibrierung einer Regelung einer elektrischen Maschine (120) für einen vorgebbaren Drehmomentwert (T_{Des}), wobei die elektrische Maschine (120) mit einer feldorientierten Regelung betrieben wird. Das Verfahren umfasst die Schritte: a.) Vorgeben eines Stromvektors (I_{x_V}) (410) zur Erzeugung des vorgebbaren Drehmomentwertes (T_{Des}) mittels einer anschließbaren elektrischen Maschine (120), b.) Vorgeben eines Testsignals (S_{x_Test}) (420) und Überlagern des Stromvektors (I_{x_V}) mit dem Testsignal (S_{x_Test}), c.) Erfassen (430) eines aus der Überlagerung resultierenden Antwortsignals (S_{x_Antw}) mittels eines Sensors (130), e.) Bestimmen (450) eines kalibrierten Stromvektors (I_{V_k}) in Abhängigkeit der Auswertung des Antwortsignals (S_{x_Antw}).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kalibrierung einer Regelung einer elektrischen Maschine für einen vorgebbaren Drehmomentwert. Ferner betrifft die Erfindung ein elektrisches Antriebssystem mit einer entsprechenden Vorrichtung und ein Fahrzeug mit einem elektrischen Antriebssystem sowie ein Computerprogramm und ein computerlesbares Speichermedium.

Stand der Technik

[0002] Elektrische Drehfeldmaschinen, insbesondere permanenterregte Synchronmaschinen mit vergrabenen Magneten, werden für die Erzeugung eines Wunschkomentes mittels einer geeigneten Kombination von direktem Drehmoment und Reluktanzmoment angesteuert. Bei der feldorientierten Regelung werden das direkte Drehmoment und das Reluktanzmoment mittels entsprechender Wahl der d- und q-Strom- Betriebspunkte ((i_d, i_q)) im rotorfesten Koordinatensystem eingestellt. Für die Stromregelung in einer Feldorientierten Regelung (FOC), insbesondere im Grunddrehzahlbereich, wird der zugehörige Strom für ein gewünschtes Drehmoment aus einer Ortskurve, der sogenannten MTPC (maximum torque per current) ermittelt. Diese MTPC Ortskurven können unter der Annahme einer idealen Maschine mit bekanntem Induktivitäten L_d und L_q z.B. analytisch bestimmt werden. Für reale Maschinen mit Sättigungseffekten ist bevorzugt ein weiterer Ansatz die MTPC Ortskurve numerisch aus Simulationsdaten (z.B. Finite Elemente Simulationen) zu generieren. Weitere Abhängigkeiten, beispielsweise Temperaturabhängigkeiten, interne E-Maschinen-Verluste, Streuungen von Materialparametern und Flüssen, lassen in vielen Fällen als gangbarsten Weg eine experimentelle Bestimmung der MTPC Ortskurve am Prüfstand erscheinen, bevorzugt exemplarisch an einer golden sample Maschine. Dabei werden Exemplarstreuungen, Toleranzen etc. vernachlässigt. Es wird beispielsweise ein Kennfeld des Drehmoments über i_d/i_q abgetastet, Ströme und Drehmomente gemessen und die Punkte für den kürzesten Stromzeiger für gewünschte Drehmomente ermittelt und geeignet abgelegt. Dieses Vorgehen ist oft aufwändig und langsam und daher kostspielig.

[0003] Es besteht daher ein Bedürfnis für alternative Verfahren und Vorrichtungen zur Kalibrierung einer Regelung einer elektrischen Maschine für einen vorgebbaren Drehmomentwert.

Figurenliste

[0004] Es wird ein Verfahren zur Kalibrierung einer Regelung, bevorzugt einer Stromregelung, einer elektrischen Maschine für einen vorgebbaren Drehmomentwert bereitgestellt. Die elektrische Maschine

wird mit einer feldorientierten Regelung betrieben. Das Verfahren umfasst die Schritte:

- a.) Vorgeben eines Stromvektors zur Erzeugung des vorgebbaren Drehmomentwertes mittels einer anschließbaren elektrischen Maschine. Der Stromvektor weist als Parameter eine Länge und eine Richtung auf.
- b.) Vorgeben eines Testsignals und Überlagern des Stromvektors mit dem Testsignal.
- c.) Erfassen eines aus der Überlagerung resultierenden Antwortsignals, bevorzugt die Amplitude des resultierenden Antwortsignals, mittels eines Sensors,
- d.) Auswerten des Antwortsignals.
- e.) Bestimmen eines kalibrierten Stromvektors in Abhängigkeit der Auswertung des Antwortsignals.
- f.) Betreiben der Regelung der elektrischen Maschine für den vorgebbaren Drehmomentwert mittels Vorgeben des kalibrierten Stromvektors.

[0005] Der Betrieb elektrischer Maschinen mittels feldorientierten Regelungen ist bekannt. Dabei werden die Wechselgrößen der Phasenströme jeweils in ein mit der Frequenz der Wechselgrößen rotierendes Koordinatensystem übertragen. Innerhalb des rotierenden Koordinatensystems ergeben sich dann im stationären Betrieb der elektrischen Maschine aus den Wechselgrößen Gleichgrößen, auf die alle üblichen Verfahren der Regelungstechnik angewandt werden können. Aufgrund der mehrphasigen phasenversetzten in den Stator eingeprägten Wechselströme ergibt sich beim Betrieb der elektrischen Maschine ein drehendes Magnetfeld, bestehend aus einem Stator- und einem Rotorfluss. Die Regelung der elektrischen Maschine gibt in Abhängigkeit eines vorgebbaren Drehmomentwertes einen Statorstroms vor. Innerhalb des rotierenden Koordinatensystems, dem d/q-Koordinatensystems, welches sich synchron mit dem Rotorfluss dreht und dessen d-Achse in Richtung des Rotorflusses zeigt, wird ein Statorstrom als Statorstromzeiger oder Statorstromvektor repräsentiert, welcher über seine Länge und seine Richtung charakterisiert wird. Dieser Stromzeiger dreht sich synchron mit dem rotierenden Stator- oder Rotorfluss der elektrischen Maschine. In dem d/q Koordinatensystem kann der Stromzeiger entsprechend seiner Länge und seiner Richtung mittels zwei senkrecht aufeinander stehenden Komponenten i_d und i_q dargestellt werden, welche im stationären Fall Gleichgrößen sind. In diesem Koordinatensystem können maschinenspezifische Linien dargestellt werden, entlang derer die elektrische Maschine ein konstantes Drehmoment abgibt, sogenannte Iso-Drehmomenten-Linien. Auf gewünschte Betriebspunkte auf diesen Iso-Drehmomentenlinien kann eine Regelung einer elektrischen Maschine mittels

Kennfeldern zugreifen, wobei sich diese Parameter aufgrund oben genannter Abhängigkeiten für jede Maschine (Exemplarstreuungen), die Rotortemperatur und über Laufzeit der Maschine ändern können und somit kalibriert werden sollten. Für gleich lange Stromvektoren gibt es nur eine ganz bestimmte Richtung, bei welcher das maximale Drehmoment von einer angeschlossenen elektrischen Maschine erzeugt wird. In einem Schritt des Verfahrens wird ein Stromvektor vorgegeben zur Erzeugung eines vorgebbaren Drehmomentwertes. Zur Überprüfung, ob es sich dabei um die richtige Richtung zur Erzeugung des maximalen Drehmoments handelt wird ein Testsignal vorgegeben und dem Stromvektor überlagert. Diese Überlagerung führt bei einer angeschlossenen elektrischen Maschine zu einer Schwingung des abgegebenen Drehmomentes. Diese Schwingung im Drehmoment führt aufgrund der mechanischen Kopplung der elektrischen Maschine mit dem Gehäuse zu einer mechanischen und/ oder akustischen Schwingung des Gehäuses und damit verbundener Bauteile. Das mechanische Übertragungsverhalten des mechanischen Systems führt zu einer Geräuschanregung einer angeschlossenen elektrischen Maschine und/ oder der Leistungselektronik, die mit einem geeigneten Sensor, z.B. akustisch, messbar ist. Die Drehmomentenschwingung oder daraus resultierende Schwingungen werden als ein Antwortsignal aus der Überlagerung des Stromvektors und des Testsignals mittels eines Sensors erfasst. Dieses Antwortsignal wird ausgewertet und in Abhängigkeit der Auswertung des Antwortsignals wird der kalibrierte Stromvektor, bevorzugt die Richtung des kalibrierten Stromvektors bestimmt. Der Parameter der Richtung eines Stromvektors zur Abgabe eines vorgebbaren Drehmomentwertes wird somit kalibriert und in einem Kennfeld abgelegt. Anschließend wird die Regelung der elektrischen Maschine für den vorgebbaren Drehmomentwert mittels Vorgeben des kalibrierten Stromvektors betrieben.

[0006] Vorteilhaft wird ein Verfahren zur Kalibrierung einer Regelung, bevorzugt einer Stromregelung, einer elektrischen Maschine für einen vorgebbaren Drehmomentwert bereitgestellt. Bevorzugt wird das Verfahren für eine integrierte elektrische Achse, bestehend aus der Drehfeldmaschine und einer an die Maschine mechanisch angebaute, bevorzugt mechanisch stark oder fest gekoppelte, oder integrierte Leistungselektronik bereitgestellt. Das Verfahren ermöglicht die Durchführung des Verfahrens für jede einzelne elektrische Maschine. Es kann sowohl am Ende der Produktionslinie und/oder während der Lebenszeit des elektrischen Antriebs beliebig, auch während eines regulären Fahrbetriebs durchgeführt werden. Bevorzugt umfasst eine Antriebskomponente (z.B. eine eAchse) den Sensor und das Verfahren. Es wird eine Möglichkeit bereitgestellt, das Verfahren während einer Inbetriebnahme, einer Prüfung am Bandende oder im Fahrbetrieb ablaufen zu las-

sen. So können die Kalibrierparameter exemplarspezifisch, temperaturabhängig und/oder alterungsabhängig bestimmt und nachjustiert oder nachgelernt werden. Es wird ein Verfahren geschaffen, welches eine selbstlernende/selbstkalibrierende Regelung für einen elektrischen Antrieb bereitstellt. Eine Selbstkalibrierung für die MTPC-Ortskurve wird ermöglicht, die unabhängig von einem Prüfstand und externer Messsensorik abläuft.

[0007] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung weist das Testsignal eine Länge und eine Richtung auf, wobei die Richtung orthogonal zu dem Stromvektor ausgerichtet ist, das Testsignal zu beiden Seiten des Stromvektors oszilliert und bevorzugt mit dem Stromvektor vektoriell addiert wird.

[0008] Das Testsignal weist entsprechend dem vorgegebenen Stromvektor als Parameter eine Länge und eine Richtung auf. Die Überlagerung erfolgt vektoriell. In dem rotierenden Koordinatensystem ergibt sich eine vektorielle Addition des Stromvektors und des Testsignals. Das Testsignal ist orthogonal zu dem Stromvektor ausgerichtet und oszilliert, bevorzugt mit einer vorgebbaren Frequenz. Aufgrund der Oszillation des Testsignals erzeugt eine angeschlossene elektrische Maschine je nach aktueller Länge und Richtung des Testsignals ein unterschiedliches Drehmoment insbesondere des harmonisch oszillierenden Anteils. Es resultieren zwei markante Antwortsignalarten. Die Amplitude der Schwingung des Drehmoments wird größer, je größer die Abweichung der Richtung des vorgegebenen Stromvektors von dem mit dessen Länge erzielbaren maximalen Drehmoments wird. Die Schwingung des Drehmoments und des Testsignals weisen dabei eine gemeinsame Phasenlage und Frequenz auf. Die Amplitude der Schwingung des Drehmoments wird kleiner, je geringer die Abweichung der Richtung des vorgegebenen Stromvektors von dem mit dessen Länge erzielbaren maximalen Drehmoments wird. Die Schwingung des Drehmoments enthält einen Frequenzanteil bei der doppelten Frequenz des Testsignals genau dann, wenn die Richtung des Stromvektors im sehr nahem Umfeld derjenigen liegt, die zu dem mit dieser Länge erzielbaren Drehmoment gehört. Das Auftreten dieses doppelten Frequenzanteils liegt daran, dass aufgrund der typischen Krümmung der Isodrehmomentenlinien eine Schwingung in tangentialer Richtung der Isodrehmomentenlinie rechts und links vom Ausgangs-Stromvektor zu einem Minimum des Drehmoments führt, der doppelten Frequenz. Die minimierte Schwingung des Drehmoments oder der verschwindende Drehmomentenrippel oder auch das Auftreten der doppelten Frequenz kann mit geeigneten Frequenzen der Harmonischen akustisch detektiert werden, also wenn die entsprechende Frequenz im gemessenen Geräusch verschwindet oder auftaucht. Als besonders günstige Frequenzen der Oszillation des Testsignals sind solche zu wählen, bei denen

die angeschlossene Maschine keine oder nur geringe intrinsische elektromagnetische Anregungen besitzt, dies könnten beispielsweise für eine 3 phasige elektrische Maschine bevorzugt die Ordnung 5 oder 7 im Drehmoment sein, da intrinsische Anregungen hier beispielhaft bei der Ordnung 6 und 12 erwartet werden. Eine günstige Anregungsordnung bezogen auf die eingestellte elektrische Frequenz für dieses Verfahren wird bevorzugt so gewählt, dass bei dieser Ordnung ohne vorgegebenes Testsignal keine oder kaum intrinsische elektromagnetische Ordnungen in der Schwingung des Drehmoments erzeugt werden. Damit wäre das zu erwartende Antwortsignal allein mit dem Verfahren gekoppelt und das verschwindende Antwortsignal kann als Zielgröße verwendet werden.

[0009] Weiterhin ist bevorzugt bei der Wahl der Anregungsfrequenz bzw. Ordnung bevorzugterweise eine Frequenz/Ordnung zu wählen, die vom Sensor gut detektierbar ist, was die Sensorempfindlichkeit und vor allem das Übertragungsverhalten von dieser Frequenz eines Drehmomentrippels auf den Sensor betrifft.

[0010] Vorteilhaft wird ein mögliches Testsignal bereitgestellt, welches eine Beurteilung der Richtung des vorgegebenen Stromvektors hinsichtlich des erzielbaren maximalen Drehmoments ermöglicht.

[0011] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung werden die Schritte a.) bis d.) mindestens zweimal wiederholt, wobei die Richtung des Stromvektors jeweils um einen vorgebbaren Betrag verändert vorgegeben wird. Bei der Auswertung der Antwortsignale gemäß Schritt d.) werden die erfassten Antwortsignale verglichen. Dabei wird ein Gradient oder ein Minimum der erfassten Antwortsignale ermittelt.

[0012] Das Vorgeben des Stromvektors und des Testsignals werden mindestens zweimal mit unterschiedlichen Richtungen des Stromvektors wiederholt. Die Antwortsignale werden ausgewertet, indem die Antwortsignale, bevorzugt die Amplituden der Antwortsignale, verglichen werden. Bevorzugt wird anhand der Größe und der Veränderung der Amplitude, bevorzugt in Abhängigkeit des Gradienten und/oder des Minimums, des Antwortsignals abgeleitet, ob der vorgegebene Stromvektor bei einer angeschlossenen elektrischen Maschine das maximale Drehmoment erzeugt oder in welche Richtung der Stromvektor bei weiteren Wiederholungen verändert werden muss, um sich der Richtung bei der eine angeschlossene elektrische Maschine das maximale Drehmoment erzeugt, weiter anzunähern. Mit größerer Länge oder einem größeren Betrag des Testsignals erhöht sich die Amplitude der resultierenden Schwingung des Drehmomentes. Daher ist bei zu großen Amplituden die Länge des Testsignals zu reduzieren.

[0013] Vorteilhaft wird ein Verfahren zur iterativen Annäherung zu der Richtung des Stromvektors, bei der eine angeschlossene elektrische Maschine das maximale Drehmoment erzeugt, bereitgestellt.

[0014] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung wird die Richtung des Stromvektors jeweils bei der Wiederholung der Schritte um einen, bevorzugt in jedem Iterationsschritt neu, vorgebbaren Betrag in positive und negative Richtung des zuletzt vorgegebenen Stromvektors vorgegeben oder jeweils in positive oder negative Richtung des zuletzt vorgegebenen Stromvektors. Die Wiederholung der Schritte wird bevorzugt ausgeführt, bis der Gradient zwischen den, bevorzugt ungefähr letzten drei, Antwortsignalen einen ersten vorgebbaren Grenzwert unterschreitet oder das Antwortsignal einen zweiten vorgebbaren Grenzwert unterschreitet.

[0015] Vorteilhaft werden unterschiedliche Varianten zur iterativen Annäherung zu der Richtung des Stromvektors, bei der eine angeschlossene elektrische Maschine das maximale Drehmoment erzeugt, bereitgestellt.

[0016] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung wird gemäß Schritt e.) der kalibrierte Stromvektor vorgegeben, indem die Parameter des vorgegebenen Stromvektors, dessen erfasstes Antwortsignal minimal ist, für den kalibrierten Stromvektor vorgegeben.

[0017] Wenn die Richtung des Stromvektors erreicht ist, bei der eine angeschlossene elektrische Maschine das maximale Drehmoment erzeugen würde, so resultiert ein minimales Antwortsignal, bevorzugt eine minimale Amplitude des Antwortsignals. Die dann vorliegenden Parameter des Stromvektors, die Länge des Vektors und die Richtung des Vektors werden als Parameter für den kalibrierten Stromvektor vorgegeben.

[0018] Vorteilhaft wird ein Verfahren zur Bestimmung des kalibrierten Stromvektors vorgegeben.

[0019] Ferner betrifft die Erfindung ein Computerprogramm, welches Befehle umfasst, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des bisher beschriebenen Verfahrens auszuführen.

[0020] Ferner betrifft die Erfindung ein computerlesbares Speichermedium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des bisher beschriebenen Verfahrens auszuführen.

[0021] Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Kalibrierung einer Regelung einer elektrischen Maschine. Die Vorrichtung umfasst einen, bevorzugt

mechanischen, Sensor. Weiter umfasst die Vorrichtung einen Schaltungsträger, wobei der Schaltungsträger einen Testsignalgenerator aufweist und eine Recheneinheit. Die Vorrichtung ist dazu eingerichtet, die Schritte des beschriebenen Verfahrens auszuführen.

[0022] Vorteilhaft wird eine Vorrichtung zur Kalibrierung einer Regelung einer elektrischen Maschine bereitgestellt. Diese Vorrichtung umfasst einen, bevorzugt mechanischen, Sensor zur Erfassung des aus der Überlagerung des Stromvektors und des Testsignals resultierenden Antwortsignals. Die Vorrichtung umfasst weiter zur Vorgabe des Testsignals einen Testsignalgenerator und eine Recheneinheit zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens.

[0023] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist der Sensor mechanisch fest oder im Wesentlichen starr mit der elektrischen Maschine verbunden. Alternativ ist der Sensor fest auf den Schaltungsträger aufgebaut und der Schaltungsträger fest an oder in der elektrischen Maschine integriert.

[0024] Für eine hoch aufgelöste und ungestörte Erfassung des Antwortsignals ist eine mechanisch feste Verbindung mit der elektrischen Maschine oder über einen Schaltungsträger, welcher an oder in der elektrischen Maschine angebracht ist, vorgesehen. Alternativ kann natürlich auch mit einem Sensor außerhalb der Vorrichtung oder Leistungselektronik durchgeführt werden, z.B. einem Mikrofon an oder neben der elektrischen Maschine oder auch mittels einem Körperschallsensor, beispielsweise ausgeführt als an einer Oberfläche, bevorzugt der elektrischen Maschine oder eines Steuergerätes oder Inverters, montierter Beschleunigungssensor.

[0025] Vorteilhaft wird eine Position zur Befestigung des Sensors für eine gute Signalübertragung bereitgestellt.

[0026] In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist der mechanische Sensor ein Mikrofon, ein Beschleunigungssensor oder ein Körperschallsensor oder ein Drehzahlsensor.

[0027] Vorteilhaft werden Sensoren bereitgestellt, die zur Erfassung des Antwortsignals, welches aus der Schwingung des Drehmomentes resultiert bereitgestellt. Die Schwingungen des Drehmomentes können akustisch, mittels Beschleunigungsmessung bevorzugt an einer mechanisch festen Einheit mit der elektrischen Maschine oder mittels Körperschall erfasst werden. Ebenso resultiert aus den Schwingungen des Drehmomentes eine Drehzahländerung der elektrischen Maschine, sodass auch mittels eines Drehzahlsensors eine Erfassung der Antwortsignale möglich ist.

[0028] Ferner betrifft die Erfindung ein elektrisches Antriebssystem mit einer elektrischen Maschine und einer beschriebenen Vorrichtung. Ein derartiges elektrisches Antriebssystem dient beispielsweise dem Antrieb eines elektrischen Fahrzeugs. Mittels des Verfahrens und der Vorrichtung wird ein sinnvoll geregelter Betrieb des Antriebstrangs ermöglicht.

[0029] Ferner betrifft die Erfindung ein Fahrzeug, mit einem beschriebenen Antriebssystem. Vorteilhaft wird somit ein Fahrzeug bereitgestellt, welches eine Vorrichtung umfasst, mit der eine Regelung einer elektrischen Maschine kalibriert werden kann.

[0030] Es versteht sich, dass die Merkmale, Eigenschaften und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechend auf die Vorrichtung bzw. das Antriebssystem und das Fahrzeug und umgekehrt zutreffen bzw. anwendbar sind.

[0031] Weitere Merkmale und Vorteile von Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen.

Figurenliste

[0032] Im Folgenden soll die Erfindung anhand einiger Figuren näher erläutert werden, dazu zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Kalibrierung einer Regelung einer elektrischen Maschine

Fig. 2 ein Diagramm der dq-Stromebene mit eingezeichneten Isodrehmomentenlinien zur Anwendung einer feldorientierten Regelung.

Fig. 3 ein schematisch dargestelltes Fahrzeug mit einem Antriebsstrang,

Fig. 4 ein schematisch dargestelltes Ablaufdiagramm für ein Verfahren zur Kalibrierung eines Offsetwinkels einer feldorientierten Regelung einer elektrischen Maschine.

Ausführungsformen der Erfindung

[0033] Die **Fig. 1** zeigt eine Vorrichtung **100** zur Kalibrierung einer Regelung **110** einer elektrischen Maschine **120**. Die Vorrichtung umfasst einen Sensor **130**, bevorzugt einen mechanischen Sensor mit einer mechanisch starren oder festen direkten oder indirekten Verbindung zu der elektrischen Maschine **120**. Weiter umfasst die Vorrichtung einen Schaltungsträger **150**, wobei der Schaltungsträger einen Testsignalgenerator **160** aufweist und eine Recheneinheit **170**. Bevorzugt ist die Regelung **110** in einem Inverter **140** integriert, wobei der Inverter eine Leistungselektronik **145**, bevorzugt eine B6 Brücke, zur Speisung der anschließbaren Maschine **120** aus einer Batterie **155** umfasst. Ferner ist in **Fig. 1** das elektrische

Antriebssystem **200** mit der Vorrichtung **100** und der elektrischen Maschine **120** dargestellt.

[0034] Fig. 2 zeigt ein Diagramm der dq-Stromebene mit eingetragenen Isodrehmomentenlinien zur Anwendung einer feldorientierten Regelung. Innerhalb des rotierenden Koordinatensystems ergeben sich im stationären Betrieb der elektrischen Maschine aus den Wechselgrößen, beispielsweise der Phasenströme, Gleichgrößen. In dem d/q-Koordinatensystem, welches sich synchron mit dem Rotorfluss dreht und dessen d-Achse in Richtung des Rotorflusses zeigt, wird ein Statorstrom als Stromvektor I_{x_v} repräsentiert, welcher über seinen Betrag oder seine Länge I_s und seine Richtung I_{x_a} charakterisiert wird. Dieser Stromvektor I_{x_v} dreht sich synchron mit dem rotierenden Stator- oder Rotorfluss der elektrischen Maschine. In diesem Koordinatensystem können maschinenspezifische Linien T_1 , T_2 , T_3 , T_{Des} dargestellt werden, entlang derer die elektrische Maschine ein konstantes Drehmoment abgibt. Auf die Parameter dieser Linien kann eine Regelung einer elektrischen Maschine mittels Kennfeldern oder parametrierbarer Daten zugreifen. Mittels Variation der Richtung I_{x_a} des Stromvektors, und somit unterschiedlichen id und iq-Komponenten können die unterschiedlichen Betriebspunkte auf diesen Linien eingestellt werden. Mit I_{1_v} , I_{2_v} und I_{3_v} sind drei Stromvektoren mit gleicher Länge I_s dargestellt, deren Richtungen I_{x_a} sich jeweils um einen vorgebbaren Betrag $I_{x_a_Delta}$ unterscheiden. Orthogonal zu diesen Stromvektoren sind die vorgebbaren Testsignale $S1_Test$, $S2_Test$, $S3_Test$ dargestellt. Aus dem Diagramm geht hervor, dass die oszillierenden Testsignale $S1_Test$ und $S3_Test$ mehr Isodrehmomentenlinien schneiden als das Testsignal $S2_Test$. Daher ergeben sich aus der Überlagerung der Stromvektoren und der Testsignale $S1_Test$ und $S3_Test$ größere Drehmomentschwankungen als bei der Überlagerung des Stromvektors I_{2_v} und des Testsignals $S2_Test$ mit einer angeschlossenen elektrischen Maschine. Entsprechend werden in diesem Beispiel die Parameter, bevorzugt die Richtung, des Stromvektors I_{2_v} für den kalibrierten Stromvektor I_{V_k} übernommen.

[0035] Die Fig. 3 zeigt ein schematisch dargestelltes Fahrzeug **300** mit einem elektrischen Antriebssystem **200**. Das Antriebssystem **200** umfasst die Vorrichtung **100** zur Kalibrierung der Regelung **110** der elektrischen Maschine **120** in dem Inverter **140** und die elektrische Maschine **210**. Bevorzugt umfasst das elektrische Antriebssystem die Batterie **150**.

[0036] Die Fig. 4 zeigt einen schematischen Ablauf eines Verfahrens **400** zur Kalibrierung einer Regelung einer elektrischen Maschine **120** für einen vorgebbaren Drehmomentwert T_{Des} . Mit Schritt **405** startet das Verfahren. Die elektrische Maschine **120**

wird mit einer feldorientierten Regelung betrieben. Das Verfahren umfasst die Schritte:

- a.) Vorgeben eines Stromvektors I_{x_v} , 410 zur Erzeugung des vorgebbaren Drehmomentwertes T_{Des} mittels einer anschließbaren elektrischen Maschine **120**, wobei der Stromvektor I_{x_v} als Parameter eine Länge I_s und eine Richtung I_{x_a} aufweist
- b.) Vorgeben eines Testsignals Sx_Test , 420 und Überlagern des Stromvektors I_{x_v} mit dem Testsignal Sx_Test ,
- c.) Erfassen **430** eines aus der Überlagerung resultierenden Antwortsignals Sx_Antw mittels eines Sensors **130**,
- d.) Auswerten **440** des Antwortsignals Sx_Antw ,
- e.) Bestimmen **450** eines kalibrierten Stromvektors I_{V_k} in Abhängigkeit der Auswertung des Antwortsignals Sx_Antw
- f.) Betreiben **460** der Regelung der elektrischen Maschine **120** für den vorgebbaren Drehmomentwert T_{Des} mittels Vorgeben des kalibrierten Stromvektors I_{V_k} . Die Schritte a.) bis d.) 410 - 440 werden bevorzugt mindestens zweimal wiederholt zur iterativen Annäherung zu der Richtung des Stromvektors I_{x_v} , bei der eine angeschlossene elektrische Maschine **120** das maximale Drehmoment erzeugt. Mit Schritt **470** endet das Verfahren.

Patentansprüche

1. Verfahren (400) zur Kalibrierung einer Regelung einer elektrischen Maschine (120) für einen vorgebbaren Drehmomentwert (T_{Des}), wobei die elektrische Maschine (120) mit einer feldorientierten Regelung betrieben wird, mit den Schritten:
 - a.) Vorgeben eines Stromvektors (I_{x_V}) (410) zur Erzeugung des vorgebbaren Drehmomentwertes (T_{Des}) mittels einer anschließbaren elektrischen Maschine (120), wobei der Stromvektor (I_{x_V}) als Parameter eine Länge (I_s) und eine Richtung (I_{x_a}) aufweist
 - b.) Vorgeben eines Testsignals (Sx_Test) (420) und Überlagern des Stromvektors (I_{x_V}) mit dem Testsignal (Sx_Test),
 - c.) Erfassen (430) eines aus der Überlagerung resultierenden Antwortsignals (Sx_Antw) mittels eines Sensors (130),
 - d.) Auswerten (440) des Antwortsignals (Sx_Antw),
 - e.) Bestimmen (450) eines kalibrierten Stromvektors (I_{V_k}) in Abhängigkeit der Auswertung des Antwortsignals (Sx_Antw)
 - f.) Betreiben (460) der Regelung der elektrischen Maschine (120) für den vorgebbaren Drehmomentwert (T_{Des}) mittels Vorgeben des kalibrierten Stromvektors (I_{V_k}).

2. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Testsignal (S_{x_Test}) eine Länge (S_s) und eine Richtung (S_{x_a}) aufweist, wobei die Richtung (S_{x_a}) orthogonal zu dem Stromvektor (I_{x_V}) ausgerichtet ist, das Testsignal (S_{x_Test}) zu beiden Seiten des Stromvektors (I_{x_V}) oszilliert.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-2, wobei die Schritte a.) bis d.) mindestens zweimal wiederholt werden, wobei die Richtung (I_{x_a}) des Stromvektors (I_{x_V}) jeweils um einen vorgebbaren Betrag ($I_{x_a_Delta}$) verändert vorgegeben wird wobei bei der Auswertung der Antwortsignale (S_{x_Antw}) gemäß Schritt d.) die erfassten Antwortsignale (S_{x_Antw}) verglichen werden und ein Gradient oder ein Minimum der erfassten Antwortsignale (S_{x_Antw}) ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Richtung (I_{x_a}) des Stromvektors (I_{x_V}) jeweils um einen vorgebbaren Betrag ($I_{x_a_Delta}$) in positive und negative Richtung des zuletzt vorgegebenen Stromvektors (I_{x_V}) vorgegeben wird oder jeweils in positive oder negative Richtung des zuletzt vorgegebenen Stromvektors (I_{x_V}) vorgegeben wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei gemäß Schritt e.) der kalibrierte Stromvektor (I_{V_k}) vorgegeben wird, indem die Parameter des vorgegebenen Stromvektors (I_{x_V}), dessen erfasstes Antwortsignal (S_{x_Antw}) minimal ist, für den kalibrierten Stromvektor (I_{V_k}) vorgegeben werden.

6. Computerprogramm, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren/die Schritte des Verfahrens (400) nach Anspruch 1 bis 5 auszuführen.

7. Computerlesbares Speichermedium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren/die Schritte des Verfahrens (400) nach Anspruch 1 bis 5 auszuführen.

8. Vorrichtung (100) zur Kalibrierung einer Regelung (110) einer elektrischen Maschine (120), mit einem Sensor (130), mit einem Schaltungsträger (150), wobei der Schaltungsträger einen Testsignalgenerator (160) aufweist und eine Recheneinheit (170), wobei die Vorrichtung dazu eingerichtet ist, die Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1-5 auszuführen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei der Sensor (130) mechanisch fest mit der elektrischen Maschine (120) verbunden ist oder der Sensor (130) fest auf den Schaltungsträger (150) aufgebaut ist und

der Schaltungsträger (150) fest an oder in der elektrischen Maschine (120) integriert ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei der Sensor (130) ein Mikrofon, ein Beschleunigungssensor oder Körperschallsensor oder ein Drehzahlsensor ist.

11. Elektrisches Antriebssystem (200) mit einer elektrischen Maschine (120) und einer Vorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 8 bis 10.

12. Fahrzeug (300) mit einem elektrischen Antriebssystem (200) nach Anspruch 11.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

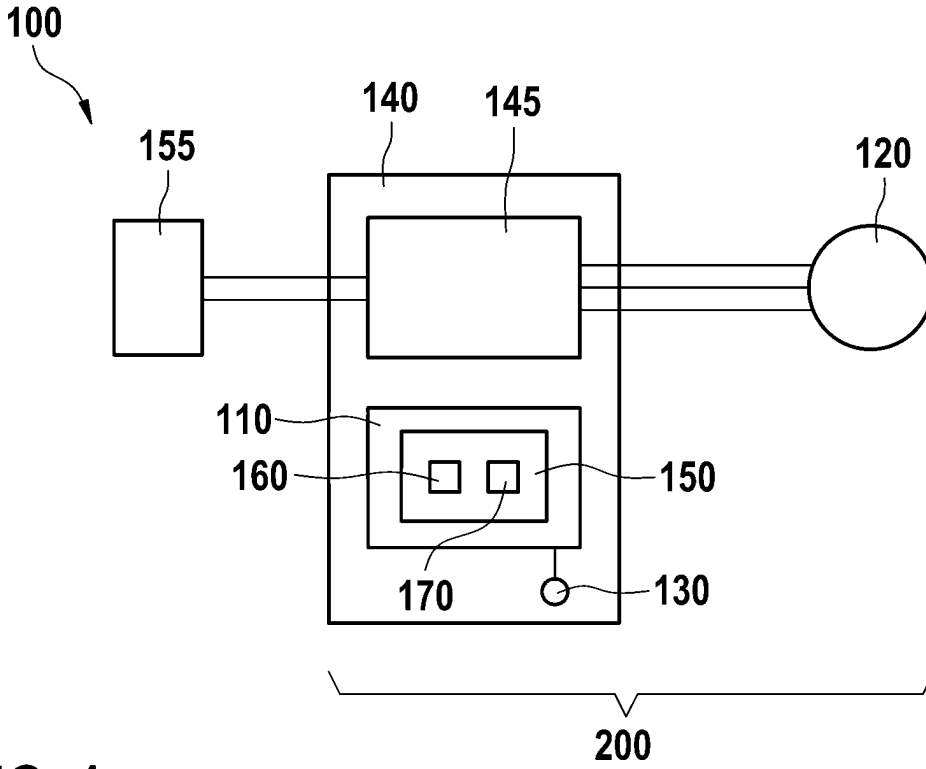


FIG. 1

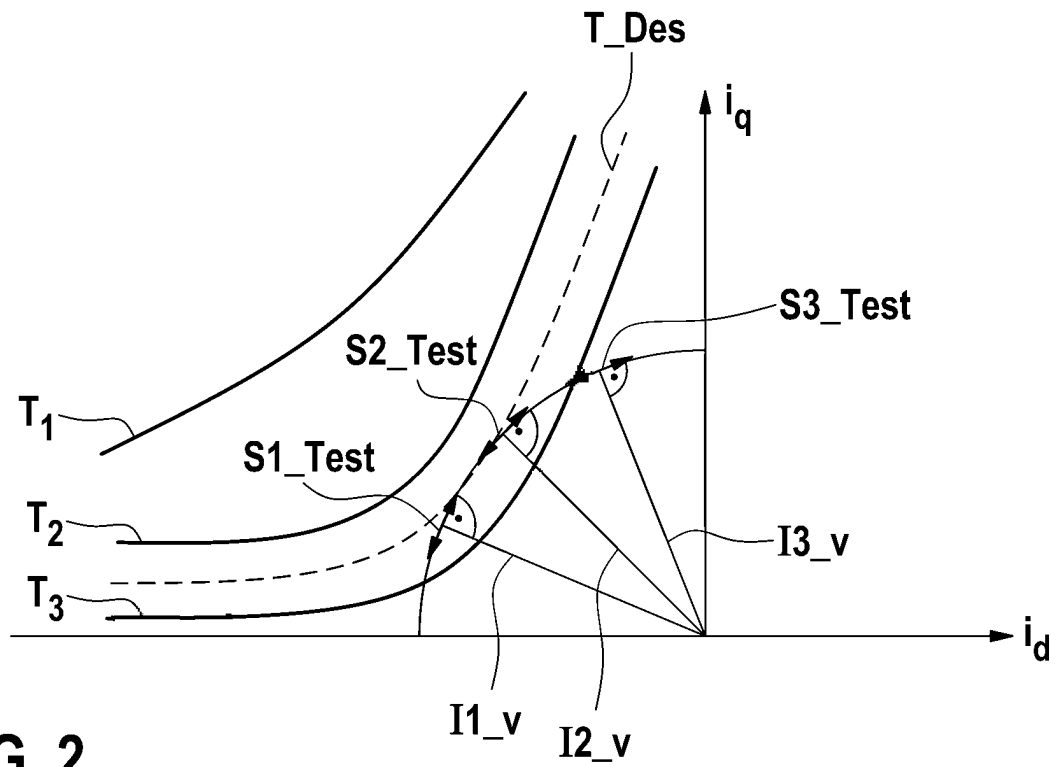


FIG. 2

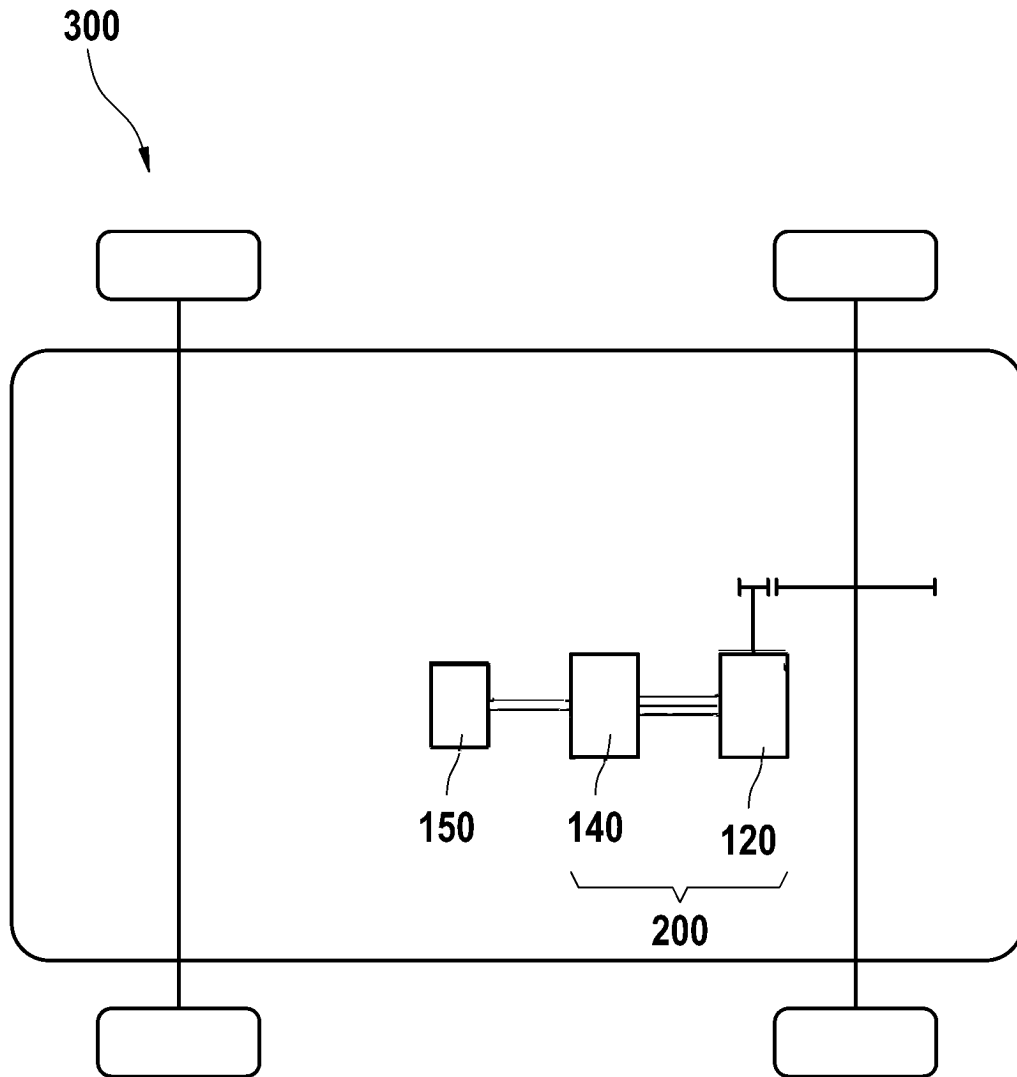


FIG. 3

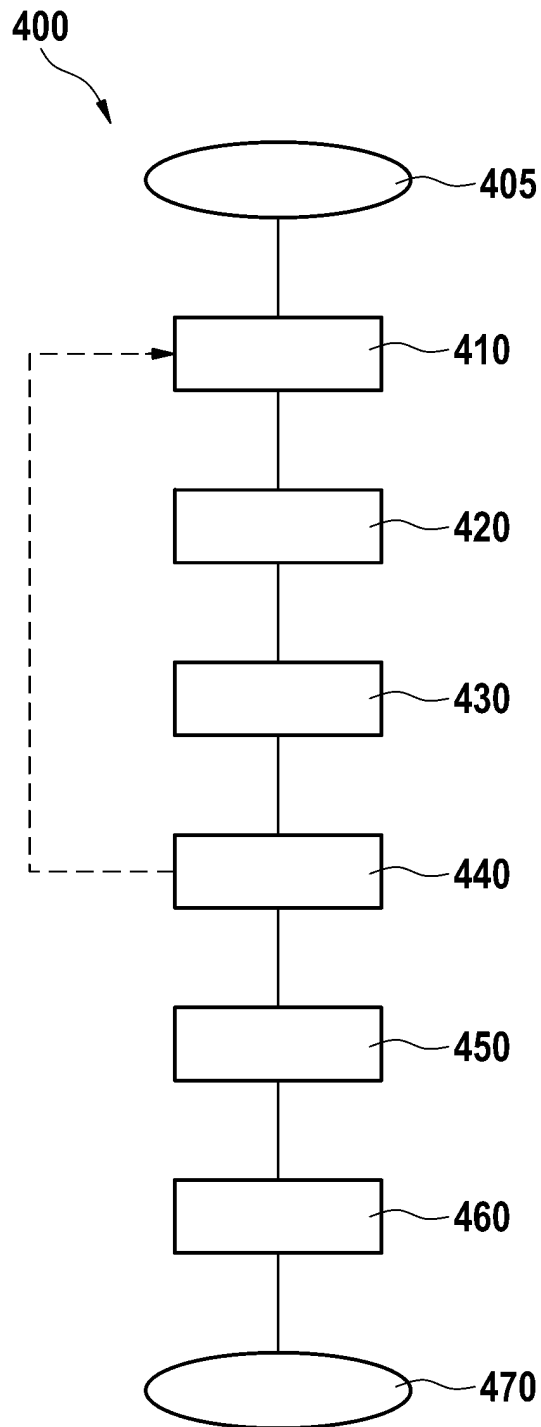


FIG. 4