

(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
30. November 2017 (30.11.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/202676 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02P 29/40 (2016.01) F02M 37/08 (2006.01)
H02P 6/15 (2016.01) F02D 41/30 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/061925

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Mai 2017 (18.05.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 209 179.4
25. Mai 2016 (25.05.2016) DE

(71) Anmelder: CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH
[DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder: BEHRENDT, Gerald; Am Borsdorfer 59,
60435 Frankfurt am Main (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST,

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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: AUTOMATIC OPTIMIZATION OF AN OPERATING PARAMETER OF AN ELECTRIC MACHINE

(54) Bezeichnung: AUTOMATISCHE OPTIMIERUNG EINES BETRIEBSPARAMETERS EINER ELEKTRISCHEN MASCHINE

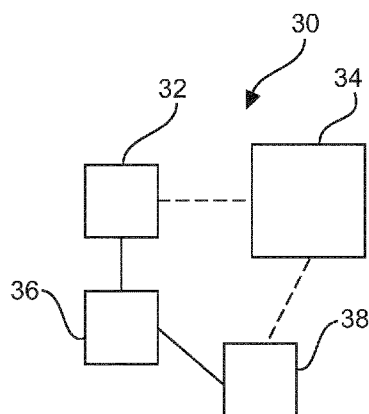


Fig. 2a

(57) Abstract: The invention relates to a motor control assembly (30) for an electric machine (34) and to a corresponding method. The motor control assembly (30) has a current-measuring device (32) for determining current values (I), a memory device (36) for storing the current values (I), and a control device (38), wherein the control device is designed to vary a value (A) of the operating parameter in a predefined interval ($\Delta A1$), and wherein the motor control assembly (30) is designed to store associated current values (I) in the memory device (36). A minimum current value (I0) is then determined on the basis of the stored current values (I).

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Motorsteuerungsanordnung (30) für eine elektrische Maschine (34) sowie ein entsprechendes Verfahren angegeben. Die Motorsteuerungsanordnung (30) weist eine Strommesseinrichtung (32) zum Ermitteln von Stromwerten (I), eine Speichervorrichtung (36) zum Hinterlegen der Stromwerten (I) und eine Regelvorrichtung (38) auf, wobei diese dazu eingerichtet ist, einen Wert (A) des Betriebsparameters in einem vorbestimmten Intervall ($\Delta A1$) zu variieren, und wobei die Motorsteuerungsanordnung (30) dazu eingerichtet ist, zugehörige Stromwerte (I) in der Speichervorrichtung (36) zu hinterlegen. Basierend auf den hinterlegten Stromwerten (I) wird sodann ein minimaler Stromwert (I0) ermittelt.

WO 2017/202676 A1

Beschreibung

Automatische Optimierung eines Betriebsparameters einer elektrischen Maschine

5

Die Erfindung betrifft allgemein die Steuerung bzw. Ansteuerung von elektrischen Maschinen. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Motoransteuerungsanordnung für eine elektrische Maschine sowie ein entsprechendes Verfahren.

10

Elektrische Maschinen werden in diversen Varianten in vielen Bereichen der Industrie, insbesondere in der Automobilindustrie, eingesetzt. Eine vielfach eingesetzte Variante ist beispielsweise der elektronisch kommutierte Motor, auch EC-Synchron Motor (Electronically Commutated, EC) genannt, welcher Permanentmagnete zum Antrieb aufweist und beispielsweise bei Kraftstoffpumpen und/oder Wasserpumpen unter anderem auch in Kraftfahrzeugen jeglicher Art und darüber hinaus eingesetzt wird.

20

Derartige elektrische Maschinen können in verschiedenen elektrischen Betriebsarten und/oder mittels verschiedener Motorsteuerungen bzw. Motoransteuerungen betrieben werden. Eine Art der Motorsteuerung ist etwa die sogenannte Blockkommutierung, bei welcher während eines Betriebes einzelne Phasen der elektrischen Maschine bestromt werden.

25

Eine Unterform der Motorsteuerung ist ferner die sensorlose Ansteuerung, bei welcher mit Hilfe einer in den Statorspulen des Motors induzierten Spannung während einer Austastlücke eine Position des Rotors ermittelt und somit das Weiterschalten des Drehfelds präzise gesteuert werden kann.

30

Für den eigentlichen Betrieb werden hierbei häufig Betriebsparameter des Motors bzw. entsprechende Werte der Betriebsparameter eingestellt, um die Motorsteuerung anzupassen. Beispielsweise kann eine Ansteuerfrequenz (auch Pul-

35

se-Width-Modulation Ansteuerfrequenz genannt), d.h. eine Frequenz, mit der die Spannung während einzelner Kommutierungsblöcke getaktet wird, eingestellt werden. Auch kann beispielsweise ein Ansteuerwinkel, d.h. ein Winkel zwischen dem
5 Beginn einer elektrischen Ansteuerung bzw. einer Bestromung einer Phase und einer tatsächlichen mechanischen Rotorposition, eingestellt werden.

Grundsätzlich können Werte der Betriebsparameter bei einem
10 konstanten Wert belassen werden und der Motor kann so betrieben werden. Meist wird jedoch eine Kennlinie und/oder ein Kennfeld erzeugt und etwa in einem Steuergerät hinterlegt, wobei ein solches Kennfeld typischerweise für einen sicheren Betrieb ausgelegt ist.

15 In solchen Kennlinien und/oder Kennfeldern definierte bzw. hinterlegte Kenndaten werden während des Betriebes von elektrischen Maschinen, insbesondere bei Kraftstoffpumpen, durch mathematische Methoden interpoliert, um weitere Werte der
20 Betriebsparameter für eine aktuelle Betriebsbedingung, wie z.B. eine aktuelle Last und/oder Drehzahl, zu ermitteln und den Motor entsprechend anzusteuern.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren sowie
25 eine Motorsteuerungsanordnung für eine elektrische Maschine anzugeben, mit Hilfe derer die elektrische Maschine individuell und unter Berücksichtigung aktueller Betriebsbedingungen optimal angesteuert und/oder betrieben werden kann. Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst.
30 Weitere vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird eine Motorsteuerungsanordnung für eine elektrische Maschine vorgeschlagen. Die
35 Motorsteuerungsanordnung weist eine Strommesseinrichtung zum Ermitteln, Bestimmen, Messen und/oder Detektieren eines Stromwertes eines der elektrischen Maschine im Betrieb zuge-

fürten elektrischen Stromes auf. Weiter weist die Motorsteuerungsanordnung eine Speichervorrichtung zum Hinterlegen von durch die Strommesseinrichtung ermittelten Stromwerten und eine Regelvorrichtung zum Anpassen und/oder Variieren wenigstens
5 eines Wertes wenigstens eines Betriebsparameters der elektrischen Maschine auf. Die Regelvorrichtung ist dazu eingerichtet, während des Betriebes der elektrischen Maschine einen Wert des Betriebsparameters, insbesondere einen aktuellen Wert, in einem vorbestimmten und/oder vorgegebenen Intervall zu
10 variieren. Die Motorsteuerungsanordnung und/oder die Strommesseinrichtung ist dazu eingerichtet, bei Variation des Wertes des Betriebsparameters durch die Strommesseinrichtung ermittelte Stromwerte in der Speichervorrichtung zu hinterlegen. Die Motorsteuerungsanordnung und/oder die Regelvorrichtung ist
15 ferner dazu eingerichtet, basierend auf den bei Variation des Wertes des Betriebsparameters ermittelten und in der Speichervorrichtung hinterlegten Stromwerten einen minimalen Stromwert zu ermitteln.

20 Mit anderen Worten wird erfindungsgemäß während des Betriebes der elektrischen Maschine wenigstens ein Wert wenigstens eines Betriebsparameters variiert und die den variierten Werten entsprechenden Stromwerte werden in der Speichervorrichtung hinterlegt. Es können auch mehrere Werte unterschiedlicher
25 Betriebsparameter gleichzeitig oder nacheinander variiert werden. Auch die jeweils variierten bzw. den Stromwerten zugeordneten Werte des Betriebsparameters können in der Speichervorrichtung hinterlegt werden, um Information über den der elektrischen Maschine zugeführten Strom als Funktion des je-
30 weiligen Betriebsparameters zu erlangen. Diese Information kann etwa als Verteilung der Stromwerte in Abhängigkeit der Werte des Betriebsparameters, insbesondere als Daten in der Speichervorrichtung, vorliegen. Anhand dieser Stromwerte und/oder Werte des Betriebsparameters kann so der minimale Stromwert ermittelt
35 werden.

Die elektrische Maschine kann insbesondere einen elektrisch kommutierten Motor (EC Synchron-Motor) bezeichnen, wie er insbesondere in Kraftstoffpumpen oder Wasserpumpen zum Einsatz kommen kann. Die elektrische Maschine kann jedoch auch jede
5 andere Art von elektrischer Maschine bezeichnen.

Die Strommesseinrichtung kann dabei Teil der elektrischen Maschine sein oder als separate Messeinrichtung vorliegen, welche mit der elektrischen Maschine verbunden sein kann.

10

Die Speichervorrichtung kann jede Art von Speicher, insbesondere ein RAM-Speicher (Random Access Memory) und/oder ein FLASH-Speicher, sein.

15 Das vorbestimmte und/oder vorgegebene Intervall kann einen beliebigen Wertebereich des Betriebsparameters um einen aktuellen Wert des Betriebsparameters, mit welchem die elektrische angesteuert wird, bezeichnen. Das Intervall kann beispielsweise zwischen 5% und 50% des aktuellen Wertes betragen.

20

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Fahrzeug mit einer elektrischen Maschine und einer Motorsteuerungsanordnung, so wie obenstehend und untenstehend beschrieben. Bei dem Fahrzeug handelt es sich beispielsweise um ein Kraftfahrzeug, wie Auto,
25 Bus oder Lastkraftwagen, oder aber auch um ein Schienenfahrzeug, ein Schiff, ein Luftfahrzeug, wie Helikopter oder Flugzeug, oder beispielsweise um ein elektrisch betriebenes Fahrrad.

Noch ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum
30 Ermitteln eines Optimalwertes eines Betriebsparameters für eine elektrische Maschine.

Merkmale, Elemente und/oder Eigenschaften der Motorsteuerungsanordnung und/oder des Fahrzeugs können Merkmale, Elemente
35 und/oder Eigenschaften des Verfahrens sein und umgekehrt.

- Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist die Motorsteuerungsanordnung ferner dazu eingerichtet, einen dem minimalen Stromwert zugeordneten Optimalwert des Betriebsparameters zu bestimmen. Der Optimalwert kann dabei einen für die jeweilige Betriebsbedingung der elektrischen Maschine, beispielsweise eine jeweilige Last und/oder Drehzahl, optimalen Arbeitspunkt und/oder Betriebspunkt bezeichnen. Mit anderen Worten kann der Optimalwert demjenigen Wert des Betriebsparameters entsprechen, für welchen ein Stromverbrauch der elektrischen Maschine bei den aktuellen Betriebsbedingungen minimal ist. Der Optimalwert kann ferner für die jeweilige Betriebsbedingung, bei welcher er bestimmt wurde (z.B. Last, Drehzahl), in der Speichervorrichtung hinterlegt werden.
- Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist die Motorsteuerungsanordnung ferner dazu eingerichtet, einen aktuellen Wert des Betriebsparameters der elektrischen Maschine entsprechend dem Optimalwert anzupassen. Mit anderen Worten kann die Maschine mit dem ermittelten Optimalwert betrieben werden. So kann die elektrische Maschine unter Zuführung einer minimalen elektrischen Leistung bzw. unter Zuführung einer minimalen Strommenge ideal betrieben werden, und es kann Strom zum Betrieb der elektrischen Maschine eingespart werden.
- Die Erfindung kann insbesondere als auf den nachfolgend beschriebenen Gedanken und Erkenntnissen beruhend angesehen werden. Wie eingangs beschrieben, werden aktuell statische Kennfelder und/oder Kennlinien zur Motorsteuerung verwendet, wobei Stützstellen der Kennlinien interpoliert werden, um Werte von Betriebsparametern den jeweiligen Betriebsbedingungen anzupassen und so die elektrische Maschine zu betreiben. Häufig werden die einzelnen Stützstellen für einzelne Exemplare der elektrischen Maschine und bei ausgewählten Bedingungen vermessen und für alle nachfolgend produzierten Exemplare der elektrischen Maschine hinterlegt. Somit können insbesondere individuelle fertigungstechnische Unterschiede, wie z.B. Toleranzen, für Exemplare der elektrischen Maschinen einer Baureihe bei der

Motorsteuerung unberücksichtigt bleiben. Im realen Betrieb können die Bedingungen für die jeweils, z.B. in einem Fahrzeug, eingesetzte elektrische Maschine von den Bedingungen, auf welche sich die Kenndaten beziehen, abweichen. Die elektrische Maschine
5 kann so unter Umständen nicht in einem optimalen Arbeitsbereich betrieben werden. Ein nicht optimaler Betrieb bzw. Arbeitsbereich kann hierbei eine Ansteuerung der Maschine bezeichnen, bei der elektrische Energie für den Betrieb der Maschine aufgebracht wird, welche jedoch nicht in ein Drehmoment umgesetzt
10 wird. Dabei kann eine beliebige Form von Verlustleistung erzeugt werden.

Durch Bestimmung der Optimalwerte von Betriebsparametern kann andererseits ein Arbeitsbereich der elektrischen Maschine,
15 insbesondere einer Kraftstoffpumpe, erweitert werden und eine Verlustleistung kann reduziert werden. Auch kann die elektrische Maschine bei dem Optimalwert schonender betrieben werden, da beispielsweise mechanische Belastungen, wie etwa Vibrationen, reduziert oder vermieden werden können, wenn ein aktueller Wert
20 des Betriebsparameters, d.h. eine Parametrierung, verändert und/oder angepasst wird. Als Beispiel sei hier genannt, dass eine geringere Ansteuerfrequenz gepaart mit einer minimalen Einschaltzeit eine kleine Stromfläche, d.h. Leistung, in einem Motor erzeugen kann, wodurch eine geringere Drehzahl erreicht werden
25 kann. Ferner kann beispielsweise eine Variation des Feldwinkels zu einem stabileren, insbesondere ruhigeren bzw. vibrationsärmeren, Lauf des Motors führen.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist der Betriebsparameter wenigstens ein Element ausgewählt aus der Liste
30 umfassend einen Ansteuerwinkel, eine Ansteuerfrequenz, eine Schaltzeit, ein Feldwinkel, eine Blockbreite und als externe Betriebsparameter zum Beispiel die Betriebsspannung, die Medientemperatur, der tatsächliche Druck und die Viskosität der
35 Flüssigkeit. Durch Bestimmung von Optimalwerten für die verschiedenen Betriebsparameter kann so etwa ein Laufverhalten der elektrischen Maschine weiter in vorteilhafter Weise verbessert

werden. Insbesondere kann ein Stromverbrauch weiter reduziert werden. Die jeweiligen Optimalwerte verschiedener Betriebsparameter können gleichzeitig oder sequentiell nacheinander bestimmt werden.

5

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist die Motorsteuerungsanordnung weiter dazu eingerichtet, basierend auf den in der Speichervorrichtung hinterlegten Stromwerten eine mathematische Auswertung der Stromwerte in Abhängigkeit der Werte des Betriebsparameters vorzunehmen. Eine mathematische Auswertung kann beispielsweise die Bestimmung einer Ableitung, die Ermittlung eines Trends und/oder jede beliebige andere Auswertung, etwa einen Fit, umfassen. Der Trend kann beispielsweise durch Interpolation von Messwerten, Variationsrechnung, Mittelung und/oder beliebiger anderer mathematischer Methoden ermittelt werden.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist die Motorsteuerungsanordnung weiter dazu eingerichtet, basierend auf den in der Speichervorrichtung (36) hinterlegten Stromwerten (I) einen Trend (40) der Stromwerte (I) in Abhängigkeit der Werte (A) des Betriebsparameters zu ermitteln und basierend auf dem ermittelten Trend (40) einen Optimalwert (Z) des Betriebsparameters zu bestimmen. Mit anderen Worten kann anhand des ermittelten Trends der Optimalwert entsprechend aktueller Betriebsbedingungen ermittelt und/oder berechnet werden. Auch kann der ermittelte Trend einen Anhaltspunkt darüber liefern, ob beispielsweise iterativ in einer weiteren Iteration ein neuer bzw. tatsächlicher Optimalwert ermittelt werden sollte.

30

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist die Regelvorrichtung weiter dazu eingerichtet, den Wert des Betriebsparameters der elektrischen Maschine in einem weiteren Intervall zu variieren. Das weitere Intervall kann dabei gleich groß, größer oder kleiner als das ursprüngliche Intervall sein. Dies kann insbesondere dann vorteilhaft sein, wenn der Optimalwert nicht in dem ursprünglichen Intervall liegt, sondern außerhalb.

35

Derart kann durch iteratives Anpassen und/oder Verschieben des Intervalls bzw. einer Intervallgröße der Optimalwert ermittelt werden.

- 5 Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist die Regelvorrichtung weiter dazu eingerichtet, den Wert des Betriebsparameters stochastisch, linear, exponentiell, logarithmisch und/oder gemäß einer Polynomfunktion innerhalb des Intervalls zu variieren. Auch beliebige andere mathematische Methoden können
10 zur Variation des Wertes des Betriebsparameters dienen.

- Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Ermitteln eines Optimalwertes eines Betriebsparameters für eine elektrische Maschine angegeben. Das Verfahren umfasst die
15 Schritte von Variieren, insbesondere mittels einer Regelvorrichtung, eines Wertes des Betriebsparameters der elektrischen Maschine in einem vorbestimmten Intervall. Insbesondere kann der Wert des Betriebsparameters um einen aktuellen Wert herum variiert werden. In einem weiteren Schritt werden, beispielsweise mittels einer Strommesseinrichtung, Stromwerte
20 eines der elektrischen Maschine im Betrieb zugeführten Stromes ermittelt. Die Stromwerte können dabei während des Variierens der Werte des Betriebsparameters ermittelt werden. In einem weiteren Schritt werden die Stromwerte in einer Speichervorrichtung
25 hinterlegt und/oder gespeichert. Die Stromwerte können beispielsweise als Funktion der (variierten) Werte des Betriebsparameters in der Speichervorrichtung hinterlegt werden. In einem weiteren Schritt wird ein Optimalwert des Betriebsparameters basierend auf den hinterlegten Stromwerten ermittelt
30 und/oder bestimmt.

- Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung umfasst der Schritt des Ermitteln des Optimalwertes ferner den Schritt des Ermitteln eines minimalen Stromwertes aus den hinterlegten Stromwerten.
35 Alternativ oder zusätzlich umfasst der Schritt des Ermitteln des Optimalwertes den Schritt des Ermitteln eines Trends der

Stromwerte in Abhängigkeit der Werte des Betriebsparameters, welche vorangehend variiert wurden.

Nachfolgend wird der Gegenstand der Erfindung anhand von Figuren
5 erläutert, ohne dass der Gegenstand der Erfindung hierdurch beschränkt wird.

10 Figur 1a zeigt schematisch eine Stromaufnahme einer elektrischen Maschine als Funktion eines Ansteuerwinkels.

 Figur 1b zeigt schematisch eine Kennlinie für eine elektrische Maschine.

15 Figur 1c zeigt schematisch eine Stromaufnahme einer elektrischen Maschine als Funktion eines Ansteuerwinkels.

20 Figur 2a zeigt schematisch eine Motorsteuerungsanordnung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

25 Figuren 2b bis 2f zeigen jeweils eine Stromaufnahme als Funktion eines Ansteuerwinkels.

 Figuren 3a bis 3f zeigen jeweils eine Stromaufnahme als Funktion eines Ansteuerwinkels.

30 Figur 4 zeigt ein Fahrzeug mit einer Motorsteuerungsanordnung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

35 Figur 5 zeigt ein Flussdiagramm zur Illustration von Schritten eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Gleiche und/oder gleichwirkende Merkmale und Elemente sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Figur 1a zeigt schematisch eine Stromaufnahme bzw. einen einer elektrischen Maschine 34 während des Betriebes zugeführten Strom I als Funktion eines Ansteuerwinkels A einer elektrischen Maschine 34 (siehe Figuren 2a und 4), Figur 1b zeigt schematisch eine Kennlinie für eine elektrische Maschine 34 und Figur 1c zeigt analog Figur 1a schematisch die Stromaufnahme bzw. den Strom I als Funktion des Ansteuerwinkels A. Figuren 1a, 1b, 1c dienen zur Illustration von der Erfindung zu Grunde liegenden Gedanken und Erkenntnissen.

Der Übersichtlichkeit halber werden im Folgenden die Stromaufnahme, der zugeführte Strom sowie Stromwerte mit dem Bezugszeichen I versehen. Gleichermaßen wird der Ansteuerwinkel sowie Werte des Ansteuerwinkels mit dem Bezugszeichen A versehen.

Der Ansteuerwinkel A bezeichnet einen Winkel zwischen dem Beginn einer elektrischen Ansteuerung bzw. einer Bestromung einer Phase der elektrischen Maschine 34 und einer tatsächlichen mechanischen Rotorposition. Stromaufnahme I und Ansteuerwinkel A sind dabei in beliebigen Einheiten dargestellt. In Figur 1b ist schematisch eine Kennlinie für eine elektrische Maschine 34 dargestellt, wobei der Ansteuerwinkel A als Funktion der Drehzahl in beliebigen Einheiten gezeigt ist. Die Kennlinie stellt dabei ein eindimensionales Kennfeld mit unterschiedlichen Ansteuerwinkeln A über der Drehzahl F dar. Einzelne Punkte der Kennlinie entsprechen dabei unterschiedlichen Arbeitspunkten, wobei ein Arbeitspunkt ein bestimmter Wert des Ansteuerwinkels A bei einer bestimmten Drehzahl sein kann.

Gezeigt ist in Figur 1a eine erste Kurve 10 und eine zweite Kurve 12 des Stromes I als Funktion des Ansteuerwinkels A, wobei die Kurven 10, 12 jeweils konstanten mechanischen Betriebsparametern entsprechen. Kurve 10 kann beispielsweise einem Betrieb einer Kraftstoffpumpe bei 5000 Umdrehungen pro Minute und einem Druck

von 4 Bar entsprechen und Kurve 12 kann beispielsweise einem Betrieb bei 8000 Umdrehungen pro Minute und 4 Bar entsprechen.

Anhand der Kennlinie aus Figur 1b wird für aktuell eingesetzte elektrische Maschinen 34 ein Wert des Ansteuerwinkels A bestimmt, beispielsweise aus einem Steuergerät ausgelesen oder mittels Interpolation von hinterlegten Kenndaten gemäß Figur 1b ermittelt. Der so bestimmte Wert des Ansteuerwinkels A wird dann der elektrischen Maschine 34 zur Steuerung zugeführt. Dies wird auch Bedatung der elektrischen Maschine 34 genannt.

Bei dem in den Figuren 1a gezeigten Beispiel kann beispielsweise ein Arbeitspunkt 13 für die Kurve 12 und ein Arbeitspunkt 11 für die Kurve 10 ermittelt sein, so dass die elektrische Maschine 34 mit den den jeweiligen Arbeitspunkten 11, 13 zugeordneten Werten A für den Ansteuerwinkel betrieben werden kann. Die Arbeitspunkte 11, 13 können somit ein Wertpaar (I, A) jeweils eines Stromwertes I und eines Ansteuerwinkels A bezeichnen. Die tatsächlichen Arbeitspunkte 11, 13 der elektrischen Maschine 34 stimmen dabei nicht mit den jeweiligen, optimalen Arbeitspunkten 14, 16 entsprechenden Optimalwerten des Ansteuerwinkels A überein, bei welchen die Stromaufnahme I für die jeweilige Kurve 10, 12 minimal ist. Ersichtlich ist der dem Arbeitspunkt 13 zugeordnete Wert des Ansteuerwinkels für die Kurve 12 zu hoch und der dem Arbeitspunkt 11 zugeordnete Wert A für die Kurve 10 zu gering gewählt. Für beide Fälle kann daher durch Veränderung des Ansteuerwinkels A ein energetischer Vorteil, d.h. eine Stromersparnis, erreicht werden, welcher in Figur 1a mit ΔI_{10} für Kurve 10 und mit ΔI_{12} für Kurve 12 gekennzeichnet ist. Je nach Betriebsbedingung kann dieser Vorteil größer oder kleiner ausfallen.

Allgemein kann daher durch Veränderung des elektrischen Ansteuerwinkels A bzw. zugehöriger Werte A die Stromaufnahme I der elektrischen Maschine 34 beeinflusst werden, wobei bei den in Figuren 1a und 1b gezeigten Beispielen durch unterschiedliche Ansteuerwinkel, d.h. Winkel des Magnetfeldes zum Rotor, und dadurch unterschiedliche Kräfteverhältnisse die elektrische

Energie nicht unter allen Bedingungen, d.h. etwa bei verschiedenen Drehzahlen und/oder Lasten, optimal in mechanische Energie umgesetzt werden kann. Die mechanische Energie ist für die Kurven 10, 12, welche auch als Kennlinien bezeichnet werden können, jeweils konstant, so dass es entlang jeder Kurve 10, 12 jeweils einen der jeweiligen Betriebsbedingung entsprechenden Optimalwert für den Ansteuerwinkel A gibt. Bei unterschiedlichen Belastungen und unterschiedlichen Drehzahlen können die Optimalwerte des Ansteuerwinkels für die optimalen Arbeitspunkte 14, 16 für unterschiedliche elektrische Maschinen 34 jedoch voneinander abweichen, was etwa auf fertigungstechnische Unterschiede und/oder Toleranzen in der Fertigung zurückzuführen sein kann.

15 Bisher wurde dieses Verhalten lediglich in statischer Form, etwa mittels statischer Kennlinien, wie in Figur 1b gezeigt, berücksichtigt, welche zum Teil nicht alle Bedingungen abdecken kann. Näherungsweise wird dieser Umstand bei aktuellen elektrischen Maschinen 34 anhand eines komplexen Kennfeldes

20 verbessert. Beispielsweise werden häufig zweidimensionale Kennlinien in einem Steuergerät hinterlegt. Dabei kann etwa für unterschiedliche Lasten, z.B. unterschiedliche Drücke für eine elektrische Pumpe, jeweils eine der in Figur 1b gezeigten Kennlinie entsprechende Kennlinie hinterlegt werden. In der

25 Regel bleiben jedoch auch bei zweidimensionalen und/oder mehrdimensionalen Kennfeldern weitere Betriebsparameter unberücksichtigt, welche das Verhalten der elektrischen Maschine 34 beeinflussen können, wie z.B. eine Betriebsspannung oder eine Medientemperatur bei einer Kraftstoffpumpe. Für einfache An-

30 wendungen kann allerdings bereits mit einem zweidimensionalen Kennfeld eine Verbesserung erreicht werden. Bei komplexeren Anwendung ist diese Verbesserung jedoch häufig nicht zufriedenstellend.

35 Bei dem Einsatz eines komplexen Lastsystems, wie zum Beispiel einem bedarfsgeregelten Kraftstoffsystem mit variablem Druck, können Belastungen an den Motor, etwa eine Kraftstoffpumpe, bei

unterschiedlichen Betriebsbedingungen stark unterschiedlich sein. Der Motor bzw. die Pumpe wird daher mit hoher Wahrscheinlichkeit nur selten mit dem jeweiligen dieser Betriebsbedingung entsprechenden Optimalwert, d.h. dem dem jeweiligen optimalen Arbeitspunkt 14, 16 zugeordneten Wert des Ansteuerwinkels A, betrieben.

Die Strich-Punkt-Linie 18 in Figur 1a zeigt exemplarisch den erwarteten Verlauf des Optimalwertes des Ansteuerwinkels für verschiedene Betriebsbedingungen. Verschiedene Betriebsbedingungen können z.B. verschiedene Drehzahlen und/oder verschiedene Lasten der elektrischen Maschine 34, d.h. beispielsweise unterschiedliche Drücke für eine elektrische Pumpe, sein.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es daher, die elektrische Maschine 34 bei allen Betriebsbedingungen mit dem dem jeweiligen optimalen Arbeitspunkt 14, 16 zugeordneten Wert des Ansteuerwinkels A zu betreiben. Limitierend können dabei die beiden schraffierten Bereiche 20, 22 sein. Bereich 22 stellt in gewisser Form eine Überlast dar, d.h. die mechanische Energie, die aus der elektrischen Energie erzeugt wird, kann in diesem Bereich 22 gegebenenfalls nicht ausreichend sein, um die elektrische Maschine 34 sicher zu drehen. Bei der Bedatung von Motoren mittels Kennlinien bzw. Kennfeldern, wie in Figur 1b gezeigt, wird dieser Bereich 22 in der Regel für Worst-Case-Motoren vermieden, und es kann sich ein beträchtlicher Abstand zum tatsächlichen Grenzbereich darstellen. Dagegen wird die elektrische Maschine 34 im Bereich 20 mit sehr viel Kraft gezogen, obwohl diese nicht notwendig wäre. Mechanisch drückt sich dies zum Beispiel in Schwingungen der elektrischen Maschine aus, welche der Rotor oder die Last erfährt.

Exemplarisch ist das Verhalten einer elektrischen Maschine 34 in den Bereichen 20, 22 in Figur 1c für die Kurve 10 der Figur 1a dargestellt. Figur 1c zeigt dabei analog Figur 1a schematisch die Stromaufnahme I als Funktion des Ansteuerwinkels A.

In Figur 1c ist ersichtlich, dass in den Bereichen 20, 22 starke Varianzen in der Stromaufnahme I auftreten können, welche in den Bereichen 20, 22 jeweils mit „min, max“ gekennzeichnet sind.

5 Anhand dieser Varianzen kann beispielsweise erkannt werden, dass die elektrische Maschine 34 in einem der Grenzbereiche 20, 22 arbeitet, welche vermieden werden sollten.

Figur 2a zeigt schematisch eine Motorsteuerungsanordnung 30 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Figuren 2b bis 2f illustrieren schematisch eine Funktionsweise der Motorsteuerungsanordnung 30 aus Figur 2a. Die Diagramme in den Figuren 2b bis 2f zeigen dabei die Stromaufnahme I in Abhängigkeit des Ansteuerwinkels A und sind in beliebigen Einheiten dargestellt.

15

Die Motorsteuerungsanordnung 30 weist eine Strommesseinrichtung 32 zum Ermitteln eines Stromwertes bzw. von Stromwerten I eines elektrischen Stromes I auf. Weiter weist die Motorsteuerungsanordnung 30 eine Speichervorrichtung 36 zum Hinterlegen von durch die Strommesseinrichtung 32 ermittelten Stromwerten I und eine Regelvorrichtung 38 zum Anpassen und/oder Variieren wenigstens eines Wertes wenigstens eines Betriebsparameters der elektrischen Maschine 34 auf. Der Betriebsparameter ist im Folgenden beispielhaft, wie im Detail anhand der Figuren 2b bis 2f illustriert, ein Ansteuerwinkel A. Der Betriebsparameter kann alternativ oder zusätzlich auch z.B. eine Ansteuerfrequenz, ein Feldwinkel, eine Blockbreite und/oder eine Schaltzeit sein.

30 Die elektrische Maschine 34, welche beispielsweise ein Motor und/oder eine Pumpe sein kann, wird durch die Motorsteuerungsanordnung 30 mit einem Ansteuerwinkel X in Betrieb gesetzt, d.h. zum Laufen gebracht, oder sie läuft bereits. Der Ansteuerwinkel X kann beispielsweise anhand einer Kennlinie, wie
35 in Figur 1b gezeigt, ermittelt sein.

Die Regelvorrichtung 38 variiert nun einen Wert des Ansteuerwinkels A in einem vorbestimmten Intervall ΔA_1 , beispielsweise in einem Wertebereich X-a bis X+a. Der Wert des Ansteuerwinkels A kann dabei stochastisch, linear, exponentiell, logarithmisch und/oder gemäß einer Polynomfunktion innerhalb des Intervalls ΔA_1 variiert werden. Bei Variation des Wertes des Ansteuerwinkels A ermittelt die Strommesseinrichtung 32 Stromwerte I, welche durch die Motorsteuerungsanordnung 30 und/oder die Strommesseinrichtung 32 in der Speichervorrichtung 36 hinterlegt werden.

10

Die bei Variation des Ansteuerwinkels A innerhalb des Intervalls ΔA_1 von X-a bis X+a ermittelten Stromwerte I sind schematisch in Figur 2b in Abhängigkeit der Werte des Ansteuerwinkels A dargestellt. Basierend auf diesen Stromwerten I wird nun ein minimaler Stromwert I1 durch die Motorsteuerungsanordnung 30 ermittelt.

15

Dazu wird anhand der Messwerte der Figur 2b ein Trend 40 der Stromwerte I in Abhängigkeit der Werte A des Ansteuerwinkels bestimmt, wie exemplarisch in Figur 2c gezeigt. Der Trend 40 kann eine beliebige Näherungsfunktion der Messwerte, d.h. der Wertpaare (I, A), aus Figur 2b sein. Mit anderen Worten werden die Messwerte der Figur 2b durch die Motorsteuerungsanordnung 30 ausgewertet, woraus sich der Trend 40 ergeben kann. Der in Figur 2c gezeigte Trend 40 ist eine monoton steigende Funktion des Stromes I als Funktion des Ansteuerwinkels A, was ein Hinweis darauf sein kann, dass der Wert X-a des Ansteuerwinkels A bei dem Stromwert I1 nicht dem Wert der minimalen Stromaufnahme entspricht und somit noch nicht der ideale Arbeitspunkt für die elektrische Maschine 32 gefunden ist. Der Wert niedrigster Stromaufnahme kann daher bei kleineren Werten A des Ansteuerwinkels als X-a liegen.

20

25

30

Somit wird der Ansteuerwinkel etwa in einer weiteren Iteration bzw. einer weiteren Iterationsschleife in einem weiteren Intervall ΔA_2 von X-b bis X+b um den Wert X-a herum variiert. Für diese Variation gilt das voranstehend bzgl. der Variation im

35

Intervall ΔA_1 Gesagte, d.h. insbesondere kann die Variation stochastisch, linear, exponentiell, logarithmisch und/oder gemäß einer Polynomfunktion erfolgen. Dieser Vorgang kann auch mehrfach, schrittweise, iterativ oder zufällig erfolgen, bis
5 sich durch die ermittelte Verteilung der Stromwerte I und eine mathematische Auswertung der optimale Arbeitsbereich eingestellt hat bzw. bis ein minimaler Stromwert I_0 bei einem Optimalwert Z des Ansteuerwinkels A gefunden ist, wie in Figur 2e gezeigt. Dieser Punkt Z wird nun als optimaler Arbeitspunkt 14
10 beibehalten, welcher auch etwa für einen späteren Betrieb der elektrischen Maschine 34 in der Speichervorrichtung 36 hinterlegt werden kann, beispielsweise anhand des Wertepaares (I_0, Z) . So kann der Arbeitspunkt 14 bei ähnlichen Betriebsbedingungen direkt angefahren werden. Auch eine Anpassung einer
15 Kennlinie basierend auf dem optimalen Arbeitspunkt 14 ist möglich.

Allgemein kann der Optimalwert Z basierend auf dem Trend 40 und/oder basierend auf den in Figur 2b bzw. Figur 2d gezeigten
20 Messwerten des Stromes bzw. Stromwerten I ermittelt werden.

Basierend auf dem voranstehend beschriebenen Beispiel kann es sein, dass der optimale Arbeitspunkt 14 jedoch in einem nicht sicheren Bereich 22 liegt, wie bei Figur 1a erläutert. Dieser
25 Bereich 22 ist definiert dadurch, dass die elektrische Maschine 32 zu wenig Strom bekommt, um sicher betrieben zu werden. Daher würde die voranstehend beschriebene Optimierung so lange laufen bis die elektrische Maschine 34 stehen bleibt. Um dies zu verhindern ist es ratsam, dass weitere Parameter in Betracht
30 gezogen werden, wie beispielsweise eine Varianz der Stromwerte I .

Diese Begrenzung ist schematisch in Figur 2f illustriert. Die Varianz des Stromes I ist im normalen Arbeitsbereich eher gering,
35 jedoch können bei großer Belastung bzw. zu hohen und/oder zu geringen Ansteuerwinkelwerten die Stromschwankungen verhältnismäßig groß sein. Auch kann es vorkommen, dass ein anderer

beobachteter Betriebsparameter hier stärker variiert als üblich, z.B. die Drehzahl kann durch die starke Belastung und dem daraus resultierendem „schweren Lauf“ unruhig sein und daher ausgeprägte Schwankungen aufweisen. Hier gilt es zu verhindern, dass die Optimierung in diesen Bereich 22 läuft. Allgemein formuliert kann daher eine Begrenzung der Optimierung erforderlich sein. Beispielsweise kann ein Schwellenwert für die Varianz in der Speichervorrichtung 32 hinterlegt sein und bei Erreichen dieses Schwellenwertes kann die Optimierung gestoppt werden. Die Varianz kann z.B. mittels einer Standardabweichung bestimmt werden.

An dieser Stelle sei bemerkt, dass im voranstehend beschriebenen Beispiel die Drehzahl vorgegeben sein kann und der Strom entsprechend auf ein Optimum angepasst wird. Es ist jedoch auch möglich eine andere Antriebsformen zu wählen, z.B. einen stromgeregelten Betrieb, bei dem ein Strom zugelassen wird und sich die maximal mögliche Drehzahl einstellt (sogenannte DC Nebenschlussmaschine). Von der Erfindung sind daher auch Ausführungsformen erfasst, bei welchen der Betriebsparameter Strom I vorgegeben sein kann und Werte der Drehzahl aufgezeichnet werden, bis etwa bei einer maximalen Drehzahl der Betriebsparameter optimal gewählt ist. Entsprechend kann der Optimalwert Z ein Minimum oder ein Maximum sein.

Figuren 3a bis 3f zeigen jeweils einen Strom I als Funktion eines Ansteuerwinkels A und illustrieren schematisch eine Funktionsweise einer Motorsteuerungsanordnung 30 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Gezeigt ist jeweils ein Trend 40, welcher wie voranstehend beschrieben ermittelt sein kann.

Anhand derartiger Trends 40 kann eine Entscheidung durch die erfindungsgemäße Motorsteuerungsanordnung 30 getroffen werden, ob eine weitere Iteration zur Ermittlung des optimalen Arbeitspunktes 14 und/oder des Optimalwertes Z erforderlich ist oder nicht.

So indiziert der monoton steigende Trend 40 der Figur 3a, dass der optimale Arbeitspunkt 14 bei kleineren Werten A liegt, wohingegen er bei dem monoton fallenden Trend 40 der Figur 3e bei höheren Werten zu finden sein kann. Trend 40 der Figur 3d weist
5 ein Minimum auf, so dass der Arbeitspunkt 14 bereits gefunden ist und die Iteration gestoppt werden kann. Dagegen weist der Trend 40 bei Figur 3c ein Maximum auf, so dass entweder eine weitere Iteration bei kleineren und/oder größeren Werten des Ansteuerwinkels A vorteilhaft sein kann oder bereits ein optimaler, dem
10 Maximum entsprechender Arbeitspunkt 14 gefunden sein kann. Bei dem konstanten Trend 40 der Figur 3b sowie dem Zick-Zack-Verlauf des Trends 40 bei Figur 3f kann dagegen angenommen werden, dass etwa eine Störung vorliegt und die Optimierung sollte gestoppt werden.

15 Ein fallender bzw. steigender Trend 40 kann ferner die Richtung der Optimierung bestimmen. Ein gleichbleibender und/oder uneinheitlicher Trend 40 kann je nach technischer Anwendung verschieden behandelt werden. Gegebenenfalls kann hier eine
20 Varianz zu gering gewählt sein. Insgesamt kann so entschieden werden, ob eine weitere Iteration erforderlich ist, während immerfort die Schutz- bzw. Grenzwertbetrachtung, wie bei Figur 2f illustriert, aktiv sein kann. Derart kann verhindert werden, dass unsichere Bereiche 20, 22 angefahren werden. Ein Vorteil
25 kann hier sein, dass diese Methode automatisch einen optimalen Arbeitspunkt 14 erreichen kann und der rechnerische/reglungstechnische Aufwand verhältnismäßig gering sein kann. Ferner brauchen keine großen, speicherintensiven Kennfelder vorgehalten werden. Alternativ oder zusätzlich zu den
30 Trends 40 kann auch eine andere mathematische Betrachtung und/oder Auswertung, z.B. eine Ableitung beliebigen Grades, genutzt werden.

Figur 4 zeigt ein Fahrzeug 50 mit einer Motorsteuerungsanordnung
35 30 und einer elektrischen Maschine 34 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Die Motorsteuerungsanordnung 30 der Figur 4 weist

dabei dieselben Elemente und Merkmale wie die voranstehend beschriebene Motorsteuerungsanordnung 30 auf.

Figur 5 zeigt ein Flussdiagramm zur Illustration von Schritten eines Verfahrens zum Ermitteln eines Optimalwertes Z eines Betriebsparameters gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

In einem ersten Schritt S1 wird ein Wert des Betriebsparameters der elektrischen Maschine 34 in einem vorbestimmten Intervall $\Delta A1$ variiert und in einem Schritt S2 werden Stromwerten I eines der elektrischen Maschine 34 im Betrieb zugeführten Stromes ermittelt, welche in einem Schritt S3 in einer Speichervorrichtung 32 hinterlegt werden. In einem weiteren Schritt S4 wird ein Optimalwert Z des Betriebsparameters basierend auf den hinterlegten Stromwerten I bestimmt. Schritt S4 kann einen Schritt des Ermitteln eines minimalen Stromwertes $I0$ aus den hinterlegten Stromwerten I und/oder des Ermitteln eines Trends 40 der Stromwerte I in Abhängigkeit der Werte A des Betriebsparameters umfassen.

20

Patentansprüche

1. Motorsteuerungsanordnung (30) für eine elektrische Maschine (34), aufweisend: eine Strommesseinrichtung (32) zum
5 Ermitteln eines Stromwertes (I) eines der elektrischen Maschine im Betrieb zugeführten elektrischen Stromes;
eine Speichervorrichtung (36) zum Hinterlegen von durch die Strommesseinrichtung (32) ermittelten Stromwerten (I);
eine Regelvorrichtung (38) zum Anpassen wenigstens eines
10 Wertes (A) wenigstens eines Betriebsparameters der elektrischen Maschine (34), wobei die Regelvorrichtung (38) dazu eingerichtet ist, einen Wert (A) des Betriebsparameters in einem vorbestimmten Intervall (ΔA_1) zu variieren;
wobei die Motorsteuerungsanordnung (30) dazu eingerichtet
15 ist, bei Variation des Wertes (A) des Betriebsparameters durch die Strommesseinrichtung (32) ermittelte Stromwerte (I) in der Speichervorrichtung (36) zu hinterlegen; und
wobei die Motorsteuerungsanordnung (30) dazu eingerichtet ist, basierend auf den in der Speichervorrichtung (36)
20 hinterlegten Stromwerten (I) einen minimalen Stromwert (I_0) zu ermitteln.
2. Motorsteuerungsanordnung (30) nach Anspruch 1,
wobei die Motorsteuerungsanordnung (30) ferner dazu
25 eingerichtet ist, einen dem minimalen Stromwert (I_0) zugeordneten Optimalwert (Z) des Betriebsparameters zu bestimmen; und/oder wobei die Motorsteuerungsanordnung (30) ferner dazu eingerichtet ist, einen aktuellen Wert (A) des Betriebsparameters der elektrischen Maschine (34)
30 entsprechend dem Optimalwert (Z) anzupassen.
3. Motorsteuerungsanordnung (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei der Betriebsparameter wenigstens ein Element ausgewählt aus der Liste umfassend einen
35 Ansteuerwinkel, eine Ansteuerfrequenz, eine Schaltzeit, ein Feldwinkel und eine Blockbreite ist.

4. Motorsteuerungsanordnung (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Motorsteuerungsanordnung (30) weiter dazu eingerichtet ist, basierend auf den in der Speichervorrichtung (36) hinterlegten Stromwerten (I) eine
5 mathematische Auswertung der Stromwerte (I) in Abhängigkeit der Werte (A) des Betriebsparameters vorzunehmen.
5. Motorsteuerungsanordnung (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Motorsteuerungsanordnung (30)
10 weiter dazu eingerichtet ist, basierend auf den in der Speichervorrichtung (36) hinterlegten Stromwerten (I) einen Trend (40) der Stromwerte (I) in Abhängigkeit der Werte (A) des Betriebsparameters zu ermitteln und basierend auf dem ermittelten Trend (40) einen Optimalwert (Z) des
15 Betriebsparameters zu bestimmen.
6. Motorsteuerungsanordnung (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Regelvorrichtung (38) weiter dazu eingerichtet ist, den Wert (A) des Betriebsparameters
20 der elektrischen Maschine (32) in einem weiteren Intervall (ΔA_2) zu variieren.
7. Motorsteuerungsanordnung (30) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Regelvorrichtung (38) weiter
25 dazu eingerichtet ist, den Wert (A) des Betriebsparameters stochastisch, linear, exponentiell, logarithmisch und/oder gemäß einer Polynomfunktion innerhalb des Intervalls (ΔA_1) zu variieren.
- 30 8. Fahrzeug (50), aufweisend:
eine elektrische Maschine (34); und
eine Motorsteuerungsanordnung (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 7.
- 35 9. Verfahren zum Ermitteln eines Optimalwertes (Z) eines Betriebsparameters für eine elektrische Maschine (34), das Verfahren umfassend die Schritte:

- Variieren eines Wertes (A) des Betriebsparameters der elektrischen Maschine in einem vorbestimmten Intervall (ΔA_1); Ermitteln von Stromwerten (I) eines der elektrischen Maschine (34) im Betrieb zugeführten Stromes;
- 5 Hinterlegen der Stromwerte (I) in einer Speichervorrichtung (36); und Ermitteln eines Optimalwertes (Z) des Betriebsparameters basierend auf den hinterlegten Stromwerten (I).
- 10 10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der Schritt des Ermittelns des Optimalwertes (Z) ferner umfasst: Ermitteln eines minimalen Stromwertes (I₀) aus den hinterlegten Stromwerten (I); und/oder Ermitteln eines Trends (40) der Stromwerte (I) in Abhängigkeit der Werte (A) des Betriebsparameters.

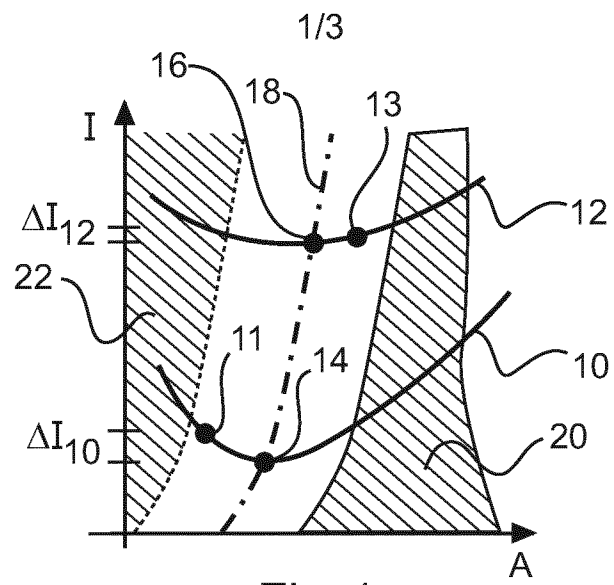


Fig. 1a

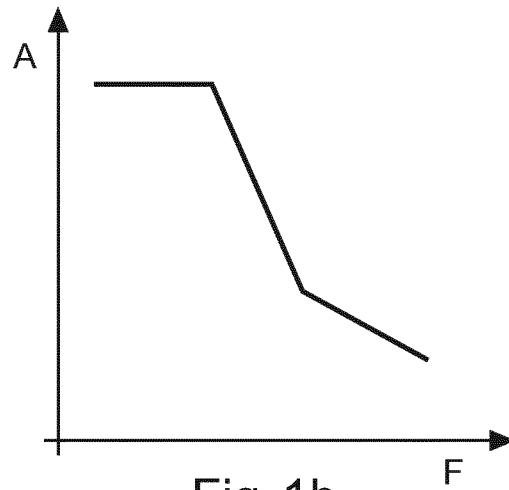


Fig. 1b

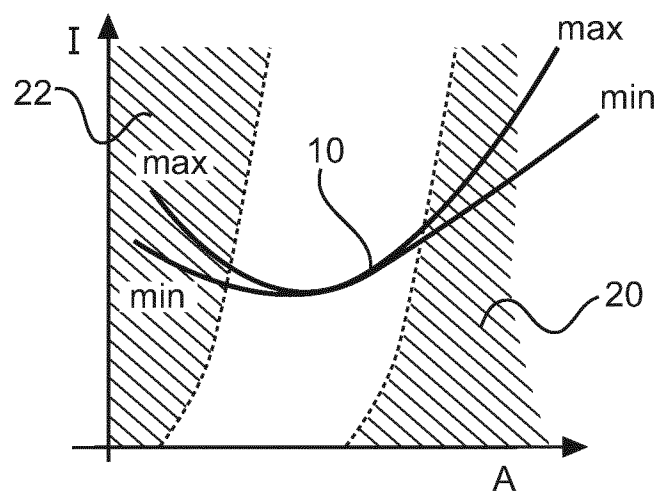


Fig. 1c

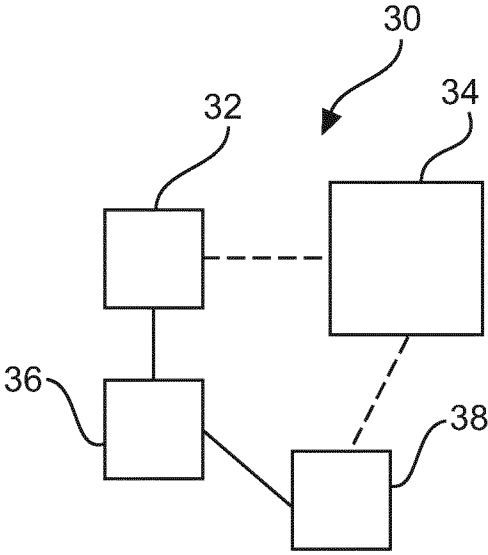


Fig. 2a

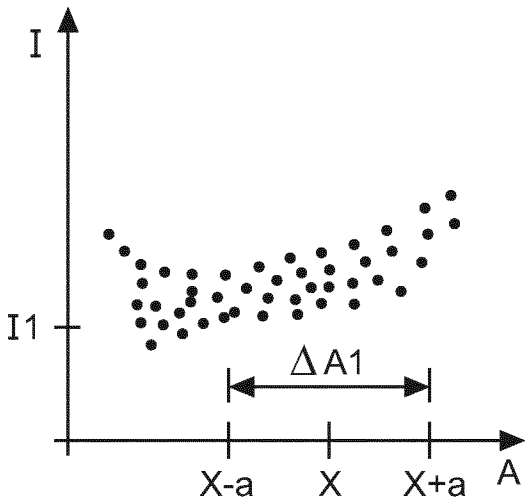


Fig. 2b

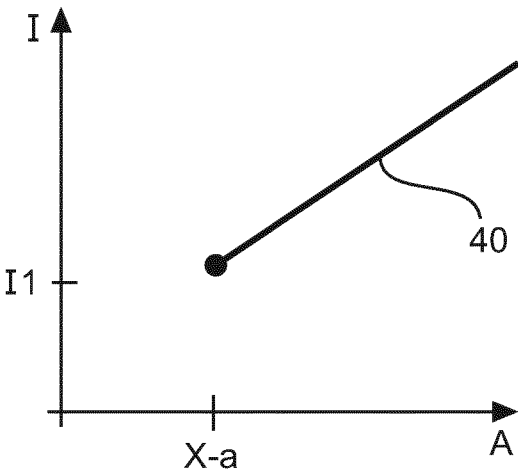


Fig. 2c

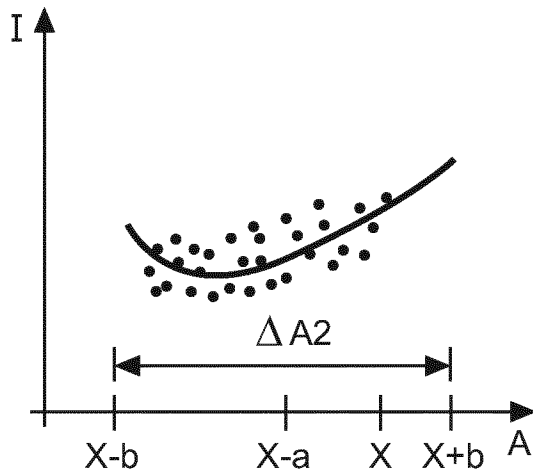


Fig. 2d

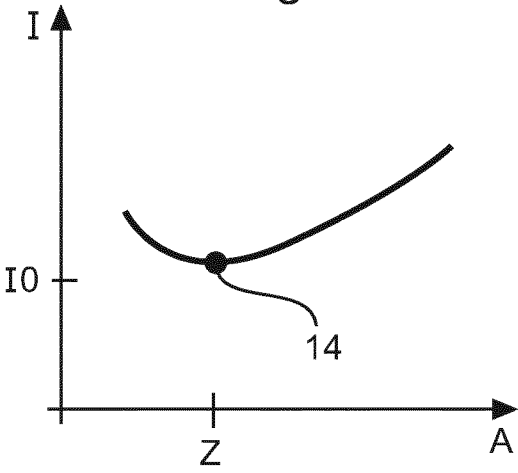


Fig. 2e

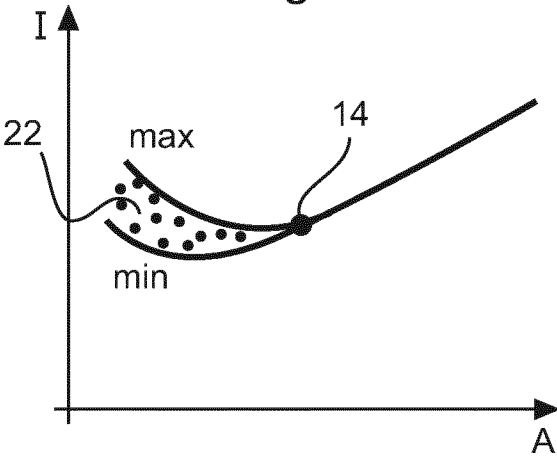


Fig. 2f

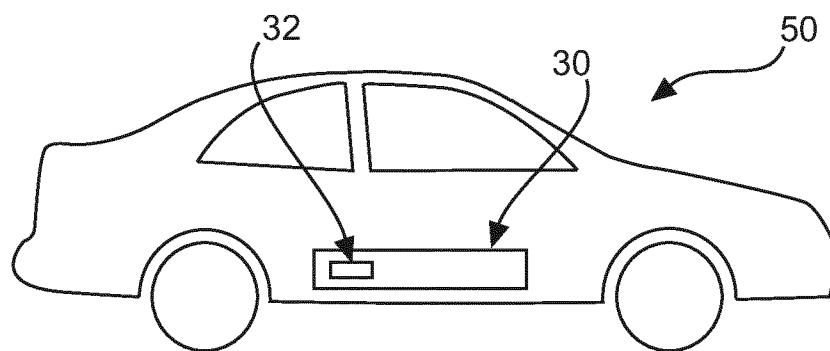
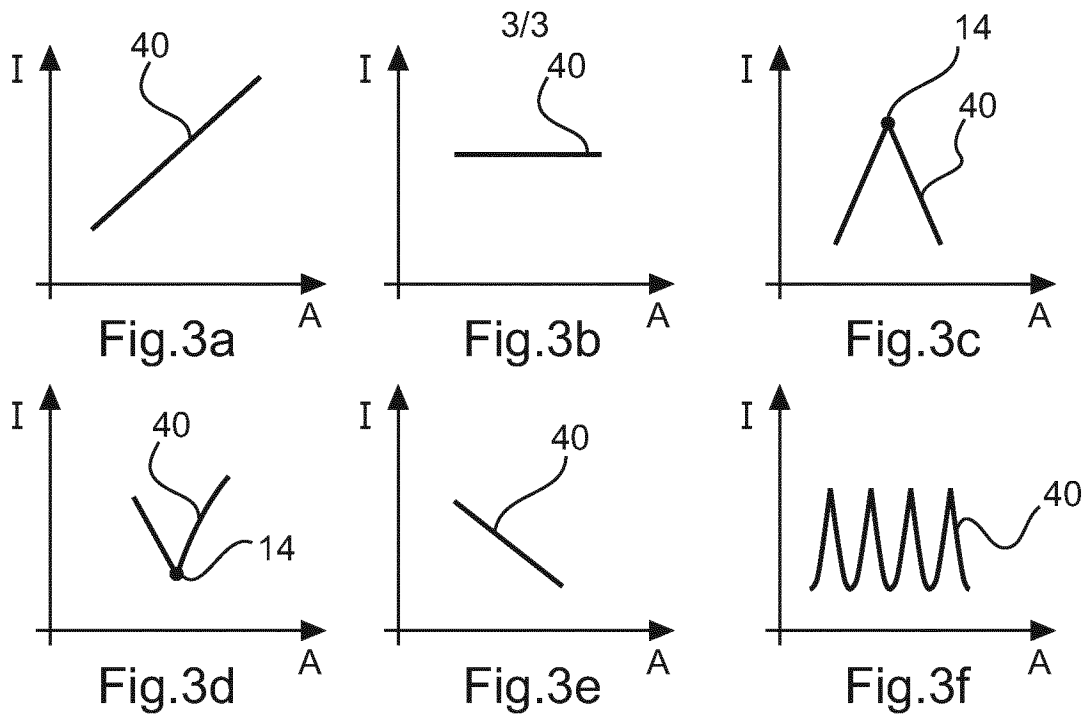


Fig. 4

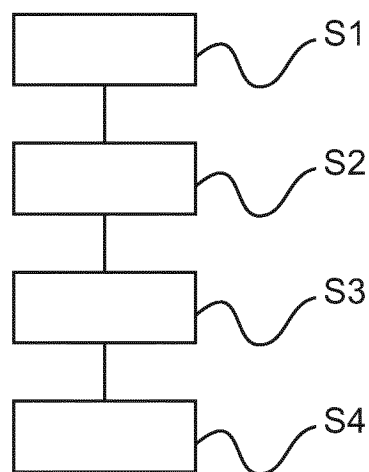


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/061925

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H02P29/40 H02P6/15
 ADD. F02M37/08 F02D41/30

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)

H02P F02M F02D

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2013/170951 A1 (SATO DAISUKE [JP]) 4 July 2013 (2013-07-04) the whole document	1-10
X	EP 1 111 766 A1 (HITACHI LTD [JP]) 27 June 2001 (2001-06-27) paragraph [0053]; figure 1 paragraph [0108] - paragraph [0143]; figures 13-16	1-10
X	DE 196 28 585 A1 (DANFOSS AS [DK]) 22 January 1998 (1998-01-22) the whole document	1-10
A	WO 2016/066473 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 6 May 2016 (2016-05-06) page 10, line 9 - page 13, line 9; figures 2, 3	1-10



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

21 July 2017

Date of mailing of the international search report

01/08/2017

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

Wimböck, Thomas

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/061925

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2013170951 A1	04-07-2013	CN 103181072 A	26-06-2013
		EP 2629415 A1	21-08-2013
		JP 5273322 B2	28-08-2013
		JP WO2012132231 A1	24-07-2014
		US 2013170951 A1	04-07-2013
		WO 2012132231 A1	04-10-2012

EP 1111766 A1	27-06-2001	CN 1320297 A	31-10-2001
		EP 1111766 A1	27-06-2001
		JP 3341826 B2	05-11-2002
		JP 2000078888 A	14-03-2000
		US 6626002 B1	30-09-2003
		WO 0013302 A1	09-03-2000

DE 19628585 A1	22-01-1998	AT 231664 T	15-02-2003
		AU 3434197 A	09-02-1998
		BR 9710313 A	17-08-1999
		DE 19628585 A1	22-01-1998
		EP 0913027 A1	06-05-1999
		US 6028406 A	22-02-2000
		WO 9802959 A1	22-01-1998

WO 2016066473 A1	06-05-2016	DE 102014221866 A1	28-04-2016
		WO 2016066473 A1	06-05-2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H02P29/40 H02P6/15
ADD. F02M37/08 F02D41/30

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H02P F02M F02D

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2013/170951 A1 (SATO DAISUKE [JP]) 4. Juli 2013 (2013-07-04) das ganze Dokument	1-10
X	EP 1 111 766 A1 (HITACHI LTD [JP]) 27. Juni 2001 (2001-06-27) Absatz [0053]; Abbildung 1 Absatz [0108] - Absatz [0143]; Abbildungen 13-16	1-10
X	DE 196 28 585 A1 (DANFOSS AS [DK]) 22. Januar 1998 (1998-01-22) das ganze Dokument	1-10
A	WO 2016/066473 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 6. Mai 2016 (2016-05-06) Seite 10, Zeile 9 - Seite 13, Zeile 9; Abbildungen 2, 3	1-10



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

21. Juli 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

01/08/2017

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

Wimböck, Thomas

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/061925

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2013170951	A1	04-07-2013	CN	103181072 A	26-06-2013
			EP	2629415 A1	21-08-2013
			JP	5273322 B2	28-08-2013
			JP	WO2012132231 A1	24-07-2014
			US	2013170951 A1	04-07-2013
			WO	2012132231 A1	04-10-2012

EP 1111766	A1	27-06-2001	CN	1320297 A	31-10-2001
			EP	1111766 A1	27-06-2001
			JP	3341826 B2	05-11-2002
			JP	2000078888 A	14-03-2000
			US	6626002 B1	30-09-2003
			WO	0013302 A1	09-03-2000

DE 19628585	A1	22-01-1998	AT	231664 T	15-02-2003
			AU	3434197 A	09-02-1998
			BR	9710313 A	17-08-1999
			DE	19628585 A1	22-01-1998
			EP	0913027 A1	06-05-1999
			US	6028406 A	22-02-2000
			WO	9802959 A1	22-01-1998

WO 2016066473	A1	06-05-2016	DE	102014221866 A1	28-04-2016
			WO	2016066473 A1	06-05-2016
