

(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
04. Juni 2020 (04.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/108693 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02P 29/60 (2016.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2019/100991

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. November 2019 (20.11.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 130 495.1
30. November 2018 (30.11.2018) DE

(71) Anmelder: **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG** [DE/DE]; Industriestraße 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).

(72) Erfinder: **REITH, Jochen**; Carl-Netter-Str. 12, 77815 Bühl (DE). **HUCK, Tom**; Breithurster Straße 6, 77833 Ottersweier (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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,

(54) Title: METHOD FOR CONTINUOUS CONDITION MONITORING OF AN ELECTRIC MOTOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR LAUFENDEN ZUSTANDSÜBERWACHUNG EINES ELEKTROMOTORS

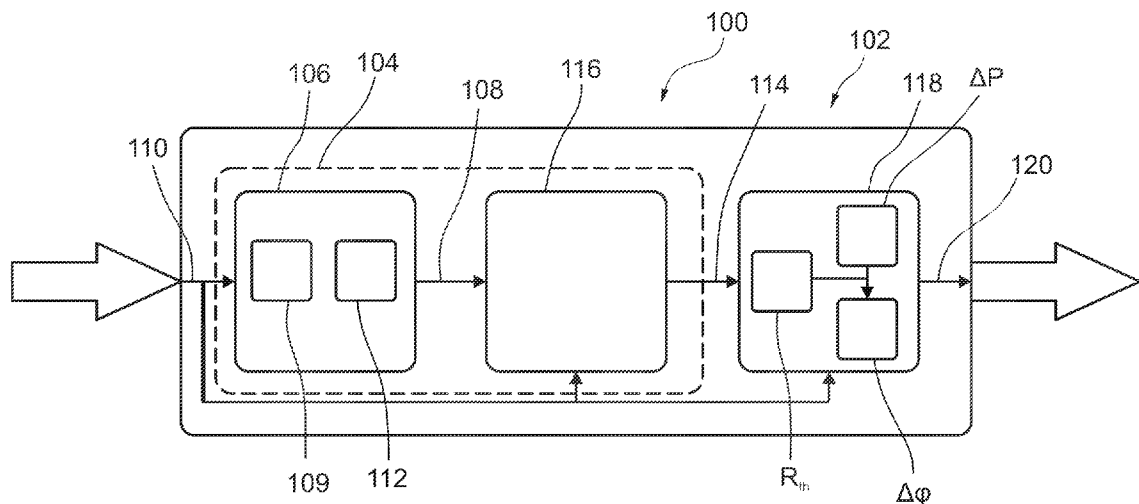


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method (100) for continuous condition monitoring of an electric motor (122) comprising a rotor and a stator and at least two motor phases (m(1), m(2)) for inducing a rotary motion of the rotor relative to the stator, wherein, in one operating mode of the electric motor, a first energy loss (P1) is associated with the first motor phase (m(1)) and a second energy loss (P2) is associated with the second motor phase (m(2)), and the temperature (102) during operation of the electric motor is determined by firstly calculating (104) a first temperature in order to estimate a temperature of the first motor phase (m(1)), the first temperature calculation (104) incorporating an energy loss estimation (106), in which at least one first energy loss value (108) of the first motor phase (m(1)) is calculated, and a temperature estimation (116), in which a temperature of the first motor phase (m(1)) dependent on the first energy loss value (108) is calculated as a first temperature value (114), and then by carrying out a second temperature calculation (118) in order to



WO 2020/108693 A1



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).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

estimate a temperature of the second motor phase (m(2)), in which calculation a temperature of the second motor phase (m(2)) is calculated as a second temperature value (120) in accordance with the first temperature value (114) and an energy loss difference (ΔP_2) between the first and the second energy loss (P_1 , P_2).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren (100) zur laufenden Zustandsüberwachung eines Elektromotors (122), aufweisend einen Rotor und einen Stator und wenigstens zwei Motorphasen (m(1), m(2)) zur Bewirkung einer Drehbewegung des Rotors gegenüber dem Stator, wobei in einem Betriebszustand des Elektromotors der ersten Motorphase (m(1)) ein erster Energieverlust (P_1) und der zweiten Motorphase (m(2)) ein zweiter Energieverlust (P_2) zugeordnet ist, wobei eine Temperaturermittlung (102) im Betrieb des Elektromotors erfolgt, indem zunächst eine erste Temperaturberechnung (104) zur Abschätzung einer Temperatur der ersten Motorphase (m(1)) durchgeführt wird, wobei die erste Temperaturberechnung (104) eine Energieverlustschätzung (106), bei der wenigstens ein erster Energieverlustwert (108) der ersten Motorphase (m(1)) und eine Temperaturschätzung (116), bei der eine von dem ersten Energieverlustwert (108) abhängige Temperatur der ersten Motorphase (m(1)) als erster Temperaturwert (114) berechnet wird, einbezieht und anschließend eine zweite Temperaturberechnung (118) zur Abschätzung einer Temperatur der zweiten Motorphase (m(2)) durchgeführt wird, bei der abhängig von dem ersten Temperaturwert (114) und einer Energieverlustdifferenz (ΔP_2) zwischen dem ersten und zweiten Energieverlust (P_1 , P_2) eine Temperatur der zweiten Motorphase (m(2)) als zweiter Temperaturwert (120) berechnet wird.

Verfahren zur laufenden Zustandsüberwachung eines Elektromotors

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur laufenden Zustandsüberwachung eines Elektromotors nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

- 5 In DE 10 2010 041 944 A1 ist ein Elektromotor mit einer sensorlosen Temperaturmessung beschrieben. Ein Schätzmodul empfängt einen Temperaturwert sowie die drei Phasenstromwerte des dreiphasigen Elektromotors und verarbeitet diese Informationen zu einer geschätzten Motortemperatur.

- 10 In WO 2015/110107 A2 wird ein Verfahren zur Bestimmung einer Motortemperatur eines Elektromotors beschrieben, bei dem die Motortemperatur über ein Motortemperaturmodell in Abhängigkeit einer Temperatur der den Elektromotor ansteuernden Leistungselektronik geschätzt wird.

- 15 In DE 10 2010 038 560 A1 wird ein Temperaturschätzungsverfahren beschrieben, um die Statorwickeltemperatur über ein thermisches Impedanzmodell, die Motordrehzahl und eine gemessene Motorkühltemperatur zu schätzen. Dabei wird der Gesamtleistungsverlust für jede Phase des Motors bestimmt. Die Statorwickeltemperaturen für jede Motorphase werden basierend auf dem Gesamtleistungsverlust in dieser Phase und einer kombinierten thermischen Impedanz für diese Phase geschätzt. Die kombinierte thermische Impedanz umfasst eine erste thermische Impedanz zwischen der Statorwicklung und dem Statorkern
20 und eine zweite thermische Impedanz zwischen dem Statorkern und dem Motorkühlmittel.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Temperaturermittlung in einem Elektromotor zu verbessern. Die Temperatur in einem Elektromotor mit asymmetrischer Phasenleistung soll einfach und zuverlässig abgeschätzt werden können.

- 25 Wenigstens eine dieser Aufgaben wird durch ein Verfahren zur laufenden Zustandsüberwachung eines Elektromotors mit den Merkmalen nach Anspruch 1 gelöst. Entsprechend wird ein Verfahren zur laufenden Zustandsüberwachung eines Elektromotors vorgeschlagen, aufweisend einen Rotor und einen Stator und wenigstens zwei Motorphasen zur Bewirkung einer Drehbewegung des Rotors gegenüber dem Stator, wobei in einem Betriebszustand des Elektromotors der ersten Motorphase ein erster Energieverlust und der
30 zweiten Motorphase ein zweiter Energieverlust zugeordnet ist, wobei eine Temperaturermittlung im Betrieb des Elektromotors erfolgt, indem zunächst eine erste Temperaturberechnung zur Abschätzung einer Temperatur der ersten Motorphase durchgeführt wird, wobei die erste Temperaturberechnung eine Energieverlustschätzung, bei

der wenigstens ein erster Energieverlustwert der ersten Motorphase und eine Temperaturschätzung, bei der eine von dem ersten Energieverlustwert abhängige Temperatur der ersten Motorphase als erster Temperaturwert berechnet wird, einbezieht und anschließend eine zweite Temperaturberechnung zur Abschätzung einer Temperatur der zweiten Motorphase durchgeführt wird, bei der abhängig von dem ersten Temperaturwert und einer Energieverlustdifferenz zwischen dem ersten und zweiten Energieverlust eine Temperatur der zweiten Motorphase als zweiter Temperaturwert berechnet wird.

Dadurch kann der für die Zustandsüberwachung des Elektromotors erforderliche Berechnungsaufwand verringert werden. Eine Überbeanspruchung, beispielsweise eine Erhitzung der Bauteile, beispielsweise der Isolation oder dem Verguss, des Elektromotors können verhindert werden. Die Zuverlässigkeit des Elektromotors und der den Elektromotor aufnehmende Baueinheit, beispielsweise ein Hybridmodul, kann verbessert werden.

Das Verfahren ermöglicht es, ein Versagen der Bauteile des Elektromotors, insbesondere bei vorhandenen asymmetrischen Phasenleistungen, zu erkennen und die Leistungsgrenzen des Elektromotors im Kurzzeitbetrieb und im Dauerbetrieb zu erhöhen. Durch das Verfahren wird eine nichtinvasive Temperaturermittlung durch Einbeziehung einer Abschätzung der elektrischen Leistungsverluste des Elektromotors im Betrieb des Elektromotors möglich, die mehrmals erfolgen, insbesondere dauernd erfolgen kann. Der Elektromotor kann bei gleicher Leistung geringere Abmessungen aufweisen und einen kleineren Bauraum einnehmen.

Durch das vorgeschlagene Verfahren kann die Anwendung einer Mehrzahl von Temperatursensoren entbehrlich sein. Auch ist die Anwendung von Temperatursensoren an den besonders temperaturkritischen Bereichen bauraumbedingt nicht immer möglich.

Eine asymmetrische Phasenleistung kann durch eine asymmetrische Bestromung des Elektromotors im Stillstand oder bei geringen Drehzahlen des Rotors auftreten oder aber auch aufgrund unterschiedlicher elektrischer Widerstände der Motorphasen des Elektromotors. Einer asymmetrischen Phasenleistung liegen asymmetrische Phasenverluste zugrunde, die wiederum asymmetrische Phasentemperaturen auslösen. Derartige asymmetrische Verhältnisse zwischen den Motorphasen können zur Fehleinschätzung der Temperatur in einer Motorphase führen, wenn nur die Temperatur einer Motorphase überwacht wird und auf die anderen Motorphasen einfach übertragen wird. Aus diesen Gründen ist eine sorgfältige und genaue Abschätzung der jeweiligen Temperaturen der weiteren Motorphasen anzustreben.

Der Elektromotor kann ein bürstenloser Gleichstrommotor sein. Der Elektromotor kann dreiphasig ausgeführt sein. Der Elektromotor kann in einem Antriebsstrang eines Fahrzeugs

eingebaut sein. Der Antriebsstrang kann ein Hybridantriebsstrang sein. Das Fahrzeug kann ein Elektrofahrzeug sein. Der Elektromotor kann ein Antriebselement des Fahrzeugs sein.

Die erste und zweite Motorphase können dem Stator zugeordnet sein und die Temperaturermittlung kann eine Temperatur des Stators abschätzen.

- 5 In einer speziellen Ausführung der Erfindung ist eine dritte Motorphase vorhanden der in dem Betriebszustand des Elektromotors ein dritter Energieverlust zugeordnet ist, wobei bei der zweiten Temperaturberechnung eine Temperatur an der dritten Motorphase als dritter Temperaturwert abhängig von dem ersten Temperaturwert und einer Energieverlustdifferenz zwischen der ersten und dritten Motorphase berechnet wird.
- 10 In einer weiteren speziellen Ausführung der Erfindung berechnet die Energieverlustschätzung einen Leitungsverlust der ersten Motorphase abhängig von einer Messung einer ersten Phasenspannung, eines ersten Phasenstroms und/oder einer Phasenfrequenz jeweils der ersten Motorphase. Die erste Motorphase kann eine elektrische Leitung umfassen, die einen temperaturabhängigen elektrischen Leitungswiderstand
- 15 aufweist. Die elektrische Leitung kann ein Kupfermaterial aufweisen, dessen spezifischer elektrischer Widerstand temperaturabhängig ist. Der Leitungswiderstand kann weiterhin frequenzabhängig sein, insbesondere bedingt durch Skin-Effekte und Proximity-Effekte. Der Leitungsverlust kann proportional zu dem Produkt aus dem Leitungswiderstand und dem Quadrat des Phasenstroms sein.
- 20 Der Elektromotor kann Permanentmagnete aufweisen und der Leitungsverlust kann weiterhin von einer Magnetfeldstärke der Permanentmagnete abhängen. Die Magnetfeldstärke kann temperaturabhängig sein.
- In einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung berechnet die Energieverlustschätzung wenigstens einen Eisenverlust des Elektromotors wenigstens abhängig von einer Messung
- 25 einer Drehfrequenz des Rotors. Die Eisenverluste des Elektromotors können Wirbelstromverluste und/oder Hystereseverluste sein.
- In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung ist der erste Energieverlustwert abhängig von dem Leitungsverlust und/oder dem Eisenverlust.
- In einer speziellen Ausführung der Erfindung wird die Temperatur in dem Elektromotor,
- 30 insbesondere an der ersten Motorphase oder in einem Bereich der ersten Motorphase, durch eine Messung als Temperaturmesswert gemessen und die erste Temperaturberechnung berücksichtigt den Temperaturmesswert bei der Berechnung des ersten Temperaturwerts.

In einer weiteren speziellen Ausführung der Erfindung werden die zur Durchführung der ersten Temperaturberechnung getroffenen Berechnungsgrundlagen abhängig von dem ersten Temperaturmesswert angepasst.

In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung wird bei der zweiten Temperaturberechnung
 5 der zweite Temperaturwert abhängig von dem ersten Temperaturwert und einer Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_2$ berechnet.

In einer speziellen Ausführung der Erfindung werden bei der Berechnung des zweiten Temperaturwerts die vorhandenen thermischen Kapazitäten berücksichtigt. Dadurch kann eine genauere Berechnung der transienten Temperaturen ermöglicht werden.

10 In einer speziellen Ausführung der Erfindung ist die Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_2$ proportional zu der Energieverlustdifferenz ΔP_2 . Der Proportionalitätsfaktor kann ein vorab ermittelter thermischer Widerstand $R_{th,2}$ sein. Der thermische Widerstand $R_{th,2}$ kann zwischen der ersten und zweiten Motorphase vorliegen.

Die Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_i$ einer jeder weiteren Motorphase m(i), insbesondere die
 15 Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_2$ der zweiten Motorphase m(2), kann ausgehend von der ersten Motorphase m(1) als Referenzphase und abhängig von der Energieverlustdifferenz ΔP_i zwischen der jeweiligen Motorphase m(i) und der ersten Motorphase m(1) wie folgt berechnet werden

$$\Delta\vartheta_i = R_{th,i} \cdot \Delta P_i \quad (1)$$

20

Die Energieverlustdifferenz ist dabei

$$\Delta P_i = P_i - P_1 \quad (2)$$

und ist hauptsächlich von den Leitungsverlusten P_l wie folgt abhängig

25

$$\Delta P_l = P_{l,i} - P_{l,1} \quad (3)$$

Der thermische Widerstand $R_{th,i}$ kann vor Betrieb des Elektromotors, insbesondere vor Inbetriebnahme des Elektromotors, beispielsweise bei der Entwicklung des Elektromotors

oder nach Fertigstellung der Produktion des Elektromotors, bestimmt werden. Der thermische Widerstand $R_{th,i}$ kann über eine Berechnung und/oder Messung bestimmt werden. Der thermische Widerstand $R_{th,i}$ kann vorab abhängig von einem Gradienten aus der Temperaturdifferenz und der Energieverlustdifferenz festgelegt werden.

- 5 Die zwischen der ersten und zweiten Motorphase im Betrieb auftretenden zeitlich sich ändernden Energieverlustdifferenzen ΔP_i können bei der Berechnung der Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta_i$ berücksichtigt werden. Die Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta_i$ kann unter Einbezug dieser dynamischen Änderungen über eine Differenzengleichung berechnet werden. Auch bei zeitinvarianten Energieverlusten oder Energieverlustdifferenzen ΔP_i
- 10 ergeben sich durch die thermischen Kapazitäten dynamische Temperaturdifferenzen $\Delta \vartheta_i$, die über eine Differenzengleichung berechnet werden können.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Figurenbeschreibung und den Abbildungen.

- Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Abbildungen ausführlich
- 15 beschrieben. Es zeigen im Einzelnen:

Figur 1: Ein Verfahren zur laufenden Zustandsüberwachung eines Elektromotors in einer speziellen Ausführungsform der Erfindung.

Figur 2: Ein Blockdiagramm eines Elektromotors, bei dem ein Verfahren zur laufenden Zustandsüberwachung in einer weiteren speziellen Ausführungsform der Erfindung angewendet wird.

- Figur 1 zeigt ein Verfahren 100 zur laufenden Zustandsüberwachung eines Elektromotors in einer speziellen Ausführungsform der Erfindung. Der Elektromotor weist einen Stator, einen drehbaren Rotor und insbesondere drei Motorphasen auf, die durch eine jeweilige
- 20 Bestromung mit elektrischer Energie eine Drehbewegung des Rotors gegenüber dem Stator bewirken. In einem Betriebszustand des Elektromotors, der sich beispielsweise durch eine bestimmte Drehzahl und eine bestimmte Lastanforderung auszeichnet, ist der ersten Motorphase ein erster Energieverlust, der zweiten Motorphase ein zweiter Energieverlust und der dritten Motorphase ein dritter Energieverlust an elektrischer Energie zugeordnet.
- 25 Die Zustandsüberwachung des Elektromotors umfasst eine im Betrieb des Elektromotors erfolgende Temperaturermittlung 102. Dabei wird zunächst eine erste Temperaturberechnung 104 zur Abschätzung einer Temperatur der ersten Motorphase durchgeführt. Bei der ersten Temperaturberechnung 104 wird ein erster Energieverlustwert 108 einer der ersten Motorphase zugeordneten Energieverlusts durch eine

Energieverlustschätzung 106 ermittelt. Dabei wird ein Leitungsverlust 109 der ersten Motorphase abhängig von einer Messung 110 einer ersten Phasenspannung, eines ersten Phasenstroms und/oder einer Phasenfrequenz jeweils der ersten Motorphase berechnet.

Weiterhin wird ein Eisenverlust 112 des Elektromotors wenigstens abhängig von einer
5 Messung 110 einer Drehfrequenz berechnet. Der Eisenverlust 112 des Elektromotors kann Wirbelstromverluste und/oder Hystereseverluste umfassen.

Bei der ersten Temperaturberechnung 104 wird weiterhin eine von dem ersten Energieverlustwert 108 abhängige Temperatur der ersten Motorphase als erster Temperaturwert 114 durch eine Temperaturschätzung 116 berechnet. Die

10 Temperaturschätzung 116 kann dabei auch eine Messung 110 einer Temperatur in dem Elektromotor, insbesondere an der ersten Motorphase oder im Bereich der ersten Motorphase, berücksichtigen und davon abhängig das bei der Temperaturschätzung 116 angewandte Temperaturmodell berichtigen und anpassen.

Der erste Temperaturwert 114 wird einer nachfolgenden zweiten Temperaturberechnung 118

15 zur Abschätzung einer Temperatur der zweiten Motorphase übergeben. Bei der zweiten Temperaturberechnung 118 wird abhängig von dem ersten Temperaturwert 114 und einer Energieverlustdifferenz ΔP zwischen dem ersten und zweiten Energieverlust eine Temperatur der zweiten Motorphase als zweiter Temperaturwert 120 berechnet. Dabei wird der zweite Temperaturwert 120 abhängig von dem ersten Temperaturwert 114 und einer
20 Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta$ berechnet. Die Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta$ ist proportional zu der Energieverlustdifferenz ΔP . Der Proportionalitätsfaktor ist ein vorab ermittelter, zwischen der ersten und zweiten Motorphase vorliegender, thermischer Widerstand R_{th} .

Analog zu der Abschätzung der Temperatur der zweiten Motorphase kann bei der zweiten Temperaturberechnung 118 auch eine Temperatur der dritten Motorphase ausgehend von
25 dem ersten Temperaturwert 114 und einer Energieverlustdifferenz ΔP zwischen dem ersten und dritten Energieverlust berechnet werden. Die während des Betriebs des Elektromotors erfolgende Temperaturermittlung 102 kann damit vereinfacht und der Berechnungsaufwand verringert werden.

In Figur 2 ist ein Blockdiagramm eines Elektromotors 122, bei dem ein Verfahren zur
30 laufenden Zustandsüberwachung in einer weiteren speziellen Ausführungsform der Erfindung angewendet wird, dargestellt.

Der Elektromotor 122 weist eine erste Motorphase $m(1)$, eine zweite Motorphase $m(2)$ und eine dritte Motorphase $m(3)$ auf. Bei der ersten Temperaturberechnung wird ein Energieverlust P_1 der ersten Motorphase $m(1)$ abgeschätzt und dabei ein erster

Energieverlustwert berechnet. Der erste Energieverlust umfasst dabei einen Leitungsverlust 109 der ersten Motorphase $m(1)$ und einen der ersten Motorphase $m(1)$ zugeordneten Eisenverlust 112. Durch eine bei der ersten Temperaturberechnung durchgeführte nachfolgende Temperaturschätzung wird abhängig von dem ersten Energieverlustwert ein 5 erster Temperaturwert der ersten Motorphase $m(1)$ berechnet.

Die Temperatur der weiteren Motorphasen $m(i)$, hier der zweiten Motorphase $m(2)$ und der dritten Motorphase $m(3)$, können abhängig von diesem ersten Temperaturwert und einer Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_i$ zwischen der jeweiligen Motorphase $m(i)$ und der ersten Motorphase $m(1)$ berechnet werden. Die jeweilige Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_i$ wird abhängig 10 von einer ermittelten Energieverlustdifferenz ΔP_i zwischen einem Energieverlust P_i der jeweiligen Motorphase $m(i)$ und dem Energieverlust P_1 ersten Motorphase $m(1)$ und einem vorab festgelegten thermischen Widerstand $R_{th,i}$ zwischen der jeweiligen Motorphase $m(i)$ und der ersten Motorphase $m(1)$ berechnet.

Bezugszeichenliste

	100	Verfahren
	102	Temperaturermittlung
5	104	erste Temperaturberechnung
	106	Energieverlustschätzung
	108	erster Energieverlustwert
	109	Leitungsverlust
	110	Messung
10	112	Eisenverlust
	114	erster Temperaturwert
	116	Temperaturschätzung
	118	zweite Temperaturberechnung
	120	zweiter Temperaturwert
15	122	Elektromotor
	m(1)	erste Motorphase
	m(2)	zweite Motorphase
	m(3)	dritte Motorphase
20	$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz
	P	Energieverlust
	ΔP	Energieverlustdifferenz
	R_{th}	thermischer Widerstand

Patentansprüche

1. Verfahren (100) zur laufenden Zustandsüberwachung eines Elektromotors (122), aufweisend
einen Rotor und
einen Stator und
wenigstens zwei Motorphasen ($m(1)$, $m(2)$) zur Bewirkung einer Drehbewegung des Rotors gegenüber dem Stator, wobei in einem Betriebszustand des Elektromotors der ersten Motorphase ($m(1)$) ein erster Energieverlust (P_1) und der zweiten Motorphase ($m(2)$) ein zweiter Energieverlust (P_2) zugeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass
eine Temperaturermittlung (102) im Betrieb des Elektromotors erfolgt, indem
zunächst
eine erste Temperaturberechnung (104) zur Abschätzung einer Temperatur der ersten Motorphase ($m(1)$) durchgeführt wird, wobei die erste Temperaturberechnung (104)
eine Energieverlustschätzung (106), bei der wenigstens ein erster Energieverlustwert (108) der ersten Motorphase ($m(1)$) und
eine Temperaturschätzung (116), bei der eine von dem ersten Energieverlustwert (108) abhängige Temperatur der ersten Motorphase ($m(1)$) als erster Temperaturwert (114) berechnet wird, einbezieht und anschließend
eine zweite Temperaturberechnung (118) zur Abschätzung einer Temperatur der zweiten Motorphase ($m(2)$) durchgeführt wird, bei der abhängig von dem ersten Temperaturwert (114) und einer Energieverlustdifferenz (ΔP_2) zwischen dem ersten und zweiten Energieverlust (P_1 , P_2) eine Temperatur der zweiten Motorphase ($m(2)$) als zweiter Temperaturwert (120) berechnet wird.
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine dritte Motorphase ($m(3)$) vorhanden ist, der in dem Betriebszustand des Elektromotors ein dritter Energieverlust (P_3) zugeordnet ist, wobei bei der zweiten Temperaturberechnung (118) eine Temperatur an der dritten Motorphase ($m(3)$) als dritter Temperaturwert abhängig von dem ersten Temperaturwert (114) und einer Energieverlustdifferenz (ΔP_3) zwischen der ersten und dritten Motorphase ($m(1)$, $m(3)$) berechnet wird.

3. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Energieverlustschätzung (106) einen Leitungsverlust (109) der ersten Motorphase (m(1)) abhängig von einer Messung (110) einer ersten Phasenspannung, eines ersten Phasenstroms und/oder einer Phasenfrequenz jeweils der ersten Motorphase berechnet.
4. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Energieverlustschätzung (106) wenigstens einen Eisenverlust (112) des Elektromotors wenigstens abhängig von einer Messung (110) einer Drehfrequenz des Rotors berechnet.
5. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Energieverlustwert abhängig von dem Leitungsverlust (109) und/oder dem Eisenverlust (112) ist.
6. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur in dem Elektromotor, insbesondere an der ersten Motorphase (m(1)) oder in einem Bereich der ersten Motorphase (m(1)), als Temperaturmesswert durch eine Messung (110) gemessen wird und die erste Temperaturberechnung (104) den Temperaturmesswert bei der Berechnung des ersten Temperaturwerts (114) berücksichtigt.
7. Verfahren (100) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zur Durchführung der ersten Temperaturberechnung (104) getroffenen Berechnungsgrundlagen abhängig von dem ersten Temperaturmesswert angepasst werden.
8. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der zweiten Temperaturberechnung (118) der zweite Temperaturwert (120) abhängig von dem ersten Temperaturwert (114) und einer Temperaturdifferenz ($\Delta\vartheta_2$) berechnet wird.
9. Verfahren (100) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturdifferenz ($\Delta\vartheta_2$) proportional zu der Energieverlustdifferenz (ΔP_2) ist, der Proportionalitätsfaktor ein vorab ermittelter thermischer Widerstand ($R_{th,2}$) ist, der zwischen der ersten und zweiten Motorphase (m(1), m(2)) vorliegt.

10. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung des zweiten Temperaturwerts (120) die vorhandenen thermischen Kapazitäten berücksichtigt.

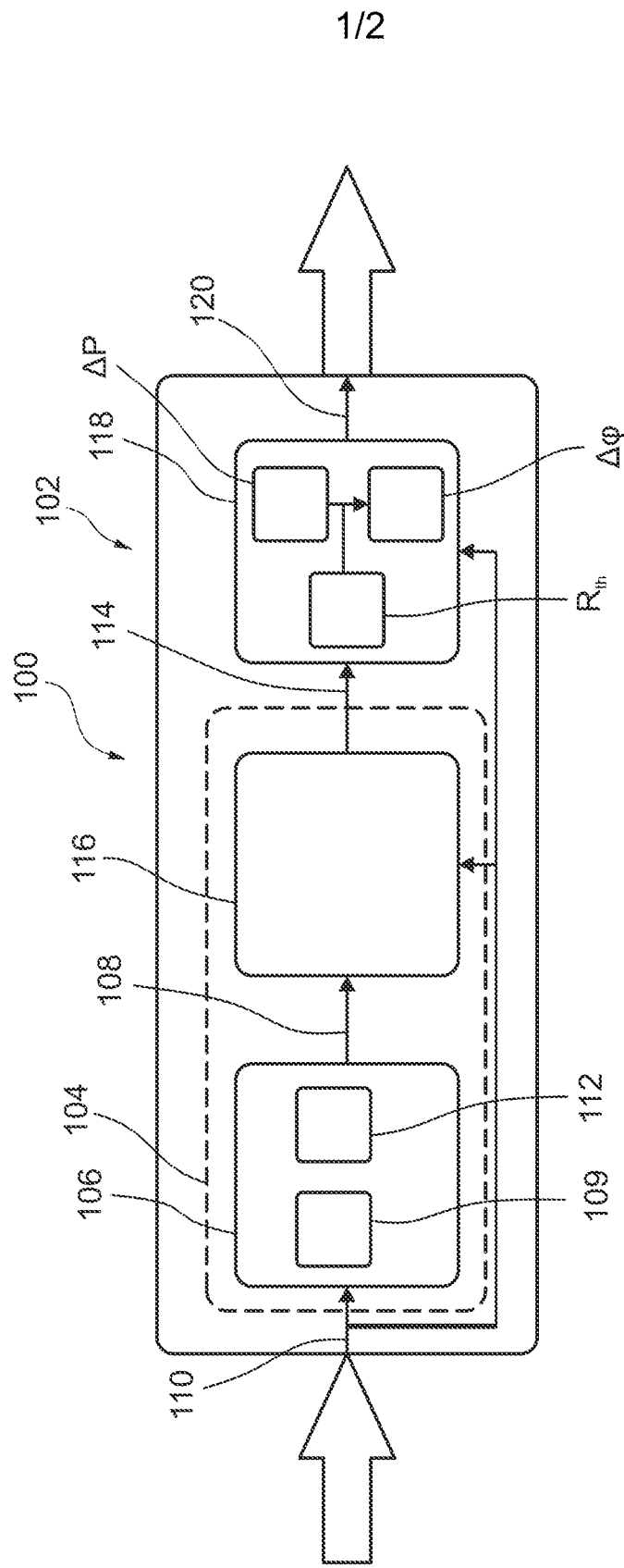


Fig. 1

2/2

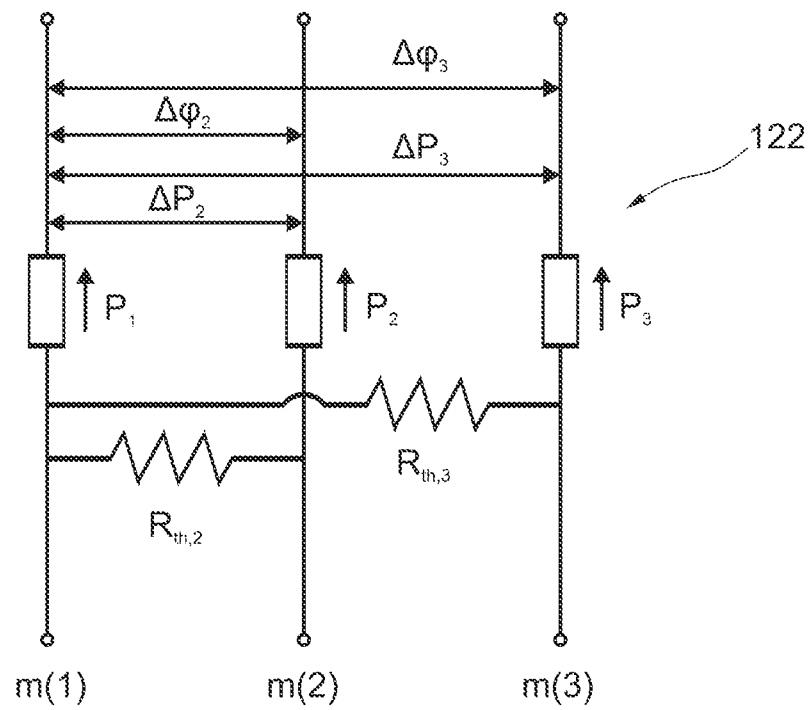


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2019/100991

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02P 29/60**(2016.01)i

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

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 2009189561 A1 (PATEL NITINKUMAR R [US] ET AL) 30 July 2009 (2009-07-30)	1-9
Y	paragraphs [0002], [0025], [0035]; figure 1	10
Y	DE 102009025390 A1 (SEW EURODRIVE GMBH & CO [DE]) 14 January 2010 (2010-01-14) figure 2	10
X	WO 2016157382 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 06 October 2016 (2016-10-06) the whole document	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

10 January 2020

Date of mailing of the international search report

21 January 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Schneider, Gernot

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2019/100991

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
US	2009189561	A1	30 July 2009	CN	101494372	A	29 July 2009
				DE	102009005372	A1	01 October 2009
				US	2009189561	A1	30 July 2009
DE	102009025390	A1	14 January 2010	NONE			
WO	2016157382	A1	06 October 2016	CN	107567681	A	09 January 2018
				JP	5936786	B1	22 June 2016
				JP	WO2016157382	A1	27 April 2017
				KR	20170118225	A	24 October 2017
				TW	201635693	A	01 October 2016
				WO	2016157382	A1	06 October 2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02P29/60
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02P

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, 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 2009/189561 A1 (PATEL NITINKUMAR R [US] ET AL) 30. Juli 2009 (2009-07-30)	1-9
Y	Absätze [0002], [0025], [0035]; Abbildung 1	10
Y	DE 10 2009 025390 A1 (SEW EURODRIVE GMBH & CO [DE]) 14. Januar 2010 (2010-01-14) Abbildung 2	10
X	WO 2016/157382 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 6. Oktober 2016 (2016-10-06) das ganze Dokument	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

10. Januar 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/01/2020

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

Schneider, Gernot

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2019/100991

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2009189561 A1	30-07-2009	CN 101494372 A	29-07-2009
		DE 102009005372 A1	01-10-2009
		US 2009189561 A1	30-07-2009

DE 102009025390 A1	14-01-2010	KEINE	

WO 2016157382 A1	06-10-2016	CN 107567681 A	09-01-2018
		JP 5936786 B1	22-06-2016
		JP W02016157382 A1	27-04-2017
		KR 20170118225 A	24-10-2017
		TW 201635693 A	01-10-2016
		WO 2016157382 A1	06-10-2016
