

(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
28. Januar 2016 (28.01.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/012107 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01K 7/42 (2006.01) **H02P 29/00** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/056632
- (22) Internationales Anmeldedatum:
26. März 2015 (26.03.2015)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
14178540.2 25. Juli 2014 (25.07.2014) EP
- (71) Anmelder: **PRIMETALS TECHNOLOGIES GERMANY GMBH** [DE/DE]; Schuhstraße 60, 91052 Erlangen (DE).
- (72) Erfinder: **GISSLER, Folke**; Im Aschenfeld 17, 96170 Lisberg (DE).
- (74) Anwalt: **MIKOTA, Josef**; c/o Siemens Aktiengesellschaft, Postfach 22 16 34, 80506 München (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, 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, KN, KP, KR, 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).

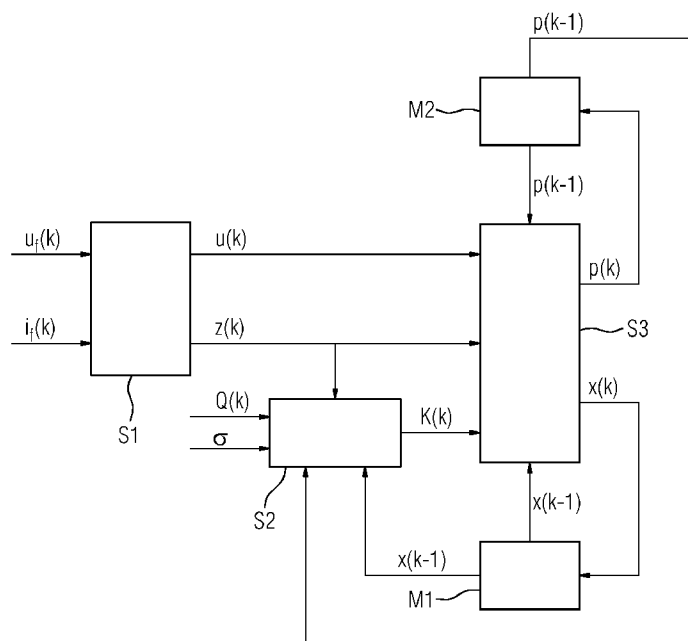
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: DETERMINATION OF A WINDING TEMPERATURE OF AN EXCITATION WINDING OF A SEPARATELY EXCITED SYNCHRONOUS MACHINE

(54) Bezeichnung : ERMITTLUNG EINER WICKLUNGSTEMPERATUR EINER ERREGERWICKLUNG EINER FREMDERREGTEN SYNCHRONMASCHINE

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for determining a winding temperature of an excitation winding of a separately excited synchronous machine. In this case, a first estimated temperature value of the winding temperature is predefined for a starting time, an electrical excitation voltage ($u_f(k)$) applied to the excitation winding and an electrical excitation current ($i_f(k)$) flowing through the excitation winding are each recorded at different measuring times following the starting time, and an updated estimated temperature value ($x(k)$) is recursively formed for each measuring time on the basis of the excitation voltage ($u_f(k)$) recorded at the measuring time, the excitation current ($i_f(k)$) recorded at the measuring time and a previous estimated temperature value ($x(k-1)$).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



ein Verfahren zur Ermittlung einer Wicklungstemperatur einer Erregerwicklung einer fremderregten Synchronmaschine. Dabei wird für einen Anfangszeitpunkt ein erster Temperaturschätzwert der Wicklungstemperatur vorgegeben, zu verschiedenen auf den Anfangszeitpunkt folgenden Messzeitpunkten werden jeweils eine an der Erregerwicklung anliegende elektrische Erregerspannung ($u_f(k)$) und ein durch die Erregerwicklung fließender elektrischer Erregerstrom ($i_f(k)$) erfasst, und für jeden Messzeitpunkt wird rekursiv ein aktualisierter Temperaturschätzwert ($x(k)$) in Abhängigkeit von der zu dem Messzeitpunkt erfassten Erregerspannung ($u_f(k)$), dem zu dem Messzeitpunkt erfassten Erregerstrom ($i_f(k)$) und einem bisherigen Temperaturschätzwert ($x(k-1)$) gebildet.

Beschreibung

Ermittlung einer Wicklungstemperatur einer Erregerwicklung einer fremderregten Synchronmaschine

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer Wicklungstemperatur einer Erregerwicklung einer fremderregten Synchronmaschine.

- 10 Erregerwicklungen fremderregter Synchronmaschinen erwärmen sich während des Betriebs der Synchronmaschinen aufgrund des durch die Erregerwicklungen fließenden elektrischen Stroms. Die Erwärmung einer Erregerwicklung beeinflusst den Wirkungsgrad der Synchronmaschine und kann zu einer Schädigung der
- 15 Erregerwicklung führen. Die Ermittlung und Überwachung der Wicklungstemperatur einer Erregerwicklung kann daher vorteilhaft zu einer verbesserten Nutzung einer fremderregten Synchronmaschine und/oder Vermeidung von Schäden an der Synchronmaschine verwendet werden. Prinzipiell könnte die Wick-
- 20 lungstemperatur durch eine Messung des elektrischen Widerstands der Erregerwicklung ermittelt werden. Dies führt jedoch nur in einem stationären Betrieb einer fremderregten Synchronmaschine zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Bei dynamischen Vorgängen werden derartige Temperaturmessungen hin-
- 25 gegen durch Ankerrückwirkungen und Ströme in Dämpferstromkreisen so stark verzerrt, dass eine Temperaturermittlung mittels Widerstandsmessungen praktisch nicht möglich ist.

- DE 10 2008 040 725 A1 offenbart ein Verfahren zur Ermittlung
- 30 einer Rotortemperatur einer permanenterregten Synchronmaschine, bei dem ein Schätzwert für die Rotortemperatur mittels eines ein thermisches Modell der Synchronmaschine enthaltenen Kalman-Filters ermittelt wird. Ferner ermittelt die DE 10 2008 040 725 A1 einen zweiten Schätzwert zur präziseren Be-
- 35 stimmung der Rotortemperatur in Abhängigkeit von dem ersten Schätzwert und/oder einem Messwert für die Statortemperatur.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein geeignetes Verfahren zur Ermittlung einer Wicklungstemperatur einer Erregerwicklung einer fremderregten Synchronmaschine anzugeben.

- 5 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

10

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Ermittlung einer Wicklungstemperatur einer Erregerwicklung einer fremderregten Synchronmaschine wird für einen Anfangszeitpunkt ein erster Temperaturschätzwert der Wicklungstemperatur vorgegeben, und
15 zu verschiedenen auf den Anfangszeitpunkt folgenden Messzeitpunkten werden jeweils eine an der Erregerwicklung anliegende elektrische Erregerspannung und ein durch die Erregerwicklung fließender elektrischer Erregerstrom erfasst. Für jeden Messzeitpunkt wird rekursiv ein aktualisierter Temperaturschätzwert
20 wert in Abhängigkeit von der zu dem Messzeitpunkt erfassten Erregerspannung, dem zu dem Messzeitpunkt erfassten Erregerstrom und einem bisherigen Temperaturschätzwert gebildet.

Erfindungsgemäß wird also ein Temperaturschätzwert der Wicklungstemperatur rekursiv in Abhängigkeit von gemessenen Werten der Erregerspannung und des Erregerstroms aktualisiert. Da dabei auch der jeweilige bisherige Temperaturschätzwert in die Aktualisierung eingeht, können die Temperaturermittlung beeinflussende Störeinflüsse, beispielsweise Einflüsse einer
25 Ankerrückwirkung und/oder starker Schwankungen von Messsignalen durch Rauschen, vorteilhaft reduziert werden und der Temperaturschätzwert kann sich schnell der tatsächlichen Wicklungstemperatur annähern. Diese rekursive Aktualisierung des Temperaturschätzwertes hat überdies den Vorteil, wenig Rechenaufwand zu benötigen, da jeweils nur der bisherige Temperaturschätzwert und nicht eine Vielzahl vorher ermittelter Temperaturwerte in die Bildung des aktualisierten Temperaturschätzwertes eingeht.
35

Die Erfindung ermöglicht somit, die Wicklungstemperatur einer Erregerwicklung einer fremderregten Synchronmaschine zuverlässig unter Verwendung eines Schätz-Algorithmus zu ermitteln, ohne Änderungen an der Synchronmaschine durchführen zu müssen. Da keine Änderungen der Synchronmaschine erforderlich sind, kann das Verfahren sowohl bei neu installierten als auch bei bestehenden Anlagen eingesetzt werden.

- 10 Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der aktualisierte Temperaturschätzwert für einen Messzeitpunkt als ein mit einer Messwertgewichtung gewichtetes arithmetisches Mittel eines Temperaturmesswertes der Wicklungstemperatur und
15 Korrekturwertes gemäß der Gleichung

$$x(k) = (x(k-1) + u(k)) \cdot (1 - K(k)) + K(k) \cdot z(k) \quad [1]$$

- gebildet wird. Dabei ist k ein Index, der die Messzeitpunkte aufsteigend nummeriert, und $x(k)$, $u(k)$, $z(k)$ und $K(k)$ bezeichnen jeweils den Temperaturschätzwert, den Korrekturwert, den Temperaturmesswert und die Messwertgewichtung für den k .ten Messzeitpunkt. Der Korrekturwert und der Temperaturmesswert werden in Abhängigkeit von der zu dem Messzeitpunkt
20 erfassten Erregerspannung und dem zu dem Messzeitpunkt erfassten Erregerstrom gebildet.

- Diese Ausgestaltung der Erfindung ermöglicht, den Temperaturmesswert mittels der Messwertgewichtung bei der Aktualisierung des Temperaturschätzwertes geeignet zu gewichten.
30

- Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der Temperaturmesswert bei der Bildung des aktualisierten Temperaturschätzwertes mittels der Messwertgewichtung umso geringer gewichtet wird, je mehr der Temperaturmesswert von dem
35 bisherigen Temperaturschätzwert abweicht.

Durch diese Gewichtung des Temperaturmesswerts beeinflussen große Abweichungen des Temperaturmesswertes den aktualisierten Temperaturschätzwert weniger als kleine Abweichungen. Dies ermöglicht vorteilhaft, den Einfluss großer Schwankungen der Messsignale aufgrund von Störeinflüssen, z.B. von Rauschen und/oder der Ankerrückwirkung, auf den Temperaturschätzwert zu reduzieren.

Vorzugsweise wird der Korrekturwert $u(k)$ in Gleichung [1] gemäß der Gleichung

$$u(k) = (\Delta t / \tau) \cdot R_{th} \cdot u_f(k) \cdot i_f(k) \quad [2]$$

gebildet. Dabei bezeichnen $u_f(k)$ die zum k .ten Messzeitpunkt erfasste Erregerspannung, $i_f(k)$ den zum k .ten Messzeitpunkt erfassten Erregerstrom, Δt eine Zeitdauer zwischen dem $(k-1)$.ten Messzeitpunkt und dem k .ten Messzeitpunkt, τ eine thermische Zeitkonstante der Erregerwicklung und R_{th} einen thermischen Widerstand der Erregerwicklung.

Der gemäß Gleichung [2] gebildete Korrekturwert entspricht näherungsweise der Erwärmung der Erregerwicklung während der Zeitdauer Δt und eignet sich deshalb vorteilhaft zur Korrektur des Temperaturschätzwertes $x(k-1)$.

Ferner wird der Temperaturmesswert $z(k)$ in Gleichung [1] vorzugsweise gemäß der Gleichung

$$z(k) = (1/\alpha) \cdot [u_f(k) / (i_f(k) \cdot R_f) - 1] + T_0 \quad [3]$$

gebildet. Dabei bezeichnet α einen Temperaturkoeffizient der Erregerwicklung, T_0 eine Bezugstemperatur und R_f einen elektrischen Bezugswiderstand der Erregerwicklung bei der Bezugstemperatur.

Gleichung [3] beschreibt näherungsweise die Temperatur der Erregerwicklung zum k .ten Messzeitpunkt in Abhängigkeit von der zu diesem Zeitpunkt erfassten Erregerspannung und dem zu

diesem Zeitpunkt erfassten Erregerstrom. Die Bezugstemperatur T_0 ist dabei vorzugsweise eine typische Kalttemperatur der Erregerwicklung, beispielsweise 20°C , so dass Gleichung [3] eine gute Näherung für die tatsächliche Temperatur der Erregerwicklung ist.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der aktualisierte Temperaturschätzwert mittels eines Kalman-Filters ermittelt wird, wobei für den Anfangszeitpunkt ein erster Kovarianzwert vorgegeben wird, für jeden Messzeitpunkt rekursiv ein aktualisierter Kovarianzwert in Abhängigkeit von einem bisherigen Kovarianzwert und einem Modellfehlerwert gebildet wird und die Messwertgewichtung in Abhängigkeit von dem bisherigen Kovarianzwert gebildet wird.

Diese Ausgestaltung ist besonders vorteilhaft, da sich ein Kalman-Filter durch die Berücksichtigung der Kovarianz der Messsignale besonders gut zur Behandlung von die Messsignale beeinflussenden Störungen eignet.

Dabei wird der aktualisierte Kovarianzwert vorzugsweise gemäß der Gleichung

$$p(k) = (p(k-1) + Q(k)) \cdot (1 - K(k)) \quad [4]$$

gebildet, wobei $p(k)$ und $Q(k)$ jeweils den Kovarianzwert und den Modellfehlerwert zum k .ten Messzeitpunkt bezeichnen.

Diese Ausgestaltung der Erfindung sieht vorteilhaft eine den Modellfehlerwert $Q(k)$ berücksichtigende Aktualisierung des Modellfehlerwertes mit einer Gewichtung, die der Messwertgewichtung $K(k)$ in Gleichung [1] entspricht, vor.

Ferner wird bei der Verwendung eines Kalman-Filters die Messwertgewichtung $K(k)$ vorzugsweise gemäß der Gleichung

$$K(k) = R(k) \cdot (p(k-1) + Q(k)) / [R(k) \cdot (p(k-1) + Q(k)) + 1] \quad [5]$$

gebildet, wobei $R(k)$ einen von dem Temperaturmesswert abhängigen Messfehlerwert bezeichnet.

Durch Gleichung [5] werden bei der Messwertgewichtung $K(k)$ vorteilhaft der um den Modellfehlerwert $Q(k)$ korrigierte Kovarianzwert $p(k-1)$ und der Messfehlerwert $R(k)$ berücksichtigt.

Dabei wird vorzugsweise eine Messfehlerstandardabweichung σ vorgegeben, und der Messfehlerwert $R(k)$ wird aus dem Temperaturmesswert, dem bisherigen Temperaturschätzwert und der Messfehlerstandardabweichung gemäß der Gleichung

$$R(k) = \exp[-(z(k) - x(k-1))^2 / (2 \cdot \sigma^2)] \quad [6]$$

gebildet, wobei $\exp$ die natürliche Exponentialfunktion bezeichnet.

Gleichung [6] beschreibt einen normalverteilten Messfehlerwert und bewirkt, dass große Abweichungen des Temperaturmesswertes $z(k)$ von dem bisherigen Temperaturschätzwert $x(k-1)$ gemäß Gleichung [5] zu einer kleinen Messwertgewichtung $K(k)$ führen, so dass derartige Temperaturmesswerte $z(k)$ gemäß Gleichung [1] vorteilhaft kaum zu dem aktualisierten Temperaturschätzwert $x(k)$ beitragen.

Der Modellfehlerwert $Q(k)$ wird beispielsweise als eine von den Messzeitpunkten unabhängige Konstante vorgegeben.

Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn das der Temperaturermittlung zugrunde Modell der Wicklungstemperatur, insbesondere die Gleichungen [2] und [3], eine gute Näherung für die tatsächliche Wicklungstemperatur sind.

Eine zur Verwendung eines Kalman-Filters alternative Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der aktualisierte Temperaturschätzwert mittels eines Luenberger-Beobachters ermittelt wird.

Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei zeigen:

FIG 1 ein Blockdiagramm eines Verfahrens zur Ermittlung einer Wicklungstemperatur, und

FIG 2 zeitliche Verläufe eines Temperaturschätzwertes und eines gemittelten Temperaturmesswertes einer Wicklungstemperatur.

Einander entsprechende Teile sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

FIG 1 zeigt ein Blockdiagramm eines Verfahrens zur Ermittlung einer Wicklungstemperatur einer Erregerwicklung einer fremd-erregten Synchronmaschine.

Für das Verfahren wird ein thermisches Modell der Erregerwicklung formuliert, das die Wicklungstemperatur als Zustandsgröße in Abhängigkeit von zwei Messgrößen beschreibt, wobei die Messgrößen eine an der Erregerwicklung anliegende elektrische Erregerspannung $u_f(k)$ und ein durch die Erregerwicklung fließender elektrischer Erregerstrom $i_f(k)$ sind. Diese Messgrößen werden jeweils fortlaufend zu diskreten Messzeitpunkten erfasst, wobei die Messzeitpunkte und ein ihnen vorausgehender Anfangszeitpunkt eine Folge äquidistanter Zeitpunkte bilden, die durch einen Index $k \in \{0, 1, 2, \dots\}$ aufsteigend nummeriert sind. Die Zeitdauer Δt zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitpunkten dieser Folge wird vorgegeben, beispielsweise $\Delta t = 1 \text{ ms}$.

Anhand des thermischen Modells werden in unten näher beschriebener Weise mittels eines Kalman-Filters rekursiv zum

k.ten Messzeitpunkt ein aktualisierter Temperaturschätzwert $x(k)$ und ein aktualisierter Kovarianzwert $p(k)$ in Abhängigkeit von der zu diesem Messzeitpunkt erfassten Erregerspannung $u_f(k)$, dem zu diesem Messzeitpunkt erfassten Erregerstrom $i_f(k)$, dem jeweiligen bisherigen Temperaturschätzwert $x(k-1)$ und dem jeweiligen bisherigen Kovarianzwert $p(k-1)$ gebildet. Der jeweils aktuelle Temperaturschätzwert wird als ein Temperaturspeicherwert M1 zwischengespeichert, der jeweils aktuelle Kovarianzwert wird als ein Kovarianzspeicherwert M2 zwischengespeichert. Für den Anfangszeitpunkt werden ein erster Temperaturschätzwert $x(0)$ und ein erster Kovarianzwert $p(0)$, beispielsweise durch $x(0)=0$ und $p(0)=0$, vorgegeben und als Temperaturspeicherwert M1 bzw. Kovarianzspeicherwert M2 zwischengespeichert.

Mittels des Kalman-Filters werden in einem ersten Schritt S1 aus der zu dem k.ten Messzeitpunkt erfassten Erregerspannung $u_f(k)$ und dem zu dem k.ten Messzeitpunkt erfassten Erregerstrom $i_f(k)$ gemäß Gleichung [2] ein Korrekturwert $u(k)$ und gemäß Gleichung [3] ein Temperaturmesswert $z(k)$ gebildet. In einem zweiten Schritt S2 werden aus dem Temperaturmesswert $z(k)$, einem Modellfehlerwert $Q(k)$, dem bisherigen Temperaturschätzwert $x(k-1)$, dem bisherigen Kovarianzwert $p(k-1)$ und einer geeignet vorgegebenen Messfehlerstandardabweichung σ gemäß den Gleichungen [5] und [6] eine Messwertgewichtung $K(k)$ gebildet. In einem dritten Schritt S3 werden aus dem bisherigen Temperaturschätzwert $x(k-1)$, dem Korrekturwert $u(k)$, dem Temperaturmesswert $z(k)$ und der Messwertgewichtung $K(k)$ gemäß Gleichung [1] der aktualisierte Temperaturschätzwert $x(k)$ und aus dem bisherigen Kovarianzwert $p(k-1)$, dem Modellfehlerwert $Q(k)$ und der Messwertgewichtung $K(k)$ gemäß Gleichung [4] der aktualisierte Kovarianzwert $p(k)$ gebildet. Anschließend werden der bisherige Temperaturschätzwert $x(k-1)$ durch den aktualisierten Temperaturschätzwert $x(k)$ als Temperaturspeicherwert M1 und der bisherige Kovarianzwert $p(k-1)$ durch den aktualisierten Kovarianzwert $p(k)$ als Kovarianzspeicherwert M2 ersetzt.

FIG 2 zeigt Verläufe eines mittels eines oben anhand von FIG 1 beschriebenen Kalman-Filters aktualisierten Temperaturschätzwertes $x(k)$ und eines gemittelten Temperaturmesswertes $z_m(k)$ einer Wicklungstemperatur in Abhängigkeit von den Indexwerten des Index k . Dargestellt ist ein Zeitabschnitt von etwa 200 Sekunden bei einer Zeitdauer $\Delta t = 1$ ms zwischen zwei aufeinander folgenden Messzeitpunkten. Der gemittelte Temperaturmesswert $z_m(k)$ ergibt sich aus einer gleitenden Mittelung der Temperaturmesswerte $z(k)$ über jeweils eine Sekunde, d.h. über 1000 Messzeitpunkte. Aus FIG 2 wird deutlich, dass selbst der gemittelte Temperaturmesswert $z_m(k)$ im dynamischen Betrieb der Erregerwicklung zeitlich derart schwankt, dass er sich nicht für eine Ermittlung der Wicklungstemperatur der Erregerwicklung eignet. Dagegen stellt sich der aktualisierte Temperaturschätzwert $x(k)$ trotz des stark schwankenden Temperaturmesswertes $z(k)$ schnell, etwa innerhalb von 60 Sekunden, auf die tatsächliche Wicklungstemperatur der Erregerwicklung ein.

Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung einer Wicklungstemperatur einer Erregerwicklung einer fremderregten Synchronmaschine, wobei

- 5 - für einen Anfangszeitpunkt ein erster Temperaturschätzwert der Wicklungstemperatur vorgegeben wird,
- zu verschiedenen auf den Anfangszeitpunkt folgenden Messzeitpunkten jeweils eine an der Erregerwicklung anliegende elektrische Erregerspannung ($u_f(k)$) und ein durch die Erregerwicklung fließender elektrischer Erregerstrom ($i_f(k)$)
10 erfasst werden, und
- für jeden Messzeitpunkt rekursiv ein aktualisierter Temperaturschätzwert ($x(k)$) in Abhängigkeit von der zu dem Messzeitpunkt erfassten Erregerspannung ($u_f(k)$), dem zu dem
15 Messzeitpunkt erfassten Erregerstrom ($i_f(k)$) und einem bisherigen Temperaturschätzwert ($x(k-1)$) gebildet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass der aktualisierte Temperaturschätzwert ($x(k)$) für einen Messzeitpunkt als ein mit einer
20 Messwertgewichtung ($K(k)$) gewichtetes arithmetisches Mittel eines Temperaturmesswertes ($z(k)$) der Wicklungstemperatur und der Summe des bisherigen Temperaturschätzwertes ($x(k-1)$) und eines Korrekturwertes ($u(k)$) gemäß der Gleichung

25

$$x(k) = (x(k-1) + u(k)) \cdot (1 - K(k)) + K(k) \cdot z(k)$$

gebildet wird, wobei der Korrekturwert ($u(k)$) und der Temperaturmesswert ($z(k)$) in Abhängigkeit von der zu dem Messzeitpunkt erfassten Erregerspannung ($u_f(k)$) und dem zu dem Messzeitpunkt erfassten Erregerstrom ($i_f(k)$) gebildet werden.
30

3. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass der Temperaturmesswert ($z(k)$)
35 bei der Bildung des aktualisierten Temperaturschätzwertes ($x(k)$) mittels der Messwertgewichtung ($K(k)$) umso geringer gewichtet wird, je mehr der Temperaturmesswert ($z(k)$) von dem bisherigen Temperaturschätzwert ($x(k-1)$) abweicht.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet, dass der Korrekturwert ($u(k)$) gemäß
der Gleichung

$$5 \quad u(k) = (\Delta t / \tau) \cdot R_{th} \cdot u_f(k) \cdot i_f(k)$$

gebildet wird, wobei Δt eine Zeitdauer zwischen zwei aufeinander
folgenden Messzeitpunkten, τ eine thermische Zeitkon-
stante der Erregerwicklung und R_{th} einen thermischen Wider-
10 stand der Erregerwicklung bezeichnen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass der Temperaturmesswert ($z(k)$)
gemäß der Gleichung

$$15 \quad z(k) = (1/\alpha) \cdot [u_f(k) / (i_f(k) \cdot R_f) - 1] + T_0$$

gebildet wird, wobei α einen Temperaturkoeffizient der Erre-
gerwicklung, T_0 eine Bezugstemperatur und R_f einen elektri-
20 schen Bezugswiderstand der Erregerwicklung bei der Bezugstem-
peratur bezeichnen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass der aktualisierte Temperatur-
25 schätzwert ($x(k)$) mittels eines Kalman-Filters ermittelt
wird, wobei für den Anfangszeitpunkt ein erster Kovarianzwert
vorgegeben wird, für jeden Messzeitpunkt rekursiv ein aktua-
lisierter Kovarianzwert ($p(k)$) in Abhängigkeit von einem bis-
herigen Kovarianzwert ($p(k-1)$) und einem Modellfehlerwert
30 ($Q(k)$) gebildet wird und die Messwertgewichtung ($K(k)$) in Ab-
hängigkeit von dem bisherigen Kovarianzwert ($p(k-1)$) gebildet
wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
35 dadurch gekennzeichnet, dass der aktualisierte Kovarianzwert
($p(k)$) gemäß der Gleichung

$$p(k) = (p(k-1) + Q(k)) \cdot (1 - K(k))$$

gebildet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7,

- 5 dadurch gekennzeichnet, dass die Messwertgewichtung ($K(k)$) gemäß der Gleichung

$$K(k) = R(k) \cdot (p(k-1) + Q(k)) / [R(k) \cdot (p(k-1) + Q(k)) + 1]$$

- 10 gebildet wird, wobei $R(k)$ einen von dem Temperaturmesswert ($z(k)$) abhängigen Messfehlerwert bezeichnet.

9. Verfahren nach Anspruch 8,

- 15 dadurch gekennzeichnet, dass eine Messfehlerstandardabweichung (σ) vorgegeben wird und der Messfehlerwert aus dem Temperaturmesswert ($z(k)$), dem bisherigen Temperaturschätzwert ($x(k-1)$) und der vorgegebenen Messfehlerstandardabweichung (σ) gemäß der Gleichung

20 $R(k) = \exp[-(z(k) - x(k-1))^2 / (2 \cdot \sigma^2)]$

gebildet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9,

- 25 dadurch gekennzeichnet, dass der Modellfehlerwert ($Q(k)$) als eine von den Messzeitpunkten unabhängige Konstante vorgegeben wird.

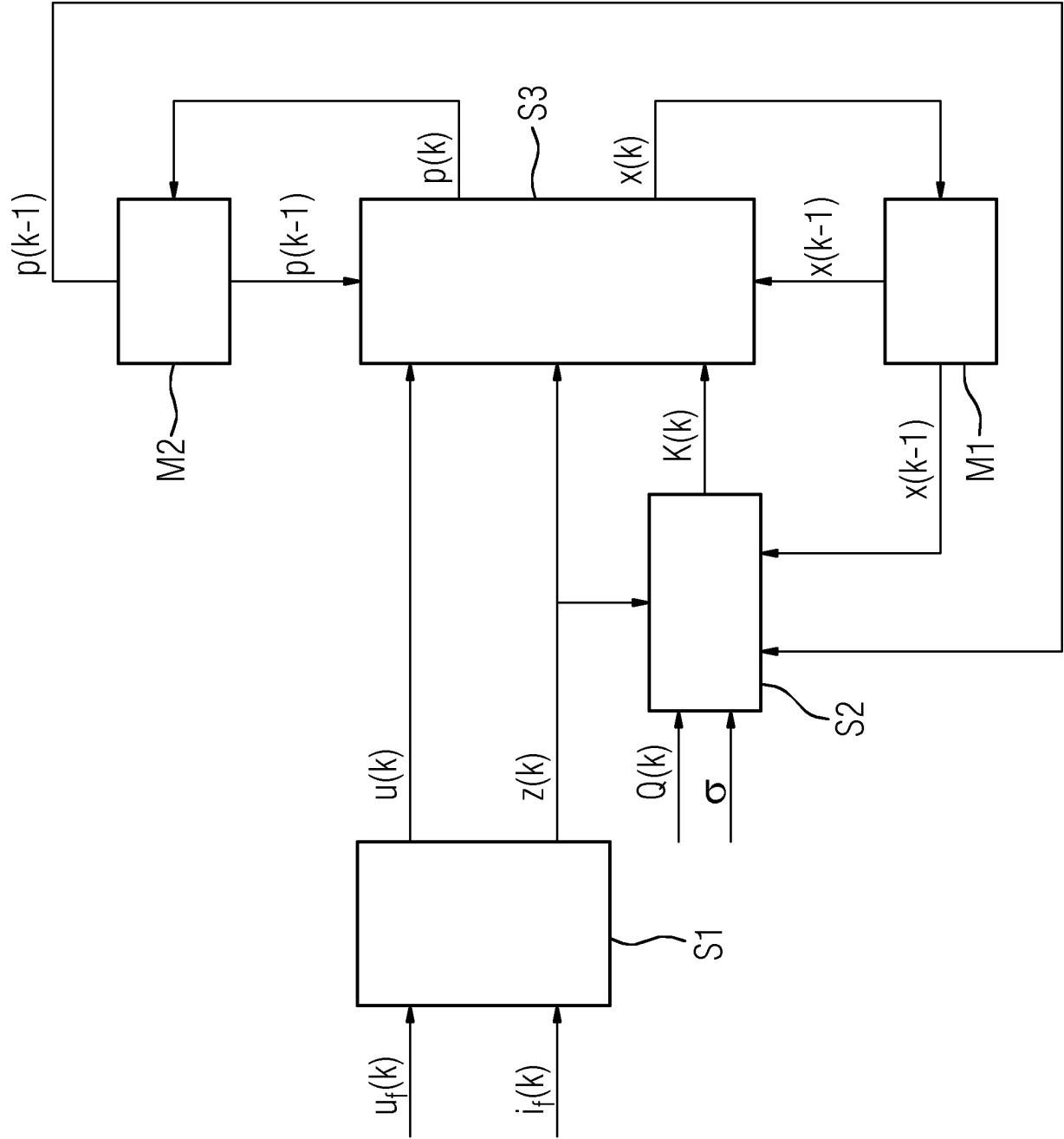
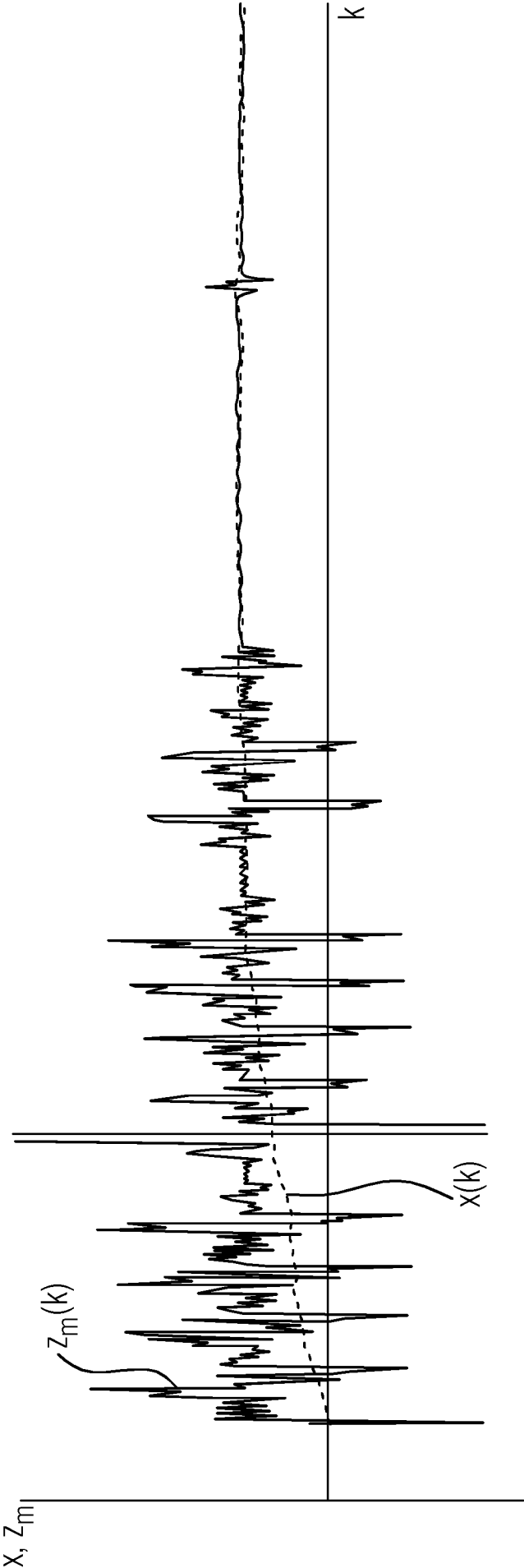


FIG 1

FIG 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/056632

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01K7/42 H02P29/00
ADD.

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)
G01K 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, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2008 040725 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 28 January 2010 (2010-01-28) paragraphs [0001], [0007], [0008], [0011], [0021] - [0052] -----	1-10
A	DE 10 2009 014960 A1 (SEW EURODRIVE GMBH & CO [DE]) 7 October 2010 (2010-10-07) paragraphs [0019], [0024]; figure 1 -----	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

2 October 2015

Date of mailing of the international search report

15/10/2015

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

Phleps, Stefanie

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/056632

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102008040725 A1	28-01-2010	DE 102008040725 A1	28-01-2010
		EP 2318818 A1	11-05-2011
		US 2011181217 A1	28-07-2011
		WO 2010009984 A1	28-01-2010

DE 102009014960 A1	07-10-2010	CN 102369653 A	07-03-2012
		DE 102009014960 A1	07-10-2010
		EP 2415143 A1	08-02-2012
		WO 2010112139 A1	07-10-2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01K7/42 H02P29/00
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01K 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, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2008 040725 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 28. Januar 2010 (2010-01-28) Absätze [0001], [0007], [0008], [0011], [0021] - [0052] -----	1-10
A	DE 10 2009 014960 A1 (SEW EURODRIVE GMBH & CO [DE]) 7. Oktober 2010 (2010-10-07) Absätze [0019], [0024]; Abbildung 1 -----	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

2. Oktober 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

15/10/2015

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

Phleps, Stefanie

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/056632

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102008040725 A1	28-01-2010	DE 102008040725 A1	28-01-2010
		EP 2318818 A1	11-05-2011
		US 2011181217 A1	28-07-2011
		WO 2010009984 A1	28-01-2010

DE 102009014960 A1	07-10-2010	CN 102369653 A	07-03-2012
		DE 102009014960 A1	07-10-2010
		EP 2415143 A1	08-02-2012
		WO 2010112139 A1	07-10-2010
