



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 212 812.1**

(51) Int Cl.: **H02P 6/16 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: **08.07.2015**

(43) Offenlegungstag: **12.01.2017**

(71) Anmelder:
**Conti Temic microelectronic GmbH, 90411
Nürnberg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	36 41 538	A1
DE	100 19 161	A1
DE	103 14 696	A1
DE	103 38 211	A1
DE	10 2005 045 323	A1
DE	10 2006 032 092	A1
DE	10 2012 017 794	A1

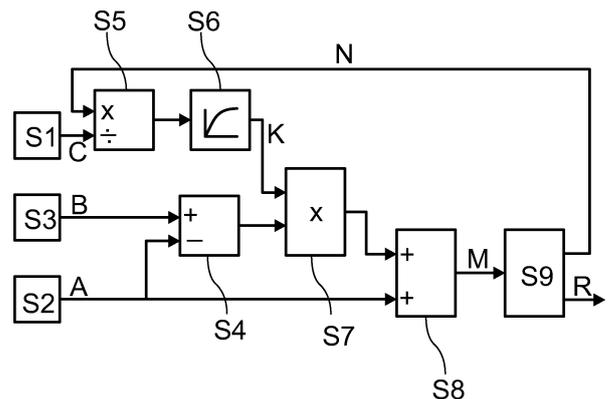
(72) Erfinder:
**Schnell, Andreas, 91126 Kammerstein, DE;
Winkler, Michael, 91056 Erlangen, DE; Iordache,
Emanoil, Corcova, RO**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine (1) mit einem Rotor (3), einer mehrphasigen Erregerwicklung (5) und einer Kommutierungsvorrichtung (9) zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung (5) in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten (R) für Rotorstellungen des Rotors (3). Mittels einer ersten Sensorvorrichtung (13) werden erste Messwerte (A) für die Rotorstellungen erfasst und mittels einer zweiten Sensorvorrichtung (15) werden zweite Messwerte (B) für die Rotorstellungen erfasst. Die Rotorstellungswerte (R) werden für die Kommutierung der Erregerwicklungsströme aus gewichteten Mittelwerten (M) der ersten Messwerte (A) und der zweiten Messwerte (B) gebildet. Die erste Sensorvorrichtung (13) weist in einem ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors (3) eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung (15) aufweist, und die ersten Messwerte (A) werden in dem ersten Drehzahlbereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) stärker als die zweiten Messwerte (B) gewichtet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine mit einem Rotor, einer mehrphasigen Erregerwicklung und einer Kommutierungsvorrichtung zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten für Rotorstellungen des Rotors. Ferner betrifft die Erfindung eine Messvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Bekannte Kommutierungsverfahren zur Steuerung und Regelung mehrphasiger rotierender elektrischer Maschinen sind die so genannte Sinuskommutierung und die so genannte Blockkommutierung. Bei der Sinuskommutierung werden gegeneinander phasenverschobene, jeweils wenigstens näherungsweise sinusförmige Erregerwicklungsströme erzeugt. Bei der Blockkommutierung werden Erregerwicklungsströme erzeugt, die ebenfalls gegeneinander phasenverschobene Verläufe aufweisen, jedoch jeweils während einer Kommutierungsperiode näherungsweise konstant sind und sich beim Übergang zwischen den Kommutierungsperioden näherungsweise sprunghaft ändern.

[0003] Eine Sinuskommutierung ermöglicht insbesondere bei niedrigen Rotordrehzahlen genauere Regelungen der Rotorstellungen und bessere Gleichlauf- und Anlaufeigenschaften einer elektrischen Maschine als eine Blockkommutierung, erfordert jedoch eine aufwändigere Elektronik als eine Blockkommutierung. Bei hohen Rotordrehzahlen hat eine Blockkommutierung in der Regel gegenüber einer Sinuskommutierung kaum Nachteile, ist jedoch kostengünstiger realisierbar als eine Sinuskommutierung.

[0004] Daher wird eine Sinuskommutierung häufig nur bei niedrigen Rotordrehzahlen eingesetzt, bei denen die Rotorstellungen mittels einer hochauflösenden Sensorvorrichtung erfasst werden, die relativ kostengünstig, jedoch für hohe Rotordrehzahlen zu langsam ist. Bei höheren Rotordrehzahlen wird dagegen bevorzugt eine Blockkommutierung eingesetzt. Wenn eine Sinuskommutierung bei niedrigen Rotordrehzahlen mit einer Blockkommutierung bei höheren Rotordrehzahlen kombiniert wird, wird beispielsweise bei dem Erreichen einer vorgegebenen Mindestdrehzahl zwischen Sinuskommutierung und Blockkommutierung umgeschaltet.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zum Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine mit einem Rotor, einer mehrphasigen Erregerwicklung und einer Kommutierungsvorrichtung zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten für Rotorstellungen des Rotors anzugeben. Ferner liegt der Erfindung die

Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

[0006] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 1 und hinsichtlich der Vorrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 10 gelöst.

[0007] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren betrifft den Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine mit einem Rotor, einer mehrphasigen Erregerwicklung und einer Kommutierungsvorrichtung zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten für Rotorstellungen des Rotors. Bei dem Verfahren werden mittels einer ersten Sensorvorrichtung erste Messwerte für die Rotorstellungen und mittels einer zweiten Sensorvorrichtung zweite Messwerte für die Rotorstellungen erfasst. Die Rotorstellungswerte für die Kommutierung der Erregerwicklungsströme werden aus gewichteten Mittelwerten der ersten Messwerte und der zweiten Messwerte gebildet. Dabei weist die erste Sensorvorrichtung in einem ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung auf, und die ersten Messwerte werden in dem ersten Drehzahlbereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte stärker als die zweiten Messwerte gewichtet.

[0009] Unter einer Rotordrehzahl wird hier eine Anzahl von Umdrehungen pro Zeiteinheit des Rotors der elektrischen Maschine verstanden, wobei diese Anzahl nicht negativ ist, d. h. es wird nicht, beispielsweise durch ein Vorzeichen der Rotordrehzahl, zwischen verschiedenen Drehrichtungen des Rotors unterschieden.

[0010] Das Verfahren sieht also vor, zur Ermittlung von Rotorstellungen des Rotors einer rotierenden elektrischen Maschine zwei Sensorvorrichtungen mit unterschiedlichen Auflösungsvermögen einzusetzen und die von den beiden Sensorvorrichtungen erfassten Messwerte geeignet zu kombinieren. Dazu werden in einem Drehzahlbereich, in dem eine erste Sensorvorrichtung eine höhere Auflösung als die zweite Sensorvorrichtung hat, von der ersten Sensorvorrichtung erfasste erste Messwerte bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte stärker gewichtet als von der zweiten Sensorvorrichtung erfasste zweite Messwerte. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht damit insbesondere, bei niedrigen Rotordrehzahlen die Messwerte einer die Rotorstellungen höher auflösenden ersten Sensorvorrichtung stärker zu gewichten als die Messwerte der zweiten Sensorvorrichtung, während bei höheren Rotordrehzahlen die Messwerte der zweiten Sensorvorrichtung stärker gewichtet

werden. Dadurch können die Vorteile einer ersten Sensorvorrichtung mit einer hohen Auflösung der Rotorstellungen bei niedrigen Rotordrehzahlen und einer kostengünstigeren zweiten Sensorvorrichtung mit einer schwächeren Auflösung der Rotorstellungen bei hohen Rotordrehzahlen kombiniert werden. Die Bildung gewichteter Mittelwerte aus den ersten und zweiten Messwerten ermöglicht es vorteilhaft, die relative Gewichtung der ersten und zweiten Messwerten in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl zu variieren und dadurch ein hartes Umschalten zwischen der Verwendung der ersten und zweiten Messwerte zu vermeiden, welches zu Drehmomentsprüngen und daraus resultierenden Geräuscentwicklungen führen kann.

[0011] Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht dementsprechend vor, dass der erste Drehzahlbereich von der Drehzahl Null begrenzt wird. Dadurch werden vorteilhaft bei niedrigen Rotordrehzahlen, bei denen eine hohe Auflösung der Rotorstellungen benötigt wird, die Messwerte einer ersten Sensorvorrichtung mit einer hohen Auflösung der Rotorstellungen stärker gewichtet.

[0012] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die zweite Sensorvorrichtung eine höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit von Sensorsignalen als die erste Sensorvorrichtung aufweist. Auch diese Ausgestaltung ist darauf gerichtet, dass die zweite Sensorvorrichtung vorwiegend auf die Erfassung von Messwerten bei hohen Rotordrehzahlen, die eine schnellere Verarbeitung von Sensorsignalen erfordern, ausgelegt ist.

[0013] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass eine Gewichtung der ersten Messwerte bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte eine monoton fallende und zumindest teilweise streng monoton fallende Funktion der Rotordrehzahl ist. Dementsprechend sieht eine weitere Ausgestaltung der Erfindung vor, dass eine Gewichtung der zweiten Messwerte bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte eine monoton steigende und zumindest teilweise streng monoton steigende Funktion der Rotordrehzahl ist, die bei der Drehzahl Null verschwindet. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ferner ein Drehzahlschwellenwert vorgegeben und eine Gewichtung der ersten Messwerte bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte derart gebildet, dass sie bei Rotordrehzahlen oberhalb des Drehzahlschwellenwerts verschwindet.

[0014] Die vorgenannten Ausgestaltungen sehen vor, die Gewichtungen der ersten und zweiten Messwerte in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl derart zu variieren, dass die Gewichtung der zweiten Messwerte gegenüber der Gewichtung der ersten Messwerte mit zunehmender Rotordrehzahl zunimmt. Insbesondere sehen Ausgestaltungen der Er-

findung vor, dass die zweiten Messwerte bei der Rotordrehzahl Null und die ersten Messwerte oberhalb eines Drehzahlschwellenwertes gar nicht zu den gewichteten Mittelwerten beitragen. Dadurch wird vorteilhaft ermöglicht, die Rotorstellungswerte bei niedrigen Rotordrehzahlen hauptsächlich oder ausschließlich aus den ersten Messwerten einer ersten Sensorvorrichtung mit einer hohen Auflösung der Rotorstellungen und bei hohen Rotordrehzahlen hauptsächlich oder ausschließlich aus den zweiten Messwerten einer zweiten Sensorvorrichtung mit einer geringeren Auflösung der Rotorstellungen zu bilden und den Anteil der zweiten Messwerte an den gewichteten Mittelwerten mit zunehmender Rotordrehzahl gegenüber dem Anteil der ersten Messwerte zu steigern. Dies berücksichtigt, dass in der Regel nur für niedrige Rotordrehzahlen eine hohe Auflösung der Rotorstellungen für die Regelung der Kommutierung der Erregerwicklungsströme benötigt wird. Durch die Verwendung der Messwerte der zweiten Sensorvorrichtung bei hohen Rotordrehzahlen wird vermieden, dass eine kostspielige erste Sensorvorrichtung benötigt wird, die sich auch bei hohen Rotordrehzahlen zur Erfassung von Messwerten mit einer hohen Auflösung der Rotorstellungen eignet.

[0015] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass Rotordrehzahlen des Rotors aus den erfassten ersten Messwerten und/oder zweiten Messwerten ermittelt werden. Diese Ausgestaltung der Erfindung sieht also vor, nicht nur die Rotorstellungswerte, sondern auch die Rotordrehzahlen des Rotors aus den ersten und/oder zweiten Messwerten zu ermitteln. Dadurch wird vorteilhaft kein separater Inkrementalgeber zur Erfassung der Rotordrehzahlen benötigt.

[0016] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die gewichteten Mittelwerte der ersten Messwerte und der zweiten Messwerte geglättet werden und die Rotorstellungswerte als die geglätteten gewichteten Mittelwerte gebildet werden. Die Glättung erfolgt dabei vorzugsweise durch eine Tiefpassfilterung der gewichteten Mittelwerte.

[0017] Diese Ausgestaltung der Erfindung dient dazu, die gewichteten Mittelwerte erforderlichenfalls zu glätten, um sie als Rotorstellungswerte für eine Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme verwenden zu können. Eine derartige Glättung ist insbesondere bei hohen Rotordrehzahlen erforderlich, wenn die zweite Sensorvorrichtung eine nur sehr grobe Auflösung der Rotorstellungen aufweist wie es beispielsweise im Falle von üblichen Sensorvorrichtungen mit Hallschaltern mit einer Winkelauflösung von etwa 60 Grad für die Rotorstellungen der Fall ist.

[0018] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Kommutierung der Erregerwicklungsströme mittels der Kommutierungsvorrichtung

für alle Rotordrehzahlen als eine Sinuskommutierung ausgeführt wird. Die Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme wird beispielsweise mittels einer durch eine Raumzeigermodulation gesteuerte Pulsweitenmodulation erzeugt. Diese Ausgestaltung der Erfindung vermeidet vorteilhaft, dass zwei verschiedene Kommutierungsverfahren verwendet werden und implementiert werden müssen, beispielsweise eine Sinuskommutierung bei niedrigen und eine Blockkommutierung bei hohen Rotordrehzahlen. Insbesondere wird ein Umschalten zwischen diesen beiden Kommutierungsverfahren vermieden, das zu Drehmomentsprüngen und daraus resultierenden Geräuschentwicklungen führen kann.

[0019] Eine erfindungsgemäße Messvorrichtung umfasst eine erste Sensorvorrichtung zur Erfassung der ersten Messwerte für die Rotorstellungen, eine zweite Sensorvorrichtung zur Erfassung der zweiten Messwerte für die Rotorstellungen und eine Auswerteeinheit, die dazu ausgebildet ist, die Rotorstellungswerte für die Kommutierung der Erregerwicklungsströme aus gewichteten Mittelwerten der ersten Messwerte und der zweiten Messwerte zu bilden. Dabei weist die erste Sensorvorrichtung in dem ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung auf, und die Auswerteeinheit ist dazu ausgebildet, die ersten Messwerte in dem ersten Drehzahlbereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte stärker als die zweiten Messwerte zu gewichten und die von ihr gebildeten Rotorstellungswerte an die Kommutierungsvorrichtung auszugeben.

[0020] Eine derartige Messvorrichtung eignet sich zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit den oben genannten Vorteilen.

[0021] Vorzugsweise umfasst die erste Sensorvorrichtung wenigstens einen Winkellagesensor zur Erfassung der ersten Messwerte für die Rotorstellungen, und/oder die zweite Sensorvorrichtung umfasst wenigstens drei Hallschalter mit einer Winkelauflösung von etwa 60 Grad für die Rotorstellungen. Geeignete Winkellagesensoren der ersten Sensorvorrichtung sind beispielsweise magnetoresistive Sensoren, deren Messprinzip auf dem GMR-Effekt (GMR = Giant Magnetoresistance) oder AMR-Effekt (anisotroper magnetoresistiver Effekt) basiert, oder Hallsensoren. Derartige Winkellagesensoren und Hallschalter sind bewährte und kommerziell verfügbare Sensoren zur Erfassung von Rotorstellungen und eignen sich daher insbesondere als Sensoren für die erste Sensorvorrichtung bzw. zweite Sensorvorrichtung.

[0022] Die Auswerteeinheit ist vorzugsweise dazu ausgebildet, Rotordrehzahlen des Rotors aus den erfassten ersten und/oder zweiten Messwerten zu er-

mitteln. Dadurch wird vorteilhaft kein separater Inkrementalgeber zur Erfassung der Rotordrehzahlen benötigt.

[0023] Ferner ist die Auswerteeinheit vorzugsweise dazu ausgebildet, die gewichteten Mittelwerte der ersten Messwerte und der zweiten Messwerte zu glätten und die Rotorstellungswerte als die geglätteten gewichteten Mittelwerte zu bilden. Dies ermöglicht vorteilhaft, die geglätteten gewichteten Mittelwerte als Rotorstellungswerte für eine Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme verwenden zu können, falls die zweite Sensorvorrichtung eine nur sehr grobe Auflösung der Rotorstellungen aufweist wie es beispielsweise im Falle einer zweiten Sensorvorrichtung mit Hallschaltern mit einer Winkelauflösung von etwa 60 Grad für die Rotorstellungen der Fall ist.

[0024] Eine erfindungsgemäße rotierende elektrische Maschine umfasst einen Rotor, eine mehrphasige Erregerwicklung, eine Kommutierungsvorrichtung zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten für Rotorstellungen des Rotors und eine erfindungsgemäße Messvorrichtung.

[0025] 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:

[0026] Fig. 1 ein Blockdiagramm einer rotierenden elektrischen Maschine, und

[0027] Fig. 2 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine.

[0028] Einander entsprechende Teile sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0029] Fig. 1 zeigt ein Blockdiagramm einer rotierenden elektrischen Maschine **1**, die als ein Elektromotor ausgebildet ist. Die elektrische Maschine **1** umfasst einen Stator **3** mit einer dreiphasigen Erregerwicklung **5**, einen Rotor **7**, eine Kommutierungsvorrichtung **9** und eine Messvorrichtung **11**, die eine erste Sensorvorrichtung **13**, eine zweite Sensorvorrichtung **15** und eine Auswerteeinheit **17** umfasst.

[0030] Die Kommutierungsvorrichtung **9** ist zur elektronischen Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme der Erregerwicklung **5** in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten R für Rotorstellungen des Rotors **7** ausgebildet. In einer typischen und bekannten Ausführung der Kommutierungsvorrichtung **9** umfasst diese für jede Phase der Erregerwicklung **5** ei-

ne Halbbrücke, die zwei elektronische Schalteinheiten aufweist und mit einem Außenleiter **19** bis **21** der jeweiligen Phase verbunden ist. Die Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme wird vorzugsweise auf bekannte Weise mittels einer durch eine Raumzeigermodulation gesteuerten Pulsweitenmodulation der Erregerwicklungsströme in Abhängigkeit von den Rotorstellungswerten R erzeugt.

[0031] Die Rotorstellungswerte R werden in unten anhand von **Fig. 2** näher erläuteter Weise von der Auswerteeinheit **17** aus Messwerten A, B für Rotorstellungen des Rotors **7** gebildet und der Kommutierungsvorrichtung **9** zugeführt, wobei erste Messwerte A von der ersten Sensorvorrichtung **13** und zweite Messwerte B von der zweiten Sensorvorrichtung **15** erfasst und jeweils der Auswerteeinheit **17** zugeführt werden.

[0032] Die erste Sensorvorrichtung **13** weist bei niedrigen Rotordrehzahlen, d. h. in einem von der Drehzahl Null begrenzten ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors **7** eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung **15** auf. Beispielsweise umfasst die erste Sensorvorrichtung **13** wenigstens einen Hallsensor, der zu einer hochauflösenden Erfassung der Rotorstellungen bei niedrigen Rotordrehzahlen ausgebildet ist. Die zweite Sensorvorrichtung **15** umfasst dagegen beispielsweise mehrere Hallschalter mit einer geringeren Winkelauflösung von jeweils etwa 60 Grad für die Rotorstellungen.

[0033] **Fig. 2** zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Betrieb der rotierenden elektrischen Maschine **1**.

[0034] In einem ersten Verfahrensschritt S1 wird ein Drehzahlschwellenwert C vorgegeben und gespeichert. In einem zweiten Verfahrensschritt S2 werden mittels der ersten Sensorvorrichtung **13** die ersten Messwerte A erfasst. In einem dritten Verfahrensschritt S3 werden mittels der zweiten Sensorvorrichtung **15** die zweiten Messwerte B erfasst. Dabei werden in aufeinander folgenden Messzeitintervallen jeweils ein erster Messwert A und ein zweiter Messwert B erfasst, d. h. es werden wiederholt und wenigstens annähernd gleichzeitig jeweils ein erster Messwert A und ein zweiter Messwert B erfasst. Im Folgenden werden ein erster Messwert A und ein zweiter Messwert B als zueinander korrespondierend bezeichnet, wenn sie während desselben Messzeitintervalls erfasst werden.

[0035] In einem vierten Verfahrensschritt S4 wird für jedes Messzeitintervall eine Differenz $B - A$ des in dem Messzeitintervall erfassten zweiten Messwerts B und des dazu korrespondierenden ersten Messwerts A gebildet.

[0036] In einem fünften Verfahrensschritt S5 wird für jedes Messzeitintervall ein Verhältnis N/C eines momentanen Drehzahlwertes N der Rotordrehzahl und des Drehzahlschwellenwertes C gebildet.

[0037] In einem sechsten Verfahrensschritt S6 wird in Abhängigkeit von dem in dem fünften Verfahrensschritt S5 gebildeten Verhältnis N/C für jedes Messzeitintervall ein Gewichtungsfaktor K gebildet, der Werte aus dem Intervall $[0,1]$ mit den Intervallgrenzen Null und Eins annimmt. Der Gewichtungsfaktor K ist eine monoton steigende Funktion des Verhältnisses N/C , die für $N = 0$ den Wert Null annimmt, im Bereich kleiner Werte des Verhältnisses N/C annähernd linear zunimmt und für Werte des Verhältnisses N/C , die größer als Eins sind, den Wert Eins annimmt.

[0038] In einem siebten Verfahrensschritt S7 wird für jedes Messzeitintervall ein gewichtetes Produkt $K(B - A)$ aus der in dem vierten Verfahrensschritt S4 für das Messzeitintervall gebildeten Differenz $B - A$ und dem in dem sechsten Verfahrensschritt S6 für das Messzeitintervall ermittelten Gewichtungsfaktor K gebildet.

[0039] In einem achten Verfahrensschritt S8 wird für jedes Messzeitintervall ein gewichteter Mittelwert M des ersten Messwerts A und des zweiten Messwerts B als Summe $M = KB + (1 - K)A$ des in dem dritten Verfahrensschritt S3 während des Messzeitintervalls erfassten ersten Messwerts A und des in dem siebten Verfahrensschritt S7 für das Messzeitintervall gebildeten gewichteten Produkts $K(B - A)$ gebildet. Da der Gewichtungsfaktor K eine monoton steigende Funktion des Verhältnisses N/C und damit auch des Drehzahlwertes N ist, ist die Gewichtung der ersten Messwerte A bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte M eine monoton fallende Funktion des Drehzahlwertes N, während die Gewichtung der zweiten Messwerte B bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte M eine monoton steigende Funktion des Drehzahlwertes N ist. Da der Gewichtungsfaktor K bei $N = 0$ den Wert Null annimmt, sind die gewichteten Mittelwerte M bei $N = 0$ mit den jeweiligen ersten Messwerten A identisch. Da der Gewichtungsfaktor K für $N > C$ den Wert Eins annimmt, sind die gewichteten Mittelwerte M für $N > C$ mit den jeweiligen zweiten Messwerten B identisch. Die Anteile der ersten Messwerte A an den gewichteten Mittelwerten M nehmen also mit zunehmender Rotordrehzahl zwischen $N = 0$ und $N = C$ ab und verschwinden für Drehzahlwerte N, die den Drehzahlschwellenwert C überschreiten. Die Anteile der zweiten Messwerte B an den gewichteten Mittelwerten M verschwinden bei $N = 0$ und nehmen zwischen $N = 0$ und $N = C$ zu.

[0040] In einem neunten Verfahrensschritt S9 wird für jedes Messzeitintervall der in dem achten Verfahrensschritt S8 gebildete gewichtete Mittelwert M geglättet und als Rotorstellungswert R an die Kommutierungsvorrichtung **9** ausgegeben. Die Glättung wird

als eine Tiefpassfilterung der gewichteten Mittelwerte M durchgeführt, so dass die resultierenden Rotorstellungswerte R als Eingangssignale für eine Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme verwendet werden können.

[0041] Optional werden in dem neunten Verfahrensschritt S9 außerdem aus den gewichteten Mittelwerten M die Drehzahlwerte N ermittelt, die in dem ersten Verfahrensschritt S1 verwendet werden. Alternativ dazu werden die Drehzahlwerte N nicht aus den gewichteten Mittelwerten M ermittelt, sondern mittels eines separaten (in Fig. 1 nicht dargestellten) Inkrementalgebers erfasst.

[0042] Die Verfahrensschritte S4 bis S9 werden von der Auswerteeinheit 17 ausgeführt und durch eine Software oder speicherprogrammierbare Steuerung realisiert.

[0043] 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.

Bezugszeichenliste

1	elektrische Maschine
3	Stator
5	Erregerwicklung
7	Rotor
9	Kommutierungsvorrichtung
11	Messvorrichtung
13	erste Sensorvorrichtung
15	zweite Sensorvorrichtung
17	Auswerteeinheit
19 bis 21	Außenleiter
S1 bis S9	Verfahrensschritt
A	erster Messwert
B	zweiter Messwert
C	Drehzahlschwellenwert
K	Gewichtungsfaktor
M	gewichteter Mittelwert
N	Drehzahlwert
R	Rotorstellungswert

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine (1) mit einem Rotor (3), einer mehrphasigen Erregerwicklung (5) und einer Kommutierungsvorrichtung (9) zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung (5) in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten (R) für Rotorstellungen des Rotors (3), wobei

– mittels einer ersten Sensorvorrichtung (13) erste Messwerte (A) für die Rotorstellungen erfasst werden,
 – mittels einer zweiten Sensorvorrichtung (15) zweite Messwerte (B) für die Rotorstellungen erfasst werden,
 – und die Rotorstellungswerte (R) für die Kommutierung der Erregerwicklungsströme aus gewichteten Mittelwerten (M) der ersten Messwerte (A) und der zweiten Messwerte (B) gebildet werden,
 – wobei die erste Sensorvorrichtung (13) in einem ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors (3) eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung (15) aufweist,
 – und wobei die ersten Messwerte (A) in dem ersten Drehzahlbereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) stärker als die zweiten Messwerte (B) gewichtet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Drehzahlbereich von der Drehzahl Null begrenzt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Gewichtung der ersten Messwerte (A) bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) eine monoton fallende und zumindest teilweise streng monoton fallende Funktion der Rotordrehzahl ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Gewichtung der zweiten Messwerte (B) bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) eine monoton steigende und zumindest teilweise streng monoton steigende Funktion der Rotordrehzahl ist, die bei der Drehzahl Null verschwindet.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Drehzahlschwellenwert (C) vorgegeben wird und eine Gewichtung der ersten Messwerte (A) bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) bei Rotordrehzahlen oberhalb des Drehzahlschwellenwerts (C) verschwindet.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Rotordrehzahlen des Rotors (3) aus den erfassten ersten Messwerten (A) und/oder zweiten Messwerten (B) ermittelt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gewichteten Mittelwerte (M) der ersten Messwerte (A) und der zweiten Messwerte (B) geglättet werden und die Rotorstellungswerte (R) als die geglätteten gewichteten Mittelwerte (M) gebildet werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kommutierung der Erregerwicklungsströme mittels der Kommutierungsvorrichtung (9) für alle Rotordrehzahlen als eine Sinuskommutierung ausgeführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme mittels einer durch eine Raumzeitmodulation gesteuerten Pulsweitenmodulation erzeugt wird.

10. Messvorrichtung (11) zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend

- eine erste Sensorvorrichtung (13) zur Erfassung der ersten Messwerte (A) für die Rotorstellungen,
- eine zweite Sensorvorrichtung (15) zur Erfassung der zweiten Messwerte (B) für die Rotorstellungen und
- eine Auswerteeinheit (17), die dazu ausgebildet ist, die Rotorstellungswerte (R) für die Kommutierung der Erregerwicklungsströme aus gewichteten Mittelwerten (M) der ersten Messwerte (A) und der zweiten Messwerte (B) zu bilden,
- wobei die erste Sensorvorrichtung (13) in dem ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors (3) eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung (15) aufweist,
- und wobei die Auswerteeinheit (17) dazu ausgebildet ist, die ersten Messwerte (A) in dem ersten Drehzahlbereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) stärker als die zweiten Messwerte (B) zu gewichten
- und die von ihr gebildeten Rotorstellungswerte (R) an die Kommutierungsvorrichtung (9) auszugeben.

11. Messvorrichtung (11) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Sensorvorrichtung (13) wenigstens einen Winkellagesensor zur Erfassung der ersten Messwerte (A) für die Rotorstellungen umfasst.

12. Messvorrichtung (11) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Sensorvorrichtung (15) wenigstens drei Hallschalter mit einer Winkelauflösung von etwa 60 Grad für die Rotorstellungen umfasst.

13. Messvorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (17) dazu ausgebildet ist, Rotordrehzahlen des Rotors (3) aus den erfassten ersten Messwerten (A) und/oder zweiten Messwerten (B) zu ermitteln.

14. Messvorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (17) dazu ausgebildet ist, die gewichteten Mittelwerte (M) der ersten Messwerte (A)

und der zweiten Messwerte (B) zu glätten und die Rotorstellungswerte (R) als die geglätteten gewichteten Mittelwerte (M) zu bilden.

15. Rotierende elektrische Maschine (1), umfassend

- einen Rotor (3),
- eine mehrphasige Erregerwicklung (5),
- eine Kommutierungsvorrichtung (9) zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung (5) in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten (R) für Rotorstellungen des Rotors (3)
- und eine Messvorrichtung (11) gemäß einem der Ansprüche 10 bis 14.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

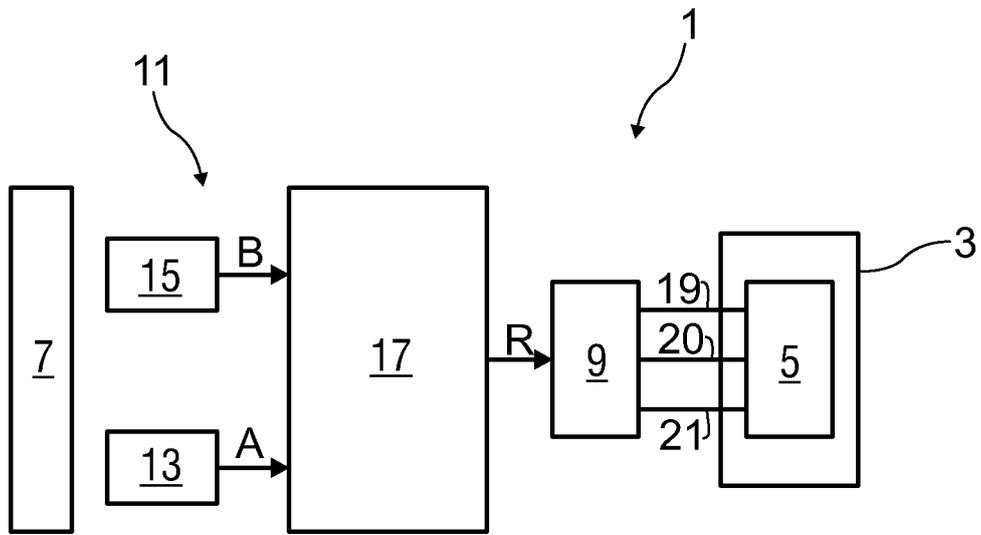


FIG 1

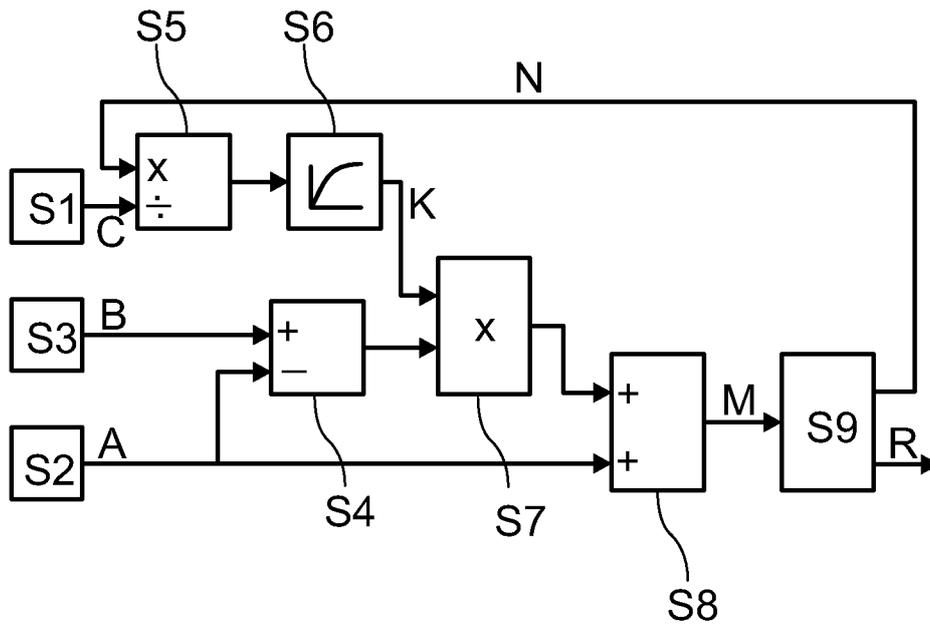


FIG 2