



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2005 062 588 A1 2007.06.28

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2005 062 588.6

(22) Anmeldetag: 27.12.2005

(43) Offenlegungstag: 28.06.2007

(51) Int Cl.⁸: **H02P 29/02** (2006.01)
G01K 13/08 (2006.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

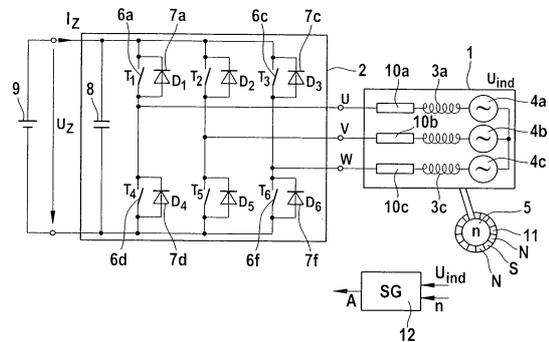
(72) Erfinder:

Eisenhardt, Martin, 71272 Renningen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bestimmen der Magnettemperatur bei Synchronmaschinen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Magnettemperatur einer permanent erregten elektrischen Maschine (1). Die Magnettemperatur (T) kann besonders einfach und genau bestimmt werden, wenn eine Phasenspannung (U_{ind}) und die Drehzahl (n) der elektrischen Maschine (1) gemessen und daraus die Magnettemperatur (T) bestimmt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Magnettemperatur einer elektrischen, insbesondere, permanent erregten, elektrischen Maschine gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sowie eine entsprechende Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 7.

[0002] In Hybrid-Fahrzeugen werden häufig permanent erregte elektrische Maschinen als elektrischer Antrieb eingesetzt. Permanent erregte Synchronmaschinen umfassen einen Rotor, in dem üblicherweise die Magnete, die den magnetischen Fluss erzeugen, angeordnet sind. Die Magnete sind relativ temperaturempfindlich und können bei Temperaturen, die unter Umständen bereits im normalen Fahrbetrieb eines Hybrid-Fahrzeugs erreicht werden, dauerhaft geschädigt werden. Um dies zu verhindern, werden die Phasenströme ab Erreichen einer kritischen Magnettemperatur üblicherweise begrenzt.

[0003] Da der Rotor ein sich drehendes Bauteil ist und die Magnettemperatur somit nur mit hohem Aufwand direkt gemessen werden kann, wird die Magnettemperatur in der Regel aus der gemessenen Stator-Temperatur abgeschätzt. Bei dieser Abschätzung der Magnettemperatur wird davon ausgegangen, dass der Rotor und die Permanentmagnete etwa die gleiche Temperatur besitzen wie der Stator. Diese Abschätzung ist jedoch insbesondere bei transienten Vorgängen stark fehlerbehaftet.

[0004] Um einen ausreichend hohen Sicherheitsabstand zu einer maximal zulässigen Magnettemperatur einzuhalten, muss die Temperaturschwelle für die vorstehend genannte Begrenzung des Phasenstroms relativ niedrig gewählt werden. Die maximale Leistung der Maschine kann somit nicht vollständig ausgenutzt werden.

[0005] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Bestimmen der Magnettemperatur der Magnete einer permanent erregten elektrischen Maschine zu schaffen, mit dem die Magnettemperatur wesentlich genauer bestimmt und somit die elektrische Maschine bis zu höheren Temperaturen mit maximaler Leistung eingesetzt werden kann.

[0006] Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die im Patentanspruch 1 sowie im Patentanspruch 7 angegebenen Merkmale. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

[0007] Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung besteht darin, eine Phasenspannung und die Drehzahl der elektrischen Maschine zu messen und die Magnettemperatur aus der Phasenspannung und der

Drehzahl zu bestimmen. Dabei nutzt die Erfindung die Erkenntnis, dass der von den Magneten erzeugte magnetische Fluss ψ eine Funktion der Magnettemperatur T ist, wobei gilt:

$$\psi = f(T).$$

[0008] Für die Magnettemperatur T gilt entsprechend:

$$T = f^{-1}(\psi).$$

[0009] Der magnetische Fluss ψ kann über das Induktionsgesetz ermittelt werden, wonach gilt:

$$U_{\text{ind}} = \omega \psi$$

bzw.

$$\psi = U_{\text{ind}}/\omega$$

U_{ind} induzierte Spannung der elektrischen Maschine im Leerlauf
 ω elektrische Kreisfrequenz

[0010] Die elektrische Kreisfrequenz ω ist:

$$\omega = 2 \pi n p / 60$$

mit

p Polpaarzahl
 n Drehzahl der Maschine

[0011] Somit gilt:

$$T = f(\psi) = f(U_{\text{ind}}, n)$$

[0012] Die Magnettemperatur kann somit aus der induzierten Spannung U_{ind} und der Drehzahl n ermittelt werden. Dies hat den wesentlichen Vorteil, dass die Magnettemperatur wesentlich genauer bestimmt und somit die elektrische Maschine bis zu einer höheren Temperaturschwelle mit hoher Leistung betrieben werden kann. Erst nach Erreichen dieser hohen Schwelle müssen Maßnahmen zum Schutz der elektrischen Maschine eingeleitet werden.

[0013] Die induzierte Phasenspannung U_{ind} wird vorzugsweise im Leerlauf der elektrischen Maschine gemessen. Im Leerlauf sind die Leistungsschalter des Pulswechselrichters alle geöffnet und die an den Klemmen der Maschine anliegende Phasenspannung U_{ind} ist sinusförmig.

[0014] Die induzierte Spannung U_{ind} kann beispielsweise zwischen beliebigen zwei der Phasen, z. B. U und V , oder zwischen einer Phase und einem Bezugspotential gemessen werden. Für die nachfolgende Berechnung wird vorzugsweise der Scheitelwert

der gemessenen Phasenspannung ermittelt. Dieser entspricht der vorstehend genannten induzierten Spannung U_{ind} .

[0015] Die Magnettemperatur T kann z. B. analytisch anhand der genannten Funktion $T = f(n, U_{\text{ind}})$ berechnet oder aus einem entsprechenden Kennfeld abgelesen werden.

[0016] Die elektrische Maschine ist vorzugsweise mit einem Pulswechselrichter verbunden. In diesem Fall wird die Phasenspannung vorzugsweise bei einer Drehzahl gemessen, die kleiner als eine vorgegebene Maximaldrehzahl ist. Dadurch wird sichergestellt, dass die Phasenspannung die Zwischenkreis- bzw. Netzspannung nicht übersteigt und die Freilaufdioden des Pulswechselrichters nicht leitend werden.

[0017] Die Erfindung wird nachstehend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft näher erläutert.

[0018] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer permanent erregten Synchronmaschine **1** mit einem Pulswechselrichter **2** (PWR). Der PWR **2** bestimmt Leistung und Betriebsart der elektrischen Maschine **1** und wird von einem Steuergerät **12** entsprechend angesteuert. Dadurch kann die elektrische Maschine **1** wahlweise im Motor- oder Generatorbetrieb betrieben werden. Im Motorbetrieb erzeugt die elektrische Maschine ein zusätzliches Antriebsmoment, das den Verbrennungsmotor z. B. in einer Beschleunigungsphase unterstützt. Im Generatorbetrieb wird dagegen mechanische Energie in elektrische Energie gewandelt und in einem Energiespeicher, wie z. B. einer Batterie **9** oder einem Super-Cap gespeichert.

[0019] Die elektrische Maschine **1** ist hier 3-phasig ausgeführt (Phasen U, V, W) und umfasst einen Stator mit drei Strängen **3a–3c** und einen Rotor mit mehreren Permanentmagneten **11**. Die ohmschen Widerstände der Stränge **3a–3c** sind mit **10a–10c** gekennzeichnet.

[0020] Die drei Phasen U, V, W der elektrischen Maschine **1** sind jeweils mit dem Pulswechselrichter verbunden. Der PWR **2** umfasst in bekannter Weise mehrere Schalter **6a–6f**, mit denen die einzelnen Phasen U, V, W wahlweise mit einem Zwischenkreis-Potential U_z oder einem Bezugspotential (Masse) verbunden werden können. Der PWR **2** umfasst ferner mehrere Freilaufdioden **7a–7f**, die jeweils parallel zu einem der Schalter **6a–6f** geschaltet sind.

[0021] Um die Magnettemperatur der Permanentmagneten **11** zu bestimmen, wird, wie eingangs beschrieben, ein mathematisches Modell herangezogen, das im Steuergerät **12** hinterlegt ist. Der Algorithmus bestimmt die Magnettemperatur T aus der in-

duzierten Spannung U_{ind} und der Drehzahl n der elektrischen Maschine **1**. Dabei gilt:

$$T = f(\psi) = f(n, U_{\text{ind}})$$

[0022] Die Drehzahl n der elektrischen Maschine wird mittels eines Drehzahlsensors **5** gemessen. Die in den Ständerwicklungen **3a–3c** induzierte Spannung ist hier durch Spannungsquellen **4a–4c** schematisch dargestellt. Als induzierte Spannung U_{ind} kann beispielsweise die Spannung zwischen zwei der Phasen, z. B. U und V, oder die Spannung zwischen einer der Phasen, U, V, W, und einem Bezugspotential gemessen werden. Diese Spannung ist sinusförmig und wird vorzugsweise im Leerlauf der Maschine **1** gemessen. Im Leerlauf sind alle sechs Leistungsschalter **6a–6f** des Pulswechselrichters **2** geöffnet.

[0023] Die Drehzahl der elektrischen Maschine **1** muss bei der Messung hinreichend groß sein, darf aber andererseits auch eine maximale Drehzahl, ab der die Freilaufdioden **7a–7f** als Gleichrichterbrücke wirken, nicht überschreiten. Die Phasenspannungen wären ansonsten verzerrt und nicht mehr sinusförmig.

[0024] Die Spannungs- und Drehzahl-Signale (U_{ind} bzw. n) werden dem Steuergerät **12** am Eingang zugeführt. Der im Steuergerät **12** hinterlegte Algorithmus verarbeitet die Werte und bestimmt daraus die Magnettemperatur T . Bei Überschreiten einer vorgegebenen Temperaturschwelle erzeugt das Steuergerät **12** ein Ausgangssignal A für den Pulswechselrichter **2**, mit dem die Leistung der elektrischen Maschine **1** reduziert wird.

[0025] Die vorstehend genannte Funktion kann entweder analytisch oder z. B. als Kennfeld in einem Steuergerät hinterlegt sein. Die Magnettemperatur lässt sich auf diese Weise besonders genau und einfach bestimmen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der Magnettemperatur (T) einer elektrischen, insbesondere permanent erregten, elektrischen Maschine (**1**), **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Phasenspannung (U_{ind}) und die Drehzahl (n) der elektrischen Maschine (**1**) gemessen und daraus die Magnettemperatur (T) bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenspannung (U_{ind}) im Leerlauf der elektrischen Maschine (**1**) gemessen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Scheitelwert der Phasenspannung (U_{ind}) ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnettemperatur (T) anhand einer Funktion $T = f(n, U_{ind})$ berechnet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenspannung (U_{ind}) bei einer Drehzahl (n) gemessen wird, die kleiner als eine vorgegebene Maximaldrehzahl ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenströme der elektrischen Maschine (1) begrenzt werden, wenn die Magnettemperatur (T) einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

7. Vorrichtung zum Bestimmen der Magnettemperatur (T) einer elektrischen, insbesondere permanent erregten, elektrischen Maschine (1), gekennzeichnet durch ein Steuergerät (12) mit einem Algorithmus zum Bestimmen der Magnettemperatur (T), der aus einem Phasenspannungs-Signal (U_{ind}) und einem Drehzahl-Signal (n), die dem Steuergerät (12) zugeführt werden, die Magnettemperatur (T) bestimmt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät (12) ein Ausgangssignal (A) zum Ansteuern eines Pulswechselrichters (2) erzeugt.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

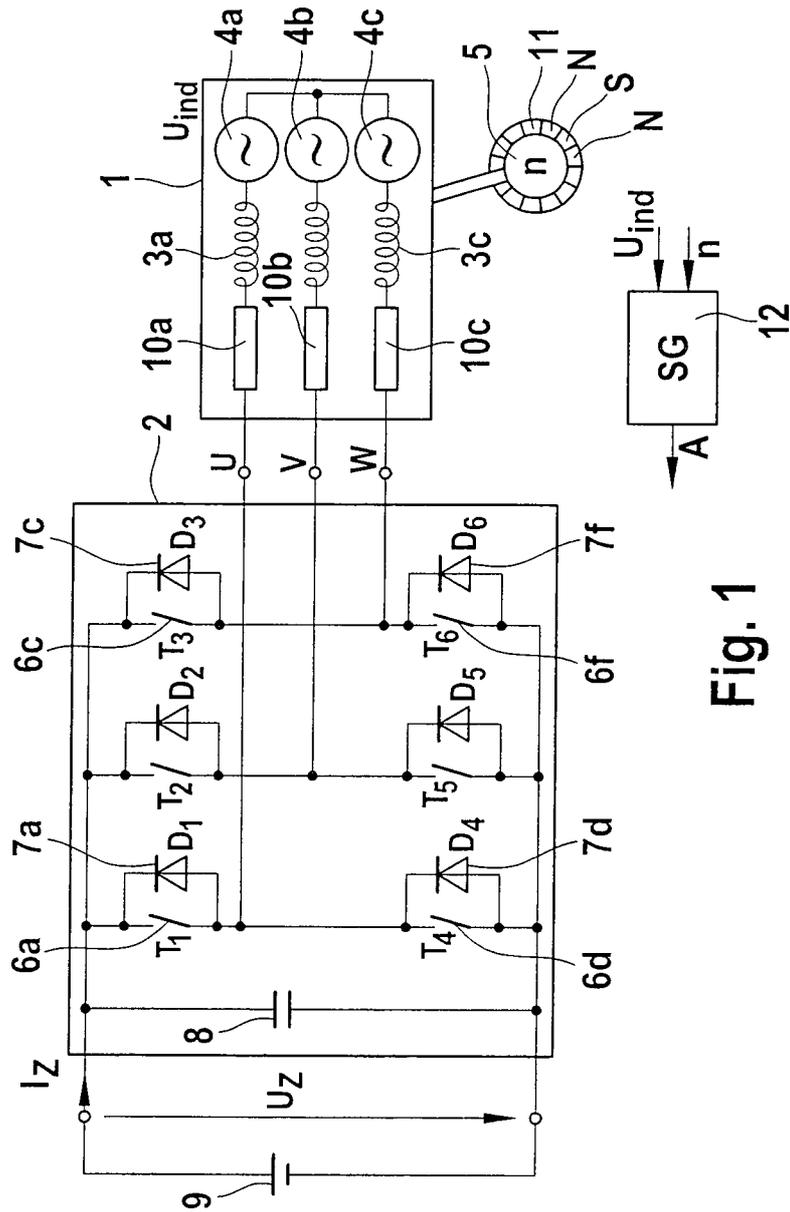


Fig. 1