

(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
14. Juni 2012 (14.06.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/076357 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 21/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/071191

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. November 2011 (28.11.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10194160.7 8. Dezember 2010 (08.12.2010) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **POTORADI, Detlef**
[DE/DE]; Schlehenweg Nr. 7, 97616 Bad Neustadt/Saale
(Mühlbach) (DE). **VOLLMER, Rolf** [DE/DE];
Espenlaubstraße 13, 36129 Gersfeld (DE). **VAN RIESEN,**
Dirk [DE/DE]; Hauptstraße 116, 97941
Tauberbischofsheim (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
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.

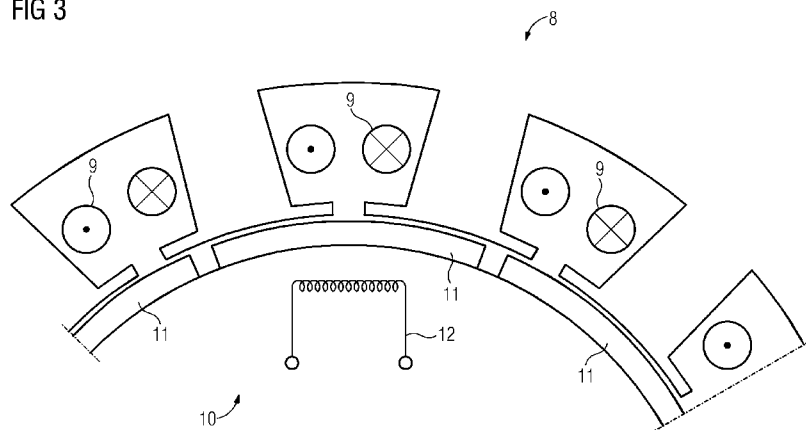
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTRIC MOTOR WITH PERMANENT-MAGNET EXCITATION HAVING A HEATING DEVICE, AND
OPERATING METHOD

(54) Bezeichnung : PERMANENTMAGNETERREGTER ELEKTROMOTOR MIT HEIZEINRICHTUNG UND
BETRIEBSVERFAHREN

FIG 3



(57) Abstract: The aim of the invention is to provide an electric motor which has a high torque at low rotation speeds and a high power at high rotation speeds. The invention therefore proposes an electric motor with permanent-magnet excitation having a first active part (10), which is fitted with permanent magnets (11), and a second active part (10), which can be moved in relation to the first active part (10) by magnetic force of the permanent magnets (11). The electric motor also has a heating device (12) with which the magnetic field of at least one of the permanent magnets (11) can be weakened by heating the permanent magnets as a function of a speed of the first active part (10) in relation to the second active part (8).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/076357 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Es soll ein Elektromotor bereitgestellt werden, der bei geringen Drehzahlen ein hohes Drehmoment und bei hohen Drehzahlen eine hohe Leistung besitzt. Daher wird ein permanentmagneterregter Elektromotor mit einem ersten Aktivteil (10), das mit Permanentmagneten (11) besetzt ist, und einem zweiten Aktivteil (8), das durch Magnetkraft der Permanentmagnete (11) gegenüber dem ersten Aktivteil (10) bewegbar ist, vorgeschlagen. Der Elektromotor besitzt außerdem eine Heizeinrichtung (12), mit der das Magnetfeld mindestens eines der Permanentmagnete (11) durch Erwärmen des Permanentmagneten in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit des ersten Aktivteils (10) gegenüber dem zweiten Aktivteil (8) schwächbar ist.

Beschreibung

Permanentmagnetenerregter Elektromotor mit Heizeinrichtung und Betriebsverfahren

5

Die vorliegende Erfindung betrifft einen permanentmagnetere-
regten Elektromotor mit einem ersten Aktivteil, das mit Per-
manentmagneten besetzt ist, und einem zweiten Aktivteil, das
durch Magnetkraft der Permanentmagnete gegenüber dem ersten
10 Aktivteil bewegbar ist. Darüber hinaus betrifft die vorlie-
gende Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines permanent-
magnetenerregten Elektromotors der oben genannten Art.

Das Drehmoment von Elektromotoren nimmt typischerweise mit
15 steigender Drehzahl ab. In dem Diagramm von FIG 1 ist dies
beispielhaft dargestellt. Die Kennlinie 1 repräsentiert einen
PM-Synchronmotor mit starken Permanentmagneten. Ihre Rema-
nenzinduktion B_r beträgt 1,1 T. Der Synchronmotor besitzt bei
kleinen Drehzahlen ein Drehmoment bis über 25 Nm. Das Drehmo-
20 ment fällt mit steigender Drehzahl rasch ab und erreicht bei
etwa 4500 min^{-1} den Wert 0 Nm. Dies bedeutet, dass diese Syn-
chronmaschine bei kleinen Drehzahlen ein hohes Drehmoment be-
sitzt, bei hohen Drehzahlen aber nur eine geringe Leistung.

25 Die Kennlinie 2 in FIG 1 repräsentiert einen PM-Synchronmotor
mit schwächeren Permanentmagneten. Bei geringen Drehzahlen
erreicht das Drehmoment fast 20 Nm und es sinkt dann auf 0 Nm
ab bei etwa 6200 min^{-1} . Die Remanenzinduktion B_r beträgt bei
diesen Permanentmagneten 0,8 T. Die Synchronmaschine hat da-
30 mit bei kleinen Drehzahlen zwar ein geringeres Drehmoment
aber bei höheren Drehzahlen bereits eine höhere Leistung.

Weiterhin repräsentiert die Kennlinie 3 einen PM-Synchron-
motor mit verhältnismäßig schwachen Permanentmagneten. Die
35 Remanenzinduktion B_r beträgt hier 0,4 T. Bei kleinen Drehzah-
len erreicht das Drehmoment den Wert 10 Nm. Das Drehmoment
sinkt nur langsam ab und besitzt bei 8000 min^{-1} immer noch
etwa einen Wert von 5 Nm. Dies wiederum bedeutet, dass der

PM-Synchronmotor bei niedrigen Drehzahlen ein geringes Drehmoment besitzt, bei hohen Drehzahlen hingegen eine sehr hohe Leistung erbringen kann.

- 5 Die Permanentmagnete einer Synchronmaschine sind damit entsprechend ihrem gewünschten Arbeitspunkt (Drehzahl) zu wählen. Wird ein hohes Drehmoment bei geringen Drehzahlen gefordert, so sind starke Permanentmagnete einzusetzen. Wenn hingegen eine hohe Leistung bei hohen Drehzahlen gefordert ist,
10 sind eher schwächere Permanentmagnete einzusetzen.

Soll bei geringer Drehzahl ein hohes Drehmoment und bei hohen Drehzahlen eine hohe Leistung erzielt werden, so bedient man sich bei PM-Maschinen der Feldschwächung der Permanentmagnete. Dies wird dadurch erreicht, dass ein Längsstrom, dessen
15 Feld sich dem Feld der Permanentmagnete überlagert und dieses dadurch schwächt, eingeprägt wird. Nachteil davon ist zum einen, dass dieser feldschwächende Strom seinerseits Verluste in den Wicklungen erzeugt. Zum anderen darf der eingeprägte
20 Strom nicht zu groß werden, damit die Permanentmagnete nicht irreversibel geschwächt werden. Des Weiteren entstehen Oberwellenfelder durch Sättigung, die wieder die Eisenverluste erhöhen.

- 25 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, einen permanentmagneterregten Elektromotor bereitzustellen, mit dem bei geringen Drehzahlen ein hohes Drehmoment und bei hohen Drehzahlen eine hohe Leistung ohne die oben genannten Nachteile erreicht werden können. Darüber hinaus soll ein
30 entsprechendes Verfahren zum Betreiben eines Elektromotors bereitgestellt werden.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch einen permanentmagneterregten Elektromotor mit einem ersten Aktivteil,
35 das mit Permanentmagneten besetzt ist, und einem zweiten Aktivteil, das durch Magnetkraft der Permanentmagnete gegenüber dem ersten Aktivteil bewegbar ist, sowie mit einer Heizeinrichtung, mit der das Magnetfeld mindestens eines der Perma-

nentmagnete durch Erwärmen des Permanentmagneten in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit des ersten Aktivteils gegenüber dem zweiten Aktivteil schwächbar ist.

5 Darüber hinaus wird erfindungsgemäß bereitgestellt ein Verfahren zum Betreiben eines permanentmagneterregten Elektromotors, der ein erstes Aktivteil, das mit Permanentmagneten besetzt ist, und ein zweites Aktivteil, das durch Magnetkraft der Permanentmagnete gegenüber dem ersten Aktivteil bewegbar
10 ist, aufweist, durch Bewegen des ersten Aktivteils gegenüber dem zweiten Aktivteil, und Erwärmen mindestens eines der Permanentmagnete in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit des ersten Aktivteils gegenüber dem zweiten Aktivteil, so dass das Magnetfeld des Permanentmagneten geschwächt wird.

15

 In vorteilhafter Weise wird das Magnetfeld der Permanentmagnete durch die Erwärmung echt geschwächt, denn die Remanenzreduktion B_r sinkt mit steigender Temperatur. Die Permanentmagnete werden also bei niedrigen Drehzahlen auf einer niedrigeren Temperatur betrieben und bei einer höheren Drehzahl auf einer deutlich höheren Temperatur, da sie durch die Heizeinrichtung z. B. bei den hohen Drehzahlen zusätzlich bewusst
20 geheizt werden.

25 Vorzugsweise handelt es sich bei dem ersten Aktivteil um einen Rotor und bei dem zweiten Aktivteil um einen Stator, wobei sich die Geschwindigkeit der beiden Aktivteile zueinander aus der Drehzahl des Rotors ergibt. Prinzipiell kann natürlich auch ein Linearmotor von der vorliegenden Erfindung profitieren, wobei dann das erste Aktivteil das Primärteil und
30 das zweite Aktivteil das Sekundärteil oder umgekehrt ist.

 Darüber hinaus können mit der Heizeinrichtung alle Permanentmagnete des ersten Aktivteils in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit erwärmbar sein. Je nach gewünschtem Ziel können
35 somit nur einzelne oder alle Permanentmagnete zur Reduktion ihrer Remanenzinduktion erwärmt werden.

In einer speziellen Ausführungsform kann die Heizeinrichtung ein gegenüber dem zweiten Aktivteil separates Heizelement, insbesondere eine Heizwendel oder einen Heizwiderstand, aufweisen. Alternativ können für die Heizung auch Peltierelemente oder andere Bauelemente benutzt werden. Ebenfalls wird bei dieser Ausführungsform zusätzlich zu dem ersten und zweiten Aktivteil eine weitere separate Vorrichtung, nämlich die Heizeinrichtung in dem Elektromotor verbaut, um die Permanentmagnete des ersten Aktivteils zu heizen. Dies hat den Vorteil, dass die Ansteuerung der Aktivteile vollkommen unabhängig von der Ansteuerung der Heizeinrichtung sein kann.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform wird für das Heizen der Permanentmagnete des ersten Aktivteils das zweite Aktivteil mit verwendet. Die Heizeinrichtung umfasst daher das zweite Aktivteil und eine Ansteuereinrichtung, mit der eine Taktfrequenz und/oder ein Signalmuster des Ansteuersignals für das zweite Aktivteil zum Zwecke der gezielten Erwärmung des ersten Aktivteils bzw. der Magnete des ersten Aktivteils einstellbar ist/sind. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass keine zusätzlichen Elemente in dem Elektromotor zum Heizen der Permanentmagnete vorgesehen sein müssen. Vielmehr erfolgt die Heizung durch die geschickte Ansteuerung des zweiten Aktivteils mit einem Ansteuersignal, so dass im ersten Aktivteil Ströme induziert werden, die entsprechende Verluste hervorrufen, welche zu einer (üblicherweise nicht gewollten) Erwärmung führen.

In besonders vorteilhafter Weise besitzt der Temperaturkoeffizient der Remanenzinduktion des Magnetmaterials einen mittleren Wert zwischen $-0,4 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ und $-0,6 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ im Temperaturbereich von 20°C bis 150°C . Dabei stellt der Temperaturkoeffizient einen linearisierten Wert (Steigung) des Temperaturverlaufs der Remanenzinduktion dar. Damit wird eine deutliche Temperaturabhängigkeit generiert, die aber noch nicht so stark ist, dass durch minimale Eigenerwärmung bereits eine deutliche Feldschwächung hervorgerufen wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird also zur Schwächung des Magnetfelds des Permanentmagneten dieser in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des ersten Aktivteils bzw. Rotors erwärmt. Auch bei diesem Verfahren stehen die beiden oben ge-
5 nannten Methoden zur Verfügung. Zum einen kann die zusätzlich benötigte Wärme durch Wärmeenergie aus einem separaten Heizelement oder aber durch spezielle Ansteuerung des zweiten Aktivteils und Induktion im ersten Aktivteil gewonnen werden. Im letzteren Fall wird die Taktfrequenz und/oder ein Signalmuster des Ansteuersignals zur Ansteuerung des zweiten Aktiv-
10 teils bei einer gegebenen Geschwindigkeit so gewählt, dass die durch Induktion hervorgerufene Verlustwärme im ersten Aktivteil deutlich größer ist als eine minimale Verlustwärme, die sich einstellt, wenn das erste Aktivteil nicht bewusst
15 geheizt wird.

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in denen zeigen:

- 20 FIG 1 ein Diagramm von Dauerdrehmomenten über der Drehzahl von PM-Synchronmaschinen mit unterschiedlichen Permanentmagneten;
FIG 2 Entmagnetisierungskurven für einen Magnetwerkstoff bei unterschiedlichen Temperaturen und
25 FIG 3 einen Querschnitt durch einen Teil eines PM-Synchronmotors mit separater Heizung für die Permanentmagnete.

Die nachfolgend näher geschilderten Ausführungsbeispiele
30 stellen bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dar.

Wie eingangs erwähnt wurde, soll eine elektrische Maschine (insbesondere Synchronmaschine) mit Permanentmagneterregung
35 (PM-Maschine) aufgebaut werden, die bei geringen Drehzahlen ein hohes Drehmoment und bei hohen Drehzahlen eine hohe Leistung besitzt (vgl. FIG 1). Das Drehmoment einer PM-Maschine ist proportional zur Luftspaltinduktion und somit zur Rema-

nenz der Magnete. Auch die Eisenverluste bei der Drehzahl sind von der Induktion und somit von der Remanenz abhängig, so dass es für jeden Betriebspunkt (Betriebsdrehzahl) eine optimale Remanenz gibt. Für das thermisch zulässige Drehmoment bzw. den optimalen Wirkungsgrad gilt näherungsweise

$$M(B_r, n) = c \cdot B_r - c_1 \cdot B_r^2 \cdot n^2$$

$$\eta(B_r, n) = \frac{k \cdot B_r \cdot n - k_1 \cdot B_r^2 \cdot n^2}{k \cdot B_r \cdot n + k_2 \cdot \frac{1}{B_r^2}}$$

Hierbei repräsentiert B_r die Remanenz und n die Drehzahl des Rotors der PM-Maschine. Die Buchstaben c , c_1 , k , k_1 und k_2 stellen Konstanten dar. Das Drehmoment M und der Wirkungsgrad η sind somit Funktionen der Remanenz B_r und der Drehzahl n .

Das Drehmoment kann also für jede Drehzahl über der Remanenz als Parabel mit Spitze nach oben dargestellt werden. An dem Maximum lässt sich der optimale Remanenzwert für die jeweilige Drehzahl erkennen.

Je höher die Drehzahl ist, umso niedriger muss die Remanenz sein, um das maximale Drehmoment und einen optimalen Wirkungsgrad zu erreichen. Das Ziel ist es nun, beispielsweise bei einer PM-Synchronmaschine eine echte drehzahlabhängige Feldschwächung zu erreichen. Dies wird durch eine gezielte Erhöhung der Temperatur der Permanentmagnete über die Mindesttemperatur hinaus erreicht, die sich beim üblichen Betrieb mit dem Ziel möglichst geringer Verlustwärme einstellt. Um den Effekt der Feldschwächung durch zusätzliche Wärme besser ausnutzen zu können, sollten spezielle Magnetmaterialien eingesetzt werden.

FIG 2 zeigt für ein typisches Magnetmaterial Entmagnetisierungskurven bei verschiedenen Temperaturen. An der Ordinate sind die Remanenzinduktionen B_r und an der Abszisse bei $B = 0$ T die Koerzitivfeldstärken abzulesen. Die Remanenzinduktion B_r sinkt also für dieses Material bei einer Temperaturerhö-

5 hung von 20 °C auf 240 °C von etwas unter 1,2 T auf etwas über 0,8 T ab. Dies entspricht einem Temperaturkoeffizienten TK (B_r) der Remanenzinduktion von etwa -0,11 %/°C. Typische Werte für diesen Temperaturkoeffizienten liegen zwischen
10 -0,09 %/°C bis -0,11 %/°C. Damit jedoch die Feldschwächung bei Temperaturerhöhung vergrößert wird, sollte ein Material mit einem Temperaturkoeffizienten im Bereich -0,4 %/°C bis -0,6 %/°C gewählt werden. Die Entmagnetisierungskurve für ein
15 derartiges Material ist in FIG 2 mit dem Bezugszeichen 4 gekennzeichnet. Diese Entmagnetisierungskurve 4 gilt für die Temperatur von 150°C. Für das typische Magnetmaterial ergibt sich hingegen die Entmagnetisierungskurve 5 für 150°C. Die wesentlich höhere Temperaturabhängigkeit des Materials mit der Entmagnetisierungskurve 4 ist deutlich zu erkennen. Mit
20 dem Magnetmaterial gemäß Entmagnetisierungskurve 4 ist es möglich, durch Erhöhung der Temperatur des Permanentmagneten dessen Feld zu schwächen. Die maximale Koerzitivfeldstärke und damit die Entmagnetisierungsfestigkeit des Magneten sollte sich hingegen möglichst wenig mit der Temperatur ändern (TK(H_c)). Der Knick der Entmagnetisierungskurve 4 sollte beispielsweise auch bei etwa -1200 kA/m liegen wie bei der Entmagnetisierungskurve 5 des typischen Magnetmaterials.

25 Das Absinken der Remanenzinduktion B_r durch die erfindungsgemäße Erwärmung in Abhängigkeit von der Drehzahl hat nun zur Folge, dass die PM-Maschine bei niedrigen Drehzahlen mit starken Magneten und bei hohen Drehzahlen mit schwachen Magneten ausgestattet ist. Im Hinblick auf FIG 1 verläuft das maximale Drehmoment wegen der drehzahlabhängigen Erwärmung
30 der Permanentmagnete nun entlang der Kurve 6, die bei niedrigen Drehzahlen entlang der Kurve 1 und bei hohen Drehzahlen entlang der Kurve 3 verläuft. War bei PM-Maschinen mit einem Magnetmaterial beispielsweise entsprechend der Kurve 1 bislang also nur der Bereich unterhalb der Kurve 1 nutzbar, so
35 ergibt sich durch die Erfindung für das gleiche Material der zusätzliche, in FIG 1 schraffierte Einsatzbereich 7 der PM-Maschine. Es ist damit leicht zu erkennen, dass durch die Erwärmung der Permanentmagnete in Abhängigkeit von der Drehzahl

und damit durch die Reduktion der Remanenzinduktion in Abhängigkeit von der Drehzahl bei hohen Drehzahlen auch eine hohe Leistung abgegriffen werden und gleichzeitig bei niedrigen Drehzahlen ein hohes Drehmoment zur Verfügung steht.

5

Die Erhöhung der Temperatur des Magneten kann auf verschiedene Arten erreicht werden. Zum einen kann der Magnet bzw. Permanentmagnet durch eine separate geeignete Heizeinrichtung erwärmt werden, wie dies in FIG 3 symbolisiert ist. Es ist dort der Stator 8 (zweites Aktivteil) mit seinen Wicklungen 9 zu erkennen. Radial innerhalb des Stators 8 ist ein Rotor 10 (erstes Aktivteil) mit Permanentmagneten 11 angeordnet. Symbolisch ist ein Heizelement 12 unterhalb eines Permanentmagneten 11 angedeutet. Das Heizelement 12 kann eine Heizwendel, ein einfach angebrachter Heizwiderstand, ein Heizdraht, ein Peltierelement oder dergleichen sein. Wesentlich bei dieser Art Beheizung ist, dass es gegenüber den anderen Komponenten des Elektromotors und insbesondere gegenüber dem Stator 8 (zweites Aktivteil) separat ist. Das Heizelement 12 wird unabhängig von den Wicklung 9 des Stators 8 angesteuert.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Heizung der Permanentmagnete 11 auch durch den Stator 8, d. h. mittelbar über das zweite Aktivteil erfolgen. Dies kann durch die Eisenverluste im Rotor 10 und Wirbelstromverluste im Magneten 11 erreicht werden. Diese Verluste sind nämlich von der Taktfrequenz eines Umrichters und von dem Schaltmuster bzw. Ansteuerungsgrad des Ansteuersignals abhängig, mit dem die PM-Maschine angesteuert wird. Die Taktfrequenz und das Schaltmuster bzw. der Ansteuerungsgrad lässt sich in einer geeigneten Ansteuereinrichtung, die die PM-Maschine ansteuert, einstellen. Die Ansteuereinrichtung umfasst dabei üblicherweise den Umrichter. Die Erwärmung wird also hier durch entsprechende Ansteuerung des Stators verursacht, während sie im vorhergehenden Beispiel durch entsprechende Ansteuerung eines separaten Heizelements im oder am Rotor erfolgt.

Die gewünschte Erwärmung der Permanentmagnete bei hohen Drehzahlen lässt sich auf einfache Weise auch folgendermaßen erzielen. Bei höheren Drehzahlen sind die Eisenverluste, auch im Rotor 10, hoch. Dadurch wird der Rotor 10 und damit der
5 bzw. die Magnete 11 erwärmt. Es ergibt sich eine automatische Feldschwächung, die bei den höheren Drehzahlen gewünscht ist. Um den gewünschten Effekt in ausreichendem Maße zu erzielen, ist dann ein geeignetes Material entsprechend der Entmagnetisierungskurve 4 von FIG 2 mit betragsmäßig ausreichend hohem
10 Temperaturkoeffizienten zu wählen. Dies kann auch für eine Selbstregelung genutzt werden, die eine Überlastung des Motors verhindert.

Insgesamt lässt sich somit feststellen, dass elektromechanische
15 Energiewandler (wie der oben beschriebene PM-Synchronmotor), die mit den beschriebenen Magneten und der erfindungsgemäßen Technik Feldschwächung betreiben, bei hohen Drehzahlen geringere Verluste, eine geringere Ständererwärmung und einem besseren Wirkungsgrad besitzen.

20

Patentansprüche

1. Permanentmagnetenerregter Elektromotor mit

- einem ersten Aktivteil (10), das mit Permanentmagneten (11) besetzt ist, und
- einem zweiten Aktivteil (8), das durch Magnetkraft der Permanentmagnete gegenüber dem ersten Aktivteil bewegbar ist,

g e k e n n z e i c h n e t durch

- eine Heizeinrichtung (12), mit der das Magnetfeld mindestens eines der Permanentmagnete (11) durch Erwärmen des Permanentmagneten in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit des ersten Aktivteils gegenüber dem zweiten Aktivteil schwächbar ist.

2. Permanentmagnetenerregter Elektromotor nach Anspruch 1, wobei das erste Aktivteil (10) ein Rotor und das zweite Aktivteil (8) ein Stator ist, und wobei sich die Geschwindigkeit aus der Drehzahl des Rotors ergibt.

3. Permanentmagnetenerregter Elektromotor nach Anspruch 1 oder 2, wobei mit der Heizeinrichtung (12) alle Permanentmagnete des ersten Aktivteils in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit erwärmbar sind.

4. Permanentmagnetenerregter Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Heizeinrichtung (12) ein gegenüber dem zweiten Aktivteil (8) separates Heizelement, insbesondere eine Heizwendel oder einen Heizwiderstand, aufweist.

5. Permanentmagnetenerregter Elektromotor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Heizeinrichtung (12) das zweite Aktivteil (8) und eine Ansteuereinrichtung umfasst, mit der eine Taktfrequenz und/oder ein Signalmuster eines Ansteuer-signals für das zweite Aktivteil zum Zwecke der gezielten Erwärmung des zweiten Aktivteils einstellbar ist/sind.

6. Permanentmagneterregter Elektromotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Temperaturkoeffizient der Remanenzinduktion des Permanentmagneten im Temperaturbereich 20 °C bis 150 °C einen mittleren Wert zwischen -0,4 %/°C und -0,6 %/°C besitzt.

7. Verfahren zum Betreiben eines permanentmagneterregten Elektromotors, der ein erstes Aktivteil (8), das mit Permanentmagneten (11) besetzt ist, und ein zweites Aktivteil (10), das durch Magnetkraft der Permanentmagnete gegenüber dem ersten Aktivteil bewegbar ist, aufweist, durch

- Bewegen des ersten Aktivteils (8) gegenüber dem zweiten Aktivteil (10),

g e k e n n z e i c h n e t durch

- Erwärmen mindestens eines der Permanentmagnete (11) in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit des ersten Aktivteils (8) gegenüber dem zweiten Aktivteil (10), so dass das Magnetfeld des Permanentmagneten geschwächt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Permanentmagnet (11) durch Verlustwärme des zweiten Aktivteils (8) und zusätzlich durch Wärmeenergie von einem Heizelement (12) erwärmt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei eine Taktfrequenz und/oder ein Signalmuster zur Ansteuerung des zweiten Aktivteils (8) bei einer gegebenen Geschwindigkeit so gewählt wird, dass die Verlustwärme im zweiten Aktivteil deutlich größer als eine minimale Verlustwärme bei der gegebenen Geschwindigkeit ist.

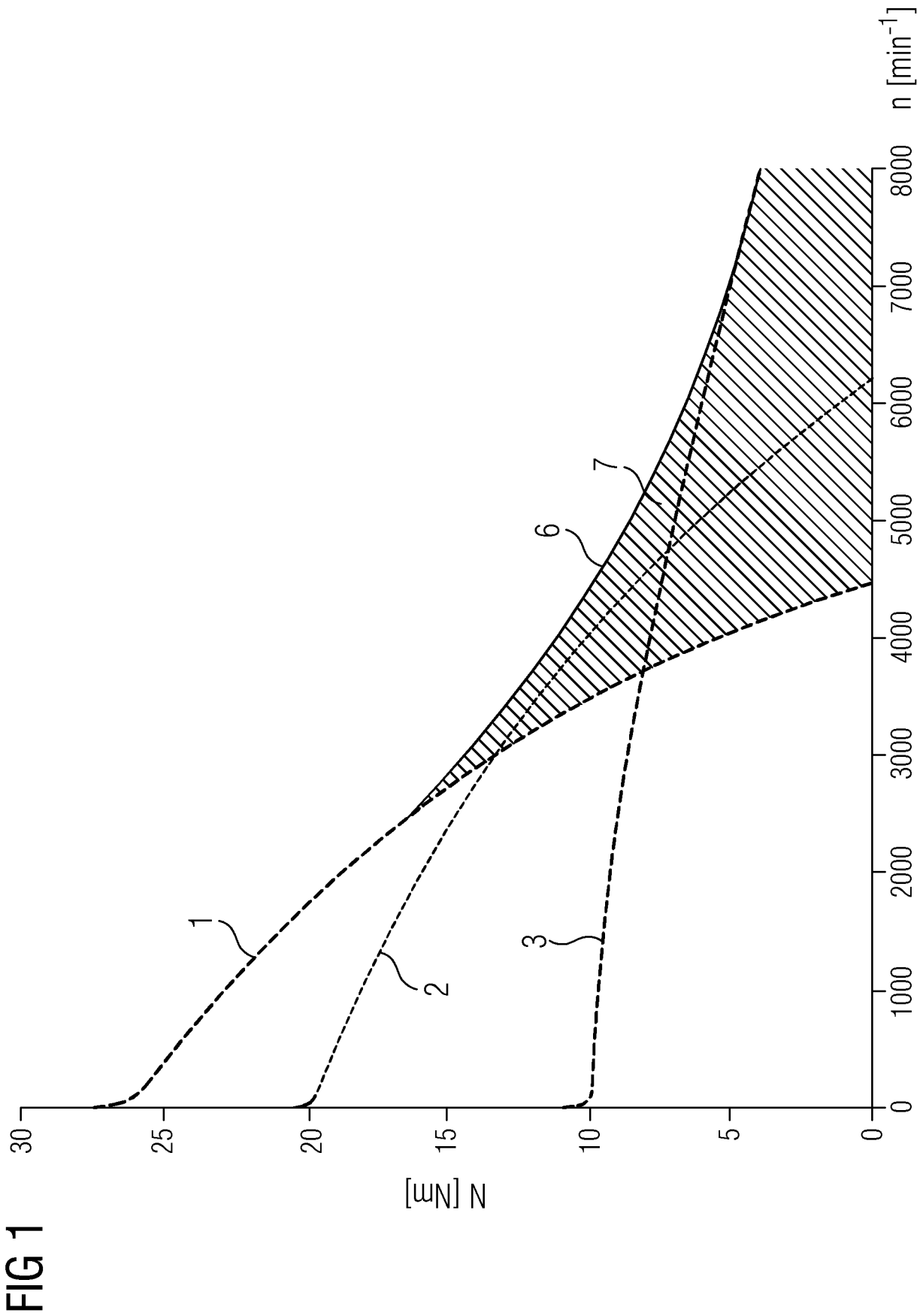


FIG 2

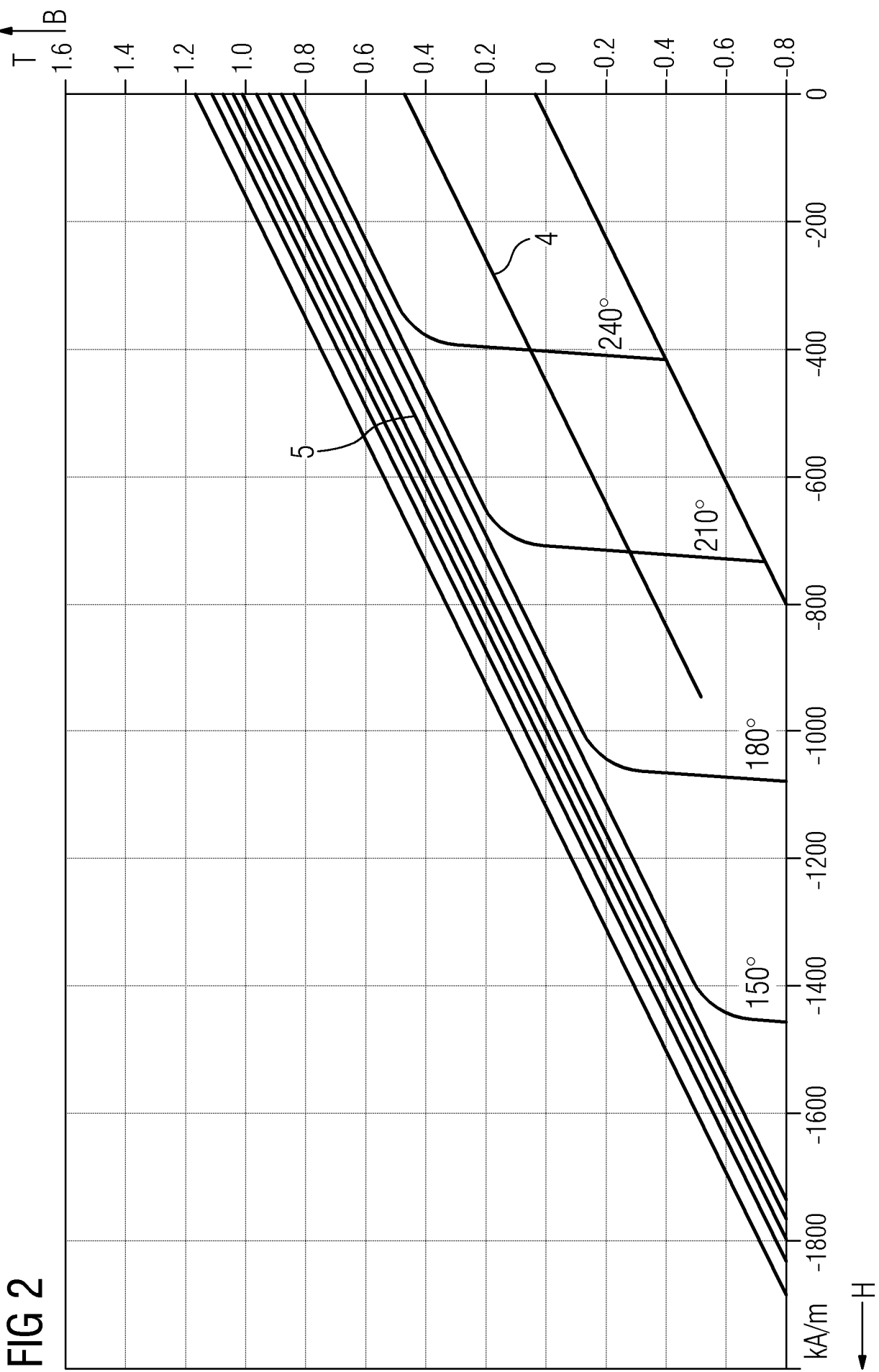


FIG 3

