

(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
8. Februar 2001 (08.02.2001)

PCT

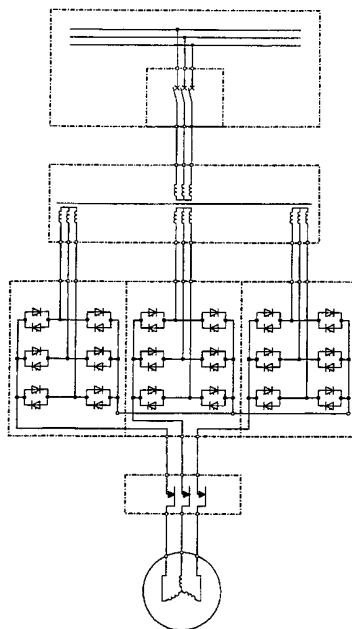
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/10001 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H02K 1/00** (72) Erfinder; und
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/02574 (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **SCHÜRING, Ingo**
[DE/DE]; Bruchsaler Strasse 14, D-10715 Berlin (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 2. August 2000 (02.08.2000) **VOGEL, Reinhard** [DE/DE]; Sonnenstrasse 12b,
D-91074 Herzogenaurach (DE). **RZADKI, Wolfgang**
[DE/DE]; Groothegen 4e, D-21509 Glinde (DE).
(25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, D-80506 München
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (DE).
(30) Angaben zur Priorität: 199 36 366.8 3. August 1999 (03.08.1999) DE (81) Bestimmungsstaaten (*national*): CA, CN, JP, KR, NO,
US.
(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von* (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,
US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). NL, PT, SE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEMAGNETIZATION-PROTECTED PERMANENT MAGNET SHIP PROPULSION SYSTEM

(54) Bezeichnung: DEMAGNETISIERUNGSSICHERER, PERMANENTERREGTER SCHIFFSANTRIEB



(57) Abstract: The invention relates to an electric drive system for high levels of output, for example for outputs exceeding 500 kW, that is highly available and long-lasting and that is especially used for seagoing ships. The inventive drive system comprises an electromotor that is driven by a permanent magnet and that is provided with at least one consumer of a rotational energy, especially a marine propelling screw. The drive system further comprises at least one converter which supplies the electromotor with power and an automatic control and monitoring device for the system. Said electromotor is designed for a long-term and reliable performance. It is especially protected from being entirely or partially demagnetized by supplementary structural and operational measures, for example circuit and control measures, regarding the motor and the converter.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/10001 A2

**Veröffentlicht:**

— Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Elektrisches Antriebssystem für große Leistungen, z.B. für Leistungen über 500 kW, mit hoher Verfügbarkeit und Lebensdauer, insbesondere für ein seegehendes Schiff, wobei das Antriebssystem einen permanentmagneterregten, mit zumindest einem Drehenergie-Verbraucher, insbesondere einem Schiffspropeller, zusammenwirkenden Elektromotor und zumindest einen Stromrichter zur Energieversorgung des Elektromotors sowie eine Steuer-, Regel- und Überwachungseinrichtung für das System aufweist, wobei der Elektromotor langfristig zuverlässig arbeitend ausgebildet und insbesondere gegen eine gänzliche oder teilweise Entmagnetisierung geschützt ausgebildet ist, wobei dies durch sich ergänzende konstruktive und betriebstechnische, z.B. schaltungs- und regeltechnische Maßnahmen, in Bezug auf den Motor und den Stromrichter, erreicht wird.

Beschreibung

Demagnetisierungssicherer, permanenterregter Schiffsantrieb

- 5 Die Erfindung betrifft ein elektrisches Antriebssystem für große Leistungen, z.B. für Leistungen über 500 kW, mit hoher Verfügbarkeit und Lebensdauer, insbesondere für ein seegehendes Schiff, wobei das Antriebssystem einen permanentmagnet-
erregten, mit zumindest einem Drehenergie-Verbraucher, insbe-
10 sondere einem Schiffspropeller, zusammenwirkenden Elektromotor und zumindest einen Stromrichter zur Energieversorgung des Elektromotors sowie eine Steuer-, Regel- und Überwachungseinrichtung für das System aufweist.
- 15 Permanenterregte Elektromotoren sind seit langer Zeit in den verschiedensten Bauformen bekannt. Verschiedene Bauformen für permanenterregte elektrische Motoren beschreibt z.B. der Aufsatz in der Siemens-Zeitschrift 49, 1975, Heft 6, Seiten 368 bis 374. Die seinerzeit erreichbaren Leistungen reichten bis
20 500 kW. Lange Zeit war dies die Leistungsgrenze permanenterregter elektrischer Maschinen, erst in jüngerer Zeit wurden auch größere Maschinen bis z.B. 30 MW entwickelt. Für derartige Maschinen, die eine erhebliche Investition darstellen, wird eine große Lebensdauer bei hoher Verfügbarkeit gefordert, damit die Investitionskosten gerechtfertigt sind.
25 Schiffe haben im allgemeinen eine Lebensdauer von 25 bis 30 Jahren, für ihre Antriebe wird daher die gleiche Lebensdauer gefordert. Eine derartige Lebensdauer konnte bisher für große permanenterregte elektrische Motoren nicht zugesichert werden. Es ist Aufgabe der Erfindung, ein System anzugeben, mit
30 dem eine derartig hohe Lebensdauer vom großen permanenterregten elektrischen Motoren sicher erreicht wird.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der Elektromotor lang-
zeitig zuverlässig arbeitend ausgebildet und insbesondere ge-
gen eine gänzliche oder teilweise Entmagnetisierung geschützt
ausgebildet ist, wobei dies durch sich ergänzende konstruktive
5 ve und betriebstechnische, z.B. schaltungs- und regeltechni-
sche Maßnahmen, in Bezug auf den Motor und den Stromrichter,
erreicht wird. Die Lebensdauer der Permanentmagnete ist für
die Lebensdauer eines nach den konstruktiven Regeln für eine
lange Lebensdauer ausgelegten das wesentliche Kriterium. Ein
10 mit Permanenterregung arbeitendes Antriebssystem für Schiffe
oder für andere elektrische betriebene Großanlagen - auch ein
Schiff kann als industrielle Anlage betrachtet werden - wird
also in Bezug auf seine Lebensdauer entscheidend durch die
Lebensdauer der magnetischen Komponenten bestimmt. Eine Ent-
15 magnetisierung kann z.B. durch Überwärmung oder durch zu gro-
ße innere Magnetfelder auftreten. Außerdem kann an den Magne-
ten Korrosion auftreten, auch eine Demagnetisierung durch Al-
terung ist möglich. Auch eine Wanderung o.ä. der Magnete auf
dem Läufer des Elektromotors ist möglich, z.B. bei auftretenden
20 hohen Umfangsbeschleunigungen im Störfall. Das erfin-
dungsgemäße Antriebssystem trägt in bisher neuer Weise den
vorstehend geschilderten, die Lebensdauer herabsetzenden Fak-
toren Rechnung.

25 Überlegungen zur Demagnetisierung von permanentmagnetisch er-
regten elektrischen Motoren finden sich auch in der Diplomar-
beit von Ville Nahkuri, Titel "Large Power Permanent Magnet
Propulsion Motors", 24.02.1998, Helsinki University of Tech-
nology, Fakultät Electric and Communications Engineering. Die
30 Diplomarbeit zeigt, daß die Temperaturen innerhalb des Elekt-
romotors unter den kritischen Werten liegen, daß aber das
magnetische Feld bei Fehlfunktionen des elektrischen Systems
eine Gefahr für die Dauermagnete bilden kann. Eine Lösung für

diese Problematik, die nicht ohne Betrachtung der übrigen Systemkomponenten erreicht werden kann, zeigt die Diplomarbeit nicht auf.

- 5 In Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Antriebssystem Permanentmagnete aus einer magnetisch alterungsbeständigen Magnetlegierung, z.B. auf der Basis von gesinter-
tem und wärmebehandeltem Neodym-Eisen-Bor aufweist, die ins-
besondere formschlüssig an dem Läufer des Elektromotors be-
10 festigt sind. Entsprechende Magnetlegierungen sind aus kleinen elektrischen Antrieben, z.B. für Stellantriebe, seit einiger Zeit bekannt. Ihr Dauerverhalten ist hinreichend praktisch und theoretisch untersucht. Aus den Untersuchungen ergibt sich eine Lebensdauer, die bei bestimmungsgemäßen
15 Gebrauch die geforderte Zeit von 25 bis 30 Jahren deutlich übersteigt. Voraussetzung ist eine konstante Lage der Magnete. Sie dürfen nicht wandern.

- In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß
20 der Elektromotor ohne Kühlung durch ein Kühlmittel mit Rückkühlung ausgebildet ist und insbesondere bei Einsatz als Ruderpropellermotor in einer Motorgondel eine Außenwandkühlung aufweist. Durch diese vorteilhafte Ausgestaltung wird die größtmögliche Sicherheit in Bezug auf eine Überwärmung er-
25 reicht. Wenn kein Kühlmittelumlaufssystem vorhanden ist, kann es auch nicht ausfallen. Eine Außenwandkühlung arbeitet unter allen Umständen zufriedenstellend, insbesondere für einen Schiffsgondelantrieb. Wenn das Schiff in Fahrt ist, wird die Kühlung durch die Bewegung des Antriebs durch das Wasser ge-
30 sichert. Die Kühlwirkung steigt mit der Fahrtgeschwindigkeit, d.h. mit der im Antrieb verbrauchten Energie. Dabei ergibt sich automatisch eine Kühlung, die leistungsabhängig reagiert.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Magnetkreisauslegung des Antriebssystems derart ist, daß im Bemessungspunkt eine selbsttätige Begrenzung eines Kurzschlußstroms auf unkritische Werte erfolgt. Ein Kurzschlußstrom - z.B. bei einem Klemmenkurzschluß als Ursache - ergibt sich bei einem typischen Anwendungsfall mit dem 1,7-fachen des Nennstroms. Dieser Wert ist unkritisch, da z.B. von dem erfindungsgemäßen Magnetsystem der 2,2-fache Strom ertragen wird, ohne daß das von dem Überstrom erzeugte Magnetfeld die Dauermagnete schädigt. In Zusammenwirken mit einer Strombegrenzung im Stromrichter, z.B. auf 110 % bis 120 % des Ausleistungsstroms, dies ist parametrierbar, ergibt sich eine zuverlässige Begrenzung des durch den Motor fließenden Stroms an allen Stellen auf unkritische Werte. Hierzu ist vorgesehen, daß der Stromrichter für seine einzelnen Zweige eine Höchststrombegrenzung aufweist, die parametrierbar ist, z.B. auf einen Wert, der zuverlässig eine Entmagnetisierung durch Überstrom verhindert. Dadurch, daß auch die einzelnen Zweige des Stromrichters und nicht nur dieser als Einheit in die Überwachung einbezogen ist, wird auch für unwahrscheinliche Fälle eine Begrenzung des im Motor fließenden Stroms an allen Stellen auf unkritische Werte erreicht.

Von besonderem Vorteil ist dabei die Verwendung von Strombegrenzern, die aufgrund eines physikalischen Effekts sehr schnell, z.B. in weniger als einer Millisekunde abschalten, z.B. HTSL-Strombegrenzern. HTSL(Hochtemperatursuperleitungs)-Strombegrenzer arbeiten bei ca. 77 K, d.h. mit Kühlung durch flüssigen Stickstoff. Bei überschreiten der kritischen Stromdichte ergibt sich unmittelbar ein relativ großer endlicher Widerstand, d.h., es erfolgt eine Primärabschaltung. Kurze Zeit später ist dann eine Sekundärabschaltung, z.B. durch einen Leistungsschalter, erforderlich.

Entsprechende Strombegrenzer wurden bereits in der Öffentlichkeit vorgestellt, z.B. durch die Anmelderin in 1 MVA-Größe. Als Schaltelement wirkt eine YBCO-Schicht eines keramischen Plattenleiters.

5

Die Begrenzung ist in spezifischer Form bei den unterschiedlichen, je nach Ausführung des Stromrichters verwendeten Leistungshalbleitern, so z.B. bei GTOs, bei IGBTs oder Thyristoren möglich. Die entsprechenden Leistungshalbleiter werden vorteilhaft auch einzeln überwacht, um durchkontaktierte Halbleiter sofort zu detektieren, damit sie ausgewechselt werden können. Auch das nie völlig auszuschließende Durchkontaktieren der eingesetzten Leistungshalbleiter kann daher dem Magnetsystem nicht schaden.

15

Zur Überwachung des Antriebssystems ist weiterhin vorgesehen, daß das System Meßeinrichtungen zwischen dem Stromrichter und dem Elektromotor, sowie zwischen dem Stromrichter und dem Transformator sowohl insgesamt als auch für einzelne Leistungszweige aufweist. So können Fehler im Stromrichter schnell erkannt und behoben werden. Zur Erkennung sind entsprechende, bekannte Meßeinrichtungen vorgesehen.

Von besonderer Bedeutung sind Stromgrenzen in Abhängigkeit von der Motordrehzahl. So wird der Tatsache Rechnung getragen, daß das innere Magnetfeld von der Motordrehzahl abhängt.

Als weitere Sicherheitsmaßnahmen weist das System eine Erdschluß-Anzeige und -Schutzeinrichtung, für Schiffe in Äquivalenz, eine Leitungsbruch-Überwachungseinrichtung, eine Phasensymmetrie-Überwachungseinrichtung sowie weitere Überwachungs- und Schutzschaltungskomponenten auf, insbesondere für Überströme und Überwärme. So kann allen denkbaren Fehlern im

30

Gesamtsystem, die zu einer Überwärmung des Motors führen könnten, Rechnung getragen werden.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß
5 das erfindungsgemäße System ein Mehrfach-Wicklungssystem im Motor mit zwei jeweils in die Wicklungen speisenden Stromrichtern aufweist, bzw. daß mit zwei elektrischen Antriebsmotoren mit jeweils einem Stromrichter gearbeitet wird, wobei jeweils drei Stränge des Stromrichters zu einem Drehstromsystem
10 zusammengeschaltet werden. So ergeben sich insgesamt kleinere Untereinheiten, die jeweils einzeln überwacht und abgeschaltet werden können. Auch hierdurch wird sichergestellt, daß im Antriebsmotor keine schädlichen Überströme auftreten.

15 Es ist dabei auch eine Ferndiagnoseeinrichtung vorgesehen, die insbesondere das Schiffsbetriebssystem und den Stromrichter mit seinen Komponenten erfaßt. Eine derartige Ferndiagnoseeinrichtung, die z.B. für Schiffe mit einer Satellitenkommunikation arbeitet, erlaubt es, daß die Fachleute des
20 Herstellers dem Schiffssingenieur mitteilen, welche Komponenten er auszutauschen hat bzw. welche Komponenten in Kürze ausfallen könnten. Auch hierdurch wird die Sicherheit gegen Entmagnetisierung und die Betriebssicherheit weiter gesteigert.
25

Zur Sicherung der Lebensdauer der Permanentmagnete ist vorgesehen, daß diese aus einer magnetisch alterungsbeständigen und besonders korrosionsfesten Magnetlegierung, z.B. auf der
30 Basis von gesintertem und wärmebehandeltem Neodym-Cobalt-Kupfer-Eisen-Bor bestehen, z.B. der Vac-Qualität Vacodynm 677HR. Darüber hinaus ist vorgesehen, daß die Permanentmagnete dauerhaft beschichtet oder lackiert sind und eine glatte O-

berfläche aufweisen. Sie besitzen z.B. Quaderform. So ergeben sich nicht nur ein korrosionsfestes Grundmaterial, sondern auch eine korrosionsgeschützte Gesamtausbildung. Ein Material- und damit auch Magnetkraftverlust der Permanentmagnete
5 liegt über die geforderte Lebensdauer bei den im Elektromotor herrschenden Bedingungen nicht vor.

Die Magnetblöcke sind vorteilhaft auf ihrer Unterlage durch Kleben fixiert, insbesondere durch einen vollvernetzten Silikonkleber in Form eines Einkomponentenklebers. Die Fixierung
10 der Magnetblöcke auf ihrer Unterlage ist zur Montage notwendig. Durch die Verwendung eines vollvernetzten Silikonklebers in Form eines Einkomponentenklebers wird dabei vorteilhaft verhindert, daß sich am Übergang Magnet - Polschuh Korrosionsnester bilden können.
15

Zur Überwachung des Elektromotors ist vorgesehen, daß die Ständerwicklungen Temperatursensoren aufweisen, insbesondere Temperatursensoren mit einer Meßauswertung und/oder der Aus-
20 lösung einer Warnfunktion. Es kann dabei auch vorteilhaft vorgesehen werden, daß die Temperatursensoren auf den Regelungsteil des Systems aufgeschaltet sind, um eine Überhitzung der Wicklungen und der Magnete mit Sicherheit zu verhindern. So ergibt sich eine zusätzliche Überwachungsmöglichkeit, die
25 es insbesondere erlaubt, schädlichen Tendenzen in Bezug auf die Erwärmung des Elektromotors entgegenzuwirken.

Die Anziehungskräfte der einzelnen Magnetblöcke sind sehr hoch. In vorteilhafter Ausgestaltung des Motors ist vorgesehen, daß der Durchmesser und die betriebliche Höchstdrehzahl
30 des Elektromotors derart bemessen sind, daß auch bei Höchstdrehzahl eine Restkraft zwischen Magnetquader und seiner Auflagefläche verbleibt (selbsttätige Magnetdauerhaftung). Zwar

werden die Magnetblöcke auch durch einer Bandage in Verbindung mit der geometrischen Ausgestaltung der Polschuhe form-schlüssig und kraftschlüssig auf ihrer Unterlage festgehalten, durch eine selbsttätige Magnetdauerhaftung wird diese
5 form- und kraftschlüssige Haftung noch unterstützt. Ohne Beeinträchtigung der Lebensdauer, und auch unter dem Auftreten extremer Kräfte, z.B. im Störfall, sind die Magnetquader zuverlässig positioniert. Die Bandage kann sowohl aus faserverstärktem Kunststoff als auch aus A-magnetischem Material
10 bestehen. Faserverstärkter Kunststoff erlaubt jedoch eine besonders dünne Ausführung der Bandage, so daß der Motor mit einem besonders geringen Luftspalt ausgeführt werden kann.

Die Wickelköpfe der Ständerwicklungen sind vorteilhaft vergossen ausgeführt und über feste wärmeleitende Brücken mit
15 der Außenwandung verbunden. So wird eine versagenssichere Ausführung erreicht, die einer Zwangsumlaufkühlung mit Rückkühlung in der Sicherheit weit überlegen ist.

20 In die gleiche Richtung geht auch die Ausführung des Elektromotors mit einem öffnungslosen, gekapselten Außengehäuse. So ist sichergestellt, daß keine Fremdkörper von außen in den Elektromotor eindringen oder eingebracht werden können, z.B. bei Reparaturen o.ä. Insgesamt ergibt sich eine wartungsfreie
25 Ausführung des Elektromotors in gekapselter Form und höchster Lebensdauer. Auf einen begehbaren Schaft zwischen Schiff und Gondel, wie er für permanenterregte und rückgekühlte Gondelantriebe bekannt ist, kann daher vorteilhaft verzichtet werden. Anlässlich der alle fünf Jahre erfolgenden Eindockung von
30 Schiffen braucht daher keine Motorreparatur zu erfolgen, lediglich Verschleißteile wie Dichtungen und Lager müssen inspiziert und ggf. ausgetauscht werden.

Schließlich ist noch vorgesehen, daß zur Erhöhung der Sicherheit im Motor Magnetfeldsensoren angeordnet sind, die insbesondere periodisch oder ereignisgesteuert einschaltbar sind. Des weiteren ist eine Recheneinheit vorgesehen, die fortlaufend aus Meßdaten, z.B. von Einzelströmen in dem Elektromotor, aus der Motortemperatur, der abgegebenen Leistung und der Drehzahl sowie ggf. weitere kennzeichnende Einflußgrößen, den elektrischen und magnetischen Zustand des Motors ermittelt und eine Warnung bei Annäherung an kritische Größen abgibt, vorzugsweise auch gegensteuernde Maßnahmen einleitet. So wird vorteilhaft eine dauerhafte erreicht, um, insbesondere zur Ferndiagnose, eine laufende Überwachung des Antriebsmotors unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Einflußgrößen zu erhalten.

15

Die Erfindung wird anhand von Zeichnungen näher erläutert, aus denen ebenso wie aus den Unteransprüchen weitere, auch erfindungswesentliche Einzelheiten entnehmbar sind.

20 Im einzelnen zeigen:

FIG 1,2,3 und 4 die vorgesehenen einzelnen Schaltungen für das System,

25
FIG 5 ein typisches Magnetflußbild für die Permanentmagnete,

FIG 6 eine Temperaturkurve über die Länge des Läufers,

FIG 7 den Verlauf der Magnetkraft und

30
FIG 8 den Magnetkraftverlauf eines Neodym-Eisen-Bor-Magnets über die Zeit.

Die Zeichnungen sind in Zusammenhang mit der Lehre der Patentansprüche der in ihnen enthaltenen Detailangaben und der Beschreibung für den Fachmann selbsterklärend.

5 In den FIG 1 bis 4 sind die üblichen Symbole der Elektrotechnik für Transformatoren, Stromrichter und elektrische Motoren verwendet. Wie ersichtlich, hat die in FIG 1 gezeigte drei-strängige Maschine mit einem 6-pulsigen Umrichter die kleinste Zahl von zu überwachenden Phasen und von Halbleistungs-
10 halbleitern. Hier wird daher vorteilhaft eine Einzelüberwachung der Phasen- und der Leistungshalbleiter gewählt.

In FIG 2, die das Schaltbild einer 3-strängigen Maschine mit einem 12-pulsigen Stromrichter zeigt, ist die Zahl der Leistungszweige im Stromrichter verdoppelt, hier kann die Überwachung bereits vereinfacht werden, soweit sie den Stromrichter betrifft. In FIG 3 kann auch die Überwachung im elektrischen Motor verringert werden. In der in FIG 4 gezeigten
15 Schaltung einer 6-strängigen Maschine mit zwei 12-pulsigen Stromrichtern ergibt sich die in Bezug auf die Sicherheit optimierte Ausführung.

Die in FIG 5 gezeigten, idealisiert dargestellten, Magnetverläufe zeichnen sich besonders durch ihre Symmetrie aus. So
25 können besondere Flußkonzentrationen vermieden werden.

FIG 6 zeigt die Ständertemperatur in Abhängigkeit von der Länge des Elektromotors. Die Läufertemperatur liegt um ca. 10° unter der Ständertemperatur, so daß vorteilhaft auf eine
30 separate Überwachung der Läufertemperatur verzichtet werden kann. Wie sich ergibt, ist die Luftspalttemperatur auf der Erregerseite des Elektromotors am höchsten, hier werden also vorteilhaft die Termoelemente zur Überwachung konzentriert.

Es ist eine einfache und sichere Überwachung der Motortemperatur durch dicht konzentrierte Termoelemente auf den Magnetseite des Elektromotors möglich, wobei die Termoelemente vorteilhaft fest mit der Ständerwicklung verbunden sind.

5

FIG 7 zeigt schließlich die Magnetkraft im Leerlauf, bei Nennlast und im Kurzschlußfall. Wie ersichtlich liegt die Magnetkraft in jedem Fall innerhalb des reversiblen Teils des Kennlinienverlaufs, auch für den Kurzschlußfall. Ein Schutz
10 gegen Entmagnetisierung ist also auch am Kurzschlußfall gegeben.

FIG 8 schließlich zeigt in logarithmischer Darstellung die bei eingehenden Untersuchungen festgestellten irreversiblen
15 Polarisationsverluste bei verschiedenen Koeffizienten $B/\mu_0 H$ bei 130 °C. 130 °C liegt erheblich über den aus FIG 6 ersichtlichen höchsten Temperaturen im erfindungsgemäßen Elektromotor, d.h. es besteht in Bezug auf Übertemperatur eine Sicherheit gegen Entmagnetisierung, die so hoch ist, daß eine
20 Dauerhaltbarkeit der Magnete sogar über die geforderten 25 bis 30 Jahre hinaus angenommen werden kann.

Ausgehend von den verwendeten langjährig erprobten Transformatorharzen mit einer dauernden Temperaturbeständigkeit von
25 über 150° (hier liegen bereits ebenfalls über 20-jährige Betriebserfahrungen vor) über die dauerhafte Magnetkraft bei 130° und der höchstens auftretenden Temperatur von gut 90° in Bereich der Permanentmagnete sowie der sicheren Vermeidung von Überströmen in den Wicklungen des Elektromotors kann die
30 geforderte Lebensdauer von 25 bis 30 Jahren für permanentmagneterregte Antriebe von Schiffsgondelmotoren gesichert werden. Hierzu trägt nicht unerheblich die gekapselte Ausführung mit direkter Außenwandkühlung bei, die ausfallssicher ist.

Patentansprüche

1. Elektrisches Antriebssystem für große Leistungen, z.B. für Leistungen über 500 kW, mit hoher Verfügbarkeit und Lebens-
5 dauer, insbesondere für ein seegehendes Schiff, wobei das Antriebssystem einen permanentmagneterregten, mit zumindest einem Drehenergie-Verbraucher, insbesondere einem Schiffspropeller, zusammenwirkenden Elektromotor und zumindest einen Stromrichter zur Energieversorgung des Elektromotors sowie
10 eine Steuer-, Regel- und Überwachungseinrichtung für das System aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromotor langfristig zuverlässig arbeitend ausgebildet und insbesondere gegen eine gänzliche oder teilweise Entmagnetisierung geschützt ausgebildet ist, wobei dies durch sich er-
15 gänzende konstruktive und betriebstechnische, z.B. schaltungs- und regeltechnische Maßnahmen, in Bezug auf den Motor und den Stromrichter, erreicht wird.

2. Antriebssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es Permanentmagnete aus einer magnetisch
20 alterungsbeständigen Magnetlegierung, z.B. auf der Basis von gesintertem und wärmebehandeltem Neodym-Eisen-Bor aufweist, die insbesondere formschlüssig an dem Läufer des Elektromotors befestigt sind.

25

3. Antriebssystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromotor ohne Kühlung durch ein Kühlmittel mit Rückkühlung arbeitend ausgebildet ist und insbesondere bei Einsatz als Ruderpropellermotor eine Gondel-
30 außenwandkühlung aufweist.

4. Antriebssystem nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetkreisauslegung derart

ist, daß im Bemessungspunkt eine selbsttätige Begrenzung eines Kurzschlußstroms auf unkritische Werte erfolgt.

5. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in den Wicklungen des Elektromotors eine Strombegrenzung durch den Stromrichter, die parametrierbar ist, z.B. auf 110 % bis 120 % des Auslegungsstroms, erfolgt.

10 6. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromrichter für seine einzelnen Zweige eine Höchststrombegrenzung aufweist, die parametrierbar ist, z.B. auf einen Wert, der zuverlässig eine Entmagnetisierung durch Überstrom
15 verhindert.

7. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß es Strombegrenzer aufweist, die aufgrund eines physikalischen
20 Effekts sehr schnell, z.B. in weniger als 1 Millisekunde, abschalten, insbesondere HTSL-Strombegrenzer.

8. Antriebssystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß es IGBT-
25 Leistungshalbleiter mit einer Schnellabschaltautomatik bei Fehlfunktion aufweist.

9. Antriebssystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß es funktionsüberwachte Thyristoren aufweist.
30

10. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es

Meßeinrichtungen zwischen dem Stromrichter und dem Elektromotor für die einzelnen Phasenströme aufweist.

11. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es Meßeinrichtungen für die Phasenströme zwischen seinem Stromrichtertransformator und dem Stromrichter aufweist.

12. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es parametrierbare Stromgrenzen in Abhängigkeit von der Motordrehzahl und ggf. dem Motordrehmoment aufweist.

13. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es einen auch unter Last schaltbaren Leistungsschalter zwischen seinem Versorgungsnetz und dem Stromrichtertransformator aufweist.

14. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Erdschluß-Anzeige und -Schutzeinrichtung, für Schiffe in Äquivalenz, aufweist.

15. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Leitungsbruch-Überwachungseinrichtung aufweist.

16. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Phasensymmetrie-Überwachungseinrichtung aufweist.

17. Antriebssystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 5 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß es weitere Überwachungs- und Schutzschaltungskomponenten, Regelungen und Steuerungen aufweist, insbesondere für Überströme und Über-
5 wärme.

18. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es ein Mehrfach-Wicklungssystem im Motor mit zwei jeweils in die
10 Wicklungen speisenden Stromrichtern aufweist, wobei jeweils drei Stränge zu einem Drehstromsystem zusammengeschaltet werden.

19. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Ferndiagnoseeinrichtung aufweist, die insbesondere das Schiffsbetriebssystem und den Stromrichter mit seinen Komponenten erfaßt.
15

20. Antriebssystem, insbesondere nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es Permanentmagnete aus einer magnetisch alterungsbeständigen und besonders korrosionsfesten Magnetlegierung, z.B. auf der Basis von gesinter-
20 tem und wärmebehandeltem Neodym-Cobalt-Kupfer-Eisen-Bor aufweist.
25

21. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es als Permanentmagnete dauerhaftbar beschichtete oder lackierte
30 Magnetblöcke, insbesondere dauerhaftbar beschichtete oder lackierte Magnetblöcke in Quaderform, aufweist.

22. Antriebssystem nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetquader auf ihrer Unterlage durch Kleben fixiert sind, insbesondere durch einen vollvernetzten Silikonkleber in Form eines Einkomponentenklebers.

5 23. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ständerwicklungen Temperatursensoren aufweisen, insbesondere Temperatursensoren mit einer Meßauswertung und/oder der Auslösung einer Warnfunktion.

10

24. Antriebssystem nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatursensoren auf den Regelungsteil des Systems aufgeschaltet sind, um eine Überhitzung der Wicklungen und/oder Erregermagnete zu verhindern.

15

25. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Durchmesser und Höchstdrehzahl des Elektromotors derart bemessen sind, daß auch bei Höchstdrehzahl eine Restkraft zwischen einem Magnetquader und seiner Auflagefläche verbleibt (selbsttätige Magnetdauerhaftung).

20

26. Antriebssystem, insbesondere nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Stator des Elektromotors mit seinen Wicklungen in sein Gehäuse eingeschrumpft ist und in seinem Wickelkopfbereich feste, wärmeableitende Brücken, insbesondere aus gefülltem Kunststoff, z.B. aus gefülltem Epoxydharz, aufweist, wobei die Wicklungsköpfe selbst mit Isolationsharz vergossen sind.

30

27. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Erregermagnete vorzugsweise in Form von Quadern ausgebildet,

auf Polschuhen mit einer Polygonoberfläche angeordnet sind und von außen durch eine Bandage auf den Polygonflächen fixiert werden.

5 28. Antriebssystem nach Ansprüche 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Bandage aus faserverstärktem Kunststoff besteht, insbesondere aus einem mit Glasfaser, Kohlefaser oder Keflar verstärktem Kunststoff besteht, wobei
10 die Bandage vorzugsweise nicht vorgetränkte Fasern in Bandform aufweist.

29. Antriebssystem nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß der Kunststoff ein Isolationskunststoff der Klasse F ist, insbesondere ein gefülltes Transformatorenharz.
15

30. Antriebssystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Erregermagnete eine Bandage aus A-magnetischem Material, z.B. aus
20 einem nichtrostenden Stahlband, aufweisen.

31. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromotor ein öffnungsloses, gekapseltes Außengehäuse aufweist.
25

32. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es im Elektromotor Magnetfeldsensoren aufweist, insbesondere periodisch oder ereignisgesteuert einschaltbare, Magnetfeldsensoren.
30

33. Antriebssystem nach einem oder mehreren der vorhergehen-
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es
eine Recheneinheit aufweist, die fortlaufend unter Berück-
sichtigung von Einzelgrößen, z.B. Einzelströmen in dem Elekt-
5 romotor, der Wicklungstemperatur, der abgegebenen Leistung
und der Drehzahl sowie ggf. weiterer Einflußgrößen, den e-
lektrischen und magnetischen Zustand des Motors rechentech-
nisch ermittelt und einer Warnung bei Annäherung an kritische
Größen abgibt, vorzugsweise auch gegensteuernde Maßnahmen
10 einleitet.

1/8

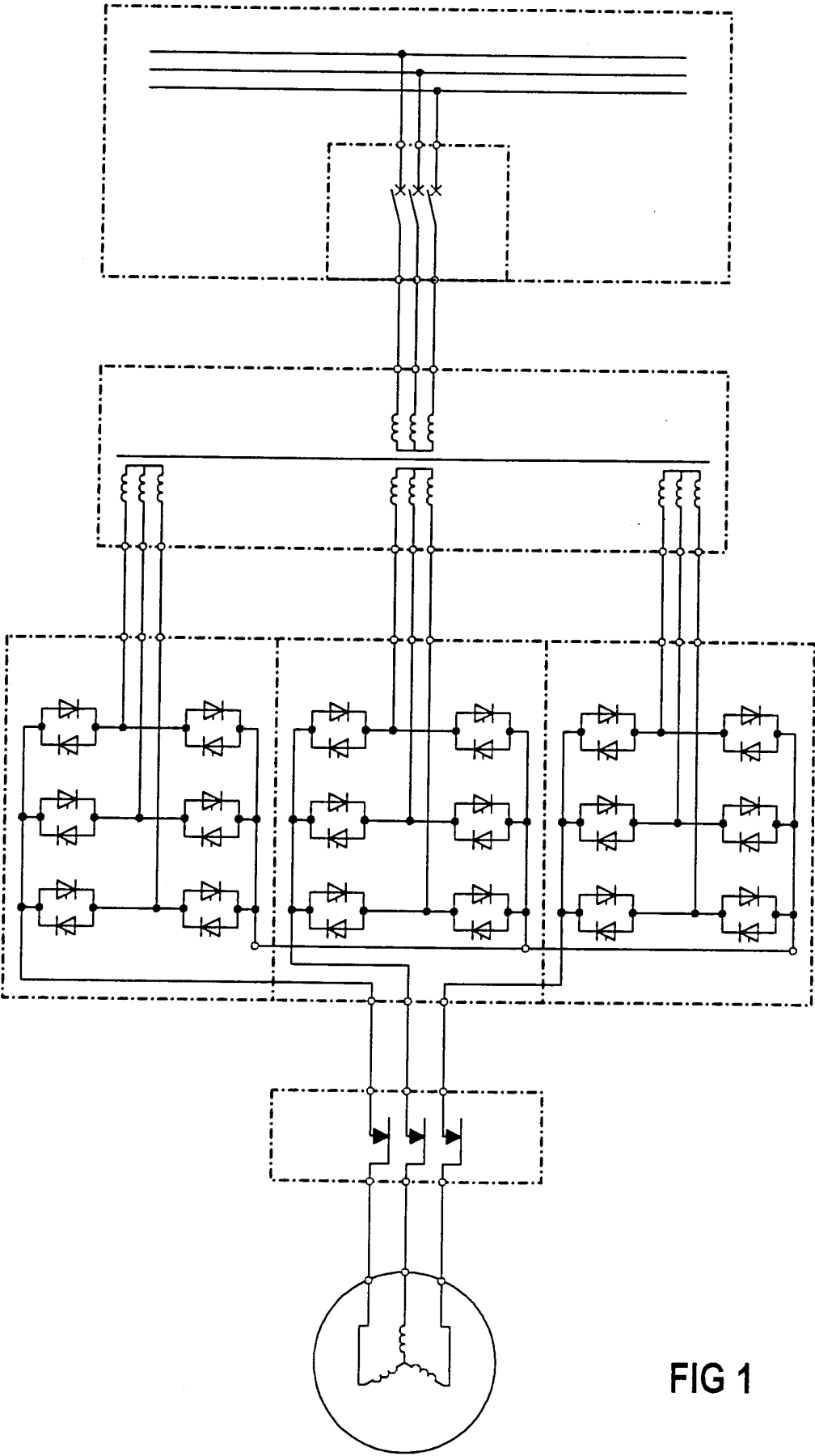


FIG 1

2/8

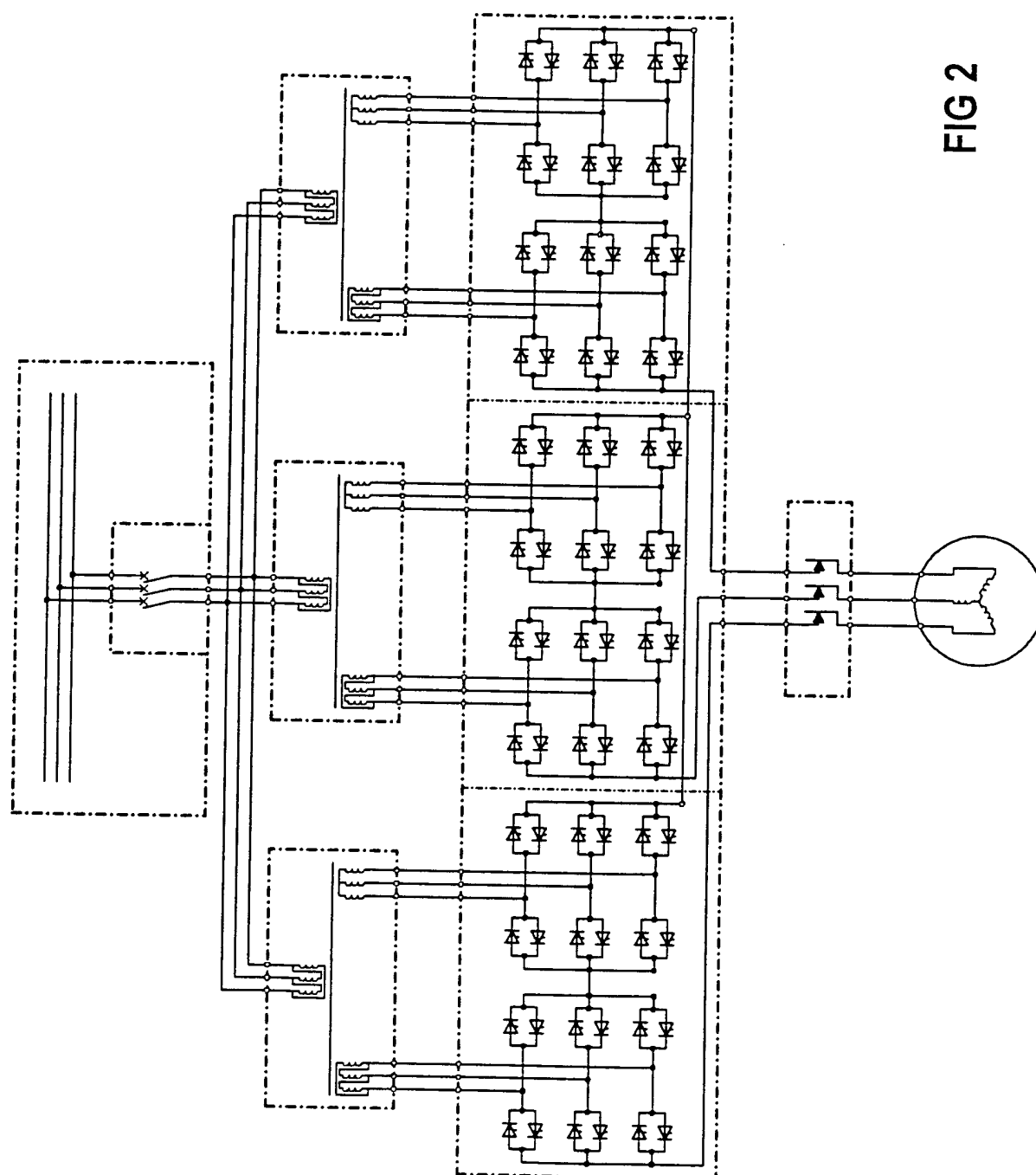


FIG 2

3/8

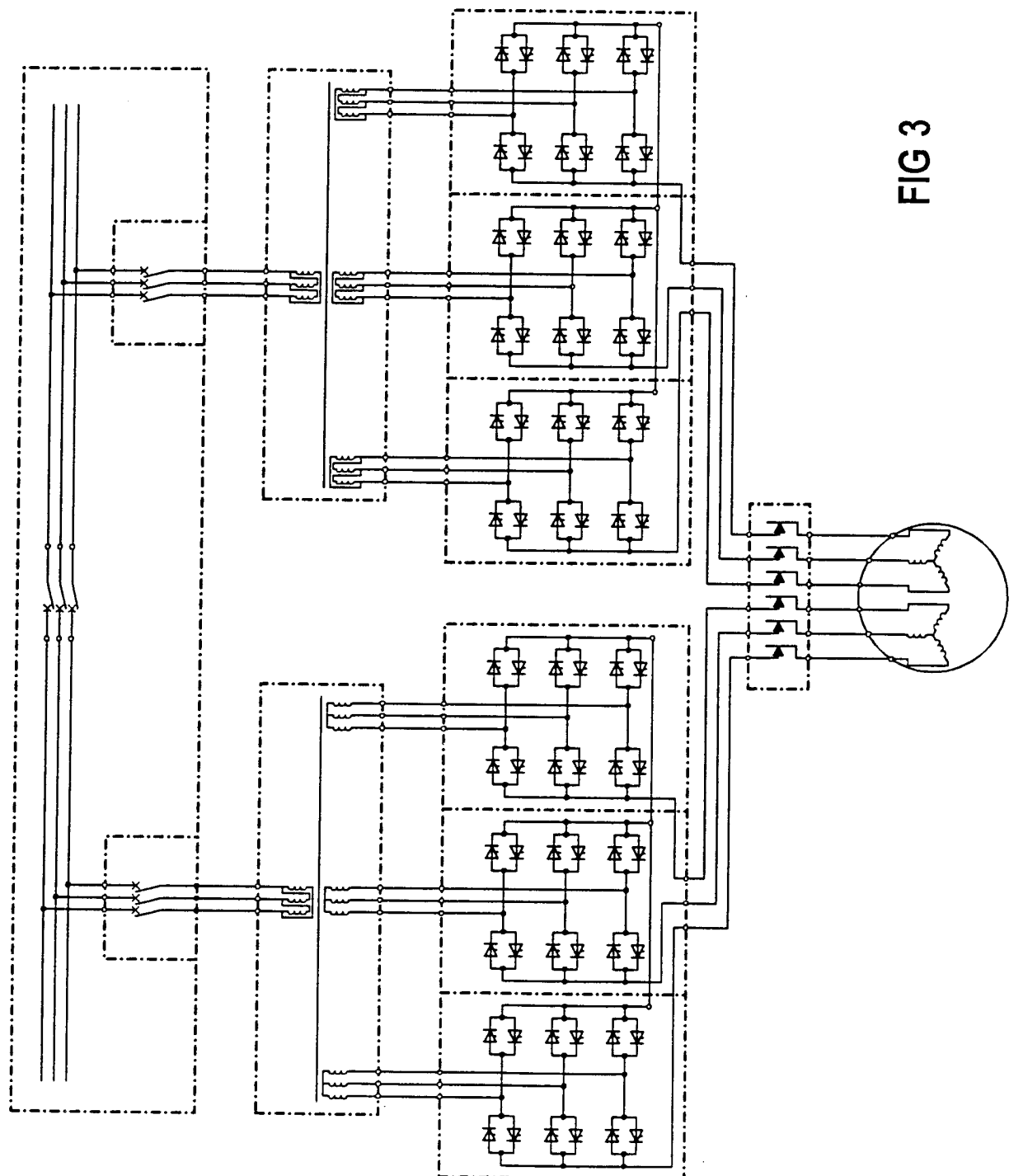


FIG 3

4/8

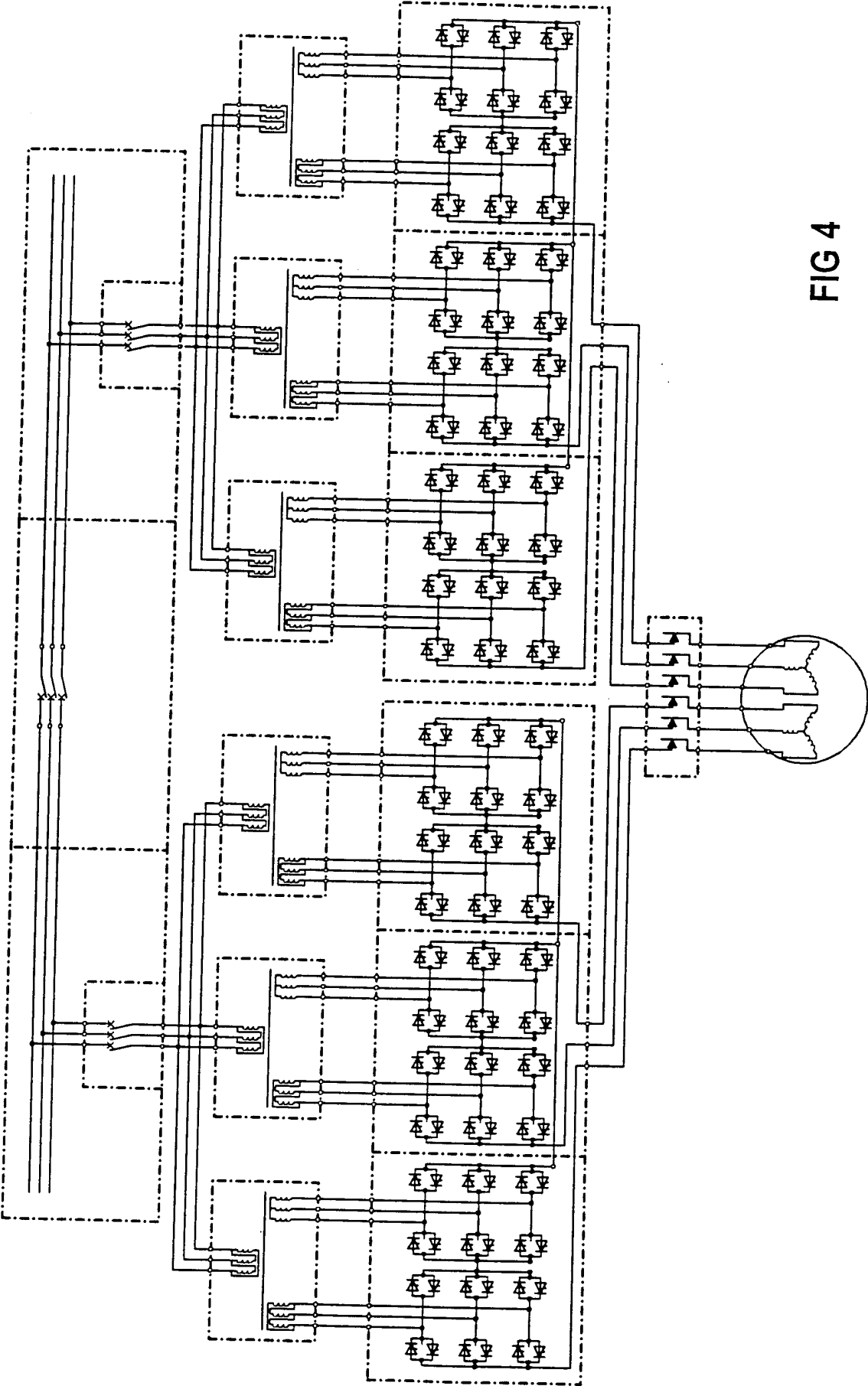


FIG 4

5/8

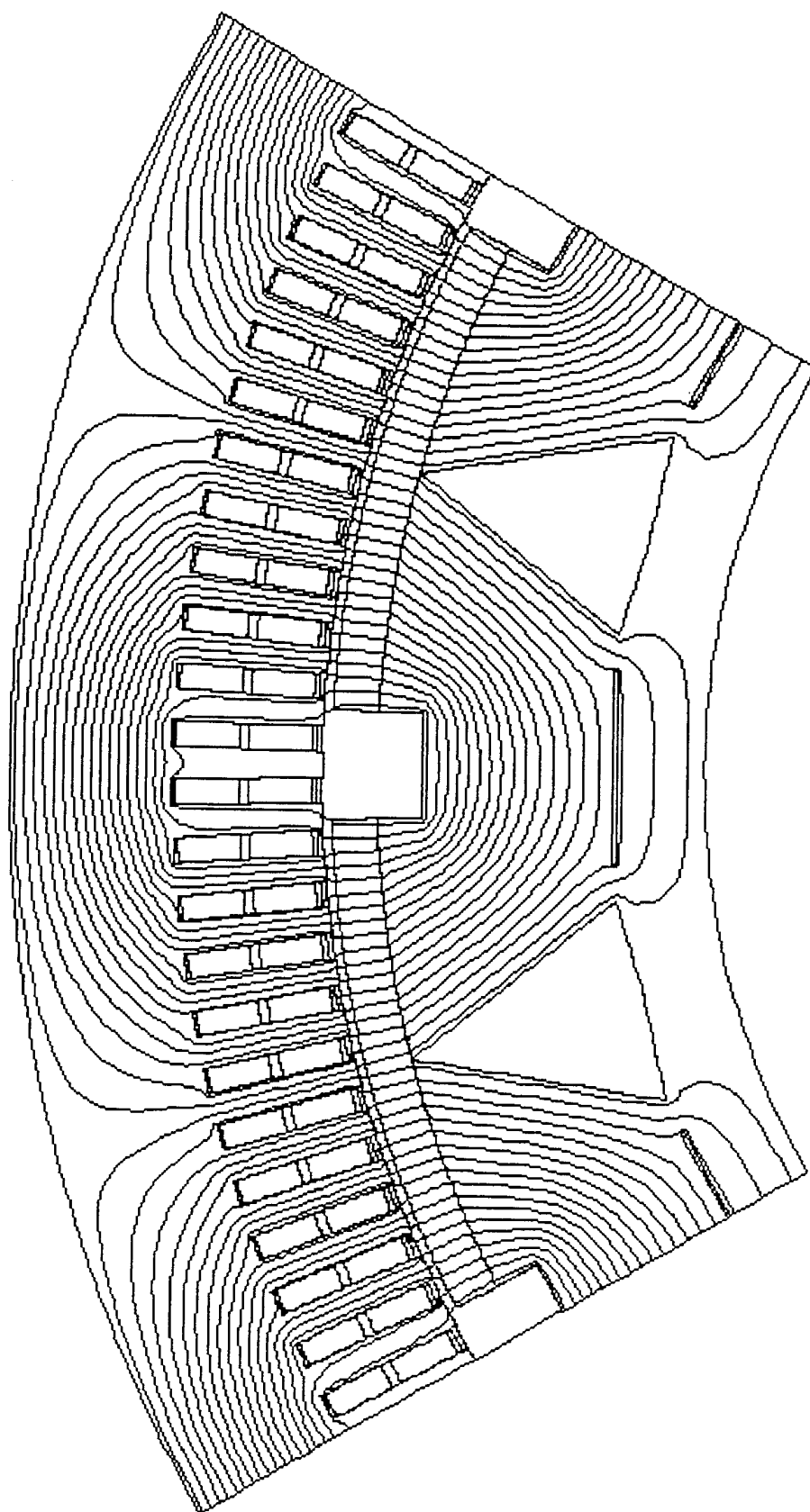


FIG 5

6/8

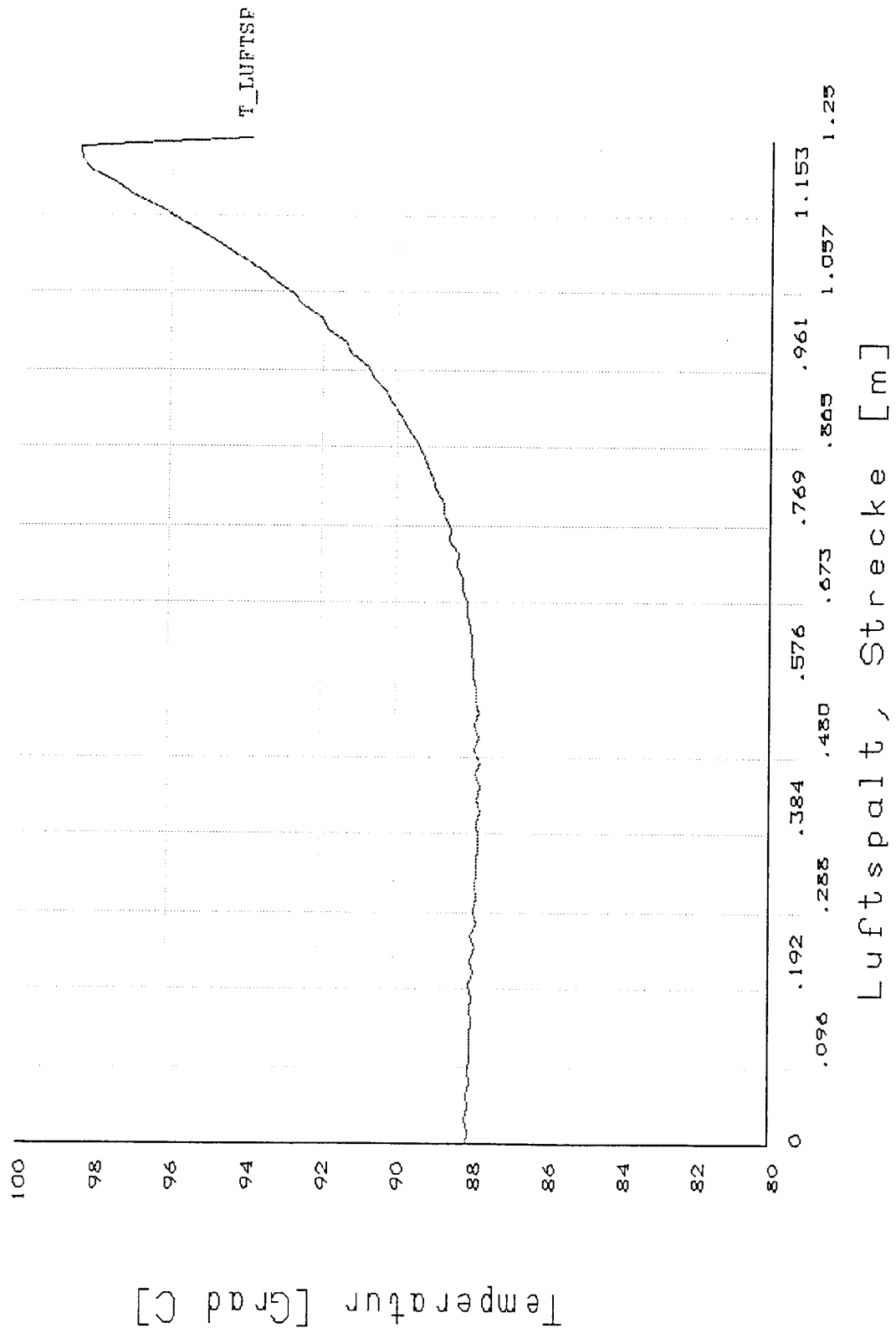


FIG 6

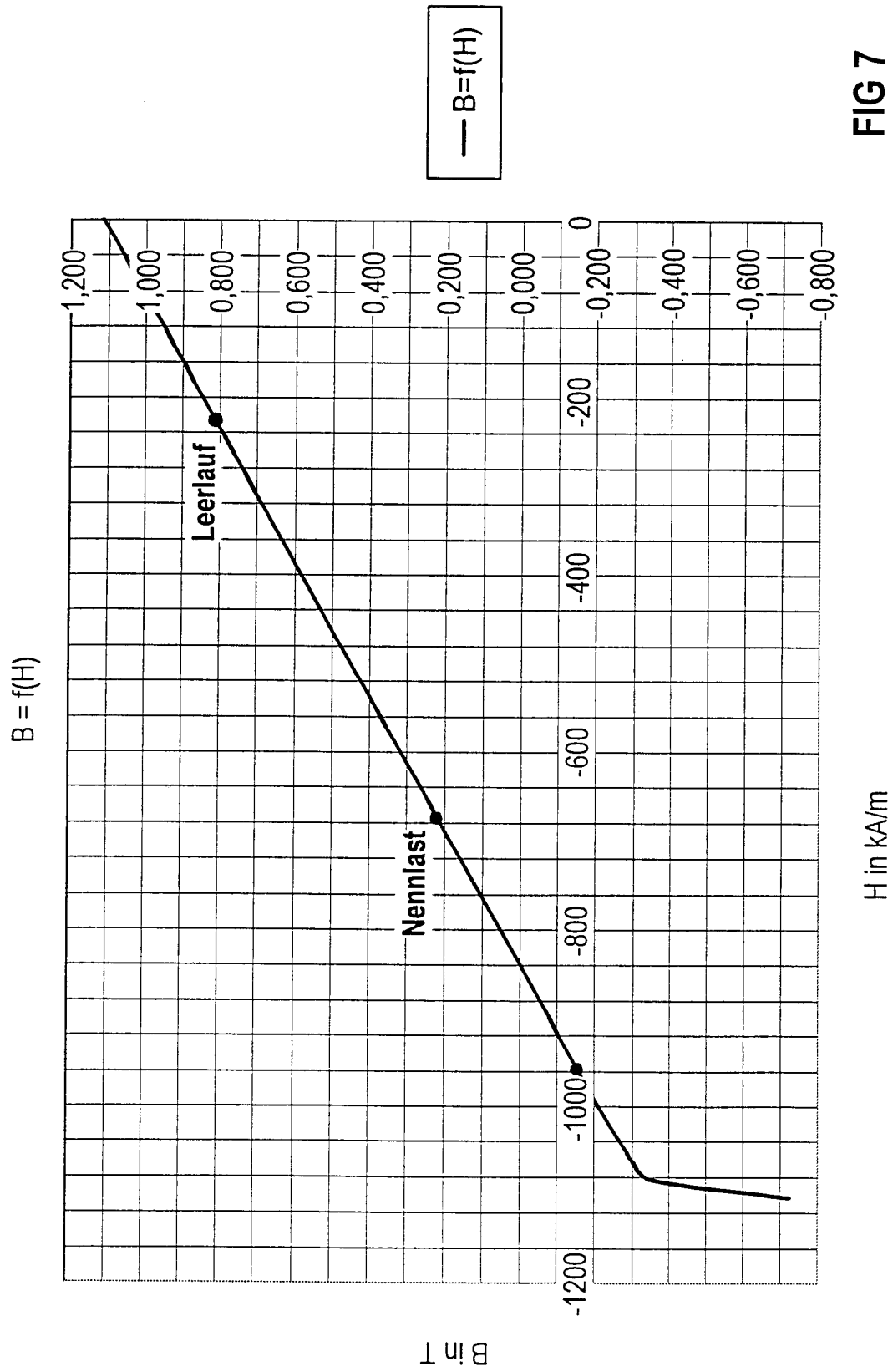


FIG 7

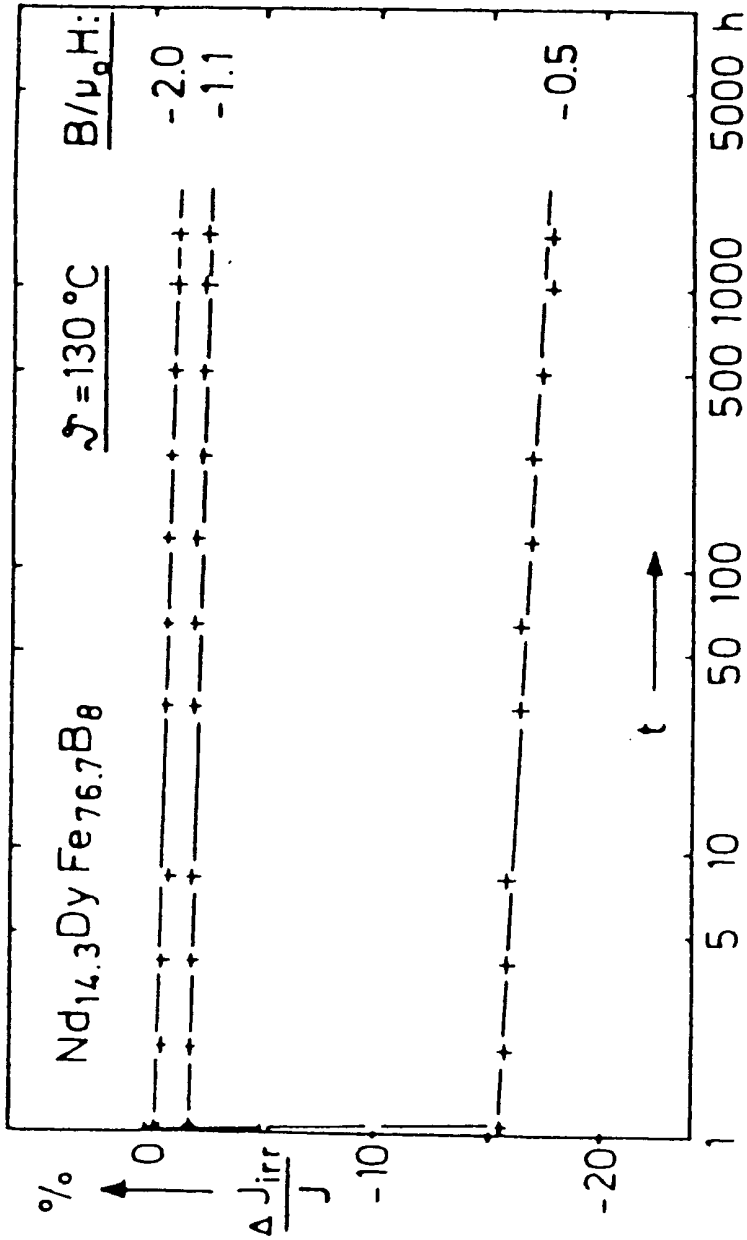


FIG 8