

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 938 388 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

29.01.2003 Patentblatt 2003/05

(51) Int Cl.7: **B21B 37/46**, H02P 7/74

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/DE97/02643

(21) Anmeldenummer: **97951069.0**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 98/022234 (28.05.1998 Gazette 1998/21)

(22) Anmeldetag: **11.11.1997**

(54) **WALZSTRASSE MIT ZUMINDEST EINEM WALZGERÜST MIT DREHSTROMANTRIEBSSYSTEM**

MILL TRAIN WITH AT LEAST ONE ROLL STAND WITH THREE-PHASE CURRENT DRIVING SYSTEM

TRAIN DE LAMINAGE COMPRENANT AU MOINS UNE CAGE DE LAMINOIR POURVUE D'UN SYSTEME D'ENTRAÎNEMENT A COURANT TRIPHASE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE DE FI NL SE

(72) Erfinder: **WOKUSCH, Johann**

D-91301 Forchheim (DE)

(30) Priorität: **18.11.1996 DE 19647637**

(56) Entgegenhaltungen:

US-A- 4 882 923

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

01.09.1999 Patentblatt 1999/35

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 009, no. 043 (E-298), 22.Februar 1985 & JP 59 181992 A (TOSHIBA KK), 16.Oktober 1984,**

(73) Patentinhaber: **SIEMENS**

AKTIENGESELLSCHAFT

80333 München (DE)

EP 0 938 388 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Walzstraße mit zumindest einem Walzgerüst zum Walzen von Walzgut, wobei das Walzgerüst von zumindest einem Drehstrommotor angetrieben wird.

[0002] Die Erfindung bezieht sich auf Walzstraßen mit großem Drehzahlstellbereich gemäß der US 4 882 923, die als Referenz einbezogen ist.

[0003] Die in der US 4 882 923 beschriebene Walzstraße weist Elektromotoren zum Antrieb mindestens eines der Walzgerüste auf, deren Verhältnis von maximaler zu minimaler Walzgeschwindigkeit mindestens 3,0, aber höchstens 10,0 beträgt. Für den in der US 4 882 923 offenbarten, nicht in besonderer Weise geregelten Antriebsmotor wird erwartet, daß er in den beschriebenen Drehzahlbereich eine gleichbleibende Leistungsabgabe gemäß seiner Nennleistung aufweist. Bei einem Drehstrommotor ist aber ein Regelbereich gleichbleibender Leistungsabgabe nur mit einem Zusatzaufwand zu realisieren, der um so größer ist, je größer der Regelbereich ist.

[0004] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Walzstraße mit Drehstrommotoren anzugeben, bei der die Leistungsdaten der Motoren eine freizügigere Gestaltung der Walzprogramme als mit den herkömmlichen Walzstraßen, insbesondere eine optimalere Gestaltung als mit der in der US 4 882 923 beschriebenen Walzstraße erlauben. Weiter ist es wünschenswert die Zusatzaufwendungen, d. h. die Kosten für ein großes Verhältnis von maximaler Walzgeschwindigkeit zu minimaler Walzgeschwindigkeit geringer als bei herkömmlichen Walzstraßen zu halten und ebenso die Ausnutzung der installierten Antriebsausrüstung sowie deren Wirkungsgrad zu verbessern.

[0005] Die Aufgabe wird durch eine Walzstraße mit zumindest einem Walzgerüst zum Walzen von Walzgut gelöst, wobei das Walzgerüst von zumindest einem Drehstrommotor angetrieben wird, dessen Drehzahl zum Walzen des Walzgutes in Abhängigkeit der Anforderungen des Walzprozesses mittels eines Reglers zwischen einer minimalen Drehzahl und einer maximalen Drehzahl einstellbar ist, wobei das Verhältnis von maximaler Drehzahl zu minimaler Drehzahl zwischen 2,0 und 8,0 liegt, wobei von dem Drehstrommotor bei der minimalen Drehzahl eine erste Dauerleistung abgebar ist und bei der maximalen Drehzahl eine zweite Dauerleistung abgebar ist, wobei von dem Drehstrommotor im Drehzahlbereich zwischen der minimalen und der maximalen Drehzahl eine Dauerleistung abgebar ist, die größer als die erste Dauerleistung und größer als die zweite Dauerleistung ist.

[0006] Während die Walzstraße gemäß der US 4 882 923 auf eine Betriebsweise bei Nennleistung fixiert ist, welche die sie antreibenden Elektromotoren bei minimaler Drehzahl als Dauerleistung (continuous rated output) abzugeben imstande sind, wird bei der erfindungsgemäßen Walzstraße die abgegebene Leistung nicht auf diesem Wert konstant gehalten, sondern es wird eine variable Leistung angegeben. Auf diese Weise ist es möglich, in besonders flexibler und optimaler Weise auf unterschiedliches Walzgut, z.B. in bezug auf unterschiedliche Abmessungen, Temperatur oder Stahlqualität, zu reagieren.

[0007] Die erfindungsgemäße Walzstraße ist besonders in einer Ausführung als mehrgerüstige Walzstraße von Vorteil.

[0008] In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung erlaubt die Regelung des Drehstrommotors also eine Dauerleistungsabgabe, die in einem weiten Drehzahlbereich größer ist als die Dauerleistung (continuous output) des Drehstrommotors bei minimaler Drehzahl und insbesondere größer ist als die Dauerleistung gemäß Section 4 des IEEE Standard 11-1980.

[0009] Während die Elektromotoren gemäß der US 4 882 923 mit Nennleistung betrieben werden, wird die vorteilhafterweise ausgestaltete Walzstraße mit Drehstrommotoren betrieben, die für ausgewählte Walzprogramme im Bereich zwischen minimaler und maximaler Drehzahl über beliebige Zeit oberhalb ihrer Dauer- bzw. Nennleistung (continuous rated output) gemäß der US 4 882 923 laufen können.

[0010] Sofern die erfindungsgemäß angebotene Leistungsreserve nicht oder nur zum Teil genutzt wird, ist es somit möglich, sowohl die Drehstrommotoren als auch die sie speisenden Umrichter kleiner und kostengünstiger auszuführen als bei einer Walzstraße gemäß der US 4 882 923.

[0011] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung steigt die von dem Drehstrommotor abgebbare Dauerleistung zwischen der minimalen Drehzahl und einer mittleren Drehzahl im wesentlichen linear an.

[0012] Von der mittleren Drehzahl zur maximalen Drehzahl fällt die von dem Drehstrommotor abgebbare Dauerleistung gemäß einer ersten Alternative im wesentlichen kontinuierlich ab. Gemäß einer zweiten Alternative bleibt oberhalb der mittleren Drehzahl die von dem Drehstrommotor abgebbare Leistung zunächst im wesentlichen konstant und fällt erst zur maximalen Drehzahl hin ab.

[0013] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Drehstrommotoren im vorgesehenen Drehzahlbereich kurzzeitig eine höhere Leistung als die Dauerleistung bei der minimalen und der maximalen Drehzahl abgeben können, insbesondere das 1,5- bis 2,5-fache. Dabei ist für Kaltwalzen der Bereich des 1,5- bis 1,75-fachen und für Warmwalzen der Bereich des 1,75- bis 2,25-fachen besonders vorteilhaft. So wird eine erhöhte Sicherheit für den Walzbetrieb mit seinen stoßartigen Beanspruchungen und seinen Anforderungen an Beschleunigungen und Drehzahlkorrekturen erreicht. Als Kurzzeitleistung im obengenannten Sinne ist dabei die Leistung zu verstehen, die der Drehstrommotor während des Walzens eines Walzgutes, z. B. eines Walzbandes ohne Schädigung kurzzeitig abgeben

kann.

[0014] Die Erfindung ist bei Asynchronmotoren oder Synchronmotoren einsetzbar.

[0015] In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung liegt das Verhältnis von maximaler Drehzahl zu minimaler Drehzahl zwischen 2,0 und 5,0. Der Bereich oberhalb eines Drehzahlverhältnisses von 5,0 ermöglicht zwar einen besonders flexiblen Betrieb der Walzstraße, dem gegenüber führen aber besonders große Drehzahlverhältnisse zu der Notwendigkeit größere Zusatzaufwendungen bei Umrichtern und Motoren vorzusehen. Unter dieser Randbedingung hat sich der Bereich 2,0 bis 5,0 für das Verhältnis von minimaler Drehzahl zu maximaler Drehzahl als besonders vorteilhaft erwiesen (vergl. FIG 3).

[0016] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist die Dauerleistung (continuous output) bei maximaler Drehzahl gleich oder größer als die Dauerleistung bei minimaler Drehzahl.

[0017] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird der Drehstrommotor im Drehzahlbereich zwischen der minimalen Drehzahl und der maximalen Drehzahl in analoger Weise mit einer Kurzzeitleistung betrieben, die größer ist als die Kurzzeitleistung des Drehstroms bei minimaler Drehzahl und die größer ist als die Kurzzeitleistung des Drehstrommotors bei maximaler Drehzahl, wobei die Kurzzeitleistung bei maximaler Drehzahl gleich oder kleiner als die Kurzzeitleistung bei minimaler Drehzahl ist.

[0018] Es ist im Rahmen der Erfindung vorgesehen, daß der Drehstrommotor in Ausbildung als Synchronmotor durch einen variablen Verschiebewinkel zwischen der inneren Spannung und dem Ständerstrom auf die optimale Wirklastabgabe geregelt wird. So ist eine besonders günstige Regelung eines Walzwerksantriebs in dem vorgegebenen Drehzahlbereich möglich. Es ist aber vorgesehen, daß oberhalb der minimalen Drehzahl zur Leistungserhöhung abhängig von der Drehzahl zunächst die innere Spannung e erhöht und nach Erreichen der Spannungsgrenze des Umrichters die Phasenlage des Ständerstroms bis zum Maximalwert geregelt wird. So werden die physikalischen Gegebenheiten eines Synchronmotors besonders gut ausgenutzt.

[0019] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß mittels der Regelung die Phasenlage des Stromes derart eingestellt wird, daß sich ein gleicher Phasenwinkel zwischen Ständerstrom i_s und der elektromotorisch erzeugten inneren Spannung e wie zwischen dem Ständerstrom i_s und einer fiktiven inneren Spannung u bildet. Die fiktive innere Spannung u wird als Gegenspannung zur Abdeckung der vektoriellen Summe der wirkverlustunabhängigen Spannungen definiert, die sich zusammensetzt aus der inneren Spannung e und dem induktiven Spannungsabfall $i_s \cdot x_s$. Dabei ist x_s die Reaktanz der Ständerwicklung des Drehstrommotors. So ergibt sich die erfindungsgemäß gewünschte optimale Regelung mit ihren vorteilhaften Auswirkungen und der Möglichkeit einer vorteilhaften, größtmöglichen Leistungsabgabe mit reduziertem Aufwand und verbessertem Wirkungsgrad. Der als Synchronmotor ausgebildete Elektromotor kann zudem optimal klein ausgelegt werden, d.h. mit einem kleinen Massenträgheitsmoment (moment of inertia).

[0020] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß der innere Verschiebewinkel ϕ_i , der sich ergibt als Winkel zwischen den Vektoren der inneren Spannung e und dem Ständerstrom i_s , kleiner gleich 40° , insbesondere kleiner gleich 35° , eingestellt wird. Insbesondere bei der Einstellung des Verschiebewinkels kleiner gleich 35° ergibt sich ein sicheres Arbeiten des Synchronmotors. Dazu ist auch vorgesehen, daß der innere Spannungsabfall durch entsprechende Bemessung des Motors auf höchstens $\sqrt{2} \cdot e$ festgelegt wird, wobei die inneren Spannungen e und u , bezogen auf den entsprechenden Wert bei der minimalen Drehzahl, um einen Faktor von maximal 1,22 erhöht werden. Diese Maßnahme trägt zur besten Nutzung der Ausrüstung und zum sicheren Arbeiten des Synchronmotors bei.

[0021] In analoger Anwendung der Erfindung ist vorgesehen, daß bei der Ausbildung des Antriebsmotors als Asynchronmotor der Motor mit einer Spannungsreserve zur Abdeckung der Spannungsabfälle bei der höchsten Drehzahl und höchsten Belastung betrieben wird, wobei die innere Spannung e oberhalb der minimalen Drehzahl mit steigender Drehzahl entsprechend der jeweils vorhandenen Spannungsreserve erhöht wird. So ergibt sich eine für Asynchronmotoren und deren Umrichter eine optimale Ausnutzbarkeit der installierten Leistungen und eine Verbesserung des Wirkungsgrades.

[0022] Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, aus denen weitere, auch erfindungswesentliche, Einzelheiten ebenso wie aus den Unteransprüchen entnehmbar sind. Im einzelnen zeigt:

FIG 1 die maximal verfügbare Leistung von Drehstrommotoren bei konstantbleibender Spannung und konstant gehaltener innerer Spannung e ,

FIG 2 die Leistungscharakteristik bei einer Regelung entsprechend der Erfindung für einen Asynchronmotor,

FIG 3 Aufwendungen (Expenses) in Abhängigkeit des Verhältnisses von maximaler zu minimaler Drehzahl am Beispiel eines Antriebsmotors für ein Kaltwalzwerk,

FIG 4 ein Vektordiagramm für den Punkt der höchsten Drehzahl für einen Synchronmotor mit großem Drehzahlregelbereich bei einer Regelung entsprechend der Erfindung,

FIG 5 ein Vektordiagramm für den Punkt der höchsten Drehzahl für einen Synchronmotor mit großem Drehzahlregelbereich bei einer Regelung entsprechend der Erfindung im Vergleich mit einer Regelung mit einem Lei-

stungsfaktor von 1 und
 FIG 6 die Leistungscharakteristik bei einer Regelung entsprechend der Erfindung für einen Synchronmotor.

[0023] Bei Antriebsmotoren für Anwendungen im Walzwerksbereich wird häufig ein Drehzahlregelbereich mit annähernd konstanter Leistungsabgabe benötigt. Z. B. wird für Antriebsmotoren von Haspeln zum Aufwickeln von gewalztem Band beim Anfangsdurchmesser eine hohe Drehzahl bei einem kleinen Drehmoment, beim Enddurchmesser aber eine niedrige Drehzahl bei einem hohen Drehmoment benötigt. Für konstanten Bandzug bedeutet dies für den gesamten Drehzahlbereich des Wickelvorganges eine annähernd konstante Leistung. Für Haspelanlagen, z. B. in Kaltwalzwerken kann dieser Drehzahlregelbereich, d. h. das Verhältnis von minimaler Drehzahl zu maximaler Drehzahl bei Betrieb, 1:5 betragen. Aber auch für Antriebsmotoren von Walzgerüsten ist in manchen Fällen ein möglichst großer Bereich annähernd konstanter Leistung wünschenswert, um zur Gestaltung der Walzprogramme einen entsprechenden Spielraum zu haben. Walzdurchgänge mit geringen Reduktionen bzw. schmale Bänder erfordern geringe Drehmomente, erlauben aber hohe Walzgeschwindigkeiten. Umgekehrt können Walzdurchgänge mit hohen Reduktionen bzw. breite Bänder mit hohem Bedarf an Drehmomenten nur mit entsprechend begrenzter Geschwindigkeit gewalzt werden. Für solche Anwendungen kann ein Drehzahlbereich bis 1:10 wünschenswert sein (US 4 882 923).

[0024] Von der Gleichstrommaschine her ist bekannt, daß ein Bereich konstanter Leistung relativ einfach durch Schwächen des Erregerfeldes realisiert werden kann und zwar in der Weise, dass der Fluß Φ des Motors nach Erreichen der Drehzahl für volle Leistung durch Verstellen des Erregerstromes mit weiter steigender Drehzahl so reduziert wird, daß die elektromotorisch erzeugte innere Spannung e der Maschine konstant bleibt: $e = \Phi \cdot n$.

[0025] Bei einer gleichbleibenden inneren Spannung e kann der Motor somit bei gleichem Ankerstrom des Gleichstrommotors auch mit gleich bleibender Spannung betrieben werden und die Leistung, die durch das Produkt aus dem Ankerstrom i und der inneren Spannung e gebildet wird, bleibt konstant: $P = i \cdot e$.

[0026] Bei der Drehstrommaschine kann prinzipiell aus physikalischen Gründen ein Arbeitsbereich konstanter Leistung bei konstant bleibender Klemmenspannung und konstant bleibendem Strom nicht realisiert werden. Es ist zwar möglich, den wirksamen Fluß der Drehstrommaschine durch entsprechende Vorkehrungen in der Regelung der Maschine einzustellen, also auch die innere Spannung e der Drehstrommaschine wie bei der Gleichstrommaschine über einen bestimmten Drehzahlbereich konstant zu halten und damit die Drehzahl über eine Minimaldrehzahl n_N hinaus zu erhöhen.

[0027] Das Problem stellen die induktiven Spannungsabfälle dar. Der Spannungsbedarf der Drehstrommaschine wird außer durch die elektromotorisch erzeugte innere Spannung e vor allem durch die Spannungsabfälle an der Reaktanz x_S der Ständerwicklung der Maschine bestimmt. (Die Spannungsabfälle an den ohm'schen Widerständen und an der Reaktanz der Läuferwicklung - im Falle einer Asynchronmaschine - spielen im Vergleich eine weniger wichtige Rolle.)

[0028] Die Reaktanz x_S ergibt sich aus der wirksamen Induktivität L_S der Ständerwicklung und der Frequenz des Motors. Für sie gilt

$$x_S = 2 \pi f \cdot L_S$$

[0029] Dabei ist f Betriebsfrequenz des Motors. Die Betriebsfrequenz f ändert sich mit der Drehzahl des Motors. Der induktive Spannungsabfall ist abhängig vom Ständerstrom. Er errechnet sich aus $i_S \cdot x_S$ und addiert sich vektoriell zur inneren Spannung e der Maschine.

[0030] Der Spannungsabfall $i_S \cdot x_S$ ist also außer von der Belastung auch von der Frequenz und damit von der Drehzahl abhängig.

[0031] Wird nun die Spannung von Motor und speisendem Umrichter so ausgewählt, daß bei einer minimalen Drehzahl und einer gewünschten maximalen kurzzeitigen Leistungsabgabe P_S alle Spannungsabfälle abgedeckt werden, so muß bei steigenden Drehzahlen wegen der steigenden Reaktanz der Ständerstrom entsprechend reduziert werden, und es ergibt sich bei konstant bleibender Spannung und konstant geregelter inneren Spannung e eine verfügbare Kurzzeitleistung P_S gemäß FIG 1. Die verfügbare Kurzzeitleistung fällt mit der Drehzahl sehr stark ab. Sie kann bei größeren Drehzahlbereichen sogar die bei der minimalen Drehzahl verfügbare Dauerleistung $P_{\min}$ unterschreiten.

[0032] Durch eine Synchronmaschine mit entsprechender Regelung der Phasenlage des Ständerstromes kann ein Leistungsfaktor = 1 erreicht werden. Damit kann die erforderliche Leistung im speisenden Umrichter im Vergleich zu einer Asynchronmaschine reduziert werden. Nachteilig ist jedoch, daß sich für eine bestimmte Umrichterleistung und Betrieb mit Leistungsfaktor = 1 auch für die Synchronmaschine ein Leistungsabfall ähnlich FIG 1 ergibt.

[0033] Bei einer geregelten Drehstrommaschine kann der mit der Drehzahl steigende Spannungsbedarf durch entsprechende Spannungsvorsorgen im speisenden Frequenz-Umrichter abgedeckt werden. Nachteilig dabei ist aber, daß dabei sehr große Spannungsreserven und damit Leistungsreserven im Umrichter und im Motor erforderlich sind und daß diese bei konstanter Leistungsabgabe oberhalb der minimalen Drehzahl sehr schlecht ausgenutzt werden.

Der Ausnutzungsgrad kann bei Antrieben mit sehr großen Drehzahlregelbereichen auf unter 50 % fallen.

[0034] Diese schlechte Ausnutzung von Umrichter und Motor, die einhergeht mit höheren Verlustleistungen, führt zu hohen Investitionskosten und erhöht auch die Betriebskosten. FIG 3, Bezugszeichen 1 veranschaulicht am Beispiel eines herkömmlichen Drehstromasynchronmotors für ein Kaltwalzwerk, wie sich die Aufwendungen in Abhängigkeit des Verhältnisses von maximaler zu minimaler Drehzahl erhöhen.

[0035] Zur Vermeidung dieser Nachteile wird vorgeschlagen:

1. für den Asynchronmotor

[0036] Es werden Spannungsreserven zur Abdeckung der inneren Spannungsabfälle für eine Belastung des Motors mit der Kurzzeitlast $P_{S(max)}$ bei der maximalen Drehzahl vorgesehen.

[0037] Der Asynchronmotor wird durch entsprechende Festlegungen in der Regelung der Motorspannung und der Regelung der Phasenlage des Stromes im Bereich oberhalb der minimalen Drehzahl jedoch nicht mit konstanter innerer Spannung e und konstanter Leistung, sondern so betrieben, daß in dem Drehzahlbereich, in dem die vorgesehene Spannungsreserve nicht zur Abdeckung der induktiven Spannungsabfälle benötigt wird, die innere Spannung e oberhalb der minimalen Drehzahl n_{min} bei weiterhin vollem magnetischem Fluß entsprechend den vorhandenen Reserven mit steigender Drehzahl weiter erhöht wird, bis auf die innere Spannung e_D , die mit der maximal nutzbaren Umrichterspannung bei der Drehzahl n_D erreicht wird. Es ergibt sich dadurch für einen gleichbleibenden Ständerstrom eine Leistungscharakteristik nicht konstanter Leistung beispielhaft nach FIG 2. Der Asynchronmotor wird also erfindungsgemäß in einem weiten Drehzahlbereich oberhalb seiner Dauerleistung $P_{(min)}$ bei minimaler Drehzahl betrieben, und zwar maximal mit der Leistung P_D (bzw. kurzzeitig mit P_{SD}). Die Leistung P_D resultiert als Bemessungsleistung (design rating) bei der Drehzahl n_D nach diesem Verfahren.

[0038] In FIG 2 zeigt die Linie e den Verlauf der inneren Spannung e bei der Dauerleistung P und die Linie e_S den Verlauf bei der Kurzzeitleistung P_S .

[0039] Die Lösung bietet folgende Vorteile:

a) In einem weiten Drehzahlbereich ergibt sich eine Leistungsreserve, die zur Gestaltung von Walzprogrammen genutzt werden kann. Die Ausnutzungsgrade von Motor und Umrichter und deren Wirkungsgrade werden entschieden verbessert.

b) Bei Betrieb mit einer Leistungsanforderung unterhalb der verfügbaren Leistung ergibt sich in einem weiten Drehzahlbereich eine Reduzierung des aufgenommenen Stromes in der Relation von benötigter Leistung zu verfügbarer Leistung. Die thermische Belastung von Drehstrommotor und Umrichter wird reduziert. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, unter Berücksichtigung der geforderten Kurzzeitleistung und entsprechend der zu erwartenden Lastspiele und der resultierenden geringen effektiven Strombelastung einen kleineren Drehstrommotor zu wählen und auch Komponenten des Umrichters zu verkleinern.

2. für den Synchronmotor

[0040] Es wird vorgeschlagen, für Anwendungen, die ein großes Verhältnis von minimaler zu maximaler Walzgeschwindigkeit erfordern, vorzugsweise einen Synchronmotor zu verwenden und dabei die Wirklastabgabe durch einen variablen Verschiebewinkel zwischen der inneren Spannung e und dem Ständerstrom i_S zu optimieren. Dazu wird vorgeschlagen, mittels einer Regelung der Phasenlage des Ständerstromes die Phasenlage des Stromes i_S so einzustellen, daß sich ein gleicher Phasenwinkel zwischen dem Ständerstrom i_S und der elektromotorisch erzeugten inneren Spannung e (= innerer Verschiebewinkel φ_i) ergibt wie zwischen dem Ständerstrom i_S und einer fiktiven inneren Spannung u . Die innere Spannung u ist definiert als Gegenspannung zur Abdeckung der vektoriellen Summe der wirkverlustunabhängigen Spannungen, die sich zusammensetzt aus der inneren Spannung e und dem induktiven Spannungsabfall $i_S \cdot x_S$, d. h. dem Produkt aus Ständerstrom i_S und Motorreaktanz x_S .

[0041] Dabei wird gleichzeitig festgelegt, dass der innere Verschiebewinkel φ_i als Verschiebewinkel zwischen i_S und e nicht größer als 35° ist, dass der induktive Spannungsabfall $i_S \cdot x_S$ nicht größer als $\sqrt{2} \cdot e$ ist und dass weiter die elektromotorisch erzeugte innere Spannung e und die innere Spannung u oberhalb der minimalen Drehzahl n_{min} jeweils um einen Faktor F von maximal 1,22 erhöht werden.

[0042] FIG 4 verdeutlicht die Festlegung für den Grenzfall von 35° . Wie FIG 4 zeigt, wird vorausgesetzt, dass die äußere Klemmenspannung u_S mindestens so groß gewählt wird, dass auch der ohmsche Spannungsabfall $i_S \cdot r_S$ abgedeckt wird und dass der Erregerstrom i_e so groß eingestellt wird, dass die entmagnetisierende Wirkung der reaktiven Ständerstromkomponente i_{SR} kompensiert wird und ein benötigter fiktiver Magnetisierungsstrom i_u resultiert.

[0043] Aufgrund der beschriebenen Festlegung kann berechnet werden, wie groß die relative Ständerreaktanz des Motors x_S sein darf.

$$x_S = \frac{n_{\min}}{n_{\max}} \cdot \frac{P_{(\min)}}{P_{S(\max)}} \cdot \sqrt{2}$$

5 Beispiel:

$$n_{\max} = 8 \cdot n_{\min} \text{ (Bereich 1:8)}$$

$$10 \quad P_{S(\max)} = 2,0 \cdot P_{(\min)}$$

$$x_S = 0,088$$

15 **[0044]** Dabei ist $n_{\min}$ die minimale Drehzahl, $n_{\max}$ die maximale Drehzahl, $P_{(\min)}$ die Dauerleistung bei $n_{\min}$ und $P_{S(\max)}$ die gewünschte Kurzzeitleistung bei $n_{\max}$.

[0045] Die verfügbare maximale Wirkleistung nach FIG 4 ergibt sich aus dem Produkt der aktiven Komponente des Ständerstromes i_{SA} und der inneren Spannung e . Mit dem maximalen Verschiebewinkel φ_i von 35° bei gleichzeitiger Erhöhung der inneren Spannungen u und e um den Faktor $F = 1,22$ steht folgende Leistung zur Verfügung:

$$20 \quad P = \cos \varphi_i \cdot i_S \cdot F \cdot e_{(\min)} = 0,82 \cdot i_S \cdot 1,22 \cdot e = i_S \cdot e_{(\min)}$$

wobei $e_{(\min)}$ die innere Spannung e bei der minimalen Drehzahl $n_{\min}$ ist. Bei der Maximaldrehzahl $n_{\max}$ stehen mit dieser Festlegung also 100% der bei der Minimaldrehzahl $n_{\min}$ verfügbaren Kurzzeitleistung $P_{S(\min)}$ zur Verfügung.

25 **[0046]** Bei $\cos \varphi = 1$ wird bezogen auf die aufgenommene Leistung die größtmögliche Wirkleistung abgegeben. In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung und für den Fachmann an sich überraschenderweise wird jedoch von der Einstellung $\cos \varphi = 1$ abgewichen. Damit wird in einem gewünschten sehr großen Drehzahlbereich eine bestimmte Mindestwirklastabgabe erreicht. Mit dieser vorteilhaften Ausgestaltung wird ein bestmöglicher Leistungsfaktor erzielt, was es ermöglicht, mit einem kleineren und damit kostengünstigeren Antrieb auszukommen.

30 **[0047]** FIG 5 zeigt, welche Betriebsverhältnisse sich bei $\cos \varphi = 1$ bei gleicher Wirklastabgabe ergeben würden, und verdeutlicht die großen Vorteile, die ein an sich für den Fachmann überraschendes Abweichen von der Einstellung $\cos \varphi = 1$ mit sich führt. Entsprechend sind zur besseren Vergleichbarkeit die Vektoren aus FIG 4 und die entsprechenden Vektoren für den Fall $\cos \varphi = 1$ eingezeichnet.

35 **[0048]** Beim $\cos \varphi = 1$ liegen die Spannung U und der Ständerstrom i_S in Phase. Um dies zu realisieren, müßte die innere Spannung e (EMK) erheblich ansteigen. Die aktive Komponente des Ständerstroms i_{SA} könnte zwar im gleichen Verhältnis reduziert werden (gleiche Leistungsabgabe), wegen des vergrößerten inneren Verschiebewinkels φ_i bliebe der Ständerstrom i_S dabei aber praktisch unverändert und damit bliebe auch der induktive Spannungsabfall $i_S \cdot x_S$ unverändert groß. Ist die EMK größer als die Ständerspannung u_S , so ergeben sich unter bestimmten Betriebsbedingungen, z. B. bei schneller Entlastung, unkontrollierbare Stromanstiege, die den Umrichter, der den Antrieb speist, zerstören können. Das Ansteigen der EMK würde außerdem einen größeren Fluß erfordern, was eine größere Maschine mit einem stärkeren Erregersystem erfordern würde. Das Erregersystem müßte zudem in der Lage sein, die kräftig angestiegene entmagnetisierende Komponente i_{SR} des Ständerstromes zu kompensieren. Die vorteilhafte Abweichung von der Einstellung $\cos \varphi = 1$ unter bestimmten Bedingungen erlaubt es also gegenüber dem Stand der Technik, kleinere Motoren zu verwenden und gleichzeitig Schutz der Zerstörung der Umrichter, z. B. bei schneller Entlastung, zu verhindern.

45 **[0049]** Der maximale Wert der EMK von 1,22 und der maximale Winkel φ_i von 35° ermöglichen es, dass der induktive Ständerspannungsabfall $i_S \cdot x_S$ maximal $\sqrt{2} \cdot e$ sein kann (Höhe h des Dreiecks gleich 1). Der Begrenzung der EMK (und damit der Begrenzung des induktiven Spannungsabfalls und der Begrenzung des Winkels φ_i) liegen praktische Erwägungen zugrunde. Mit der besonders vorteilhaften Wahl eines maximalen Winkels von 35° wird erreicht, daß die entmagnetisierende Komponente des Ständerstroms i_{SR} deutlich unter der aktiven Komponente i_{SA} bleibt. Die Rückwirkungen auf das Magnetsystem und damit auf die Größe der Maschine bleiben bei der getroffenen Festlegung noch in zu akzeptierendem Rahmen.

50 **[0050]** Es wird vorgeschlagen, die vorgesehene Spannungsreserve (maximal 22%) zu nutzen, um auch im unteren Drehzahlbereich die innere Spannung e oberhalb der minimalen Drehzahl bei weiterhin vollem magnetischem Fluß proportional mit der Drehzahl zu erhöhen bis auf die innere Spannung e_D , die mit der maximal nutzbaren Umrichterspannung bei der Drehzahl n_D erreicht wird. Dadurch erhält man bei gleichbleibendem Ständerstrom eine Leistungscharakteristik nicht konstanter Leistungsabgabe beispielhaft nach FIG 6. Auch bei der Synchronmaschine resultiert bei der Drehzahl n_D eine Bemessungsleistung P_D (design rating) nach diesem Verfahren, die in einem weiten Dreh-

zahlbereich oberhalb der Dauerleistung $P_{(\min)}$ bei der minimalen Drehzahl $n_{\min}$ liegt.

[0051] Dem Beispiel nach FIG 6 liegt zugrunde, daß über einen Regelbereich von 1:8 kurzzeitig mindestens das 2-fache der Dauerleistung $P_{\min}$ bei der minimalen Drehzahl $n_{\min}$ zur Verfügung steht.

[0052] Die beschriebene Lösung erlaubt, dass die eingesetzte Leistungsreserve entsprechend dem Faktor F kleinstmöglich gewählt wird und bestmöglich genutzt wird.

[0053] FIG 3 (Bezugszeichen 2) zeigt an einem Beispiel den Verlauf der Aufwendungen in Abhängigkeit des Verhältnisses von maximaler Drehzahl $n_{\max}$ zu minimaler Drehzahl $n_{\min}$ für einen Synchronmotor gemäß der vorliegenden Erfindung im Vergleich zu dem mit Bezugszeichen 1 bezeichneten Verlauf für einen Asynchronmotor nach dem bekanntem Stand der Technik.

[0054] Der Verlauf der Aufwendungen in Abhängigkeit des Verhältnisses von maximaler Drehzahl $n_{\max}$ zu minimaler Drehzahl $n_{\min}$ für einen Synchronmotor gemäß Bezugszeichen 2 macht außerdem deutlich, dass die Erfindung für einen Drehzahlbereich von 1:2 bis 1:5 besonders wirtschaftlich einsetzbar ist.

Patentansprüche

1. Walzstraße mit zumindest einem Walzgerüst zum Walzen von Walzgut,

- wobei das Walzgerüst von zumindest einem Drehstrommotor angetrieben wird, dessen Drehzahl zum Walzen des Walzgutes in Abhängigkeit der Eigenschaften des Walzprozesses mittels eines Reglers zwischen einer minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) und einer maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) einstellbar ist,
- wobei das Verhältnis von maximaler Drehzahl ($n_{\max}$) zu minimaler Drehzahl ($n_{\min}$) zwischen 2,0 und 8,0 liegt,
- wobei von dem Drehstrommotor bei der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) eine erste Dauerleistung ($P_{\min}$) und bei der maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) eine zweite Dauerleistung ($P_{\max}$) abgebar ist,
- wobei von dem Drehstrommotor im Drehzahlbereich zwischen der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) und der maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) eine Dauerleistung (P) abgebar ist, die größer als die erste Dauerleistung ($P_{\min}$) und größer als die zweite Dauerleistung ($P_{\max}$) ist.

2. Walzstraße nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass die von dem Drehstrommotor abgebbare Dauerleistung (P) zwischen der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) und einer mittleren Drehzahl (n_D), die zwischen der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) und der maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) liegt, im wesentlichen linear ansteigt.

3. Walzstraße nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass die von dem Drehstrommotor abgebbare Dauerleistung (P) zwischen der mittleren Drehzahl (n_D) und der maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) im wesentlichen kontinuierlich abfällt.

4. Walzstraße nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass die von dem Drehstrommotor abgebbare Dauerleistung (P) zwischen der mittleren Drehzahl (n_D) und der maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) in der Nähe der mittleren Drehzahl (n_D) im wesentlichen konstant bleibt und zur maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) hin dann abfällt.

5. Walzstraße nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass von dem Drehstrommotor zwischen der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) und der maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) eine Kurzzeitleistung (P_S) abgebar ist, die größer als das 1,5-fache der ersten und der zweiten Dauerleistung ($P_{\min}$, $P_{\max}$) ist.

6. Walzstraße nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass von dem Drehstrommotor zwischen der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) und der maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) eine Kurzzeitleistung (P_S) abgebar ist, die größer als das 1,75-fache der ersten und der zweiten Dauerleistung ($P_{\min}$, $P_{\max}$) ist.

7. Walzstraße nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet,

dass von dem Drehstrommotor zwischen der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) und der maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) eine Kurzzeitleistung (P_S) abgebar ist, die größer als das 2,0- bis 2,5-fache, insbesondere größer als das 2,25-fache, der ersten und der zweiten Dauerleistung ($P_{\min}$, $P_{\max}$) ist.

8. Walzstraße nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Drehstrommotor als überlastbarer Drehstrommotor ausgebildet ist.

9. Walzstraße nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Drehstrommotor eine Temperaturüberwachung aufweist und dass bei Überschreiten einer zulässigen Grenztemperatur durch die Temperatur des Drehstrommotors die vom Drehstrommotor abgebbare Leistung begrenzt wird.

10. Walzstraße nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass die zweite Dauerleistung ($P_{\max}$) mindestens so groß wie die erste Dauerleistung ($P_{\min}$) ist.

11. Walzstraße nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass von dem Drehstrommotor zwischen der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) und der maximalen Drehzahl ($n_{\max}$) eine Kurzzeitleistung (P_S) abgebar ist, die größer als die Kurzzeitleistung ($P_{S(\min)}$) des Drehstrommotors bei minimaler Drehzahl ($n_{\min}$) ist, und dass die Kurzzeitleistung ($P_{S(\max)}$) des Drehstrommotors bei maximaler Drehzahl ($n_{\max}$) maximal so groß wie die Kurzzeitleistung ($P_{S(\min)}$) des Drehstrommotors bei minimaler Drehzahl ($n_{\min}$) ist.

12. Walzstraße nach einem der Ansprüche 1 bis 11,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Drehstrommotor als Asynchronmotor ausgebildet ist.

13. Walzstraße nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Asynchronmotor aus einem Umrichter speisbar ist, der derart ausgebildet ist, dass von ihm am Ausgang Frequenz, Spannung und Phasenlage der Spannung veränderbar sind, dass der Asynchronmotor mit einer Spannungs-Reserve zur Abdeckung der inneren Spannungsabfälle bei maximaler Drehzahl ($n_{\max}$) und maximaler Last ($P_{\max}$) betreibbar ist, und dass die innere Spannung (e) oberhalb der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) bei vollem magnetischem Fluß mit steigender Drehzahl entsprechend der jeweils vorhandenen Spannungsreserve weiter erhöhbar ist, bis eine innere Spannung (e_D) erreicht wird, die bei der höchsten ausnutzbaren Spannung des Umrichters bei einer mittleren Drehzahl (n_D) erreicht wird, bei der die von dem Asynchronmotor abgebbare Dauerleistung (P) maximal ist.

14. Walzstraße nach einem der Ansprüche 1 bis 11,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Drehstrommotor als Synchronmotor ausgebildet ist.

15. Walzstraße nach Anspruch 14

dadurch gekennzeichnet,

dass der Synchronmotor mittels eines Erregerstromrichters und mittels eines Umrichters betreibbar ist, der derart ausgebildet ist, dass von ihm im Ausgang Frequenz, Spannung und Phasenlage der Spannung veränderbar sind, und dass der Synchronmotor durch einen variablen Verschiebewinkel (φ_i) zwischen der inneren Spannung (e) und dem Ständerstrom (I_s) des Synchronmotors auf die optimale Wirklastabgabe regelbar ist.

16. Walzstraße nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet,

dass von dem Regler des Drehstrommotors mittels des Erregerstromrichters und des Umrichters die innere Spannung des Motors derart regelbar ist, dass oberhalb der minimalen Drehzahl ($n_{\min}$) bei vollem magnetischem Fluß abhängig von der Drehzahl die innere Spannung (e) entsprechend der vorhandenen Spannungsreserve bis auf die innere Spannung (e_S) weiter erhöhbar ist, die bei der höchsten ausnutzbaren Spannung des Umrichters bei

einer mittleren Drehzahl (n_D) erreicht wird, bei der die von dem Synchronmotor abgebbare Dauerleistung (P) maximal ist.

17. Walzstraße nach Anspruch 15 oder 16,

dadurch gekennzeichnet,

dass mittels der Regelung der Phasenlage des Ständerstromes (I_s) des Synchronmotors die Phasenlage des Ständerstromes (I_s) derart einstellbar ist, dass sich ein drehzahl- und lastanforderungsgerechter Phasenwinkel (φ_i) zwischen dem Ständerstrom (I_s) und der elektromotorisch erzeugten inneren Spannung (e) bildet, der bis zu einem Maximalwert gesteigert wird.

18. Walzstraße nach Anspruch 15, 16 oder 17,

dadurch gekennzeichnet,

dass mittels der Regelung der Phasenlage des Ständerstromes (I_s) des Synchronmotors die Phasenlage des Ständerstromes (I_s) derart einstellbar ist, dass sich bei der maximalen Drehzahl (n_{max}) ein gleicher Phasenwinkel zwischen dem Ständerstrom (I_s) und der elektromotorisch erzeugten inneren Spannung (e) wie zwischen dem Ständerstrom (I_s) und einer fiktiven inneren Spannung (u) bildet, wobei die innere Spannung (u) als Gegenspannung zur Abdeckung der vektoriellen Summe der wirkverlustunabhängigen Spannungen gebildet wird.

19. Walzstraße nach einem der Ansprüche 15 bis 18,

dadurch gekennzeichnet,

dass der innere Verschiebewinkel (φ_i) bei der maximalen Drehzahl (n_{max}) auf einen Wert kleiner gleich 40° begrenzt ist.

Claims

1. Rolling-mill train comprising at least one rolling mill stand for the rolling of rolling stock,

- wherein the rolling mill stand is driven by at least one three-phase motor whose rotational speed for rolling the rolling stock is adjustable by means of a regulator between a minimum rotational speed (n_{min}) and a maximum rotational speed (n_{max}) as a function of the characteristics of the rolling process,
- wherein the ratio of maximum rotational speed (n_{max}) to minimum rotational speed (n_{min}) is between 2.0 and 8.0,
- wherein a first continuous output (P_{min}) can be delivered by the three-phase motor at the minimum rotational speed (n_{min}) and a second continuous output (P_{max}) can be delivered by the three-phase motor at the maximum rotational speed (n_{max}),
- wherein a continuous output (P) that is greater than the first continuous output (P_{min}) and greater than the second continuous output (P_{max}) can be delivered by the three-phase motor in the rotational-speed range between the minimum rotational speed (n_{min}) and the maximum rotational speed (n_{max}).

2. Rolling-mill train according to Claim 1, **characterized in that** the continuous output (P) deliverable by the three-phase motor increases substantially linearly between the minimum rotational speed (n_{min}) and a mean rotational speed (n_D) that is between the minimum rotational speed (n_{min}) and the maximum rotational speed (n_{max}).

3. Rolling-mill train according to Claim 2, **characterized in that** the continuous output (P) deliverable by the three-phase motor decreases substantially continuously between the mean rotational speed (n_D) and the maximum rotational speed (n_{max}).

4. Rolling-mill train according to Claim 2, **characterized in that** the continuous output (P) deliverable by the three-phase motor remains substantially constant between the mean rotational speed (n_D) and the maximum rotational speed (n_{max}) in the vicinity of the mean rotational speed (n_D) and then decreases towards the maximum rotational speed (n_{max}).

5. Rolling-mill train according to one of the preceding claims, **characterized in that** a short-term output (P_S) that is greater than 1.5 times the first and the second continuous outputs (P_{min} , P_{max}) can be delivered by the three-phase motor between the minimum rotational speed (n_{min}) and the maximum rotational speed (n_{max}).

6. Rolling-mill train according to Claim 5, **characterized in that** a short-term output (P_S) that is greater than 1.75

times the first and the second continuous outputs ($P_{\min}$, $P_{\max}$) can be delivered by the three-phase motor between the minimum rotational speed ($n_{\min}$) and the maximum rotational speed ($n_{\max}$).

7. Rolling-mill train according to Claim 6, **characterized in that** a short-term output (P_S) that is greater than 2.0 to 2.5 times, in particular greater than 2.25 times, the first and the second continuous outputs ($P_{\min}$, $P_{\max}$) can be delivered by the three-phase motor between the minimum rotational speed ($n_{\min}$) and the maximum rotational speed ($n_{\max}$).
8. Rolling-mill train according to one of the preceding claims, **characterized in that** the three-phase motor is designed as an overloadable three-phase motor.
9. Rolling-mill train according to one of the preceding claims, **characterized in that** the three-phase motor has a temperature monitor and that the output deliverable by the three-phase motor is limited if a permissible limit temperature is exceeded by the temperature of the three-phase motor.
10. Rolling-mill train according to one of the preceding claims, **characterized in that** the second continuous output ($P_{\max}$) is at least as great as the first continuous output ($P_{\min}$).
11. Rolling-mill train according to one of the preceding claims, **characterized in that** a short-term output (P_S) that is greater than the short-term output ($P_{S(\min)}$) of the three-phase motor at minimum rotational speed ($n_{\min}$) can be delivered by the three-phase motor between the minimum rotational speed ($n_{\min}$), and the maximum rotational speed ($n_{\max}$) and **in that**, at maximum rotational speed ($n_{\max}$), the short-term output ($P_{S(\max)}$) of the three-phase motor is maximally as great as the short-term output ($P_{S(\min)}$) of the three-phase motor at minimum rotational speed ($n_{\min}$).
12. Rolling-mill train according to one of Claims 1 to 11, **characterized in that** the three-phase motor is designed as an asynchronous motor.
13. Rolling-mill train according to Claim 12, **characterized in that** the asynchronous motor can be fed from a converter that is designed in such a way that it can vary frequency, voltage and phase position of the voltage at the output, **in that** the asynchronous motor can be operated with a voltage reserve to take account of the internal voltage drops at maximum rotational speed ($n_{\max}$) and maximum load ($P_{\max}$), and **in that** the internal voltage (e) can be increased further above the minimum rotational speed ($n_{\min}$) at full magnetic flux with increasing rotational speed in accordance with the voltage reserve respectively available until an internal voltage (e_D) is reached that, for the maximum usable voltage of the converter, is reached at a mean rotational speed (n_D) at which the continuous output (P) deliverable by the asynchronous motor is a maximum.
14. Rolling-mill train according to one of Claims 1 to 11, **characterized in that** the three-phase motor is designed as a synchronous motor.
15. Rolling-mill train according to Claim 14, **characterized in that** the synchronous motor can be operated by means of a static exciter and by means of a converter that is designed in such a way that it can vary frequency, voltage and phase position of the voltage at the output and **in that** the synchronous motor can be regulated to deliver the optimum active-power load by means of a variable displacement angle (ϕ_i) between the internal voltage (e) and the stator current (I_s) of the synchronous motor.
16. Rolling-mill train according to Claim 15, **characterized in that** the internal voltage of the motor can be regulated by the regulator of the three-phase motor by means of the static exciter and the converter in such a way that, above the minimum rotational speed ($n_{\min}$), the internal voltage (e) can be increased further in accordance with the available voltage reserve at full magnetic flux as a function of rotational speed up to the internal voltage (e_S) that, at the maximum usable voltage of the converter, is reached at a mean rotational speed (n_D) at which the continuous output (P) deliverable by the synchronous motor is a maximum.
17. Rolling-mill train according to Claim 15 or 16, **characterized in that** the phase position of the stator current (I_s) can be adjusted by means of the regulation of the phase position of the stator current (I_s) of the synchronous motor in such a way that a phase angle (ϕ_i) that is appropriate for the rotational-speed and load requirement and that is increased to a maximum value is formed between the stator current (I_s) and the internal voltage (e) generated by the electric motor.

18. Rolling-mill train according to Claim 15, 16 or 17, **characterized in that** the phase position of the stator current (I_s) can be adjusted by means of the regulation of the phase position of the stator current (I_s) of the synchronous motor in such a way that, at the maximum rotational speed ($n_{\max}$), an identical phase angle is formed between the stator current (I_s) and the internal voltage (e) generated by the electric motor to that formed between the stator current (I_s) and an imaginary internal voltage (u), wherein the internal voltage (u) is formed as countervoltage to take account of the vectorial sum of the voltages that are independent of the active-power losses.
19. Rolling-mill train according to one of Claims 15 to 18, **characterized in that** the inner displacement angle (ϕ_i) at the maximum rotational speed ($n_{\max}$) is limited to a value less than or equal to 40° .

Revendications

1. Train de laminoir ayant au moins une cage de laminoir pour laminier du produit laminé,
- dans lequel la cage de laminoir est entraînée par au moins un moteur à courant triphasé, dont la vitesse de rotation pour laminier le produit laminé peut être réglée en fonction des propriétés de l'opération de laminage au moyen d'un régulateur entre une vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation et une vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation,
 - dans lequel le rapport de la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation à la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation est compris entre 2,0 et 8,0,
 - dans lequel il peut être fourni par le moteur à courant triphasé pour la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation une première puissance ($P_{\min}$) permanente et pour la deuxième vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation une deuxième puissance ($P_{\max}$) permanente,
 - dans lequel il peut être fourni par le moteur à courant triphasé dans l'intervalle de vitesse de rotation entre la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation et la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation une puissance (P) permanente qui est supérieure à la première puissance ($P_{\min}$) permanente et qui est supérieure à la deuxième puissance ($P_{\max}$) permanente.
2. Train de laminoir suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la puissance (P) permanente qui peut être fournie par le moteur à courant triphasé entre la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation et une vitesse (n_D) intermédiaire de rotation qui est comprise entre la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation et la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation, croît de manière sensiblement linéaire.
3. Train de laminoir suivant la revendication 2, **caractérisé en ce que** la puissance (P) permanente qui peut être fournie par le moteur à courant triphasé diminue sensiblement d'une façon continue entre la vitesse (n_D) intermédiaire de rotation et la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation.
4. Train de laminoir suivant la revendication 2, **caractérisé en ce que** la puissance (P) permanente qui peut être fournie par le moteur à courant triphasé reste sensiblement constante entre la vitesse (n_D) intermédiaire de rotation et la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation à proximité de la vitesse (n_D) intermédiaire de rotation, puis diminue vers la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation.
5. Train de laminoir suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** peut être fourni par le moteur à courant triphasé entre la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation et la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation une puissance (P_s) de courte durée qui est plus grande que 1,5 fois la première et la deuxième puissance ($P_{\min}$, $P_{\max}$) permanente.
6. Train de laminoir suivant la revendication 5, **caractérisé en ce qu'il** peut être fourni par le moteur à courant triphasé entre la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation et la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation une puissance (P_s) de courte durée qui est supérieure à 1,75 fois la première et la deuxième puissance ($P_{\min}$, $P_{\max}$) permanente.

7. Train de laminoir suivant la revendication 6,

caractérisé

en ce qu'il peut être fourni par le moteur à courant triphasé entre la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation et la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation une puissance (P_s) de courte durée qui est plus grande de 2,0 à 2,5 fois et notamment de 2,25 fois que la première et la deuxième puissance ($P_{\min}$, $P_{\max}$) permanente.

8. Train de laminoir suivant l'une des revendications précédentes,

caractérisé

en ce que le moteur à courant triphasé est constitué en moteur à courant triphasé pouvant résister à une surcharge.

9. Train de laminoir suivant l'une des revendications précédentes,

caractérisé

en ce que le moteur à courant triphasé a un dispositif de surveillance de la température et en ce que, lorsqu'une température limite admissible est dépassée par la température du moteur à courant triphasé, la puissance qui peut être fournie par le moteur à courant triphasé est limitée.

10. Train de laminoir suivant l'une des revendications précédentes,

caractérisé

en ce que la deuxième puissance ($P_{\max}$) permanente est au moins aussi grande que la première puissance ($P_{\min}$) permanente.

11. Train de laminoir suivant l'une des revendications précédentes,

caractérisé

en ce qu'il peut être fourni par le moteur à courant triphasé entre la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation et la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation une puissance (P_s) de courte durée qui est supérieure à la puissance ($P_{s(\min)}$) de courte durée du moteur à courant triphasé à la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation et en ce que la puissance ($P_{s(\max)}$) de courte durée du moteur à courant triphasé est à la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation au maximum aussi grande que la puissance ($P_{s(\min)}$) de courte durée du moteur à courant triphasé à la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation.

12. Train de laminoir suivant l'une des revendications 1 à 11,

caractérisé

en ce que le moteur à courant triphasé est constitué en moteur asynchrone.

13. Train de laminoir suivant la revendication 12,

caractérisé

en ce que le moteur asynchrone peut être alimenté à partir d'un convertisseur statique de fréquence constitué de façon qu'il puisse modifier à l'entrée la fréquence, la tension et le déphasage de la tension, en ce que le moteur asynchrone peut fonctionner avec une réserve de tension pour couvrir les chutes de tension intérieures à la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation et à la charge ($P_{\max}$) maximum et en ce que la tension (e) intérieure peut être encore élevée au-dessus du nombre ($n_{\min}$) minimum de rotation pour un plein flux magnétique à vitesse de rotation croissante en fonction de la réserve de tension respectivement présente jusqu'à ce que soit atteinte une tension (e_D) intérieure qui, pour la tension du convertisseur statique la plus haute dont on peut tirer parti, est obtenue pour une vitesse (n_D) intermédiaire de rotation pour laquelle la puissance (P) permanente qui peut être fournie par le moteur asynchrone est maximum.

14. Train de laminoir suivant l'une des revendications 1 à 11,

caractérisé

en ce que le moteur à courant triphasé est constitué en moteur synchrone.

15. Train de laminoir suivant la revendication 14,

caractérisé

en ce que le moteur synchrone peut fonctionner au moyen d'un convertisseur de courant d'excitation et au moyen d'un convertisseur statique de fréquence constitué de façon à ce qu'il puisse modifier à la sortie la fréquence, la tension et le déphasage de la tension et en ce que le moteur synchrone peut être réglé par un angle (φ_i) de glissement variable entre la tension (e) intérieure et le courant (I_s) du stator du moteur synchrone au débit optimum de charge active.

16. Train de laminoir suivant la revendication 15,

caractérisé

en ce que la tension intérieure du moteur peut être réglée par le régulateur du moteur à courant triphasé au moyen du convertisseur de courant d'excitation et du convertisseur de fréquence statique de façon à ce que, au-dessus de la vitesse ($n_{\min}$) minimum de rotation à plein flux magnétique et en fonction de la vitesse de rotation, la tension (e) intérieure puisse être encore élevée, conformément à la réserve de tension présente jusqu'à la tension (e_s) intérieure qui, pour la tension la plus haute dont on peut tirer parti du convertisseur statique de fréquence, est atteinte pour une vitesse (n_D) intermédiaire de rotation pour laquelle la puissance (P) permanente qui peut être fournie par le moteur synchrone est maximum

17. Train de laminoir suivant la revendication 15 ou 16,

caractérisé

en ce qu'au moyen de la régulation du déphasage du courant (I_s) de stator du moteur synchrone, le déphasage du courant (I_s) du stator peut être réglé de façon à former un angle (φ_i) de phase correct en vitesse de rotation et à ce qu'exige la charge entre le courant (I_s) du stator et la tension (e) intérieure produite par voie électromotrice, tension qui est augmentée jusqu'à une valeur maximum.

18. Train de laminoir suivant la revendication 15, 16 ou 17,

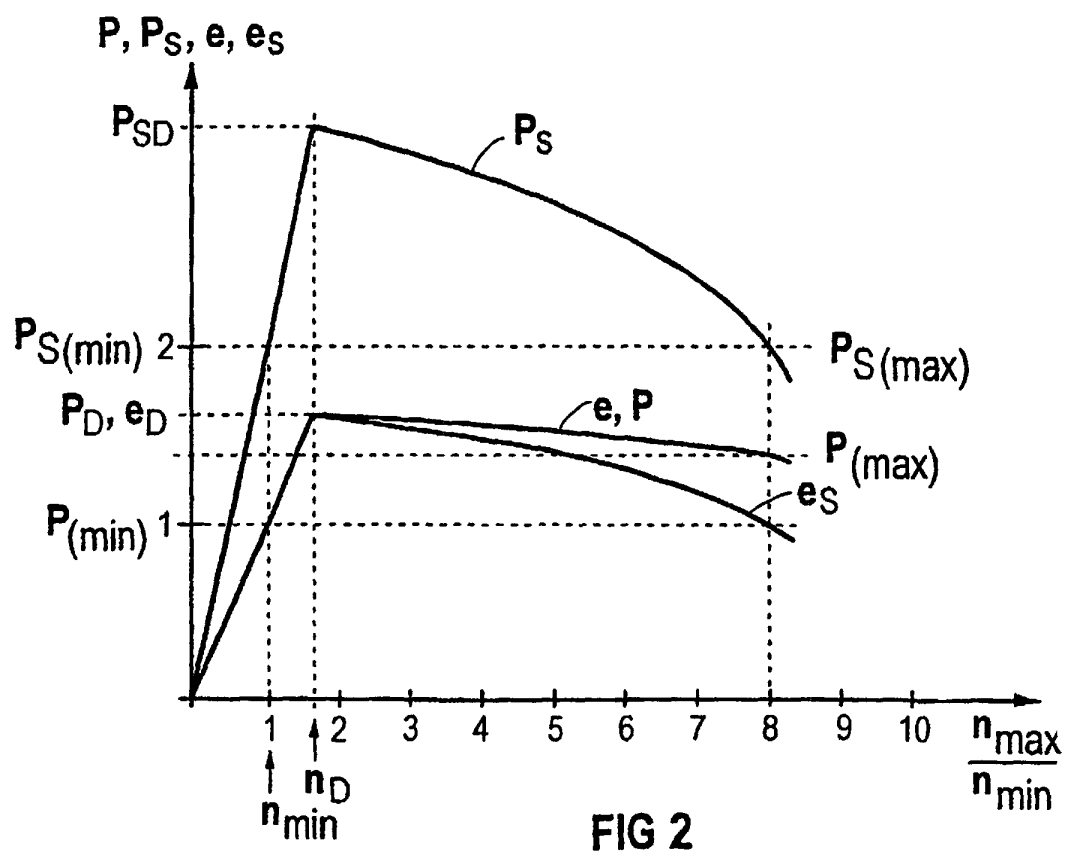
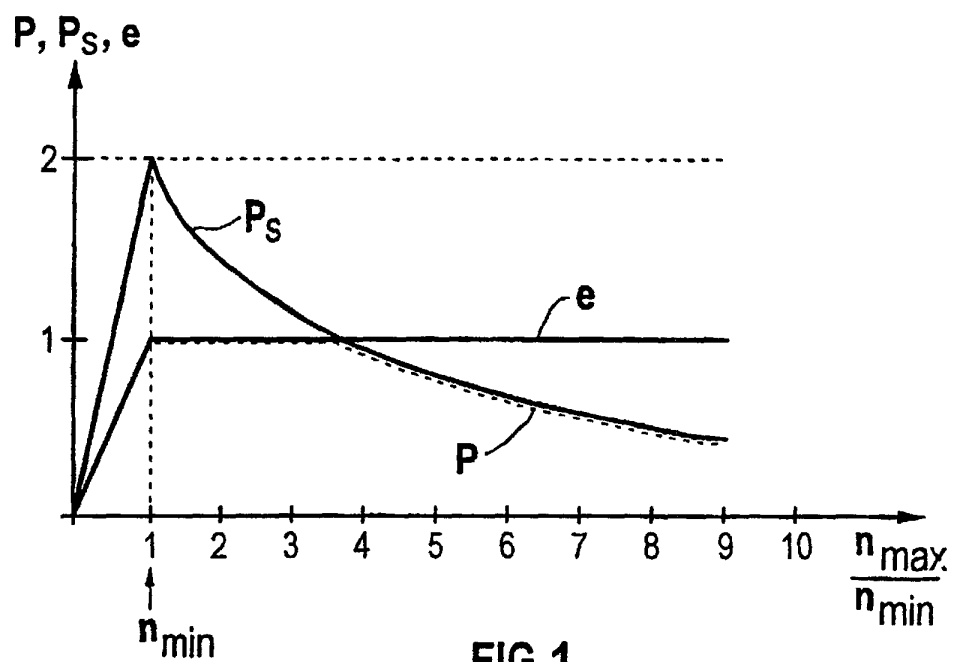
caractérisé

en ce qu'au moyen de la régulation du déphasage du courant (I_s) de stator du moteur synchrone, le déphasage du courant (I_s) du stator peut être réglé de façon à former pour la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation le même angle de phase entre d'une part le courant (I_{sd}) du stator et la tension (e) intérieure produite par voie électromotrice et d'autre part entre le courant (I_s) du stator et une tension (u) intérieure fictive, la tension (u) intérieure étant formée en tant que tension antagoniste pour couvrir la somme vectorielle des tensions indépendantes des pertes actives.

19. Train de laminoir suivant l'une des revendications 15 à 18,

caractérisé

en ce que l'angle (φ_i) intérieur de glissement est limité pour la vitesse ($n_{\max}$) maximum de rotation à une valeur inférieure ou égale à 40° .



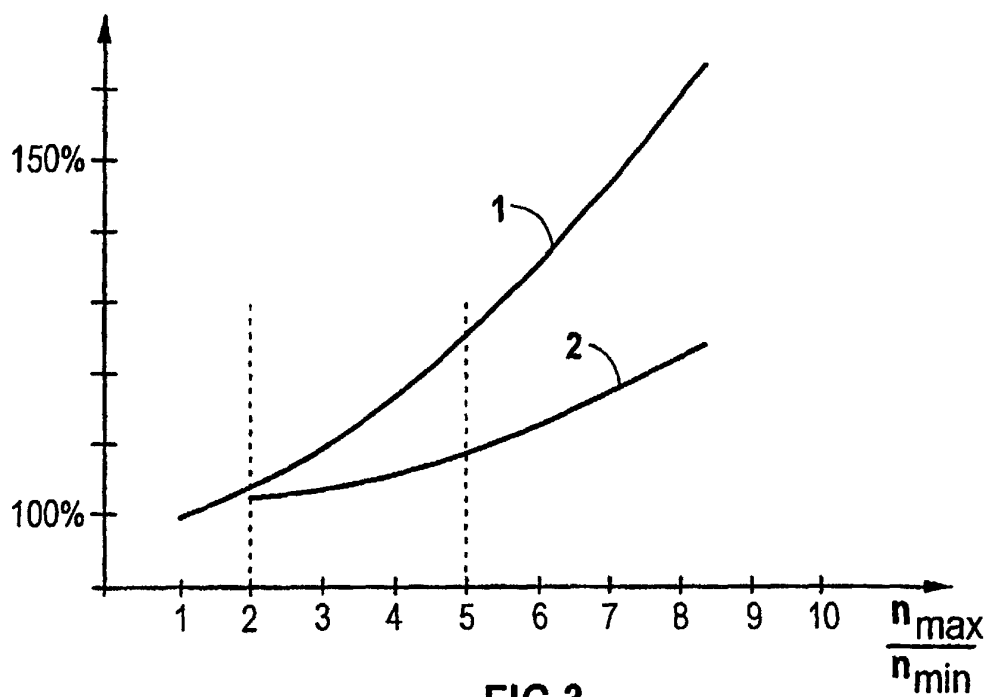


FIG 3

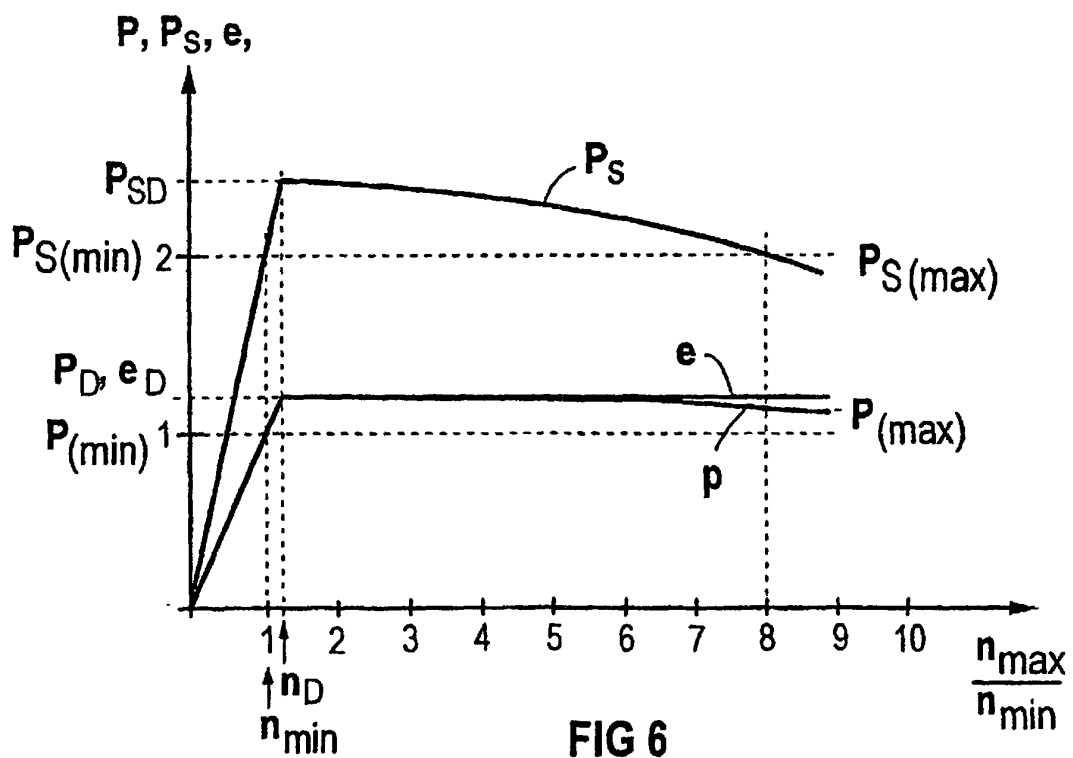


FIG 6

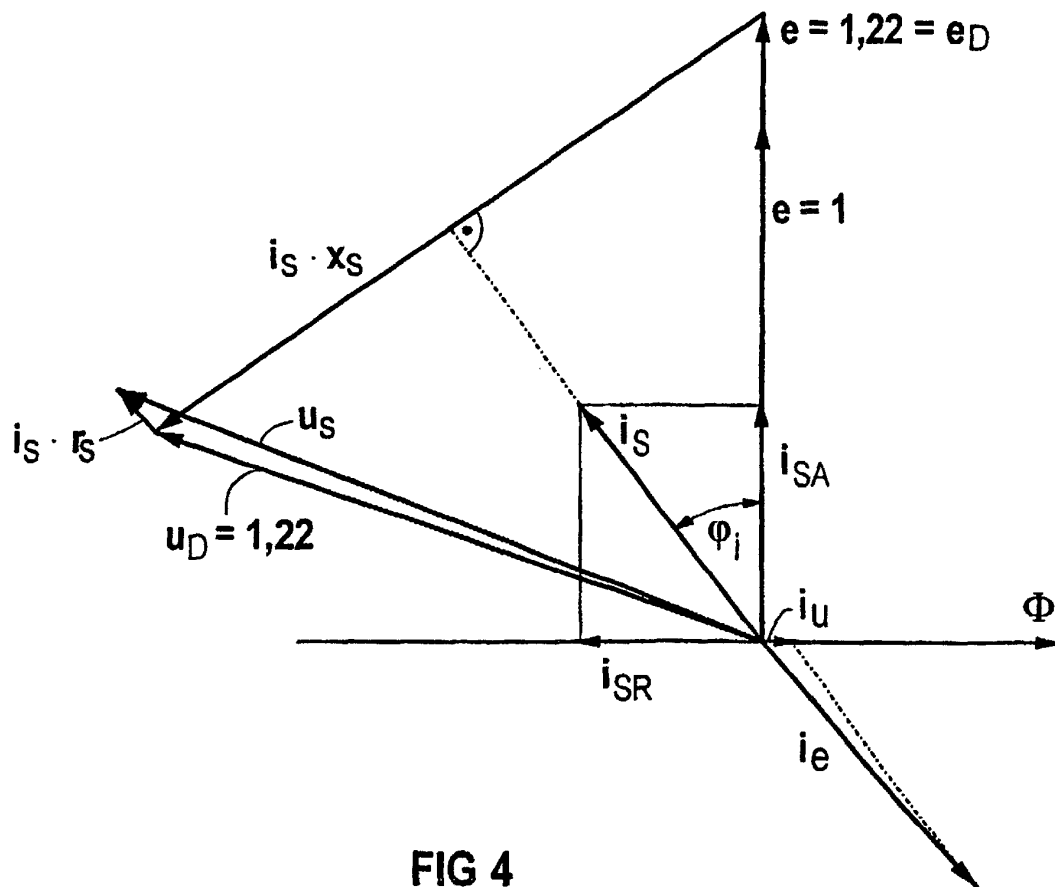


FIG 4

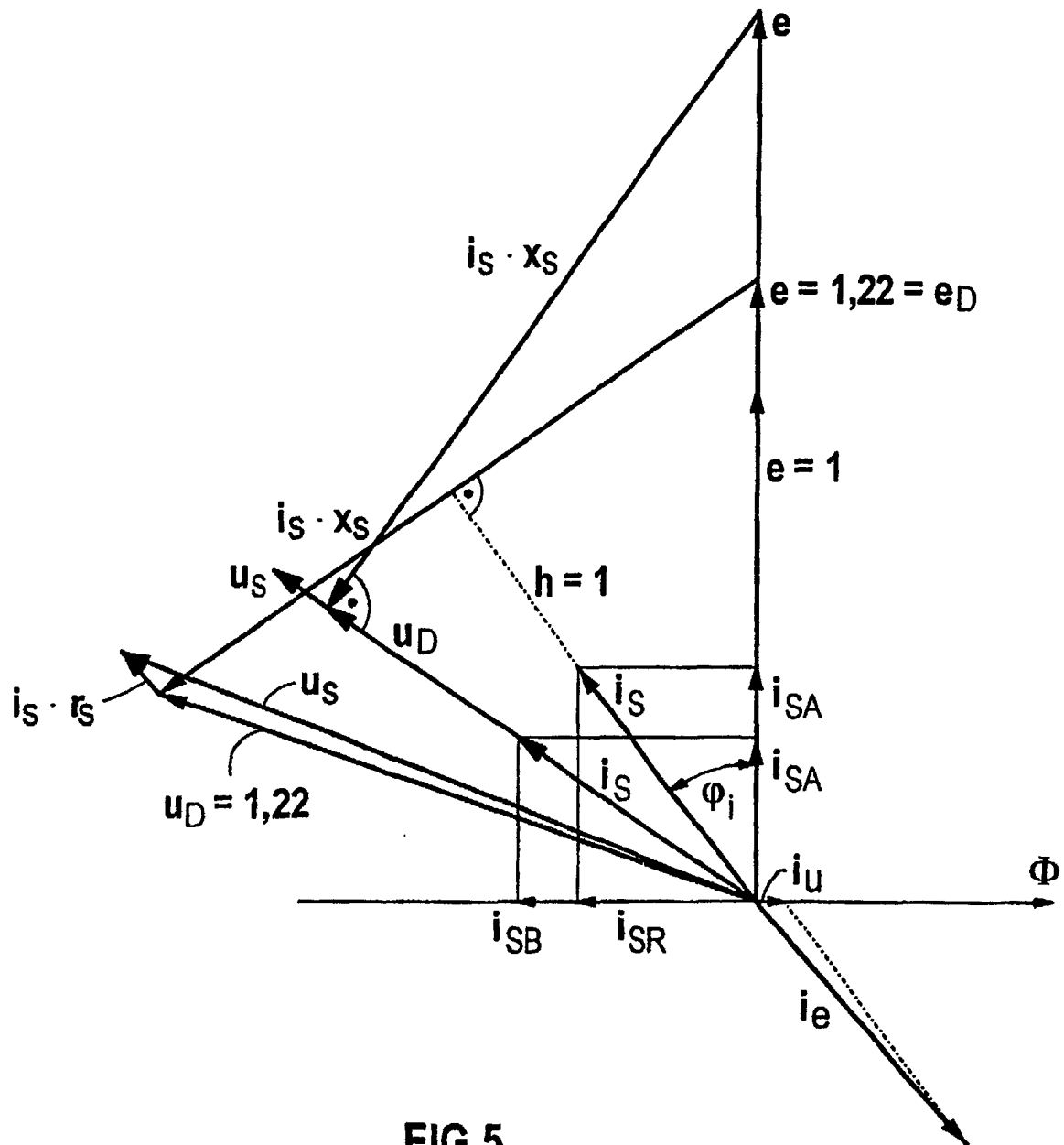


FIG 5