



Republik  
Österreich  
Patentamt

(11) Nummer: **391 964 B**

(12)

## PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1266/84

(51) Int.Cl.<sup>5</sup> : **H02P 7/44**  
H02P 5/408, B60L 3/00

(22) Anmeldetag: 16. 4.1984

(42) Beginn der Patentedauer: 15. 6.1990

(45) Ausgabetag: 27.12.1990

(30) Priorität:

11. 5.1983 DE 3317294 beansprucht.

(73) Patentinhaber:

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
BERLIN (WEST) + MÜNCHEN (DE).

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM BETRIEB EINER STROMRICHTERGESPEISTEN DREHFELDMASCHINE MIT STROMEINPRÄGUNG UND SCHLUPFSTEUERUNG

AT 391 964 B

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer stromrichtergespeisten Drehfeldmaschine, insbesondere einer Asynchronmaschine. Dabei wird durch Vorgabe eines einem Flußsollwert proportionalen Magnetisierungsstrom-Sollwertes und eines einem Schlupffrequenz-Sollwert proportionalen Wirkstromsollwertes der Ausgangsstrom des Stromrichters in seiner Amplitude entsprechend den Stromsollwerten und in seiner Frequenz entsprechend der Summe aus dem Schlupffrequenz-Sollwert und der nur betragsmäßig erfaßten Läuferdrehzahl gesteuert. Die Erfindung betrifft ferner eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung, die zum Betrieb der Asynchronmaschine einen die Maschine speisenden Stromrichter und eine Steuereinrichtung vorsieht, wobei der Steuereinrichtung ein einem Flußsollwert proportionaler Magnetisierungsstrom-Sollwert und ein einem Schlupffrequenz-Sollwert proportionaler Wirkstromsollwert sowie ein nur betragsmäßig erfaßter Drehzahlwert zugeführt sind, und die Steuereinrichtung die Amplitude des Stromrichter-Ausgangsstromes entsprechend der Amplitude des durch die Sollwerte gegebenen Soll-Stromvektors und die Frequenz des Stromrichters entsprechend der Summe des Schlupffrequenzsollwertes und des betragsmäßig erfaßten Drehzahlwertes steuert, und wobei die Steuerung auch eine Einrichtung zur Bestimmung des Flußwertes enthält.

Bevorzugtes Anwendungsgebiet der Erfindung sind mit Stromeinprägung und Schlupfsteuerung betriebene Asynchronmaschinen als Antriebe für Fahrzeuge, bei denen die Gefahr besteht, daß das Fahrzeug beim Start oder bei niedrigen Antriebsmomenten auf einem Gefälle entgegen der gewünschten Fahrtrichtung rollt. In diesem Fall bewirkt der Hangabtrieb des Fahrzeuges auf den Läufern der Asynchronmaschine ein rückwärtsgerichtetes Drehmoment, zu dessen Kompensierung das Drehmoment der Maschine erst entsprechend erhöht werden muß.

Das elektrische Drehmoment bzw. die Drehzahl kann bei derartigen Asynchronmaschinen durch Sollwertvorgabe gesteuert oder mittels eines Momentenreglers oder Drehzahlreglers geregelt werden, an dessen Ausgang ein Wirkstromsollwert abgegriffen wird, der bei gegebenem Fluß proportional dem aufzubringenden elektrischen Drehmoment ist. Der Fluß selbst kann durch Vorgabe eines Magnetisierungsstrom-Sollwertes gesteuert oder geregelt werden, wobei der Magnetisierungsstromsollwert proportional dem Fluß ist. Die beiden Stromsollwerte bestimmen als feldparallele und feldsenkrechte Komponente eines Stromsollvektors den der Asynchronmaschine durch den Stromrichter einzuprägenden Ständerstrom. Für die Steuerung von Umrichter und Maschine ist daher eine Steuereinrichtung vorgesehen, die die Amplitude des Ausgangsstromes entsprechend diesen Sollwerten steuert, während die Frequenz des Umrichters, also die Frequenz des durch den Sollvektor gegebenen Ständerstromes, entsprechend der Summe aus der Läuferdrehzahl, der Schlupffrequenz, d. h. der Änderung des Winkels zwischen einer mit dem Läufer umlaufenden Bezugsachse und der Feldrichtung, und der Änderung des durch die beiden Stromsollwerte gegebenen Winkels ("Lastwinkel") zwischen dem Sollvektor und der Feldachse gesteuert oder geregelt wird. Hierbei ergibt sich, daß die Schlupffrequenz (entsprechend dem Läuferwiderstand und dem Fluß der Maschine) proportional zum Wirkstrom ist.

Moderne hochwertige Antriebe enthalten in der Umrichtersteuerung eine Einrichtung zur Erfassung des Fluß-Istwertes, die aus zugänglichen Größen, z. B. Ständerspannung und Ständerstrom, die Lage des Flußvektors errechnet, so daß zur Steuerung der Umrichterfrequenz nur noch zur Umlaufgeschwindigkeit des gemessenen Flusses die Änderung des zu den Sollwerten gehörenden Lastwinkels addiert werden muß. Zur Erhöhung der Dynamik ist dabei häufig eine Regelung der Stromamplitude und des Lastwinkels oder anderer, entsprechender Größen vorgesehen. Für den Anlauf aus dem Stillstand oder bei niedrigen Drehzahlen wird jedoch häufig die Regelung abgeschaltet und die Maschine gesteuert betrieben, indem die Frequenz des Umrichters direkt durch die Summe des gemessenen Drehzahl-Istwertes und des dem Wirkstromsollwert proportionalen Schlupffrequenz-Sollwertes gesteuert wird, die gegebenenfalls noch durch eine aus den Sollwerten berechnete Änderung des Lastwinkels korrigiert wird. Die gewünschte Fahrtrichtung wird dabei durch das Vorzeichen des Wirkstromsollwertes bzw. des Schlupffrequenz-Sollwertes bestimmt.

Wird aber zur Erfassung des Drehzahlwertes ein einfacher Drehgeber verwendet oder ein anderes Meßglied, das die Drehzahl nur betragsmäßig zu erfassen gestattet, so kann die Steuerung zunächst nicht erkennen, ob sich der mit dem Fahrzeug bewegende Läufer in der gewünschten Drehrichtung bewegt, also die Summe aus dem Drehzahlbetrag und dem Schlupffrequenzsollwert die tatsächliche Drehrichtung des Feldes ergibt. Rollt das Fahrzeug rückwärts, so ergibt die für die Frequenzsteuerung gebildete Summe, daß der Ständerstrom mit einer Frequenz gesteuert wird, die sich von der Umlaufgeschwindigkeit des tatsächlichen Feldes um den doppelten Betrag der erfaßten Drehzahl unterscheidet. Die Folge ist, daß die zum tatsächlichen Feld senkrechte und parallele Komponente des durch die Sollwerte vorgegebenen Stromvektors sich von den dazugehörigen Sollwerten erheblich unterscheiden. Es bildet sich dann der gegebene Flußsollwert nicht aus und wegen der durch die Physik der Asynchronmaschine gegebenen Schlupf/Drehmoment-Kennlinie stellt die Maschine auch nur ein kleines Drehmoment zur Verfügung. Das Fahrzeug kann daher nicht wunschgemäß anfahren.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, bei einer Drehfeldmaschine, deren mechanische Meßeinrichtungen möglichst einfach ausgebildet sind, beim Stillstand oder bei niedrigen Drehzahlen auch dann ein vorgegebenen Sollwerten für Magnetisierungsstrom und Wirkstrom entsprechendes Antriebsmoment zu erreichen, wenn der Läufer der Maschine aufgrund eines an ihm angreifenden äußeren Drehmomentes entgegen der gewünschten Drehrichtung bewegt ist. Während manche Drehgeber z. B. doppelt ausgeführt sind, um aus der Reihenfolge der beiden Teilimpulsfolgen auf die Drehzahl zu schließen, oder auch Tachomaschinen zur Drehzahlerfassung bekannt sind, wird bei der Erfindung eine solche, verhältnismäßig aufwendige Mechanik nicht

benötigt. Vielmehr geschieht die Berücksichtigung einer der gewünschten Drehrichtung entgegengesetzten Läuferdrehung auf andere Weise.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst durch ein Verfahren mit den eingangs angegebenen Merkmalen, das dadurch gekennzeichnet ist, daß der Istwert des Flusses erfaßt und bei einem unterhalb eines durch den Flußsollwert bestimmten Grenzwert liegenden Flußistwertes die nur betragsmäßig erfaßte Läuferdrehzahl negativ bewertet wird. Entsprechend ist die eingangs angegebene Vorrichtung dadurch gekennzeichnet, daß ein vom Flußsollwert und Flußistwert beaufschlagtes erstes Vergleichsglied vorgesehen ist, das aus der Differenz der Flußwerte ein Richtungssignal ableitet, das eine der Drehrichtung der durch die Steuereinrichtung gesteuerten Schlupffrequenz entgegengesetzte Läuferdrehrichtung anzeigt, und daß ein Umschalter vorgesehen ist, der bei einem aus dem Richtungssignal gebildeten Umschaltbefehl das Vorzeichen des betragsmäßig erfaßten Drehzahlwertes in der Summe aus Schlupffrequenzsollwert und Drehzahlwert ändert.

Für die Erfassung des Fluß-Istwertes ist in der Regel kein weiterer Aufwand erforderlich, da die Steuereinrichtung von Asynchronmaschinen, die eine den Erfordernissen eines Bahnantriebes entsprechende Dynamik aufweisen, meist bereits eine derartige Flußerfassungseinrichtung besitzen. Vielmehr ist lediglich ein vom Flußsollwert und dem Flußistwert beaufschlagtes Vergleichsglied erforderlich, das aus der Differenz des Flußsollwertes und des Istwertes ein Richtungssignal ableitet, das anzeigt, daß der Flußistwert deutlich, d. h. um mehr als die Ansprechgrenze des Vergleichsgliedes, unterhalb des Flußsollwertes liegt. Dieses Richtungssignal gibt dann an, daß die Drehrichtung des Läufers dem durch den Schlupfsollwert gegebenen Soll-Drehsinn (also der gewünschten Drehrichtung) entgegengesetzt ist. Das Richtungssignal kann dann direkt oder, sofern bestimmte Nebenbedingungen eingehalten werden, nach logischer Verknüpfung mit anderen Überwachungssignalen als Umschaltbefehl für einen Umschalter vorgegeben werden, der in der Summe aus Schlupffrequenz und Drehzahl dem betragsmäßig erfaßten Drehzahlwert das zum Schlupffrequenz-Sollwert entgegengesetzte Vorzeichen zuordnet. Dadurch wird erreicht, daß in der die Läuferfrequenz steuernden Summe aus Schlupffrequenz-Sollwert und Drehzahlwert der nur betragsmäßig erfaßte Läuferdrehzahl-Istwert negativ bewertet wird.

Wird zum Anlassen der Maschine die Erregung eingeschaltet, so baut sich der Flußistwert erst innerhalb einer durch die Dimensionierung der Maschine bestimmten Zeit auf. Die aus dem Vergleich von Flußsollwert und Flußistwert abgeleitete Drehrichtungsbestimmung wird also vorteilhaft erst nach der zum Aufbau des Flusses benötigten Zeit vorgenommen und die gemessene Läuferdrehzahl bleibt nach Aufschalten der Erregung noch für eine bestimmte Zeit, die durchaus fest eingestellt sein kann (z. B. mittels einer monostabilen Kippstufe), positiv bewertet. Für das Richtungssignal ist daher ein Übertragungsglied vorteilhaft, das den Umschaltbefehl erst eine vorgegebene Zeit nach der Erregung der Maschine freigibt.

Ein zurückrollendes Fahrzeug besitzt zunächst eine kinetische Energie, die erst vernichtet werden muß, bevor das Fahrzeug zum Stillstand kommt und in der gewünschten Fahrtrichtung beschleunigt werden kann. Die Asynchronmaschine wirkt daher zunächst generatorisch und ein die Maschine speisender Wechselrichter gibt daher zunächst Leistung auf seinen Gleichspannungseingangskreis ab. Wird der Wechselrichter aber z. B. von einem Dieselmotor gespeist, so ist dieser Motor nur in sehr begrenztem Maße in der Lage, Leistung aufzunehmen. Dies ist noch schwieriger, wenn die Eingangsgleichspannung des Wechselrichters mittels eines Gleichstromstellers aus einem Gleichspannungsnetz entnommen wird. Ist im Eingangskreis des Wechselrichters entsprechend einem vorgegebenen Fahrbefehl eine Fahrschaltung aufgebaut, durch die elektrische Leistung aus dem Gleichspannungsnetz in den Umrichter-Eingangskreis eingespeist werden kann, so ist eine an sich für eine evtl. elektrische Bremse vorgesehene Bremsschaltung aufgelöst. Der Umrichter-Eingangskreis kann daher aus der Maschine höchstens soviel generatorische Leistung bzw. kinetische Energie des zurückrollenden Fahrzeuges entnehmen, wie zur Deckung seiner eigenen elektrischen Verluste erforderlich ist. Übersteigt die rückwärts gerichtete Drehbewegung des Läufers einen bestimmten Grenzwert, so kann daher in diesem Betriebszustand das zum Abbremsen des Läufers erforderliche Bremsmoment nicht mehr bzw. nur über einen erheblich überhöhten Motorstrom aufgebracht werden. Es ist daher in vielen Fällen vorteilhaft, wenn der Umschaltbefehl nur bei Drehzahlwerten unterhalb eines vorgegebenen Grenzwertes freigegeben, d. h. die negative Bewertung der Läuferdrehzahl nur für niedrige Läuferdrehzahlen vorgenommen wird. Für höhere Läuferdrehzahlen muß dann der Läufer z. B. mechanisch oder durch Aufbau einer Bremsschaltung gebremst werden.

Es kann nun auch der Fall auftreten, daß ein bereits in der gewünschten Fahrtrichtung rollendes Fahrzeug bei einer Bergfahrt seine Fahrtrichtung umkehrt und trotz vorgegebener Fahrtrichtung rückwärts zu rollen beginnt. Auch in diesem Fall muß das Vorzeichen der betragsmäßig erfaßten Läuferdrehzahl umgekehrt werden. Dabei kann es vorteilhaft sein, jeweils eine einmal entsprechend dieser Rückwärtsbewegung vorgenommene negative Bewertung der Läuferdrehzahl beizubehalten und die Läuferdrehzahl nur dann neu zu bewerten, sobald die betragsmäßig erfaßte Läuferdrehzahl praktisch Null wird, d. h. einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet.

Entsprechend diesen vorteilhaften Verfahrensvarianten ist bevorzugt ein Übertragungsglied vorgesehen, das den Umschaltbefehl nur bei Drehzahlwerten unterhalb einer vorgegebenen Grenzdrehzahl freigibt. Insbesondere ist eine Vorrichtung bevorzugt, bei der ein Freigabesignal für den Stromrichter über eine Kippstufe einem logischen Verknüpfungsglied zur Bildung eines dem Umschaltbefehl entsprechenden Signals zugeführt ist. Die anderen Eingänge des Verknüpfungsgliedes sind vom Ausgangssignal des ersten Vergleichsgliedes und vom Ausgangssignal eines zweiten, vom Drehzahlwert beaufschlagten Vergleichsgliedes gespeist und dem Verknüpfungsglied ist ein Speicher nachgeschaltet, der vom Freigabesignal und einem aus dem Drehzahlwert

abgeleiteten Signal für den Nulldurchgang der Drehzahl rücksetzbar ist und einen Umschaltbefehl jeweils bis zum Auftreten des nächsten Nulldurchganges speichert.

Anhand von fünf Figuren und eines bevorzugten Ausführungsbeispiels wird die Erfindung näher erläutert.

Mit der von einem Stromabnehmer (1) (Fig. 1) abgegriffenen Versorgungsspannung wird eine als Antrieb eines Bahnfahrzeuges dienende Asynchronmaschine (2) mittels eines aus einer Gleichstromstelleranordnung (3) und einem Wechselrichter (4) bestehenden Stromrichters gespeist. Im Fahrbetrieb, der durch ein Steuersignal (F) angesteuert wird, wird der Bremsschalter (5) geschlossen und durch Takten des Fahrthyristors (6) der Stelleranordnung wird ein gepulster Strom entsprechend einem Sollwert ( $i^*$ ) in den den Eingängen (7) und (8) des Umrichters (4) vorgelagerten Eingangskreis eingespeist. Der Umrichter (4) wird mit der Umrichterfrequenz ( $f^*$ ) gesteuert, so daß der Gleichstrom mit vorgegebenen Phasenlagen bezüglich der mittels eines Drehzahlgebers (9) abgegriffenen Polradlage auf die einzelnen Anschlüsse der Ständerwicklung der Asynchronmaschine (2) verteilt wird.

Im Fahrbetrieb vermag der Steller nur Leistung in den Eingangskreis des Wechselrichters (4) einzuspeisen. Während der Sperrzeiten des Fahrthyristors (6) fließt der Motorstrom über die Fahr-Freilaufdiode (10) weiter. Wird durch Umschalten des Fahrbefehls (F) auf Bremsbetrieb übergegangen, so wird der Bremsschalter (5) geöffnet und der dann vom Motor generatorisch erzeugte Bremsstrom fließt über die Brems-Freilaufdiode (11) und einen mittels des Bremsthyristors (12) der Stelleranordnung (3) eingeschalteten Bremswiderstand. Bei Leerlauf der Maschine (2) entstehen wegen der Schwellspannungen und anderer Spannungsabfälle des Stromrichters gewisse Leistungsverluste, die aus dem Versorgungsnetz gedeckt werden müssen, so daß zur Aufrechterhaltung des Leerlaufes über die Fahrschaltung noch elektrische Leistung aus dem Netz entnommen werden muß. Geht die Maschine in generatorischen Betrieb über, so ist der Stromrichter zunächst noch in der Lage, einen geringen Bremsstrom zur Deckung seiner Verluste aufzunehmen. Steigt jedoch die generatorisch erzeugte Leistung über die Leistungsverluste des Stromrichters an, ohne daß auf Bremsbetrieb übergegangen wird, so steigt der Zwischenkreisstrom (selbst wenn der Fahrthyristor (6) ganz geschlossen wird) steil an und fließt über die Freilaufdiode (10). Die Maschine kann in diesem Betriebszustand nicht mehr ausreichend gebremst werden, vielmehr muß auf Bremsbetrieb übergegangen werden.

Die Sollwerte, mit denen Amplitude und Frequenz des Ausgangsstromes des Stromrichters gesteuert werden, werden von einer Steuereinrichtung geliefert, die in Fig. 1 nur schematisch durch die beiden Baugruppen (15) und (16) dargestellt ist. Diese Steuerung kann z. B. von einem übergeordneten Geschwindigkeitsregler des Fahrzeuges einen Sollwert ( $I_w^*$ ) erhalten, mit dem die zum Maschinenfluß senkrechte Komponente ("Wirkstrom") des Ständerstromes beeinflusst werden kann. Bei gegebenem Fluß ist der Wirkstrom aufgrund der Physik der Asynchronmaschine proportional dem elektrischen Moment der Maschine bzw. der Schlupffrequenz; der Wirkstromsollwert kann daher bei Kenntnis des Läuferwiderstandes ( $r^L$ ) und des Maschinenflusses ( $\psi$ ) gleichzeitig als Schlupffrequenz-Sollwert  $f_s^* = r^L / \psi \cdot I_w^*$  dienen. Der Fluß ( $\psi$ ) kann bei Kenntnis der Hauptfeldinduktivität ( $x^h$ ) durch einen Sollwert ( $I_\mu^*$ ) für die zum Fluß parallele Komponente des Ständerstromes vorgegeben werden, wobei dieser Flußsollwert intern in der Steuerung eingestellt oder als eigene Steuergröße extern vorgegeben sein kann.

Die beiden Sollwerte ( $I_w^*$ ) und ( $I_\mu^*$ ) bestimmen die beiden kartesischen Komponenten eines Sollstromvektors in einem synchron mit der Flußachse rotierenden ("feldorientierten") Bezugssystem. Entsprechend wird die Amplitude des Ausgangsstromes nach der Sollamplitude  $i^* = \sqrt{I_w^{*2} + I_\mu^{*2}}$  gesteuert. Die Frequenz des Umrichters muß entsprechend der Richtung dieses Sollstromvektors gesteuert werden, die durch  $\delta^* + f_s^* + f_1$  gegeben ist, wobei mit  $\delta^* = \arctan(I_w^*/I_\mu^*)$  die feldorientierte Richtung des Sollvektors ("Soll-Lastwinkel"), mit ( $f_s$ ) die Schlupffrequenz und mit ( $f_1$ ) die Frequenz der mechanischen Läuferdrehung bezeichnet ist. Es können der Steuerung nun die Istwerte für Strom, Spannung und Läuferdrehzahl zugeführt werden, um durch besondere Regelungen aus geeigneten Regelabweichungen die entsprechenden Sollwerte ( $i^*$ ) und ( $f^*$ ) oder andere Steuergrößen zu bilden, mit denen der Stromrichter so gesteuert wird, daß sich ein diesen Sollwerten ( $i^*$ ), ( $f^*$ ) entsprechender Ausgangsstrom einstellt. Insbesondere für den Anlauf und den Betrieb bei niedrigen Frequenzen ist es jedoch häufig vorgesehen, eine reine Steuerung mit den Sollwerten vorzunehmen. Auch für diesen Fall enthält jedoch die Steuerung eine Einrichtung, die es gestattet, aus gemessenen Werten des Umrichters und der Maschine, insbesondere die Klemmenspannung ( $u$ ) und den Strom ( $i$ ), den Istwert des Flusses zu erfassen.

Die Steuerung der Frequenz erfolgt demnach entsprechend der Summe  $f^* = f_s^* + f_1 + d\delta^*/dt$ , wobei das letzte Glied bei stationären Vorgängen oder bei Steuerungen mit geringen dynamischen Anforderungen nicht unbedingt erforderlich ist. Der Drehzahlgeber (9) müßte folglich die Läuferdrehzahl ( $f_1$ ) hinsichtlich Betrag und Vorzeichen erfassen, um zu einer richtigen Steuerung des Umrichters zu führen. Wird aber die Läuferdrehzahl nur betragsmäßig erfaßt und dieser Betrag zur Bildung der Summe (Additionsstelle (17)) herangezogen, so wird durch den Frequenzsollwert ( $f^*$ ) das Ständerstromsystem schneller gedreht, als an sich durch die Vorgabe der Strom-Sollwerte gewünscht ist. Die Richtung des tatsächlichen Flusses bleibt also hinter der Richtung des den

Sollwerten zugrunde gelegten Flusses zurück, was zu einer Vergrößerung des Lastwinkels ( $\delta$ ) und damit zu einer Verkleinerung des tatsächlichen Flusses ( $\psi$ ) führt. Die Folge dieses zu kleinen tatsächlichen Flusses ist, daß auch das gewünschte Drehmoment nicht erreicht wird.

Gemäß der Erfindung wird nun der sich aufbauende Fluß mit dem dem Magnetisierungsstromsollwert ( $I_{\mu}^*$ )

5 proportionalen Flußsollwert  $\psi^* = x^h \cdot I_{\mu}^*$  verglichen. Rollt nun das Fahrzeug rückwärts zur gewünschten Fahrtrichtung, so müßte an sich die Frequenzsteuergröße ( $f^*$ ) durch  $f_s^* - f_1$  vorgegeben werden; es ist also erforderlich, den betragsmäßig erfaßten Drehzahlwert bei der Steuerung negativ zu bewerten. Diese Bewertung hat dann zu erfolgen, wenn der aufgebaute Flußwert ( $\psi$ ) deutlich kleiner als ( $\psi^*$ ) ist.

10 Gemäß Fig. 1 wird daher die Differenz  $\psi^* - \psi$  gebildet und einem Grenzwertmelder (18) zugeführt. Stimmen Istwert und Sollwert des Flusses hinreichend überein, so ist diese Differenz jedenfalls kleiner als eine vorgegebene Ansprechgrenze. Der gemessene Drehzahlbetrag wird dann entsprechend einer positiven Bewertung unverändert auf die Additionsstelle (17) gegeben. Im anderen Fall jedoch muß eine negative Bewertung vorgenommen werden. Hierzu kann der Grenzwertmelder (18) einen Umschalter (19) betätigen, mit dessen Hilfe nunmehr der gemessene Drehzahlwert über ein Glied (20) zur Vorzeichenumkehr der Additionsstelle (17) aufgeschaltet wird.

15 Bisher betrafen die Ausführungen den Fall, daß eine positive Fahrtrichtung gewünscht ist. Die Vorwahl dieser positiven Fahrtrichtung kann bei Maschinen, deren Drehrichtung umkehrbar ist, durch ein entsprechendes Signal (z. B. ein logisches "1") am Eingang ( $V^*$ ) für die Fahrtrichtung-Vorwahl geschehen. Bei Umkehrung der Fahrtrichtung ( $V^* = 0$ ) wäre durch eine Umkehrung des Vorzeichens der Steuergröße ( $f^*$ ) dafür zu sorgen, daß sich die Drehrichtung des Stromsystems in den Ständerzuleitungen, also die Zuordnung der Ständerzuleitungen zu den Ausgängen des mit ( $f^*$ ) gesteuerten Wechselrichters (4) vertauscht. Eine derartige Vorrichtung, die eine Umkehr der gewünschten Drehrichtung gestattet, ist in Fig. 2 dargestellt.

20 Bei einem Fahrbefehl  $F = 1$  erzeugt ein von dem Fahrbefehlsignal ( $F$ ) und dem Richtungsvorwahlsignal ( $V^*$ ) beaufschlagtes EXKLUSIV-ODER-Glied (21) ein Signal, das invers zur vorgegebenen Fahrtrichtung ( $V^*$ ) ist. Bei  $V^* = 1$  (d. h.  $S = 0$ ) bleibt ein Umschalter (22) in der in Fig. 2 gezeigten Stellung, bei der der Betrag ( $|f_s^*|$ ) des Schlupffrequenzsollwertes entsprechend  $f^* = |f_s^*| + f_1$  unverändert auf die Additionsstelle (17) aufgeschaltet wird. Soll rückwärts gefahren werden ( $V^* = 0$ ), so wird entsprechend  $f^* = -|f_s^*| - f_1$  der Umschalter (22) umgelegt und in die Schlupfsollwertleitung ein Invertierer (23) eingeschaltet. Das gleiche geschieht, wenn bei gewünschter positiver Fahrtrichtung ( $V^* = 1$ ) durch Erzeugen eines rückwärts gerichteten Momentes gebremst werden soll ( $F = 0$ ). Das Ausgangssignal ( $S$ ) des Gatters (21) gibt also an, ob das zu erzeugende Drehmoment in Vorwärtsrichtung ( $S = 0$ ) oder Rückwärtsrichtung ( $S = 1$ ) gerichtet sein soll.

30 In analoger Weise ist der Drehzahlbetrag ( $|f_1|$ ) über einen Umschalter (19') zur Additionsstelle (17) geführt, wobei bei Ansteuerung des Umschalters mittels eines die tatsächliche Drehrichtung ("Richtungswert") angegebenden Richtungssignals ( $V$ ) der Drehzahlbetrag entweder positiv ( $V = 0$ ) oder mittels eines Invertierers (24) negativ ( $V = 1$ ) bewertet ist.

35 Die Ermittlung des Richtungswertes ( $V$ ) kann beispielsweise entsprechend Fig. 3 erfolgen. Dort ist schematisch eine Einrichtung (30) zur Erfassung des Flußwertes angedeutet. Eine derartige Einrichtung kann davon ausgehen, daß in Vektorschreibweise die im Ständer induzierte EMK bei gegebenen Parametern für den Läuferwiderstand ( $r^L$ ) und die Streuinduktivität ( $x^{\sigma}$ ) durch  $\underline{u} - r^L \cdot \underline{i} - x^{\sigma} \cdot \frac{d\underline{i}}{dt}$  gegeben und aus den Meßwerten der Ständerspannung und des Ständerstromes erfaßbar ist. Die für die einzelnen Ständerwicklungen erfaßten EMK-Werte können dann zu einem gemeinsamen EMK-Vektor zusammengesetzt werden, dessen Integral den Flußvektor  $\underline{\psi} = \int (\underline{u} - \underline{i} \cdot r^L) \cdot dt - x^{\sigma} \cdot \underline{i}$  bildet. Der Betrag ( $\psi$ ) dieses Flußvektors stellt den Istfluß dar, wobei Einzelheiten der Flußerfassungseinrichtung (30) dem Fachmann z. B. aus der feldorientierten Regelung bekannt sind und hier nicht dargestellt werden müssen.

45 Die Differenz  $\psi^* - \psi$  zwischen dem so ermittelten Flußwert ( $\psi$ ) und dem dem Magnetisierungsstrom ( $I_{\mu}^*$ ) proportionalen Flußsollwert  $\psi^* = x^h \cdot I_{\mu}^*$  ist dem Grenzwertmelder (18) zugeführt, der als Vergleichsglied ein Signal ( $H'$ ) für die hinreichende Übereinstimmung ( $H' = 0$ ) der beiden Flußwerte liefert. Dieses Signal kann an sich als Umschaltbefehl für die negative Bewertung des Drehzahlwertes verwendet werden.

50 Beim Aufschalten der Erregung baut sich jedoch der Fluß zunächst erst langsam auf und es liegt daher zunächst  $H' = 1$  vor, selbst wenn das Fahrzeug bereits in der gewünschten Drehrichtung rollt. Daher ist es vorteilhaft, einen Umschaltbefehl erst dann freizugeben, wenn der Aufbau des Flusses abgeschlossen ist, z. B. eine vorgegebene Zeit ( $\Delta T_1$ ) verstrichen ist. Dem Vergleichsglied ist daher ein Übertragungsglied nachgeschaltet, das nach dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3 ein negierendes UND-Gatter (33) enthält, dessen anderem Eingang der Ausgang einer monostabilen Kippstufe (31) aufgeschaltet ist. Solange der Stromrichter gesperrt ist, was durch ein Signal  $G = 1$  angezeigt ist, ist der Ausgang ( $G'$ ) der Kippstufe (31) "0" und der Ausgang ( $H$ ) des Gatters (33) "1". Ein dem Gatter (33) nachgeschaltetes negierendes UND-Gatter (34) erzeugt daraus das Signal  $V' = 0$ , das angibt, daß auch bei an sich falscher Drehrichtung, d. h.  $H' = 1$ , keine negative

Bewertung des Drehzahlwertes vorgenommen werden soll. Ein von diesem Signal und dem Fahrtrichtungsvorwahlsignal ( $V^*$ ) beaufschlagtes EXKLUSIV-ODER-Gatter (35) erzeugt daraus das Richtungssignal ( $V$ ), das bei freigegebener Fahrhaltung ( $F = 1$ ) den gleichen Signalzustand wie das Fahrtrichtungsvorwahlsignal ( $V^*$ ) besitzt, so daß die beiden Schalter (19') und (22) in Fig. 2 in der gleichen Schalterstellung liegen. Die Steuersignale ( $f_s^*$ ) und ( $f_L$ ) werden also an der Additionsstelle (17) mit gleichem Vorzeichen addiert ( $f^* = \pm(|f_s^*| + |f_L|)$ ). Erst nach Aufbau (Dauer ( $\Delta T_1$ )) des Flusses wird mit  $G' = 1$  der Flußvergleich zur Identifizierung einer falschen Drehrichtung wirksam.

Andererseits ist es in vielen Anwendungsfällen erforderlich, daß die Umschaltung nur dann erfolgt, wenn der Antrieb nur schwach generatorisch wirkt und der Stromrichter in der Lage ist, aufgrund seiner Leistungsverluste im schwachgeneratorischen Betrieb den rückgespeisten Bremsstrom zur Deckung seiner Verluste aufzunehmen. Zur Überwachung des schwachgeneratorischen Betriebes ist es daher vorteilhaft, wenn ein dem Vergleichsglied (16) nachgeschaltetes Übertragungsglied den Umschaltbefehl ( $H'$ ) nur dann weitergibt, wenn der Drehzahlwert unterhalb einer fest vorgegebenen Grenzdrehzahl liegt.

Beim Ausführungsbeispiel wird die Drehzahl als Impulsfolge ( $n_L$ ) mit drehzahlproportionaler Frequenz erfaßt. Ein Digital/Analog-Wandler (36) bildet daraus das Analogsignal ( $f_L$ ), das einerseits als Drehzahlwert für die Additionsstelle (17) verwendet ist, andererseits einem zweiten Vergleichsglied (37) zugeführt wird, das als Grenzwertmelder z. B. ein logisches Signal "1" liefert, wenn die Drehzahl unter dem eingestellten Drehzahlgrenzwert liegt. Durch logische Verknüpfung dieses Signals mit dem Signal ( $H'$ ), zu der wiederum vorteilhaft das Gatter (33) verwendet werden kann, wird nunmehr der Umschaltbefehl ( $H'$ ) nur freigegeben, wenn diese Drehzahlbedingung eingehalten ist.

Wird also infolge eines äußeren Drehmomentes beim Einschalten der Erregung der Läufer entgegen der gewünschten Fahrtrichtung gedreht, so entsteht mit der Zeitverzögerung ( $\Delta T_1$ ) der entsprechende Umschaltbefehl ( $V'$ ) für die drehzahlgerechte Bewertung des Drehzahlwertes. Es baut sich jetzt der gewünschte Fluß auf und das Signal ( $H'$ ) des ersten Vergleichsgliedes (16) kehrt sich schließlich um. Um nun zu vermeiden, daß sich dadurch auch die Signale ( $V'$ ) und ( $V$ ) umkehren und die jetzt richtige Bewertung des Drehzahlwertes geändert wird, bevor der Läufer zum Stillstand gekommen ist und seine Drehrichtung umgekehrt hat, wird nun der einmal erzeugte Umschaltbefehl  $V' = 1$  solange gespeichert, bis die Drehzahl praktisch Null geworden ist. Zu diesem Zweck enthält das Übertragungsglied einen Speicher, d. h. im konkreten Fall ist das Gatter (34) als Teil eines Set-Reset-Gedächtnisses (38) ausgebildet. Diesem Speicher wird der entsprechende Rücksetzimpuls dann eingegeben, wenn praktisch die Drehzahl Null erreicht ist. Ein gespeicherter Umschaltbefehl wird dadurch gelöscht und vom Speicher ein Signal  $V' = 0$  solange abgegeben, bis nach dem Nulldurchgang der Drehzahl wieder ein Umschaltbefehl  $H = 0$  bzw.  $V' = 1$  erzeugt wird. Dieser erneut auftretende Umschaltbefehl wird dann wiederum bis zum nächsten Nulldurchgang der Drehzahl gespeichert.

Zur Erfassung des Nulldurchganges ist eine nachtriggerbare monostabile Kippstufe (39) vorgesehen, die jeweils von einem Impuls der Impulsfolge ( $n_L$ ) angestoßen wird. Sie erzeugt für eine eingegebene Zeitdauer ( $\Delta T_2$ ) ein "1"-Signal, kippt aber nur dann in den "Null"-Zustand zurück, wenn innerhalb der Zeit ( $\Delta T_2$ ) kein erneuter Impuls der Impulsfolge ( $n_L$ ) ankommt. Die Kippstufe (39) setzt somit jeweils einen Impulsabstand, der größer als ( $\Delta T_2$ ) ist, dem Drehzahlnullpunkt gleich und gibt damit das gewünschte Rücksetzsignal auf den Speicher (38). Dieser Speicher (38) enthält neben dem Gatter (34) ein weiteres negierendes UND-Gatter (40), dessen Ausgang mit dem anderen Eingang des Gatters (34) und dessen Eingänge mit dem Ausgang des Gatters (34) und des Kippgliedes (39) in der angegebenen Weise verbunden ist. Ein weiterer Eingang des Gatters (40) ist über ein Invertierglied (41) mit dem Sperrsignal ( $G$ ) des Umrichters verbunden und bewirkt, daß sowohl bei gesperrter Erregung sowie während der Dauer ( $\Delta T_1$ ), während der nach Aufschalten der Erregung der Umschaltbefehl ( $H'$ ) des Vergleichsgliedes (16) gesperrt ist, der Ausgang des Speichers (38) auf den Wert  $V' = 0$  rückgesetzt ist.

In Fig. 4 ist der Vorgang beim Anlauf der Maschine dargestellt für den Fall, daß ein Fahrbefehl in Vorwärtsrichtung ( $F = 1$ ,  $V^* = 1$ ) oder ein Bremsbefehl bei vorgewählter Rückwärtsrichtung ( $F = 0$ ,  $V^* = 0$ ) vorgegeben ist. Fig. 4 zeigt zunächst den Meßwert ( $\psi$ ) des Flusses sowie einen durch  $\psi^* - \Delta\psi^*$  bei konstant vorgegebenem Magnetisierungsstromwert ( $I_{\mu}^*$ ) und einer gerätemäßig eingestellten Ansprechgrenze ( $\Delta\mu^*$ ) des Vergleichsgliedes (37) gegebenen Vergleichswert ( $\psi^*_{\text{grenz}}$ ), ferner die digitale Impulsfolge ( $n_L$ ) des Drehzahlgebers und den dazugehörigen analogen Wert des Drehzahlbetrages ( $|f_L|$ ).

Vor dem Zeitpunkt der Erregung ( $t_0$ ) ist durch das Signal  $G = 1$  der Stromrichter gesperrt. Die Kippstufe (31) liefert zu diesem Zeitpunkt das Signal  $G' = 0$  und es folgt  $V' = 0$ . Dies bedeutet, daß bei der Bildung der Stromrichterfrequenz der Drehzahlbetrag ( $|f_L|$ ) positiv (genauer: im gleichen Sinne wie der Schlupffrequenzsollwert) bewertet wird.

Mit Einschalten der Erregung liefert zwar der Invertierer (41) nunmehr das Signal  $\bar{G} = 1$ , jedoch ändert sich das Ausgangssignal des Speichers (38) nicht, bis nach Ablauf von ( $\Delta T_1$ ) nunmehr mit  $G' = 1$  das Gatter (33)

freigegeben wird und  $H = \bar{H}' = 0$ ,  $V' = 1$  gilt. Nunmehr ist das vom Vergleichsglied (16) aus der Abweichung der Flußwerte gebildete Signal auf den Ausgang (V') gegeben. Der Speicher (40) speichert nun diesen Wert  $V' = 1$ , auch wenn zum Zeitpunkt ( $t_2$ ) der gemessene Fluß sich nunmehr über die Ansprechgrenze hinaus dem Flußsollwert sich nähert und daher ( $H'$ ) und ( $H$ ) ihren Zustand ändern. Erst zum Zeitpunkt ( $t_3$ ) wird durch Kippen der Kippstufe (39) der Nulldurchgang der Drehzahl erkannt und von diesem Zeitpunkt ( $t_3$ ) bis zum Auftreten des nächsten Impulses ( $n_L$ ) durch ein Signal  $T = 0$  der Speicher (38) auf den Wert  $V' = 0$  rückgesetzt. Da von nun an der Flußistwert praktisch dem Flußsollwert entspricht, bleibt der Zustand  $V' = 0$  auch dann erhalten, wenn mit dem nächsten Impuls ( $n_L$ ) das Signal  $T = 0$  den Speicher wieder freigibt.

Aus der gestrichelten Kurve für ( $\pm f_1$ ) ergibt sich nun, wie entsprechend der durch (V') gegebenen Bewertung die betragsmäßig erfaßte Drehzahl in die Frequenzsteuergröße ( $f^*$ ) eingeht. Bei dieser Betrachtung ist stets davon ausgegangen, daß die Läuferdrehzahl in Rückwärtsrichtung unterhalb eines gegebenen Drehzahlgrenzwertes liegt.

In Fig. 5 ist vom Ausgangszustand der Fig. 4 ausgegangen, bei dem z. B. ein Fahrzeug mit vorgegebener Geschwindigkeit rollt. Vom Zeitpunkt ( $t_4$ ) ab wirkt jedoch auf den Läufer ein entgegengerichtetes äußeres Drehmoment, z. B. der Hangabtrieb des Fahrzeugs bei einer Bergfahrt. Die sich langsam vermindernde Geschwindigkeit führt zum Zeitpunkt ( $t_5$ ) dazu, daß der Drehzahlgeber den Nulldurchgang der Drehzahl erkennt. Die Kippstufe (39) gibt dann bis zum Auftreten des nächsten Impulses ( $n_L$ ) das Signal  $T = 1$  ab, mit dem der Speicher auf den (in diesem Fall bereits vorher vorhandenen) Wert  $V' = 0$  gesetzt wird. Zum Zeitpunkt ( $t_6$ ) gibt die Kippstufe (39) den Speicher wieder frei, der zum Zeitpunkt ( $t_7$ ), an dem der Flußistwert ( $\psi$ ) den Grenzwert unterschreitet, auf den Wert  $V' = 1$  gesetzt wird. Zum Zeitpunkt ( $t_8$ ) ist wieder  $H' = \bar{H} = 0$  erreicht, jedoch behält der Speicher den gespeicherten Wert  $V' = 1$ . Die Maschine erzeugt nun ein vorwärtsgerichtetes Drehmoment der gewünschten Größe, durch das das rückwärts rollende Fahrzeug gebremst wird.

Erst zum Zeitpunkt ( $t_9$ ) wird wieder ein Nulldurchgang der Drehzahl erkannt und der Speicher auf den Wert  $V' = 0$  gesetzt. Da jetzt das Fahrzeug wieder ungestört vorwärts bewegt wird, bleibt dieser Zustand für die weitere Fahrdauer erhalten.

Die hier am Beispiel eines Fahrzeuges mit einer aus einem Gleichstromnetz mittels eines Stellers gesteuerten Asynchronmaschine dargestellten Erfindung läßt sich auch für andere Umrichter und andere Antriebe anwenden. Obwohl bei Synchronmaschinen nur während eines instationären Vorganges die Feldachse von der Läuferachse abweicht und somit eine von Null abweichende Schlupffrequenz vorliegt, kann die Erfindung auch bei Synchronmaschinen angewendet werden, da für die Steuerung oder Regelung der Synchronmaschine in der Regel ebenfalls eine vorzeichenrichtige Erfassung des Drehzahlwertes benötigt wird.

Zusammenfassend lassen sich unter Bezug auf Fig. 1 die zugrundegelegte Aufgabe und der grundsätzliche Lösungsgedanke der Erfindung wie folgt beschreiben: Wird der speisende Stromrichter (3), (4) einer Drehfeldmaschine (2) mit einer Sollfrequenz ( $f^*$ ) gesteuert, die der Summe aus einem Schlupffrequenz-Sollwert ( $f_s^*$ ) und einer nur betragsmäßig erfaßten Läuferdrehzahl ( $|f_1|$ ) entspricht, so kann ein am Läufer angreifendes Gegenmoment, das den Läufer entgegen der gewünschten Drehrichtung bewegt, zu einer falschen Frequenzsteuerung führen. Um in diesen Fällen die betragsmäßig erfaßte Läuferdrehzahl negativ bewerten zu können, wird der Flußistwert ( $\psi$ ) ausgerechnet und mit einem durch die Steuergrößen des Umrichters bestimmten Flußsollwert ( $\psi^*$ ) verglichen (Vergleichsglied (18)). Bei falscher Frequenzsteuerung wird aus der Abweichung der beiden Flußwerte ein Umschaltbefehl ermittelt, mit dem die betragsmäßig erfaßte Läuferdrehzahl bei der Summenbildung negativ bewertet wird (Umschalter (19)).

## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betrieb einer stromrichtergespeisten Drehfeldmaschine bei Anlauf oder bei niedrigen Drehzahlen, bei dem durch Vorgabe eines einem Flußsollwert proportionalen Magnetisierungsstrom-Sollwertes und eines einem Schlupffrequenz-Sollwert proportionalen Wirkstromsollwertes der Ausgangsstrom des Stromrichters in seiner Amplitude entsprechend den Stromsollwerten und in seiner Frequenz entsprechend der Summe aus dem Schlupffrequenz-Sollwert und der nur betragsmäßig erfaßten Läuferdrehzahl gesteuert wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Istwert des Flusses erfaßt und bei einem unterhalb eines durch den

Flußsollwert bestimmten Grenzwert liegenden Flußistwertes die nur betragsmäßig erfaßte Läuferdrehzahl negativ bewertet wird (Fig. 1).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die negative Bewertung nur für eine unter einem vorgegebenen Grenzwert liegende Läuferdrehzahl vorgenommen wird (Grenzwertmelder (37), Fig. 3).
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Start (Zeitpunkt ( $t_0$ )) der Maschine nach dem Aufschalten der Erregung für eine zum Aufbau des Flusses benötigte Zeitspanne ( $\Delta T_1$ ) die betragsmäßig erfaßte Läuferdrehzahl ( $|f_1|$ ) positiv bewertet bleibt (Fig. 4).
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine einmal vorgenommene negative Bewertung (Zeitpunkt ( $t_1$ )) jeweils solange beibehalten wird, bis die Läuferdrehzahl einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet (Zeitpunkt ( $t_2$ ), Fig. 4).
5. Vorrichtung zum Betrieb einer Asynchronmaschine, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit einem die Maschine speisenden Stromrichter und einer Steuereinrichtung, der ein einem Flußsollwert proportionaler Magnetisierungsstrom-Sollwert und ein einem Schlupffrequenz-Sollwert proportionaler Wirkstromsollwert, sowie ein nur betragsmäßig erfaßter Drehzahlwert zugeführt sind und die die Amplitude des Stromrichter-Ausgangsstromes entsprechend der Amplitude des durch die Sollwerte gegebenen Soll-Stromvektors und die Frequenz des Stromrichters entsprechend der Summe des Schlupffrequenzsollwertes und des betragsmäßig erfaßten Drehzahlwertes steuert, wobei die Steuerung auch eine Einrichtung zur Bestimmung des Flußistwertes enthält, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein vom Flußsollwert und Flußistwert beaufschlagtes erstes Vergleichsglied (18) vorgesehen ist, das aus der Differenz der Flußwerte ein Richtungssignal ableitet, das eine der Drehrichtung der durch die Steuereinrichtung gesteuerten Schlupffrequenz entgegengesetzte Läuferdrehrichtung anzeigt, und daß ein Umschalter (19) vorgesehen ist, der bei einem aus dem Richtungssignal gebildeten Umschaltbefehl das Vorzeichen des betragsmäßig erfaßten Drehzahlwertes in der Summe aus Schlupffrequenzsollwert und Drehzahlwert ändert (Fig. 1).
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Übertragungsglied (33, 40) vorgesehen ist, das den Umschaltbefehl ( $V'$ ) erst eine vorgegebene Zeit ( $\Delta T_1$ ) nach der Erregung der Asynchronmaschine freigibt (Fig. 3).
7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Übertragungsglied (33, 40) vorgesehen ist, das den Umschaltbefehl ( $V'$ ) nur bei Drehzahlwerten unterhalb einer vorgegebenen Grenzdrehzahl freigibt (Fig. 3).
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 und 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Freigabesignal ( $\overline{G}$ ) für den Stromrichter über eine Kippstufe (31) einem logischen Verknüpfungsglied (33) zur Bildung eines dem Umschaltbefehl entsprechenden Signals ( $H$ ) zugeführt ist, daß die anderen Eingänge des Verknüpfungsgliedes (33) vom Ausgangssignal ( $H'$ ) des ersten Vergleichsgliedes (18) und vom Ausgangssignal eines zweiten, vom Drehzahlwert beaufschlagten Vergleichsgliedes (37) gespeist sind, und daß dem Verknüpfungsglied (33) ein Speicher (40) nachgeschaltet ist, der vom Freigabesignal ( $\overline{G}$ ) und einem aus dem Drehzahlwert abgeleiteten Signal ( $T$ ) für den Nulldurchgang der Drehzahl rücksetzbar ist und einen Umschaltbefehl jeweils bis zum Auftreten des nächsten Nulldurchganges speichert.

Hiezu 4 Blatt Zeichnungen



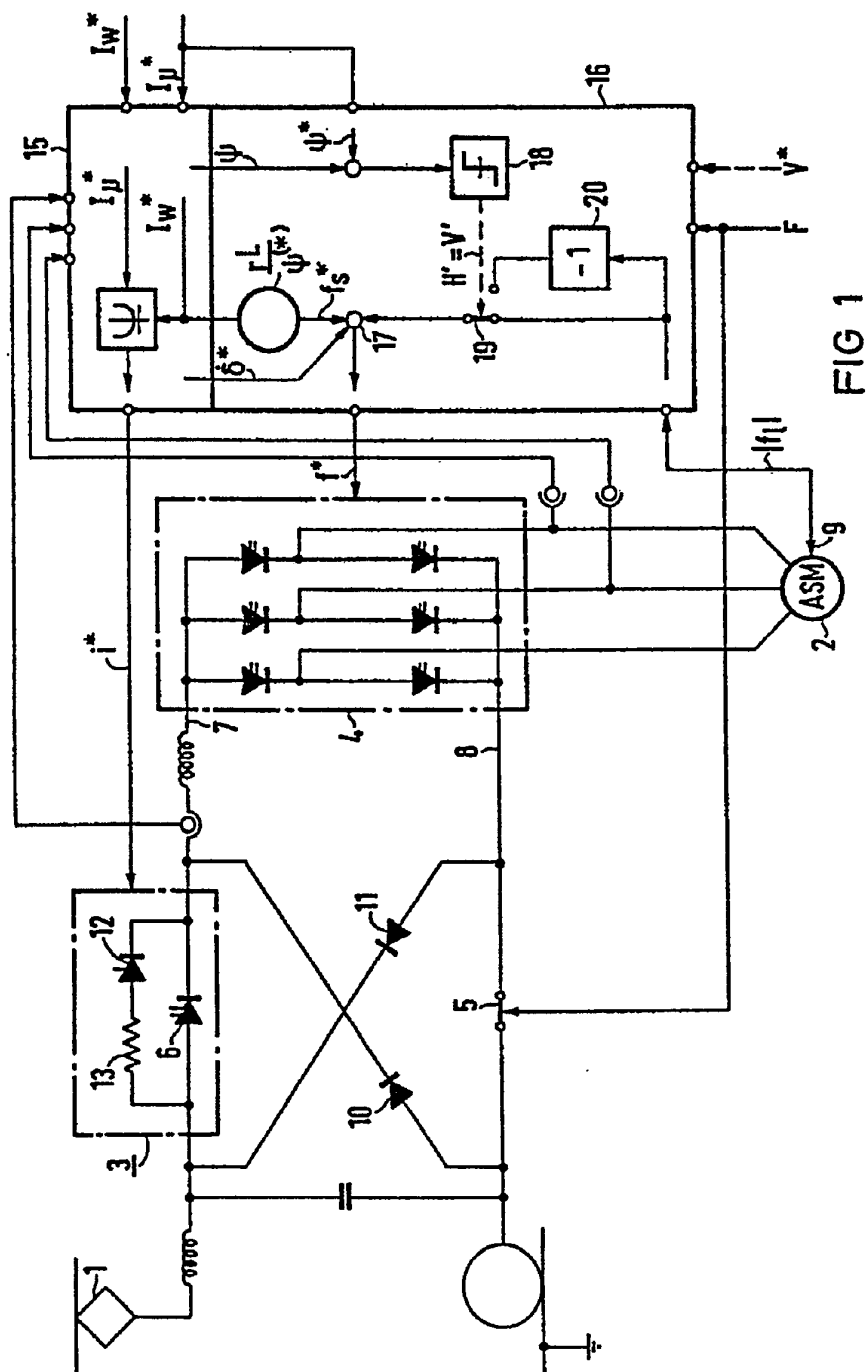


FIG 1

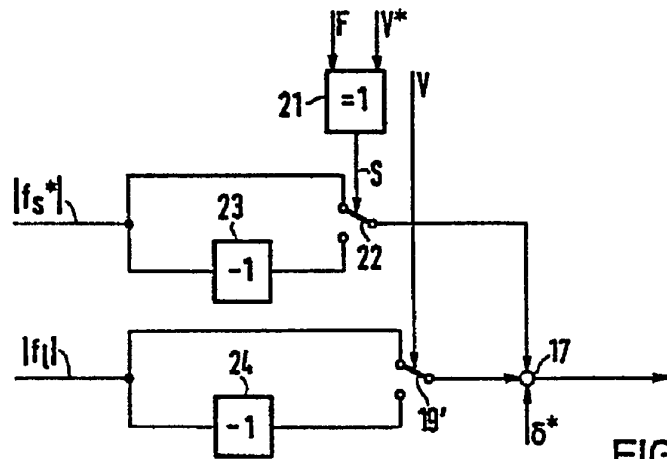


FIG 2

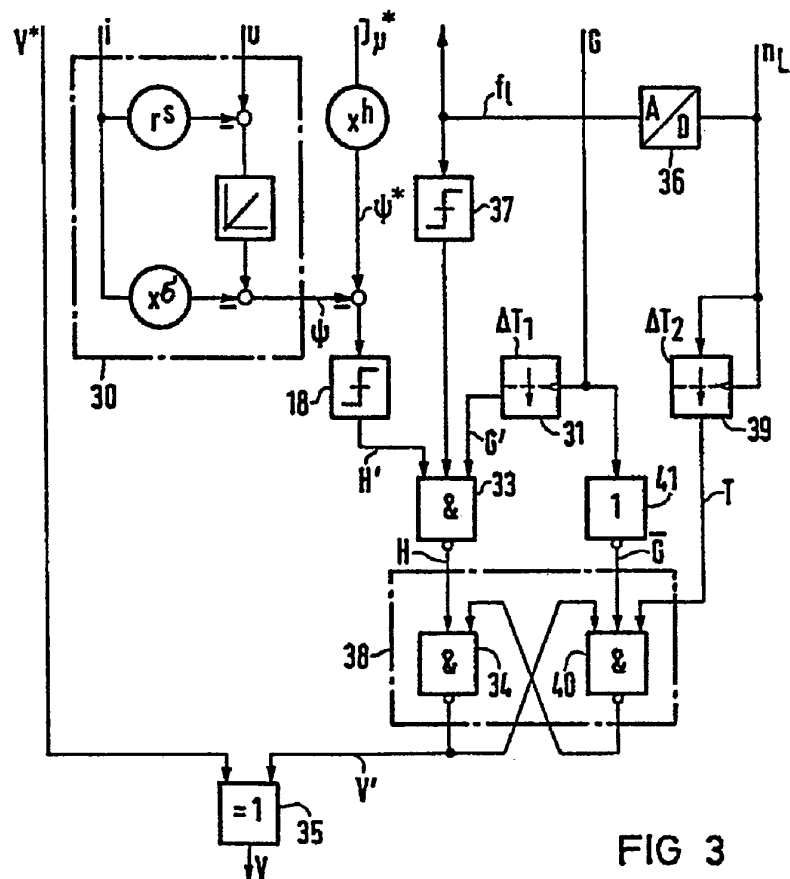


FIG 3

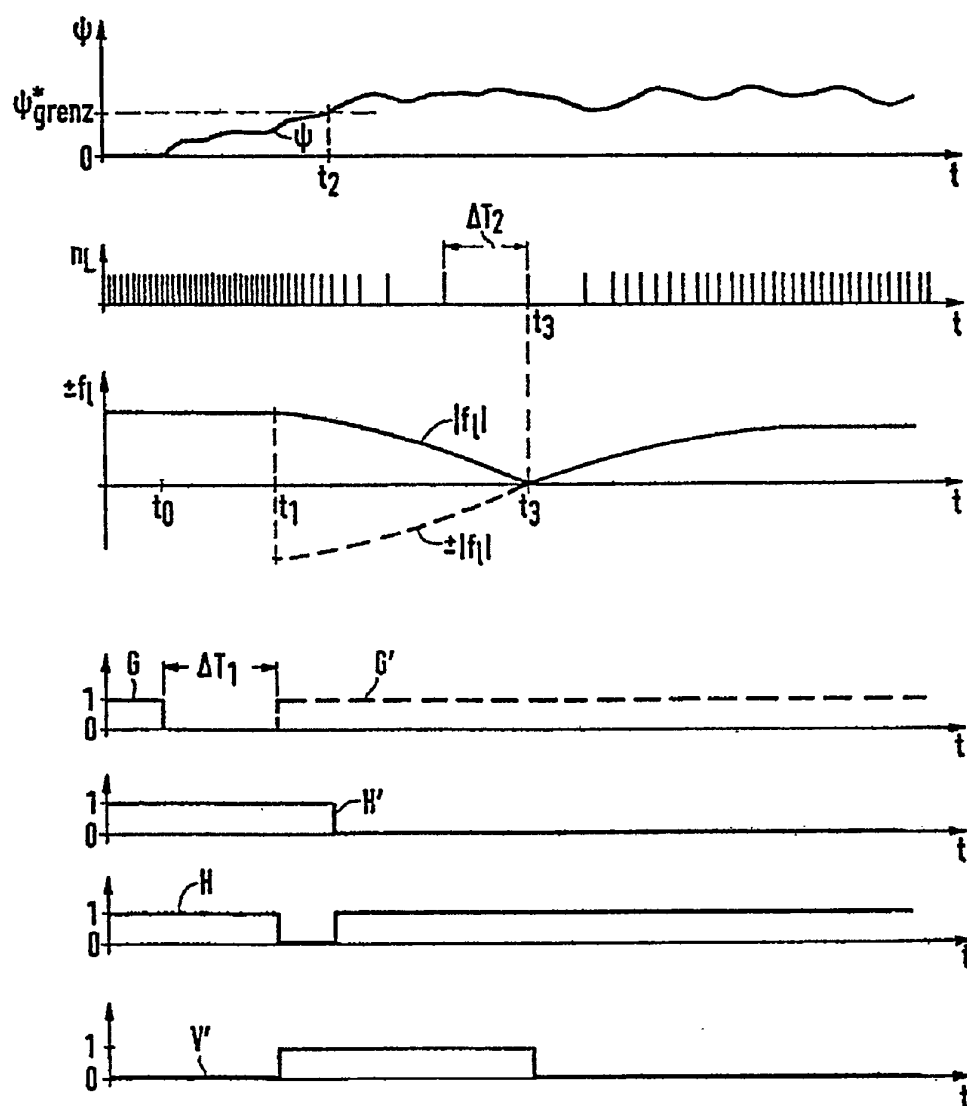


FIG 4

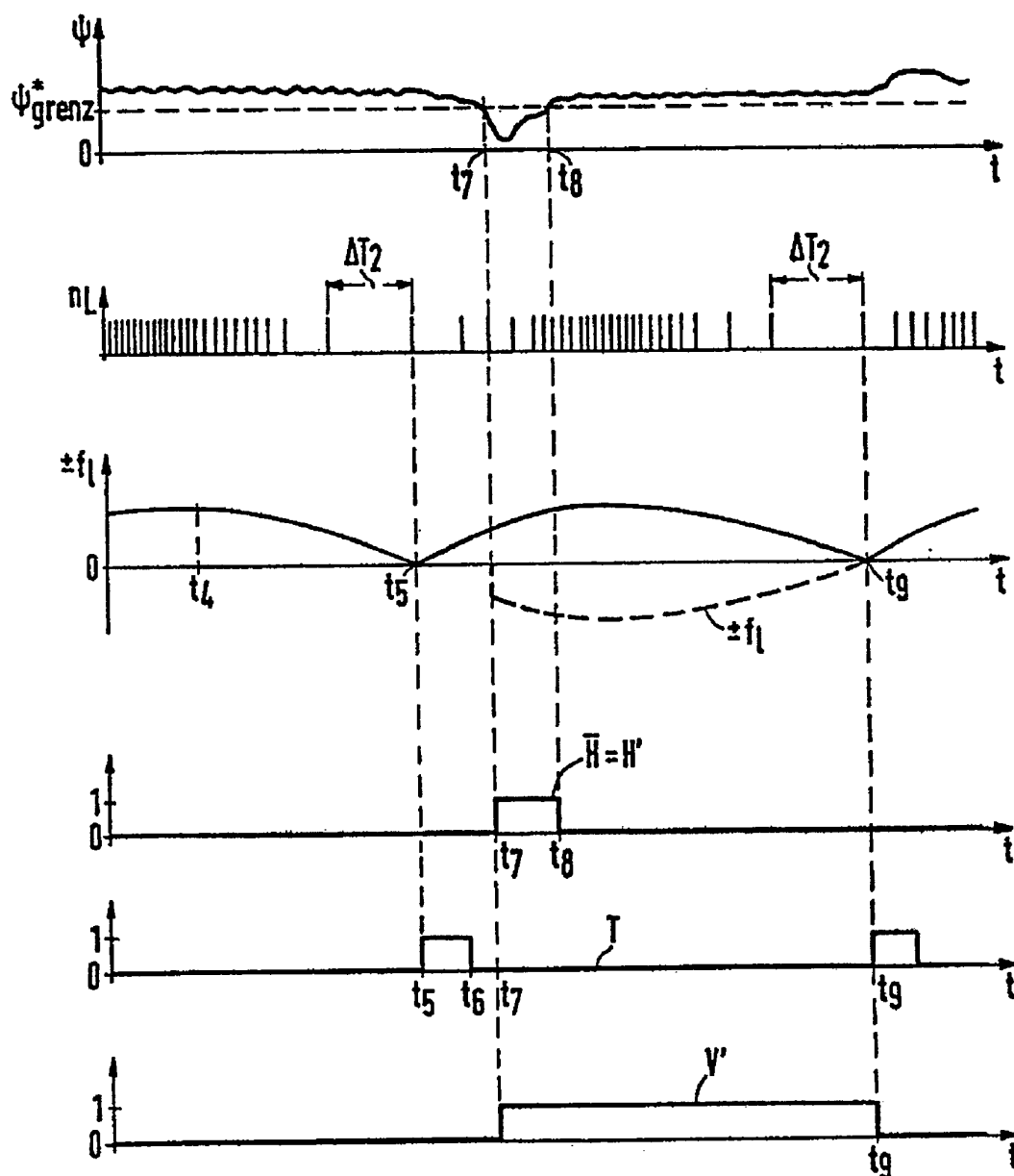


FIG 5