

PATENTSCHRIFT

(12) Ausschließungspatent

(11) **DD 283 535 A7**



Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz
der DDR vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

4(51) H 02 P 5/178

DEUTSCHES PATENTAMT

(21) DD H 02 P / 306 950 2

(22) 14.09.87

(45) 17.10.90

(71) siehe (73)

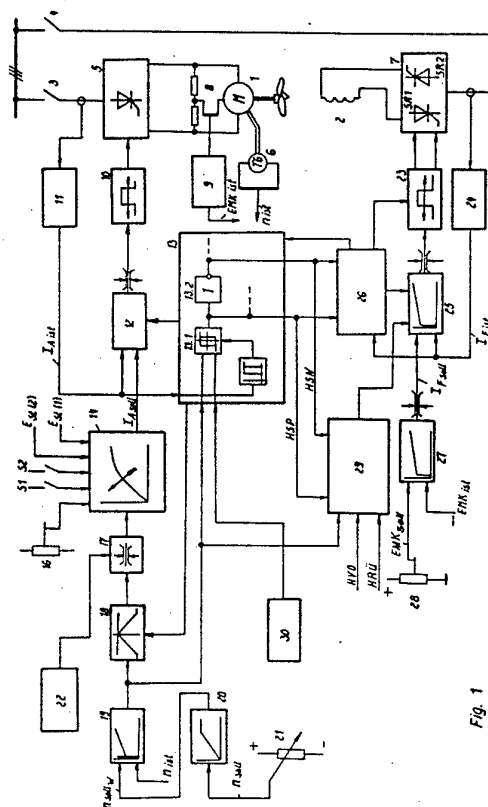
(72) Schröder, Manfred; Trautmann, Jürgen; Wolff, Alfons, Dipl.-Ing.; Sternkopf, Josef, Dipl.-Ing.; Vöckel, Erhard, Dr.-Ing., DD

(73) VEB Elektrophot und Anlagenbau Berlin, Rhinstraße 100, Berlin, 1140, DD

(54) Verfahren zur Drehzahlregelung eines thyristorgespeisten Gleichstrommotors in Feldumkehrschaltung für den Propellerantrieb von Schiffen

(55) Drehzahlregelung; Schiffspropellerantrieb;
Gleichstrommotor; Feldumkehrschaltung;
Thyristorstromrichter; Antiparallelschaltung,
kreisstromfrei; Umschaltlogik; Zusatzlogik;
Verzögerungsglied

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Anwendung einer kreisstromfreien Antiparallelschaltung zur Speisung des Motorfeldes bei Schiffspropellerantrieben mit thyristorgespeisten Gleichstrommotoren in Feldumkehrschaltung. Die Lösung beruht darauf, daß in Abhängigkeit von den Erfordernissen bei Schiffspropellerantrieben über eine Veränderung der Zeitkonstante eines dem Ankerstromregler 12 vorgeschalteten Verzögerungsgliedes 1. Ordnung 14 die Änderungsgeschwindigkeit des Ankerstromsollwertes $I_{A\text{soll}}$ beeinflusst wird und bei einer erforderlichen Feldumkehr der Ankerstrom und der Feldstrom über eine Zusatzlogik 29 näherungsweise gleichzeitig abgebaut werden. Fig. 1



10

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Drehzahlregelung eines thyristorgespeisten Gleichstrommotors in Feldumkehrschaltung für den Propellerantrieb von Schiffen, mit Feldspeisung des Motors aus einem Stromrichter in kreisstromfreier Antiparallelschaltung, wobei der Drehzahlregelung eine Ankerstromregelung unterlagert ist und zwischen dem Drehzahlregler und dem Ankerstromregler ein Verzögerungsglied 1. Ordnung angeordnet ist, und der Feldstrom über einen EMK-Regelkreis mit unterlagertem Feldstromregelkreis geregelt wird, sowie die Feldumkehr in Abhängigkeit von der Polarität der Drehzahlreglerausgangsspannung mittels einer aus Ankerlogik und Feldlogik bestehenden Umschaltlogik gesteuert wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einem erforderlichen Feldumkehrvorgang die Umschaltlogik (13; 26) zum parallelen Abbau von Ankerstrom und Feldstrom derart mit einer Zusatzlogik (29) zusammenarbeitet, daß in Abhängigkeit von der Polarität der Drehzahlreglerausgangsspannung, dem Ausgangssignal des Richtungsspeichers (13.1) der Ankerlogik (13) und von Signalen für die Stellung „vorwärts“ bzw. „rückwärts“ des Fahrhebels des Propellerantriebes die Wechselrichterzwangssteuerung des stromführenden Feldstromrichters vom Zeitpunkt des Polaritätswechsels der Drehzahlreglerausgangsspannung bis zum Zeitpunkt des Nullwerdens des Ankerstromes eingeleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß in Abhängigkeit von der Belastungscharakteristik der die Drehstromgeneratoren des Fahrnetzes antreibenden Dieselmotoren und von der Anzahl der das Fahrnetz speisenden Drehstromgeneratoren die Änderungsgeschwindigkeit des Ankerstromsollwertes ($I_{A\text{ soll}}$) über eine Veränderung der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung (14) beeinflußt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Überschreiten einer maximal zulässigen Drehzahl des Antriebsmotors die Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung auf den zulässigen minimalen Wert entsprechend der maximal zulässigen Änderungsgeschwindigkeit des Momentes des Antriebsmotors umgeschaltet wird.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines thyristorgespeisten Gleichstrommotors in Feldumkehrschaltung für Schiffspropellerantriebe unter Verwendung eines Stromrichters in kreisstromfreier Antiparallelschaltung zur Speisung des Motorfeldes.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Es ist eine Schaltungsanordnung zum Regeln einer dieselektrischen Fähranlage auf Schiffen bekannt (DE-AS 22 37 399), bei der ein Synchrongenerator über einen ungesteuerten Gleichrichter einen fremderregten Gleichstromfahrmotor als Antrieb für den Propeller speist, wobei den Feldwicklungen des Generators und Fahrmotors Thyristorstromrichter zugeordnet sind. Die Regelung ist als Mehrschleifenregelung ausgeführt. Der Drehzahlregelung für den Fahrmotor ist die Feldstromregelung des Fahrmotors direkt unterlagert, und der Istwert des Feldstromes des Fahrmotors wird im Sinne einer Folgeregelung als Sollwert für eine Fahrstromregelung des Synchrongenerators vorgegeben. Der Fahrstromregelung des Generators ist eine Leistungsregelung unterlagert.

Eine Weiterentwicklung dieses Regelprinzips stellt die in den DE-Zeitschriften: Hansa-Schiffahrt-Schiffbau-Hafen, 115. Jahrgang, 1978, Nr. 1, S. 47-50 und Schiff u. Hafen/Kommandobrücke, 31. Jahrgang, 1979, Heft 8, S. 680-685 vorgestellte Schaltung für Schiffspropellerantriebe dar. Das Feld des Fahrmotors wird dabei über einen kreisstrombehafteten Umkehrstromrichter in Kreuzschaltung gespeist. Die Regelung ist wiederum als Mehrschleifenregelung ausgeführt. Die Leistungsregelung ist in diesem Fall der Drehzahlregelung überlagert. Der Drehzahlregelung wird eine Drehmomentenregelung in der Form unterlagert, daß der Drehzahlregelung direkt die Feldstromregelung des Fahrmotors unterlagert ist und vom Istwert des Feldstromes der Sollwert für eine Ankerstromregelung des Fahrmotors im Sinne einer Folgeregelung abgeleitet wird. Da die Regelung des Fahrstromes entsprechend der Lösung aus der DE-AS 22 37 399 indirekt auch eine Regelung des Ankerstromes des Fahrmotors darstellt, sind beide Regelschaltungen hinsichtlich ihrer physikalischen Wirkung bei Motorbetrieb des Fahrmotors ähnlich. Die Anordnung nach der DE-AS 22 37 399 ermöglicht allerdings keine generatorische Rückspeisung während der Rückleistungsphase beim Umsteuern des Propellers. Nachteilig bei der in den genannten Veröffentlichungen angegebenen Schaltung für Schiffspropellerantriebe ist jedoch der Einsatz eines kreisstrombehafteten Umkehrstromrichters in Kreuzschaltung zur Feldspeisung. Die kreisstrombehaftete Kreuzschaltung ermöglicht zwar unter Verwendung eines Feldstromreglers mit positiver und negativer Ausgangsspannung sowie von zwei Signalweichen und zwei Ansteuereinrichtungen einen relativ unkomplizierten Übergang in der Stromführung von einem Feldstromrichter auf den anderen, gegenüber einer kreisstromfreien Antiparallelschaltung ergibt sich jedoch ein erheblich größerer Aufwand an Transformatoren (Dreiwicklungstransformator) und

Drosseln sowie ein größerer Aufwand im Leistungsteil. Das bessere dynamische Verhalten der kreisstrombehafteten Umkehrschaltung gegenüber der kreisstromfreien Umkehrschaltung beim Umsteuern des Feldstromes spielt bei Feldspeisungen keine Rolle, da die stromlose Pause gegenüber den Feldaufbau- und Feldabbauzeiten vernachlässigbar ist. Bei den bekannten Schaltungen ist weiterhin nachteilig, daß mit gegebener Feldzeitkonstante und gegebener Erregerdeckenspannung die maximale Änderungsgeschwindigkeit des Fahrmotormomentes festliegt. Eine freizügige Anpassung der Änderungsgeschwindigkeit des Momentes an verschiedene Dieselmotoren bzw. an verschiedene Betriebsfälle des Propellerantriebes ist nicht möglich. Die Anpassung über die Höhe der Erregerdeckenspannung ist nur in bestimmten Grenzen technisch und ökonomisch sinnvoll, da eine Reduzierung der maximalen Deckenspannung über den Zündwinkel der Ansteuereinrichtung ein Nichtausnutzen der installierten Stromrichterleistung bedeutet.

Zur Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeit des Momentes von Gleichstrommotoren ist es ferner bekannt, zwischen dem Drehzahlregler und dem Ankerstromregler einen Ankerstromsollwertintegrator anzuordnen, der den Anstieg des Ankerstromsollwertes begrenzt. Eine solche Anordnung wird z. B. in der DD-PS 259 117 für Fördermaschinenantriebe beschrieben. Bei den bekannten Einsatzfällen mit Ankerstromsollwertintegratoren sind technologisch bedingt Hochlaufzeiten der Ankerstromsollwertintegratoren auf Nennsignal von ≤ 500 ms ausreichend. Bei Schiffspropellerantrieben besteht, bedingt durch die Belastbarkeit der Dieselmotoren, die die Synchrongeneratoren des Fahrnetzes antreiben, die Forderung nach Nennmomentaufbauzeiten bzw. -abbauzeiten von mehreren Sekunden. Diese Forderung läßt sich durch den Einsatz eines Ankerstromsollwertintegrators nicht mehr erfüllen, da es bei großen Hochlaufzeiten des Ankerstromsollwertintegrators nicht mehr gelingt, die Drehzahlregelung zu stabilisieren. Dies ergibt sich aus der physikalischen Arbeitsweise des Stromsollwertintegrators, dessen dynamisches Verhalten sich in Abhängigkeit von der Höhe des Eingangssignals ändert. Bei dem in der DD-PS 259 117 beschriebenen Verfahren wird die Hochlaufzeit des Ankerstromsollwertintegrators durch eine Differenzbegrenzungsregelung zwischen Anker- und Feldstrom während des Feldaufbaues bzw. Feldabbaues beeinflusst. Beim Außer- bzw. In-Eingriffgehen des Differenzbegrenzungsreglers entsteht im zeitlichen Verlauf des Ankerstromsollwertes eine Unstetigkeitsstelle. Zur Verschleifung des Ankerstromverlaufes an dieser Stelle wird deshalb der Ankerstromsollwert über ein Verzögerungsglied 1. Ordnung mit einer kleinen Zeitkonstante von etwa 50 ms geführt.

Die bekannten kreisstromfreien Umkehrschaltungen für die Feldumkehr von Gleichstrommotoren, wie z. B. in der DD-PS 217 098 beschrieben, ermöglichen dadurch, daß eine Feldumkehr erfolgt, wenn der Antrieb durch generatorisches Bremsen im Wechselrichterbetrieb abgebremst oder stillgesetzt bzw. wenn seine Drehrichtung geändert werden soll und da der bei einer erforderlichen Feldumkehr notwendige Abbau von Ankerstrom und Feldstrom nacheinander vorgenommen wird, keine Anpassung der Dynamik der Regelkreise und des Feldumsteuervorganges an die Erfordernisse des Schiffspropellerantriebes.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist die Schaffung eines Verfahrens zur Regelung eines thyristorgespeisten Gleichstrommotors in Feldumkehrschaltung für den Propellerantrieb von Schiffen, bei dem zur Speisung des Motorfeldes ein Stromrichter in kreisstromfreier Antiparallelschaltung eingesetzt werden kann.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, unter Verwendung eines Feldstromrichters in kreisstromfreier Antiparallelschaltung ein Verfahren zur Regelung eines Gleichstrommotors für den Propellerantrieb von Schiffen zu schaffen, das eine in einem großen Bereich einstellbare Anpassung der Änderungsgeschwindigkeit des Momentes des Antriebmotors an die Belastungscharakteristik der Dieselmotoren und eine steuerbare Anpassung der Änderungsgeschwindigkeit des Motormomentes an verschiedene Betriebsfälle ermöglicht und das gleichzeitig die maximal mögliche Dynamik der Feldstromregelung bei Feldumsteuervorgängen gewährleistet.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Änderungsgeschwindigkeit des Ankerstromsollwertes in Abhängigkeit von der Belastungscharakteristik der die Drehstromgeneratoren des Fahrnetzes antreibenden Dieselmotoren und von der Anzahl der das Fahrnetz speisenden Drehstromgeneratoren über eine Veränderung der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung beeinflusst wird und der Wert der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung in Abhängigkeit vom Auftreten bestimmter Betriebsfälle auf maximal zulässige Werte der Änderungsgeschwindigkeit des Momentes des Antriebmotors umgeschaltet wird, und daß die Umschaltlogik bei einem erforderlichen Feldumkehrvorgang derart mit einer Zusatzlogik zusammenarbeitet, daß in Abhängigkeit von der Polarität der Drehzahlreglerausgangsspannung, dem Ausgangssignal des Richtungsspeichers der Ankerlogik und von Signalen für die Stellung „vorwärts“ bzw. „rückwärts“ des Fahrhebels des Propellerantriebes eine Wechselrichterzwangssteuerung des stromführenden Feldstromrichters vom Zeitpunkt des Polaritätswechsels der Drehzahlreglerausgangsspannung bis zum Zeitpunkt des Nullwerdens des Ankerstromes eingeleitet wird.

In einer Ausgestaltung der Erfindung wird beim Überschreiten einer maximal zulässigen Drehzahl des Antriebmotors die Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung auf den zulässigen minimalen Wert entsprechend der maximal zulässigen Änderungsgeschwindigkeit des Momentes des Antriebmotors umgeschaltet.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: das Prinzipschaltbild der Drehzahlregelung eines thyristorgespeisten Gleichstrommotors in kreisstromfreier Feldumkehrschaltung für den Propellerantrieb von Schiffen in Verbindung mit der erfindungsgemäßen Lösung

Fig. 2: ein Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens

Fig. 2a: die Kennlinie des Drehzahlreglers

Nach Fig. 1 wird in bekannter Weise der Anker des Gleichstrommotors 1, der direkt mit dem Propeller gekuppelt ist, über den Ein-Richtungs-Stromrichter 5 und den Leistungsschalter 3 aus dem Drehstromfahrnetz gespeist. Die Propellerdrehzahl wird durch eine Drehzahlregelung auf den mit dem Sollwertgeber 21 vorgegebenen Drehzahlsollwert n_{soll} geregelt. Die Drehzahlregelung besteht aus dem Drehzahlsollwertintegrator 20, dem Tachogenerator 6, dem Drehzahlregler 19, dem Betragsbildner 18, der Ankerstromsollwertbegrenzung 17, einem Verzögerungsglied 1. Ordnung 14 und der unterlagerten Ankerstromregelung. Zur Ankerstromregelung gehören der Ankerstromregler 12, das Strommeßglied 11 sowie die Ansteuereinrichtung 10 für den Ankerstromrichter 5. Der Ankerstromregelung ist eine Leistungsregelung 22 in Ablöseschaltung überlagert, die auf die Ankerstromsollwertbegrenzung 17 wirkt. Zur Regeleinrichtung im Ankerkreis gehört ferner eine Ankerlogik 13, die die Polarität der Ausgangsspannung des Drehzahlreglers 19 auswertet und bei einer erforderlichen Feldumkehr mit der Feldlogik 26 zusammenwirkt.

Die Feldwicklung 2 des Gleichstrommotors wird aus dem Drehstromfahrnetz über einen weiteren Leistungsschalter 4 und einen Stromrichter 7 in kreisstromfreier Antiparallelschaltung gespeist. Die Regelung des Motorfeldes besteht in bekannter Weise aus einer EMK-Regelung und einer unterlagerten Feldstromregelung. Der EMK-Sollwert wird mit dem Einstellregler 28 vorgegeben, die EMK wird mit der EMK-Meßbrücke 8 gemessen und über die potentialtrennende Einrichtung 9 als EMK-Istwert auf den EMK-Regler 27 geführt. Die begrenzte Ausgangsspannung des EMK-Reglers 27 stellt den Feldstromsollwert für den Feldstromregler 25 dar. Der Block 23 beinhaltet die Ansteuereinrichtung für den Feldstromrichter 7. Die Messung des Feldstromes erfolgt mit Hilfe des Strommeßgliedes 24 auf der Drehstromseite des Feldstromrichters 7. Die Feldlogik 26 steuert zusammen mit der Ankerlogik 13 den Feldumkehrvorgang und bewirkt insbesondere eine Freigabe der Ansteuerimpulse für den jeweils stromführenden Feldstromrichter.

Bei Feldumkehrschaltungen für Gleichstrommotore wird eine Feldumkehr notwendig, wenn der Antrieb durch generatorisches Bremsen im Wechselrichterbetrieb abgebremst oder stillgesetzt bzw. wenn seine Drehrichtung geändert werden soll. Bei kreisstromfreien Feldumkehrschaltungen wird die Feldumkehr in Abhängigkeit von der Polarität der Drehzahlreglerausgangsspannung eingeleitet. Eine Verringerung, Abschaltung oder Umpolung des Drehzahlsollwertes am Sollwertgeber 21 führt zu einem Polaritätswechsel der Ausgangsspannung des Drehzahlreglers, wenn der Antrieb dem vom Drehzahlsollwertintegrator 20 vorgegebenen Drehzahlsollwert n_{soll} im Motorbetrieb nicht mehr folgen kann.

Eine Besonderheit bei Schiffspropellerantrieben besteht darin, daß eine Feldumkehr nur dann zugelassen wird, wenn die Stellung des Fahrhebels von „vorwärts“ auf „rückwärts“ oder umgekehrt geändert wird, d. h. wenn ein Umsteuern des Propellers in der Drehrichtung erforderlich ist. Bei einer Verringerung des Drehzahlsollwertes soll keine Feldumkehr erfolgen, und das Schiff soll frei auslaufen, ohne daß ein Motormoment erzeugt wird. Der Propeller wird dabei von der Wasserströmung angetrieben, und die Propellerdrehzahl fällt auf die sogenannte Schleppdrehzahl ab, die etwa 60 % bezogen auf die Schiffsgeschwindigkeit beträgt. Die Sperrung der Feldumkehr erfolgt durch den Block 30, der auf einen dominierenden Eingang des Komparators und Richtungsspeichers 13.1 der Ankerlogik 13 wirkt.

In der erfindungsgemäßen Lösung wird zwischen dem Drehzahlregler und dem Ankerstromregler ein einstell- und steuerbares Verzögerungsglied 1. Ordnung angeordnet, dessen Zeitkonstante mit Einstellregler 16 in Abhängigkeit von der Belastungscharakteristik der die Drehstromgeneratoren des Fahrnetzes antreibenden Dieselmotoren und über die Schalter S_1 und S_2 (Fig. 1) in Abhängigkeit von der Anzahl der das Fahrnetz speisenden Drehstromgeneratoren gesteuert wird. Die Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung kann ferner über Steuereingänge $E_{St(1)}$, $E_{St(2)}$ in Abhängigkeit vom Auftreten bestimmter Betriebsfälle auf maximal zulässige Werte der Änderungsgeschwindigkeit des Momentes des Antriebsmotors umgeschaltet werden. Die sich durch die Anordnung eines Verzögerungsgliedes 1. Ordnung ergebende Verschlechterung der Dynamik des Feldumkehrvorganges wird erfindungsgemäß dadurch vermieden, daß die Ankerlogik 13 und die Feldlogik 26 durch eine Zusatzlogik 29 erweitert werden, die bei einem erforderlichen Feldumkehrvorgang eine Wechselrichterzwangssteuerung des stromführenden Feldstromrichters und damit einen Abbau des Feldstromes bereits von dem Zeitpunkt des Polaritätswechsels der Drehzahlreglerausgangsspannung an bis zu dem Zeitpunkt des Nullwerdens des Ankerstromes gewährleistet. Der Ankerstrom und der Feldstrom werden dadurch nicht nacheinander sondern näherungsweise gleichzeitig abgebaut, wobei die Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung so einzustellen ist, daß zur Vermeidung von Kommutierungsproblemen am Gleichstrommotor der Ankerstrom vor dem Feldstrom zu Null wird. Dieser Verlauf muß auch bei der höchsten Feldschwächdrehzahl, bei der der kleinste Feldstrom verlangt wird, gewährleistet sein. Der Zusatzlogik 29 werden als Eingangsgrößen die Ausgangsspannung des Drehzahlreglers 19, das Ausgangssignal HSP des Komparators und Richtungsspeichers 13.1, das dazu negierte Signal HSN und die logischen Signale HVO und HRÜ für die Stellung des Fahrhebels des Propellerantriebes auf „vorwärts“ bzw. „rückwärts“ zugeführt.

Der funktionelle Ablauf der erfindungsgemäßen Lösung soll anhand der Fig. 2 erläutert werden. Die Zusammenschaltung des Summierverstärkers 14.1 des Umkehrverstärkers 14.2 und des Integrators 14.3, dessen Ausgangsspannung auf einen Eingang des Summierverstärkers 14.1 zurückgeführt ist, stellt ein Verzögerungsglied 1. Ordnung dar, dessen Zeitkonstante mit der Integrationszeitkonstante des Integrators 14.3 identisch ist. Der P-Anteil für die Eingänge des Summierverstärkers ist eins gewählt. Die Einstellung der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes in Abhängigkeit von der Belastungscharakteristik der die Drehstromgeneratoren des Fahrnetzes antreibenden Dieselmotoren wird über Einstellregler 16 vorgenommen. Durch Änderung des wirksamen Vorwiderstandes R_V des Integrators 14.3 ist eine steuerbare Änderung der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes möglich. Befindet sich z. B. eine Generatorgruppe am Fahrnetz, ist der Vorwiderstand R_{V1} des Integrators 14.3 wirksam, was damit einen Abbau des Feldstromes bereits von dem Zeitpunkt des Polaritätswechsels der Drehzahlreglerausgangsspannung an bis zu dem Zeitpunkt des Nullwerdens des Ankerstromes gewährleistet. Der Ankerstrom und der Feldstrom werden dadurch nicht nacheinander, sondern näherungsweise gleichzeitig abgebaut, wobei die Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung so einzustellen ist, daß zur Vermeidung von Kommutierungsproblemen am Gleichstrommotor der Ankerstrom vor dem Feldstrom zu Null wird. Dieser Verlauf muß auch bei der höchsten Feldschwächdrehzahl, bei der der kleinste Feldstrom verlangt wird, gewährleistet sein. Der Zusatzlogik 29 werden als Eingangsgrößen die Ausgangsspannung des Drehzahlreglers 19, das Ausgangssignal

HSP des Komparators und Richtungsspeichers 13.1, das dazu negierte Signal HSN und die logischen Signale HVO und HRÜ für die Stellung des Fahrhebels des Propellerantriebes auf „vorwärts“ bzw. „rückwärts“ zugeführt. Der funktionelle Ablauf der erfindungsgemäßen Lösung soll anhand der Fig. 2 erläutert werden. Die Zusammenschaltung des Summierverstärkers 14.1 des Umkehrverstärkers 14.2 und des Integrators 14.3, dessen Ausgangsspannung auf einen Eingang des Summierverstärkers 14.1 zurückgeführt ist, stellt ein Verzögerungsglied 1. Ordnung dar, dessen Zeitkonstante mit der Integrationszeitkonstante des Integrators 14.3 identisch ist. Der P-Anteil für die Eingänge des Summierverstärkers ist eins gewählt. Die Einstellung der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes in Abhängigkeit von der Belastungscharakteristik der die Drehstromgeneratoren des Fahrnetzes antreibenden Dieselmotoren wird über Einstellregler 16 vorgenommen. Durch Änderung des wirksamen Vorwiderstandes R_V des Integrators 14.3 ist eine steuerbare Änderung der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes möglich. Befindet sich z.B. eine Generatorgruppe am Fahrnetz, ist der Vorwiderstand R_{V1} des Integrators 14.3 wirksam, was dem geschlossenen Schalter S_1 in Fig. 1 entspricht. Beim Zuschalten einer weiteren Generatorgruppe an das Fahrnetz wird der Schalter S_2 geschlossen, und der wirksame Vorwiderstand des Integrators ergibt sich nun aus der Parallelschaltung der Widerstände R_{V1} und R_{V2} . Dadurch wird die Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 14 verringert. Beim Anlegen eines H-Signales am Steuereingang E_{St1} schließt der Schalter 14.5 und es wird durch entsprechende Wahl des Vorwiderstandes R_{V3} eine solche Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes eingestellt, daß die maximal zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Momentes des Antriebsmotors erreicht wird. Dem Schalter 14.5 können weitere Schalter in Form einer ODER-Verknüpfung parallel geschaltet werden, was in Fig. 1 dem Steuereingang $E_{St(2)}$ entspricht.

Die Zusatzlogik 29 wird durch die Zusammenschaltung eines Komparators 29.1 mit vier logischen Gattern, D1 bis D4, realisiert. Der in Fig. 2a dargestellten Kennlinie des Drehzahlreglers 19 ist die Zuordnung der Feldstromrichter zur Polarität der Drehzahlreglerausgangsspannung zu entnehmen. Bei einer negativen Drehzahlreglerausgangsspannung übernimmt der Feldstromrichter SR1, bei einer positiven Ausgangsspannung der Feldstromrichter SR2 die Stromführung. Der Feldstromrichter SR1 ist dabei dem Motorbetrieb bei Fahrtrichtung vorwärts des Schiffes zugeordnet ($n_{Sollw} = \text{positiv}$).

Der Umsteuervorgang des Propellermotors läuft wie folgt ab.

Ausgehend von der Fahrhebelstellung „vorwärts“ und Fahrtrichtung vorwärts des Schiffes befindet sich der Arbeitspunkt des Drehzahlreglers im 4. Quadranten (Fig. 2a), SR1 ist stromführend. Bei diesem Ausgangspunkt ist das Signal HSP=L und damit das Ausgangssignal des Gatters D2 auch =L. Der Komparator 29.1 gibt L-Signal ab, damit wird das Ausgangssignal des Gatters D1=H und das Ausgangssignal des Gatters D3=L. Demzufolge wird das Ausgangssignal des ODER-Gliedes D4=L, und es erfolgt keine Wechselrichterzwangssteuerung des Feldstromrichters. Wird der Fahrhebel von „vorwärts“ auf „rückwärts“ gestellt, wird das Signal HRÜ=H und das Signal HVO=L. Der Arbeitspunkt des Drehzahlreglers wird durch den negativen Drehzahlsollwert n_{Sollw} und den negativen Drehzahlwert n_{Ist} von dem 4. Quadranten in den 2. Quadranten gesteuert. Erreicht der Arbeitspunkt den 2. Quadranten, so schaltet der Komparator 29.1 an seinem Ausgang auf H und damit der Ausgang des Gatters D1 auf L. Da das Signal HSN weiterhin H ist, ist das Ausgangssignal des UND-Gatters D3=H und über das ODER-Gatter D4 erfolgt eine Wechselrichterzwangssteuerung des Feldstromrichters.

Erreicht der Ankerstromwert I_A den Wert Null, so schaltet der Komparator und Richtungsspeicher 13.1 an seinem Ausgang auf H (HSP=H). Damit wird HSN=L und über das UND-Gatter D3 wird die Wechselrichterzwangssteuerung des Feldstromrichters durch die Zusatzlogik 29 beendet. Der weitere Ablauf des Feldumkehrvorganges wird wie bei der bekannten kreisstromfreien Umkehrschaltung durch die Ankerlogik 13 und die Feldlogik 26 gesteuert. Bei einem Umsteuervorgang des Feldes durch Änderung der Stellung des Fahrhebels von „Rückwärts“ auf „Vorwärts“ bei Fahrtrichtung rückwärts des Schiffes ist die Funktion der Zusatzlogik 29 analog. In diesem Fall wird das Signal HRÜ=L und das Signal HVO=H. Die Wechselrichterzwangssteuerung des Feldstromrichters erfolgt über den Komparator 29.1 und dem UND-Gatter D2.

Wenn eine vorgegebene maximale Drehzahl des Fahrmotors überschritten wird, erfolgt eine Herabsetzung der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung 14 auf den minimal zulässigen Wert. Dies wird dadurch erreicht, daß im Betragsbildner 31 der Betrag der Drehzahlwertspannung gebildet wird und dieser als Eingangsspannung einer einstellbaren Triggerschaltung 32 zugeführt wird, die beim Ansprechen den Schalter 14.5 schließt und damit die Umschaltung der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 14 einleitet. Durch diese Maßnahme wird ein Schutz des Propellerantriebes insbesondere beim Schiffsbetrieb bei schwerer See erreicht. Bei der im Normalbetrieb eingestellten Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes besteht die Gefahr, daß der Propeller beim Freikommen aus dem Wasser auf unzulässige Drehzahlen hochläuft, da die Drehzahlregelung den Ankerstrom infolge der relativ großen Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes 1. Ordnung nur langsam zurücknehmen kann.

In Kombination mit der Umschaltung der Zeitkonstante des Verzögerungsgliedes in Abhängigkeit von der Anzahl der das Fahrnetz speisenden Drehstromgeneratoren ist eine Umschaltung der Parameter des PID-Drehzahlreglers zur Gewährleistung der Stabilität der Drehzahlregelung notwendig.

Durch die erfindungsgemäße Lösung werden folgende Vorteile wirksam:

- Mit geringem zusätzlichem Aufwand wird der Einsatz der standardmäßigen kreisstromfreien Feldumkehrschaltung für Schiffspropellerantriebe möglich.

- Es wird eine variable Anpassung der Dynamik des Ankerstromregelkreises an die Erfordernisse des Schiffspropellerantriebes erzielt.
- Die Lösung sichert eine gute Dynamik des Feldumsteuervorganges und damit kurze Reversierzeiten für den Propellerantrieb.
- Durch das Verfahren wird der Propellerantrieb vor unzulässigen Drehzahlen bei schnellen Entlastungen des Schiffspropellers geschützt.
- Das Verfahren ermöglicht einen stabilen Betrieb der Drehzahlregelung bei allen Betriebsfällen des Schiffsantriebes.

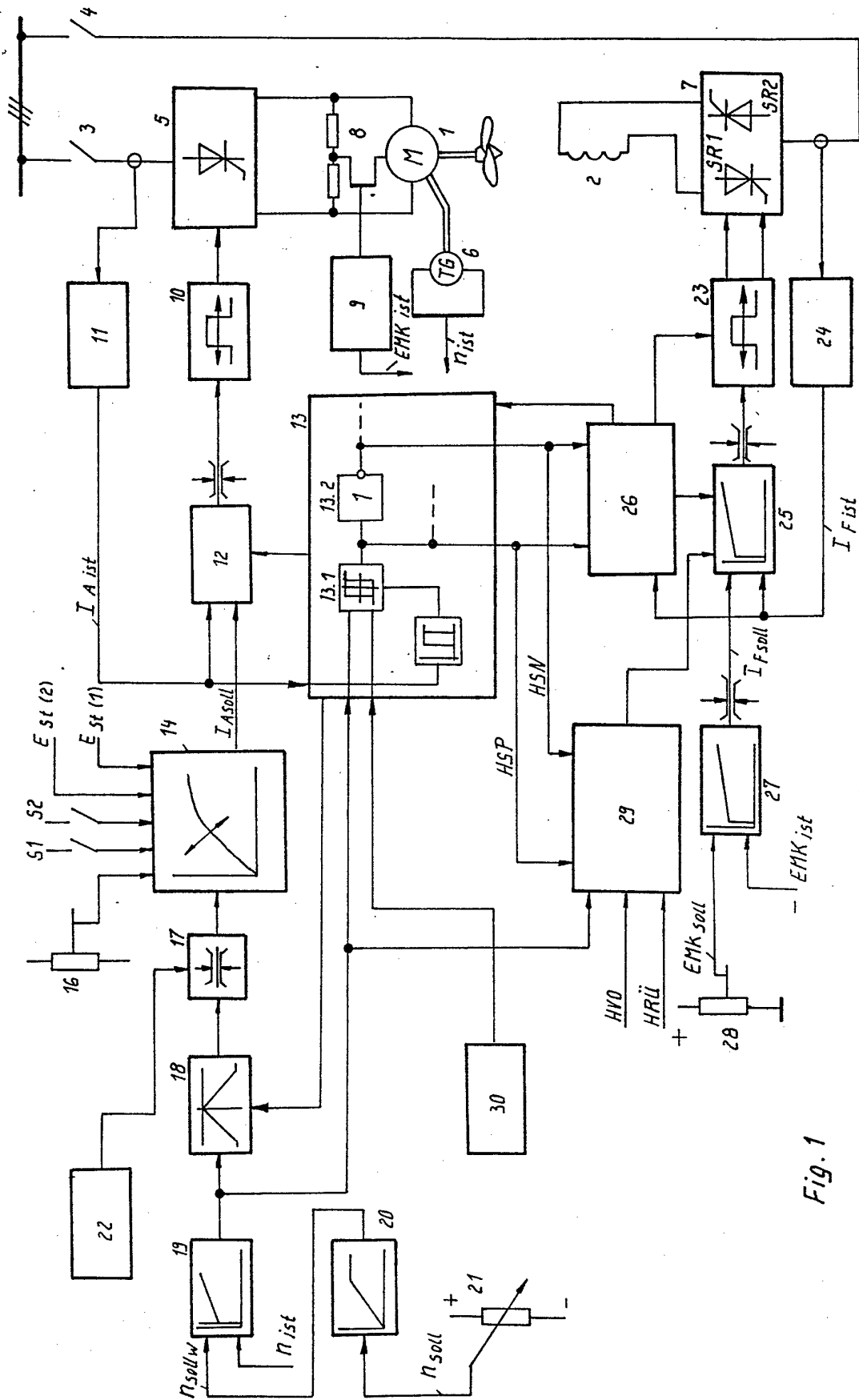


Fig. 1

283535 7

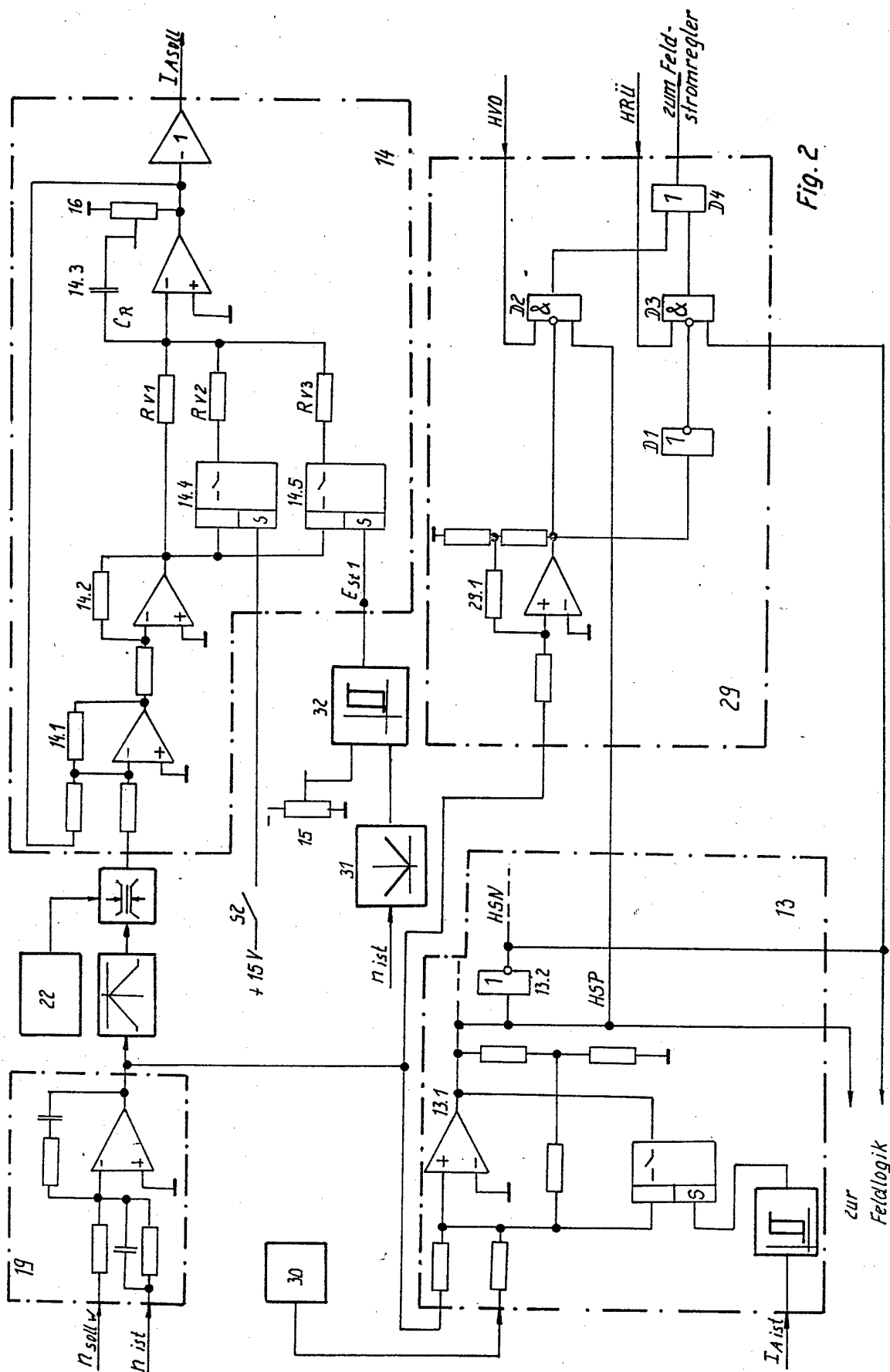


Fig. 2

283535 8

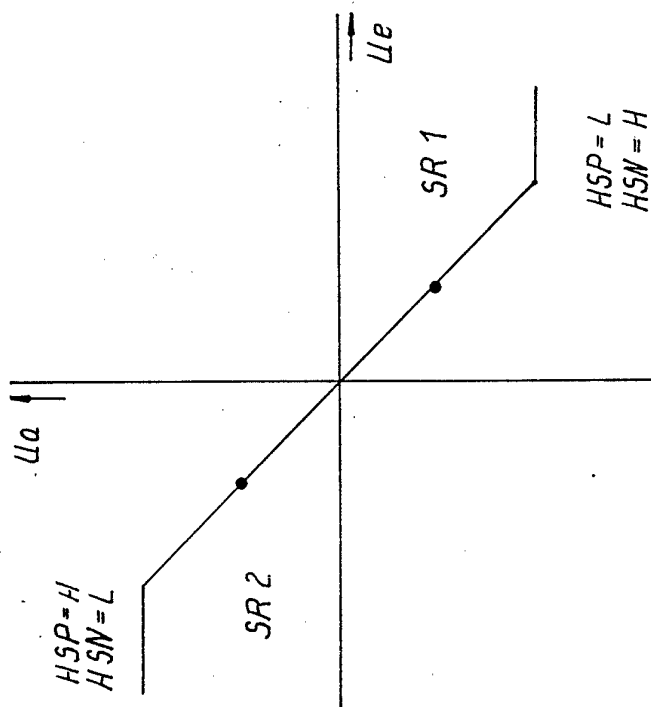


Fig. 2a