



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 664 460 A5

⑤ Int. Cl. 4: H 02 P 7/36
H 02 P 7/622

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

// D 01 H 1/20

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer: 6920/82

⑦ Inhaber:
Zinser Textilmaschinen GmbH, Ebersbach/Fils
(DE)

㉑ Anmeldungsdatum: 29.11.1982

③ Priorität(en): 09.12.1981 DE 3148794

⑦ Erfinder:
Wolf, Horst, Albershausen (DE)

㉒ Patent erteilt: 29.02.1988

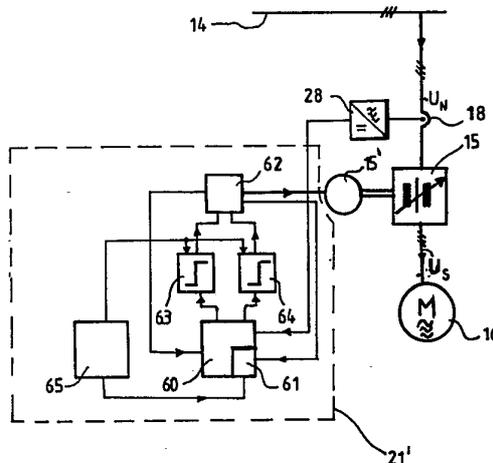
④ Patentschrift
veröffentlicht: 29.02.1988

⑦ Vertreter:
Scheidegger, Zwicky & Co., Zürich

⑤ Verfahren und Einrichtung zum Verringern der Leistungsaufnahme einer elektrischen Antriebsanordnung.

⑤ Zum Verringern der Leistungsaufnahme einer zum Antrieb veränderlicher Lasten dienenden elektrischen Antriebsanordnung wird die Speisespannung selbsttätig so verstellt, dass der Speisestrom der Antriebsanordnung entsprechend der momentanen Last im wesentlichen seinen kleinstmöglichen Wert erreicht.

Im Speisestromkreis des Antriebsmotors (16) liegen Spannungsstellmittel (15) und ein Stromfühler (18). Ein vom Stromfühler (18) erzeugtes Steuersignal steuert einen Minimalstromregler (21'), der seinerseits ein Ausgangssignal zum Steuern der Spannungsstellmittel (15) liefert.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Verringern der Leistungsaufnahme einer zum Antrieb veränderlicher Lasten dienenden elektrischen Antriebsanordnung, dadurch gekennzeichnet, dass die Speisespannung (U_s) der Antriebsanordnung selbsttätig so verstellt wird, dass der Speisestrom (I_s) der Antriebsanordnung entsprechend der momentanen Last im wesentlichen seinen kleinstmöglichen Wert erreicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Minimierung des Speisestromes selbsttätig immer dann erneut wiederholt wird, wenn der Speisestrom um einen vorbestimmten Betrag von dem zuletzt eingeregelter Wert des Stromminimums abweicht.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einregelung der Minimierung des Speisestromes in vorbestimmten Zeitabständen wiederholt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Vorbekanntsein der Richtung der Änderung der von der Antriebsanordnung angetriebenen Last die jeweilige Änderung der Speisespannung so durchgeführt wird, dass der Speisestrom in Richtung auf das Stromminimum verstellt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Einregelung des Stromminimums durch stufenweises Verstellen der Speisespannung erfolgt, wobei nach jeder Verstellung der Speisespannung um eine Stufe die Reaktionszeit der Antriebsanordnung abgewartet und dann der nunmehrige Speisestrom mit dem vor Beginn dieser stufenweisen Änderung vorgelegenen Wert des Speisestromes verglichen und hieraus auf das Erreichen des ungefähren Stromminimums oder das Erfordernis einer weiteren stufenweisen Spannungsverstellung geschlossen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest bei der nach Anfahren der Antriebsanordnung während eines Arbeitsprozesses stattfindenden erstmaligen Einregelung des Minimums des Speisestromes die Speisespannung in einem ersten Schritt um einen vorbestimmten kleinen Betrag erhöht und die sich hierdurch ergebende Änderung des Speisestromes dahingehend ausgewertet wird, ob sich der Momentanwert des Speisestromes auf der momentanen Stromkurve links oder rechts vom Stromminimum befindet und dass dann erforderlichenfalls die Speisespannung in einem oder mehreren Schritten in der zum Einregeln des ungefähren Stromminimums erforderlichen Richtung verstellt wird.

7. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welche Verstellmittel zum Verstellen der Speisespannung und einen Stromfühler zum Fühlen des Speisestromes der Antriebsanordnung aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass sie einen Minimalstromregler (21; 21'; 21'') aufweist, dessen Eingang mit dem Stromfühler (18) und dessen Ausgang mit den Verstellmitteln (15, 15'; 19, 22; 19, 23, 27; 23, 37, 38, 39, 41) zum Verstellen der Speisespannung verbunden ist.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Minimalstromregler zum stufenweisen Verstellen der Speisespannung ausgebildet ist und Vergleichsmittel zum Vergleichen der bei einer stufenweisen Verstellung der Speisespannung eintretenden Speisestromänderung aufweist.

9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass sie Zeitsteuermittel (43) zur Vorgabe von Einregelungen des ungefähren Stromminimums aufweist.

10. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Minimalstromregler (21') so ausgebildet ist, dass er bei jedesmaligem Auftreten einer vorbestimmten Abweichung des Speisestromes der Antriebsanordnung von dem zuletzt eingeregelten Minimalwert eine neue Einregelung des Minimalwertes des Speisestromes selbsttätig durchführt.

11. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,

net, dass dem Minimalstromregler (21'), wenn die Antriebsanordnung (16) zur Durchführung eines Arbeitsprozesses in Betrieb genommen wird, zum erstmaligen Einregeln des Minimalstromes ein vorbestimmter Stromwert als angeglichener, zuletzt geltender Minimalstrom (I_{vo}) eingebbar ist.

12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Minimalstromregler (21'; 21'') einen Schreib-Lesespeicher (45; 61) aufweist, dessen Eingang mit dem Stromfühler (18) und einem Taktgeber (43; 62) verbunden ist, wobei in den Schreib-Lesespeicher (45; 61) momentane Stromwerte einlesbar und später herauslesbar sind, und dessen Ausgang mit einem Differenzbildner (46; 60) zum Bilden der Differenz zweier aufeinanderfolgender Stromwerte verbunden sind.

13. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass ihre Spannungsstellmittel einen Stelltransformator (15) aufweisen, der durch ein Stellglied (15') verstellbar ist, das vom Minimalstromregler (21') ansteuerbar ist.

14. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass ihre Spannungsstellmittel eine Vorrichtung zur Phasenanschnittsteuerung aufweisen.

15. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass ihre Spannungsstellmittel eine Vorrichtung zur Pulsbreitenmodulation (27) aufweisen, die einem steuerbaren Wechselrichter zugeordnet sind.

16. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, 14 und 15, dadurch gekennzeichnet, dass ihre Spannungsstellmittel einen vorzugsweise steuerbaren Gleichrichter (22) und einen dem Gleichrichter (22) nachgeschalteten, vorzugsweise steuerbaren Wechselrichter (23) aufweisen.

17. Einrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des Gleichrichters (22) eingepprägten Strom oder eingepprägte Spannung führt und mit einer Induktivität (31) bzw. einem Kondensator (24) und/oder einem Akkumulator (29) verbunden ist.

18. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass sie Mittel (19) zum Bilden der Summe oder der Differenz zwischen einem Grundwert (U_g) oder einem Momentanwert der Speisespannung der Antriebsanordnung und einer Änderungsspannung ($n \cdot \Delta U$) aufweist.

19. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass sie dem stufenweisen Verstellen der Speisespannung dienende Schaltmittel (49) aufweist.

20. Einrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Wechselrichter (23) zwecks Regelung der Frequenz des Erregerstromes eines Elektromotors (16) durch einen Erregerstromregler (37, 38, 39, 41) steuerbar ist, und dass der Ausgang des Minimalstromreglers (21) mit dem Erregerstromregler (37, 38, 39, 41) verbunden ist.

21. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass sie mindestens eine Schwellwertstufe (63, 64; 63', 64') für einen Stromdifferenzwert aufweist, der aus zwei in Abständen der ungefähren Reaktionszeit der Antriebsanordnung bei unterschiedlichen Speisespannungen gefühlten effektiven Speisestromwerten gebildet ist und dass bei jedesmaligem Übersteigen des Schwellwertes einer Schwellwertstufe eine weitere vorbestimmte Änderung der Speisespannung vorgenommen wird, durch die der Speisestrom in Richtung auf das momentane Stromminimum der Stromkurve (13) geändert wird.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zum Verringern der Leistungsaufnahme einer elektrischen An-

triebsanordnung, die zum Antrieb veränderlicher Lasten dienen, gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei elektrischen Antriebssystemen, die beispielsweise innerhalb eines an sich kontinuierlichen Fertigungsprozesses eingesetzt sind, kommt es häufig vor, dass sich die Last und/oder Drehzahl abhängig von dem Fortgang dieses Prozesses ändert. Dies ist beispielsweise häufig bei Textilmaschinen der Fall, beispielsweise bei Spul-, Spinn- und Zwirnmaschinen, die Vorgarne oder Fäden aufwinden. Auch kann es zum Verändern der Last dadurch oft kommen, dass zwar die Last bei einem einzelnen Arbeitsprozess ungefähr konstant bleibt, jedoch sich ändern kann, wenn der unter Antrieb durch das betreffende Antriebssystem durchgeführte Arbeitsprozess geändert wird.

Es sind schon Antriebssysteme für variable Lasten bekannt geworden. Aus der DE-OS 2 817 136 ist ein Verfahren zum Antreiben von Textilspindeln mit durch veränderbare Speisefrequenz drehzahlverstellbaren Elektromotoren bekannt, bei dem der Elektromotor vom sich ändernden Leistungsbedarf der Spindel stets mit der Speisespannung versorgt wird, bei der sein Widerstand gegen eine Änderung seiner Drehzahl noch ausreichend hoch ist.

Aus der DE-OS 2 939 090 ist ein Verfahren zum Regeln der Drehzahl einer Wechselstrommaschine bekannt, das zur Verbesserung des $\cos\phi$ des Motors dient. Dabei wird in vorbestimmter Weise in Abhängigkeit von der Speisefrequenz und vom Lastmoment das Verhältnis der eingepprägten Spannung zu der vom Frequenzrichter gelieferten Speisefrequenz verstellt.

Aus der DE-AS 2 644 748 schliesslich ist eine Anordnung zur Regelung der Drehzahl einer Asynchronmaschine bekannt, bei der der Speisestrom der Maschine abhängig von der Speisespannung der Maschine gesteuert wird. Mit Hilfe dieser Anordnung kann die Maschine Laststössen schnell folgen, gleichzeitig entstehen keine Überspannungen, die die der Maschine vorgeschalteten Steuergeräte zerstören könnten.

Die bekannten Verfahren und Anordnungen ermöglichen es jedoch den Antriebsmotoren nicht, auch bei Teillastbetrieb mit der jeweils geringstmöglichen Leistungsaufnahme zu arbeiten.

Bei Textilmaschinen oder sonstigen Maschinen, Geräten, Anlagen oder dergleichen, bei denen die von einem elektrischen Antriebssystem angetriebene Last oder Lasten, vorzugsweise die von einem Elektromotor angetriebene Last oder die von mehreren gleich ausgebildeten und zueinander parallel geschalteten, jeweils ungefähr gleich grossen Elektromotoren angetriebenen Lasten, während eines Arbeitsprozesses oder dergleichen oder bei unterschiedlichen Arbeitsprozessen sich ändert bzw. ändern, müssen der oder die Elektromotoren so ausgelegt sein, dass er oder sie die höchste zu erwartende Last antreiben können. In allen übrigen Lastbereichen sind daher der oder die Motoren nicht voll ausgelastet und ihr Wirkungsgrad sinkt. Wegen des geforderten Höchstwertes des Leistungsbedarfs ist der Einsatz kleinerer Motoren aber nicht möglich.

Es ist deshalb eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zu schaffen, das es auf einfache Weise ermöglicht, die Leistungsaufnahme einer zum Antrieb veränderlicher Lasten dienenden elektrischen Antriebsanordnung im Teillastbereich zu vermindern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch das Verfahren gemäss Anspruch 1 gelöst. Eine erfindungsgemässe Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist in Anspruch 7 beschrieben.

Durch dieses erfindungsgemässe Verfahren lässt sich zumindest bei Teillastbetrieb der elektrischen Antriebsanordnung eine erhebliche Verringerung der Leistungsaufnahme erreichen, so dass der Leistungsverbrauch entsprechend reduziert wird und Kosten eingespart werden. Dabei kann die Last während eines Arbeitsprozesses oder dergleichen oder bei unterschiedlichen Arbeitsprozessen variieren. Dieses Verfahren ermöglicht praktische Minimierung des Leistungsverbrauches des Antriebssystems.

Die Antriebsanordnung kann einen einzigen Wechselstrommotor oder gegebenenfalls auch mehrere zueinander parallel geschaltete, unter sich gleiche und jeweils ungefähr gleichen momentanen Belastungen ausgesetzte Wechselstrommotoren aufweisen. Beispielsweise kann die Wechselstrommaschine der Hauptantriebsmotor einer Textilmaschine sein; bei zueinander parallel geschalteten, gemeinsam gespeisten Wechselstrommaschinen kann es sich beispielsweise um Einzelantriebsmotoren einer Vielzahl von Textilspindeln einer Spinnmaschine handeln. Der Wechselstrommotor kann ein Asynchronmotor, vorzugsweise ein Drehstrommotor, oder, was auch möglich ist, ein Synchronmotor sein. Der Asynchronmotor kann vorzugsweise einen Kurzschlussläufer aufweisen. Doch sind auch andere Bauarten möglich.

Weitere Verbesserungen und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Weitere zweckmässige Ausgestaltungen und Vorteile ergeben sich auch aus der nachfolgenden Beschreibung und der Zeichnung.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der nachfolgenden Beschreibung und in der Zeichnung dargestellt.

Es zeigen:

Fig. 1 eine graphische Darstellung des Leistungsbedarfs einer angetriebenen Maschine und der Leistung des sie antreibenden Motors für verschiedene Belastungsfälle,

Fig. 2 eine graphische Darstellung von Kurven einer Asynchronmaschine,

Fig. 3 ein Diagramm des Zusammenhangs zwischen Speisestrom und Speisespannung,

Fig. 4 ein Ersatzschaltbild einer Asynchronmaschine,

Fig. 5 ein Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels gemäss der Erfindung,

Fig. 6 ein Blockschaltbild eines weiteren Ausführungsbeispiels,

Fig. 7 ein Ausführungsbeispiel mit Pulsbreitenmodulation und gesteuertem Wechselrichter,

Fig. 8 ein Ausführungsbeispiel mit Drehzahlregler,

Fig. 9 einen Minimalstromregler gemäss einem Ausführungsbeispiel,

Fig. 10 eine graphische Darstellung von Verfahrensschritten,

Fig. 11 ein Ausführungsbeispiel eines Minimalstromreglers.

Viele Elektromotoren sind in ihrem Betriebszustand nicht voll ausgelastet und arbeiten damit unwirtschaftlich. Dies gilt beispielsweise auch für Antriebsmotoren von Textilmaschinen der oben genannten Art. Dies sei am Beispiel einer Ringspinnmaschine erläutert.

In Fig. 1 ist mit der Kurve 11 der konstante zeitliche Verlauf der Maximalleistung eines Elektromotors gezeigt. Die Kurve 12 zeigt den Leistungsbedarf einer Ringspinnmaschine im Verlauf eines Aufwindeprozesses A. Der maximale Leistungsbedarf ist erst bei vollen Kops im Punkt X erreicht. Im gesamten darunterliegenden Bereich ist der Motor nicht voll ausgelastet. Er arbeitet im Teillastbereich und muss nicht seine volle Leistung aufbringen. In diesem — schraffiert gekennzeichneten — Bereich kann also Energie eingespart werden. Energie kann dadurch gespart werden, dass der Motor «elektrisch verkleinert» wird. Durch eine Verkleinerung des Spannung/Frequenz-Verhältnisses wird die Ortskurve eines Asynchronmotors, der Heylandkreis, verkleinert und in Richtung zum Schnittpunkt der reellen und imaginären Achse eines Motorstrom-Diagramms verschoben, wie es in Fig. 2 dargestellt ist. Bei gleich grossem vom Motor erbrachten Drehmoment $M_d = M'_d$ vermindert sich der aufgenommene Motorstrom von I_s auf I'_s . Dementsprechend vermindert sich auch die aufgenommene Leistung.

In Fig. 3 sind zwei Stromkurven 13, 13' dargestellt, von denen jede einzelne dem Fall konstanter Motorlast, konstanter Motordrehzahl und variabler Speisespannung U_s entspricht, wobei die Stromkurve 13 höherer Motorlast als die Stromkurve

13' zugeordnet ist. Im weiteren ist also unter Stromkurve eine Kurve verstanden, die bei einer konstanten Motorlast und einer konstanten Motordrehzahl die Abhängigkeit des Speisestromes I_s von der Speisespannung U_s wiedergibt. Die Minima der beiden dargestellten Stromkurven 13, 13' sind mit 9 bezeichnet.

Und zwar ist bei einem Antriebssystem (Antriebsanordnung), das dem Antrieb einer oder mehrerer Lasten, beispielsweise Maschinen oder dergleichen dient, die Drehzahl vorgegeben, gleichgültig ob sie konstant ist oder in Abhängigkeit der Zeit oder sonstigen Variablen geführt verändert wird. Demzufolge steht zur Minimierung der Stromaufnahme die Veränderung der Speisespannung des Antriebssystems zur Verfügung.

Wenn, wie erfindungsgemäss vorgesehen, das ungefähre Minimum der momentan möglichen Stromaufnahme eingeregelt wird, dann liegt gleichzeitig auch ein ungefähres Minimum der Leistungsaufnahme vor, d.h., dass das elektrische Antriebssystem bei minimaler Stromaufnahme auch mit minimaler Leistungsaufnahme und entsprechend mit ungefähr dem bei der gegebenen Last für es günstigsten Wirkungsgrad arbeitet.

Das Prinzip der «elektrischen Verkleinerung» lässt sich vorzugsweise an einem System mit eingepprägtem Strom oder mit eingepprägter Spannung verwirklichen. Die Verminderung der Speisespannung wird über eine Verminderung des eingepprägten Stromes oder aber der eingepprägten Spannung erreicht. Eine Minimierung des Speisestromes ist im Hinblick auf eine Verminderung der Leistungsaufnahme des Motors ohnehin ein Ziel der Erfindung. Die Speisespannung vermindert sich dadurch, dass der verminderte Speisestrom am zunächst gleichbleibend angenommenen Motorwiderstand oder der zunächst als gleichbleibend angenommene Speisestrom am verminderten Motorwiderstand einen geringeren Spannungsabfall erzeugt.

In Fig. 4 ist das an sich bekannte Ersatzschaltbild eines an der Speisespannung U_s liegenden Asynchronmotors gezeigt. Der Speisestrom I_s spaltet sich in einen Erregerstrom I_μ und einen Läuferstrom I_L auf. Da der Läuferstrom I_L jedoch im wesentlichen das vom Motor abgegebene Drehmoment bestimmt, das nicht vermindert werden darf, muss der Läuferwiderstand R_L so vermindert werden, dass der Läuferstrom I_L im wesentlichen gleichbleibt und eine Verminderung des Speisestromes I_s überwiegend zu Lasten des Erregerstromes I_μ geht.

Dies ist auch zulässig, da dadurch nur die im Teillastbereich gegebene Überregung des Motors gegebenenfalls bis zur gerade erforderlichen Erregung vermindert wird. Der Läuferwiderstand kann bei einem Asynchronmotor durch eine Veränderung der Läufer Schlupffrequenz Δf verändert werden (L_1 , L_2 , L_μ sind Blindwiderstände und R_1 ist ein ohmscher Widerstand). Bei einem Synchronmotor kann die Erregung verändert werden.

In Fig. 5 ist ein einfaches Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Minimalstromreglers 21' in Verbindung mit einem Antriebssystem dargestellt. Das Antriebssystem besteht in diesem Ausführungsbeispiel aus einem einzigen Elektromotor 16, der vorzugsweise ein Asynchronmotor, beispielsweise ein Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer sein kann. Jedoch ist es auch möglich, diesen Motor 16 als Synchronmotor vorzusehen.

In diesem Ausführungsbeispiel wird die vom 3phasigen Netz 14 gelieferte Netzspannung mittels eines durch einen Stellmotor 15' verstellbaren Stelltransformators 15 verstellt. Anstelle des Stelltransformators 15 können auch andere Spannungsstellmittel vorgesehen sein. Die Spannungsverstellung erfolgt in kleinen Schritten mittels des Minimalstromreglers 21', der einen Eingang für den von einem Stromfühler 18 gefühlten Istwert des Speisestromes des Motors 16 aufweist. Dieser Istwert wird mittels eines Messumformers 28 gleichgerichtet und dem einen Eingang eines Vergleichers 60 aufgedrückt. In diesem Vergleichers 60 ist ein Schreib-Lesespeicher 61 enthalten, in den der unmittelbar vor der jeweils letzten Verstellung des Stelltransformators

15 vorliegende Strom-Istwert I_s eingeschrieben und gespeichert wird. Dieser gespeicherte Stromwert sei mit I_v bezeichnet. Der Befehl für das Einschreiben wird vom Ausgang des Befehlsgebers 62 geliefert. Der Befehlsgeber 62 steuert auch den vorzugsweise als Schrittmotor ausgebildeten Stellmotor 15' zur Durchführung einer Änderung der Speisespannung U_s um jeweils einen Schritt ΔU an. In dem Vergleichers 60 wird dann der momentan gespeicherte Wert I_v mit dem jeweiligen Momentanwert I_s fortlaufend verglichen. Dieser Vergleichers 60 hat zwei Ausgänge, die zu je einer Schwellwertstufe 63, 64 führen. Die Schwellwertstufe 63 lässt nur Ausgangssignale des Vergleichers 60 durch, die signalisieren, dass I_s um mindestens einen vorbestimmten kleinen Betrag grösser als I_v ist und die andere Schwellwertstufe 64 lässt nur Signale durch, die signalisieren, dass I_v um mindestens einen vorbestimmten kleinen Betrag grösser als I_s ist.

Die Arbeitsweise der Einrichtung nach Fig. 5 sei nachfolgend anhand konkreter Arbeitsabläufe beschrieben, wobei gegebenenfalls auch noch andere Arbeitsabläufe vorgesehen werden können.

Mit Beginn eines Arbeitsprozesses einer Maschine oder dergleichen, die durch den Elektromotor 16 angetrieben wird, der vorzugsweise ein Asynchronmotor sein kann, wird zunächst die Maschine aus dem Stillstand auf die Betriebsdrehzahl beispielsweise durch Handsteuerung hochgefahren oder es ist auch möglich, die erfindungsgemässe Einrichtung für Sanftanlauf mit auszunutzen. Letzteres sei angenommen. In diesem Fall wird zunächst durch eine Anfahrautomatik 65 in den Schreib-Lesespeicher 61 des Vergleichers 60 ein vorbestimmter, unterschiedlich programmierbarer Wert I_{v0} eingeschrieben, der so getroffen ist, dass er grösser als der nach dem Hochfahren des Motors sich einstellende Speisestrom I_s ist. Ferner wird für Sanftanlauf der Stelltransformator 15 zunächst auf eine niedrige Speisespannung U_s eingestellt, die beispielsweise 100 Volt unter der Netzspannung U_N liegen kann. Durch die Anfahrautomatik 65 werden die beiden Schwellwertstufen 63, 64 zunächst völlig gesperrt. Der Motor 16 wird dann eingeschaltet und läuft entsprechend der vom Stelltransformator 16 gelieferten niedrigen Spannung langsam im Sanftanlauf hoch. Die Anfahrautomatik 65 ist so programmiert, dass sie diese beiden Schwellwertstufen 63, 64 erst nach einer vorbestimmten Zeitdauer entsperrt, die so getroffen ist, dass der Motor 16 seine Betriebsdrehzahl erreicht hat. Nunmehr wird der im Vergleichers 60 stattfindende Vergleich durch Bildung der Differenz zwischen I_s und I_v infolge Entsperrens der Schwellwertstufen 63, 64 wirksam und, da I_s deutlich kleiner als I_{v0} ist, erhält der Befehlsgeber 62 dies über die Schwellwertstufe 64 signalisiert. Dieser Befehlsgeber 62 ist zu diesem Zeitpunkt durch die Anfahrautomatik 65 so programmiert, dass er hierdurch dem Stellmotor 15' befiehlt, mittels des Stelltransformators 15 die Speisespannung U_s um einen Schritt $+\Delta U$ zu erhöhen. Gleichzeitig damit veranlasst der Befehlsgeber 62, dass der momentane Wert von I_s als neuer Wert I_v in den Speicher 61 eingeschrieben und der alte Wert I_{v0} gelöscht wird. Da unmittelbar vor Beginn dieser Speisespannungserhöhung sich I_s links oder rechts vom Stromminimum oder im Stromminimum der derzeit gültigen Stromkurve (13, Fig. 3) sich befinden konnte, dient diese erste Erhöhung der Speisespannung um einen Schritt $+\Delta U$ dazu, zu ermitteln, ob I_s links oder rechts vom Stromminimum oder im Stromminimum liegt. Wenn sich I_s links vom Stromminimum befindet, dann merkt der Vergleichers 60 dies daran, dass sich infolge der Erhöhung der Speisespannung um $+\Delta U$ der Strom I_s verringert. Ist diese Verringerung ausreichend gross, wird sie über die Schwellwertstufe 64 dem Befehlsgeber 62 mitgeteilt und dieser erkennt nun, dass er die Speisespannung weiter erhöhen muss, um zum Minimum zu gelangen und gibt in diesem Fall zum einen den Befehl, dass der Stellmotor 15' die Speisespannung um einen weiteren Schritt $+\Delta U$ vergrössert, und ferner dem Vergleichers

60 den Befehl, den momentanen Wert I_s als neuen Wert I_v in den Speicher 61 einzuspeichern. Sinkt nunmehr der mittels des Fühlers 18 in den Vergleichler 60 eingegebene Stromwert I_s erneut so weit unter den gespeicherten Wert I_v ab, dass dies über die Schwellwertstufe 64 dem Befehlsgeber 62 wieder mitgeteilt wird, führt dieser erneut die eben beschriebene Spannungsänderung um einen weiteren Schritt $+\Delta U$ ein weiteres Mal durch und dies wiederholt sich so lange, bis das ungefähre Stromminimum bei der momentanen Last der durch den Motor 16 angetriebenen Maschine erreicht ist, denn dann erhält der Befehlsgeber 62 wegen der Schwellwertstufen 63, 64 vom Vergleichler 60 keine Mitteilung mehr. Wenn dagegen der Strom I_s nach der ersten $+\Delta U$ -Erhöhung schon das Stromminimum erreichte, bleibt zunächst die Speisespannung auf dem momentanen Wert. Falls dagegen nach der ersten $+\Delta U$ -Erhöhung sich I_s so vergrössert, dass $I_s - I_v$ grösser als der Schwellwert der Schwellwertstufe 63 ist, dann bedeutet dies, dass sich I_s rechts vom Minimum der momentanen Stromkurve 13 befindet. Der Befehlsgeber 62 ist so programmiert, dass er nach dem Ansprechen der Schwellwertstufe 63 (Anzeige einer Änderung weg vom Minimum) das Vorzeichen einer Spannungsänderung umkehrt und auch beim Ansprechen einer Schwellwertstufe 64 beibehält, bis erneut die Schwellwertstufe 63 anspricht. Der Befehlsgeber 62 gibt den Befehl U_s um einen Schritt $-\Delta U$ zu verringern und falls erforderlich, entsprechend noch um einen oder mehrere weitere Schritte $-\Delta U$ zu verringern, bis ebenfalls das Stromminimum erreicht ist.

Damit wird in jedem Fall nach erfolgtem Anlauf des Motors 16 ein erstes Mal das Stromminimum eingeregelt. Falls im weiteren die Last während des betreffenden Arbeitsprozesses konstant bleibt, bleibt dieses Stromminimum bestehen und es bedarf keiner weiteren Nachregelung. Falls sich jedoch die Last nach dem erstmaligen Einregeln des Stromminimums ändert, dann ändert sich auch die Stromkurve und der momentane Strom verlagert sich relativ zum Stromminimum der jeweils gültigen Stromkurve mit Änderung der Last zunehmend, wobei bei Abnahme der Last das Stromminimum 9 bezogen auf Fig. 3 sich nach links und bei zunehmender Last nach rechts verlagert. Man kann nun zweckmässig vorsehen, dass jedesmal dann, wenn sich der Strom I_s nach der jeweils letzten Einregelung seines Minimums wieder so weit geändert hat, dass $I_s - I_v$ bzw. $I_v - I_s$ den Schwellwert der betreffenden Schwellwertstufe 63 bzw. 64 überschritten hat, dieselbe beschriebene Einregelung des Stromminimums erneut abläuft, also in einem ersten Schritt durch ein erstes $+\Delta U$ ermittelt wird, ob I_s links oder rechts vom Stromminimum der momentan geltenden Stromkurve oder bereits in deren ungefährem Minimum angelangt ist und dann, falls erforderlich, wie beschrieben, das neue Stromminimum durch ein oder mehrere weitere Schritte $+\Delta U$ bzw. $-\Delta U$ eingeregelt wird.

Falls man jedoch weiss, dass sich die Last zeitlich nur erhöhen oder nur erniedrigen kann, dann kann man auch bei jedem Einregeln eines neuen Stromminimums auf den ersten Schritt $+\Delta U$ verzichten und den Befehlsgeber 62 nach der erstmaligen Einregelung des Stromminimums bei dem betreffenden Arbeitsprozess so programmieren, dass er nunmehr nur noch Spannungsänderungen in der dem Lastanstieg bzw. der Lastabnahme entsprechenden Richtung durchführt, also nur entweder noch Schritte $+\Delta U$ (Lastanhebung) oder nur Schritte $-\Delta U$ (Lasterniedrigung). Der Minimalstromregler 21' nach Fig. 5 lässt sich auch bei den weiteren Ausführungsbeispielen nach den Fig. 6 bis 8 einsetzen, wobei es lediglich erforderlich ist, ihn so ausgangsseitig auszubilden, dass er wie der in Fig. 9 dargestellte und weiter unten beschriebene Prozessrechner 21'' die Ausgangsspannungen $n \cdot \Delta U$ liefert, wo $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ ist, also entsprechende Regelvorgänge wie der weiter unten beschriebene Minimalstromregler 21' zur Einregelung des jeweiligen Stromminimums durchführen kann, wobei während eines

einzelnen Einregelungsvorganges die Verstellung der Ausgangsspannung um jeweils ΔU in einem der Reaktionszeit des Motors 16 angepassten zeitlichen Abstand nach der jeweils vorangegangenen Spannungsänderung ΔU zeitlich verzögert erfolgt.

Eine solche Möglichkeit, den in Fig. 5 dargestellten Minimalstromregler 21' mit dem zugeordneten Stellmotor 15' nicht zur Verstellung des Stelltransformators 15 einzusetzen, sondern zur Verstellung eines Stufenpotentiometers ist in Fig. 11 dargestellt. Das Stufenpotentiometer 49 weist einen an der Ausgangsleitung 49' liegenden drehbaren Abgriff 70 auf, der durch den Stellmotor 15' um jeweils einen Schritt je nach Erfordernis nach links oder rechts verdreht werden kann, so dass er bei jedem Schritt von einem Kontakt 71 des Potentiometers 49 zu einem benachbarten Kontakt 71 verstellt wird, wodurch sich die auf der Ausgangsleitung 49' auftretende Ausgangsspannung um jeweils $+\Delta U$ oder $-\Delta U$ ändert. Diese Spannungsänderungen werden durch die Widerstände 72 einer Widerstandskette bestimmt. Diese Spannungsänderungen ΔU sind jeweils gleich gross, wenn diese Widerstände 72 gleich gross sind, oder es kann auch vorgesehen sein, diese Widerstände unterschiedlich gross zu machen, so dass die Spannungsschritte ΔU dann entsprechend unterschiedlich gross sind. Diese Widerstandskette mit den Widerständen 72 liegt an einer Gleichspannungsquelle 52 konstanter Gleichspannung U_0 . Die am Ausgangsleiter 49' auftretende variable Ausgangsgleichspannung beträgt also $n \cdot \Delta U$, wo $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ je nach Stellung des Abgriffes 70 betragen kann.

In Fig. 11 besteht der Minimalstromregler 21 nicht mehr nur aus dem in Fig. 5 dargestellten Regler 21', sondern ist noch erweitert um einen Stellmotor 15', das Stufenpotentiometer 70 mit zugeordneter Widerstandskette und Gleichspannungsquelle 52 und dieser Minimalstromregler ist im ganzen mit 21 bezeichnet und bei den Ausführungsbeispielen nach Fig. 6 bis 8 eingesetzt, die nachfolgend näher beschrieben werden. Der Speisestrom wird jeweils durch einen Stromfühler 18 gefühlt und sein Momentanwert über einen Messumformer 28 in den Minimalstromregler 21 eingegeben.

Bei dem in Fig. 6 dargestellten Ausführungsbeispiel wird der Motor 16 statt über einen Stelltransformator 15 über einen steuerbaren Gleichrichter 22 und einen von einem Frequenzsteller 25 getakteten steuerbaren Wechselrichter 23 mit eingepäarter Spannung gespeist. Die Verbindungsleitungen zwischen dem Gleichrichter 22 und dem Wechselrichter 23 sind mit einem Glättungskondensator 24 versehen. An den Steuereingang des Gleichrichters 22 ist der Ausgang eines Addierers 19 angeschlossen. Der eine Eingang des Addierers 19 liegt am Ausgang des in Fig. 11 dargestellten Minimalstromreglers 21. Der andere Eingang des Addierers 19 ist an eine Gleichspannungsquelle 26 mit verstellbarer Gleichspannung U_g angeschlossen, deren Gleichspannung proportional zur jeweiligen Ausgangsfrequenz des Frequenzstellers 25 ist. Der Gleichrichter 22 liefert über den Wechselrichter 23 eine eingepäarter Spannung an den Motor 16. Diese eingepäarter Spannung ist mittels des Minimalstromreglers 21 in Schritten $+\Delta U$ zur Einregelung des jeweiligen Stromminimums verstellbar, wobei keine weitere Erläuterung erforderlich ist, da die zu Fig. 5 hierzu gemachten Ausführungen entsprechend für das Ausführungsbeispiel nach Fig. 6 gelten.

Fig. 7 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit einem Pulsbreitenmodulator 27. Einem Gleichrichter 22 ist der in diesem Fall löschbare gesteuerte Wechselrichter 23 nachgeschaltet. Der Steuereingang des Wechselrichters 23 ist mit dem Ausgang des Pulsbreitenmodulators 27 verbunden. Ein Eingang des Pulsbreitenmodulators 27 liegt am Ausgang eines Frequenzstellers 25. Der andere Eingang des Pulsbreitenmodulators 27 liegt am Ausgang eines Addierers 19. Die Eingänge des Addierers 19 liegen einerseits am Ausgang des Reglers 21 und andererseits am Ausgang eines D/A-Wandlers 25', dessen Eingang am Ausgang des Frequenzstellers 25 liegt. Der Wandler 25' liefert eine zur

Ausgangsfrequenz des Frequenzstellers 25 proportionale Gleichspannung U'

Der Pulsbreitenmodulator 27 gibt Impulse konstanter Höhe, aber veränderlicher Breite ab. Mit diesen Impulsen werden die Elemente des steuerbaren Wechselrichters 23 gezündet bzw. gelöscht. Die Breite der vom Pulsbreitenmodulator 27 abgegebenen Impulse hängt vom Ergebnis der Differenzbildung $U_g - n \cdot \Delta U$ ab, die der Addierer 19 liefert. Die Impulse sind so gestaltet, dass dem Motor 16 — in Verbindung mit dessen Impedanz — eine sinusförmige Spannung vorgetäuscht wird. Je kleiner $U_g - n \cdot \Delta U$ ist, um so kleiner wird der Effektivwert der dem Motor 16 zugeführten Speisespannung U_s . Der Glättungskondensator 24 (Fig. 6) ist hier durch einen Akkumulator 29 ersetzt. Dadurch wird eine Notlaufeigenschaft ermöglicht, weil der Wechselrichter 23 auch bei Netzausfall weiter gespeist wird. Die Regelung des jeweiligen Stromminimums erfolgt im übrigen mittels des Ausgangssignale der Grösse $n \cdot \Delta U$ liefernden Minimalstromreglers 21 im Prinzip wie in den Ausführungsbeispielen nach den Fig. 5 und 6.

In Fig. 8 ist ein Ausführungsbeispiel gezeigt, das eine Weiterentwicklung der aus der DE-AS 2 644 748 bekannten Schaltungsanordnung darstellt.

Zwischen den steuerbaren Gleichrichter 22 und den steuerbaren Wechselrichter 23 ist eine Induktivität 31 zwischengeschaltet. Mit dem Motor 16 ist ein Tachogenerator 30 gekoppelt. Der Motor 16 ist ein Asynchronmotor. Der vom Drehzahl-Sollwertsteller 26' gelieferte Sollwert der Drehzahl des Motors 16 wird am Verknüpfungspunkt 32 mit dem vom Tachogenerator 30 gelieferten Drehzahl-Istwert verglichen und diese Regelabweichung einem Drehzahl-Regler 33 aufgedrückt, dem noch ein unterlagerter Stromregler 35 nachgeschaltet ist. Der Ausgang des Stromreglers 35 ist über einen Wandler 36 an den Steuereingang des Gleichrichters 22 angeschlossen. Der Eingang des Minimalstromreglers 21 (Fig. 11) ist über einen Messumformer 28 an den Stromfühler 18 gelegt; der Ausgang des Minimalstromreglers 21 liegt über einen Verbindungspunkt 37 am Eingang eines Erregerstromreglers 38. Der Ausgang des Erregerstromreglers 38 ist mit einem Eingang eines Addierers 39 verbunden, dessen anderer Eingang am Ausgang des Tachogenerators 30 liegt. Der Ausgang des Addierers 39 ist an den Eingang eines Spannung-Frequenz-Wandlers 41 gelegt, dessen Ausgang mit dem Steuereingang des Wechselrichters 23 verbunden ist. Der Wert der Speisespannung U_s wird vom Fühler 17 gefühlt und durch den Messumformer 28' einem Additionspunkt 37' zugeführt. Über den Gleichrichter 22, die Induktivität 31, den Wechselrichter 23 wird aus dem Netz 14 ein eingepprägter Strom I_s an den Motor 16 geliefert. Dieser eingepprägte Speisestrom I_s wird, wie es in der DE-AS 2 644 748 beschrieben ist, mit Hilfe des Drehzahlreglers 33 bestimmt. Die Läufer-schlupf-frequenz Δf bestimmt der Erregerstromregler 38. Der Minimalstromregler 21 kann an dem einen Eingang des Additionspunktes 37' dem Erregerstromregler 38 eine höhere als die tatsächlich vorhandene Speisespannung U_s des Motors 16 vortäuschen, der deshalb eine um jeweils $n \cdot \Delta U$ verringerte Speisespannung regelt, indem er den Erregerstrom entsprechend vermindert. Der Erregerstromregler 38 regelt an sich wie in der DE-AS 2 644 748 beschrieben bei gegebener Drehzahl eine konstante Speisespannung U_{s0} und damit konstanten Erregerstrom, wobei bei Änderung der Drehzahl die Speisespannung U_{s0} und der Erregerstrom hierzu ungefähr proportional geändert werden. Doch wird nunmehr bei der jeweils geregelten Drehzahl der Sollwert der Speisespannung zu jeweils $U_s = U_{s0} - n \cdot \Delta U$ geändert, also damit auch das Spannungs-Frequenzverhältnis des Motors 16 geändert.

Der Drehzahlregler 33 hält dabei die Drehzahl des Asynchronmotors 16 auf dem Drehzahl-Sollwert. Die Minimalstromregelung mittels des Minimalstromreglers 21 erfolgt wiederum nach dem in Fig. 5 bereits beschriebenen Prinzip, gemäss wel-

chem der Befehlsgeber 62 (Fig. 5) immer dann Verstellung der Speisespannung um einen Schritt ΔU befiehlt, wenn das vom Vergleichler 60 gelieferte Ausgangssignal den Schwellwert einer der Schwellwertstufen 63, 64 überschreitet, wobei dann der jeweilige Minimalstrom durch Verstellung der Speisespannung in einem oder mehreren derartigen, jeweils die Reaktionszeit des Motors 16 abwartenden Spannungsänderungsschritten ΔU erreicht wird, wobei wiederum diese Änderung der Ausgangsspannung durch die in Fig. 11 dargestellte Schaltung erreicht wird. Dabei versteht es sich, dass der Minimalstromregler 21 auch eine andere als die in Fig. 11 dargestellte Ausbildung aufweisen kann, beispielsweise kann das in Fig. 11 dargestellte Stufenpotentiometer 49 durch ein Schieberegister ersetzt werden. Auch andere Abwandlungen sind möglich.

In manchen Fällen kann es auch zweckmässig sein, dass während des Laufs der Antriebseinrichtung in jeweils vorbestimmten Zeitabständen jeweils eine neue Minimalstromregelung durchgeführt wird. Ein Ausführungsbeispiel eines hierfür geeigneten, als Prozessrechner 21'' ausgebildeten Minimalstromreglers ist in Fig. 9 dargestellt.

Der in Fig. 9 dargestellte Minimalstromregler 21'' kann bei den Ausführungsbeispielen nach den Fig. 6 bis 8 anstelle des dort dargestellten Minimalstromreglers 21 eingesetzt werden. Es ist auch möglich, ihn bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 einzusetzen, indem das Stufenpotentiometer 49 weggelassen wird, und der Stellmotor 15' direkt den Stelltransformator 15 in Fig. 5 verstellt.

Dieser Minimalstromregler 21'' hat einen Eingang, an den der Stromfühler 18 zum Messen des momentanen Speisestrom-Istwertes des betreffenden Antriebssystems 16 angeschlossen ist. Der gemessene Stromwert wird in einem Messumformer 28 in ein zu ihm proportionales Gleichspannungssignal umgewandelt, das an den einen Eingang eines UND-Gatters 44 ständig angelegt ist. Der andere Eingang des UND-Gatters 44 wird von einem gleichzeitig eine Programmzeitschaltuhr bildenden Taktgeber 43 während einer durchzuführenden Einregelung des momentan möglichen Minimalpeisestromes in vorbestimmten, der Reaktionszeit des Antriebssystems 16 angepassten konstanten Zeitabständen zum Öffnen des Gatters 44 mit Öffnungsimpulsen beschickt. Der Ausgang des UND-Gatters 44 ist an den Eingang eines zweistufigen Schreib-Lesespeichers 45 angeschlossen. Dieser Speicher 45 ist ein Ringspeicher. Jeder neu eingeschriebene Stromwert I_{sn} wird zuerst in seiner ersten Speicherstufe gespeichert und bei dem nächsten Öffnungsimpuls des Taktgebers 43 zum Öffnen des Gatters 44 wird dann der in der ersten Stufe des Speichers 45 gespeicherte Stromwert I_{sn} in die zweite Stufe verschoben und in die nunmehr leere erste Stufe der nunmehrige momentane Stromwert I_{sn+1} eingeschrieben. Ein diesem Speicher 45 nachgeschalteter Differenzbildner 46 bildet die Differenz zwischen den jeweils gespeicherten Werten, also $I_{sn+1} - I_{sn}$. Der Ausgang dieses Differenzbildners ist an zwei Schwellwertstufen 63', 64' angeschlossen, die in ihrer Funktion den Schwellwertstufen 63, 64 der Einrichtung nach Fig. 5 entsprechen, wobei jedoch die Schwellwertstufe 64' eine positive Differenz $I_{sn+1} - I_{sn}$ durchlässt, wenn diese einen vorbestimmten Wert überschreitet, und die andere Schwellwertstufe 63' lässt nur eine negative Differenz $I_{sn+1} - I_{sn}$ durch, wenn diese einen vorbestimmten Absolutwert übersteigt. Die beiden Schwellwertstufen sind an eine Auswerteschaltung 48 angeschlossen, die einen Schrittmotor 15' im Gefolge eines jeden über eine Leitung 48' kommenden Abfrageimpulses ansteuern kann, wobei die Abfrageimpulse vom Taktgeber 43 gleichzeitig mit oder kurz nach den Öffnungsimpulsen erzeugt werden. Je nachdem, ob die Auswerteschaltung 48 zum Zeitpunkt des Auftretens eines Abfrageimpulses ein Signal vom Ausgang der Schwellwertstufe 63' oder vom Ausgang der Schwellwertstufe 64' oder kein Signal von den Schwellwertstufen aufgedrückt erhält, wird der Schrittmotor 15' zum Ausführen eines Drehschrittes in der

einen oder eines Drehschrittes in der anderen Drehrichtung erregt oder er wird nicht erregt. Dieser Schrittmotor 15' verstellt wiederum den Abgriff 70 eines Drehstufenpotentiometers 49, das wie das Potentiometer 49 nach Fig. 11 ausgebildet ist. Dergleichen ist wie bei Fig. 11 wiederum eine Widerstandskette mit Widerständen 72 und eine Gleichspannungsquelle 52 vorhanden, so dass auf der Ausgangsleitung 49' des Potentiometers eine von der Stellung des Abgriffes 70 abhängige Spannung $n \cdot \Delta U$ auftritt, wo $n = 0, 1, 2, \dots$ ist. Der Abgriff 70 des Drehpotentiometers 49 legt also wie im Falle der Ausführungsform nach Fig. 11 an die Ausgangsleitung 49' des Minimalstromreglers 21'' eine in Stufen verstellbare Spannung $n \cdot \Delta U$ an, wobei n abhängig von der Winkelstellung des Abgriffes 70 ist.

Es sei in diesem Zusammenhang erwähnt, dass man in der Praxis vorzugsweise die Gesamtschaltungsanordnung des Minimalstromreglers 21'' — wie auch des Minimalstromreglers 21 oder gegebenenfalls auch des Minimalstromreglers 21' — rein elektronisch ausbilden wird.

Die Arbeitsweise dieses Minimalstromreglers 21'' wird nachfolgend im Zusammenhang mit den Fig. 6 bis 8 erläutert, wo er in diesen drei Ausführungsbeispielen jeweils dieselbe Aufgabe hat, nämlich in vorbestimmten Zeitabständen jeweils eine erneute Minimalstromregelung durchzuführen, indem der Speisespannung in einer oder mehreren Stufen Spannungsänderungen $n \cdot \Delta U$ hinzugefügt oder von ihr abgezogen werden bis das ungefähre Stromminimum der momentanen, durch die momentane Last sich ergebenden Stromkurve eingeregelt ist. Jede solche Einregelung läuft in einem oder mehreren Spannungsverstellungsschritten ab und in den Pausen zwischen zwei solchen Einregelungen bleibt die Speisespannung auf dem jeweils durch den Regler 21'' zuletzt eingestellten Wert, der bei der damals vorliegenden Stromkurve ein Stromminimum ergab.

Zunächst wird der betreffende Motor 16 beispielsweise durch Handsteuerung auf Betriebsdrehzahl gebracht. Sobald dies erfolgt ist, wird unter Abgabe von Öffnungsimpulsen durch den Taktgeber 43 eine erste Einregelung des bei der vorliegenden Last sich ergebenden Speisestromminimums durchgeführt. Zu diesem Zweck erzeugt der Taktgeber 43 einen ersten Öffnungsimpuls für das Gatter 44 und der momentane Stromwert I_{sn} wird in die erste Stufe des Registers 45 eingespeichert. Der Differenzbildner 46 ist zu diesem Zeitpunkt in nicht näher dargestellter Weise gesperrt. Der Abgriff 70 des Potentiometers 49 befindet sich in einer Stellung, in der $n \cdot \Delta U = 0$ ist. Nunmehr wird durch einen über die Leitung 59 zum Auswerter 48 gelieferten Sonderimpuls bewirkt, dass der Stellmotor 15 den Abgriff von seiner 0-Stellung ($n \cdot \Delta U = 0$) in einer solchen Richtung dreht, dass nunmehr auf der Ausgangsleitung 49' die Spannung $+\Delta U$ auftritt. Damit vermindert sich bei den Ausführungsbeispielen nach den Fig. 6 bis 8 die Speisespannung um $-\Delta U$ und es wird nunmehr die Reaktionszeit des Motors 16 von beispielsweise 100 - 1000 ms abgewartet und der Taktgeber 43 erzeugt dann einen neuen Öffnungsimpuls, so dass in den Speicher 45 der nunmehrige Stromwert I_{sn+1} eingeschrieben und der vorangegangene eingeschriebene Wert I_{sn} in die zweite Stufe verschoben wird. Der Differenzbildner 46 wird nunmehr entsperrt und ermittelt die Differenz $\pm(I_{sn+1} - I_{sn})$ und je nachdem, ob diese Differenz den Schwellwert einer der Schwellwertstufen 63', 64' übersteigt oder nicht, wird dies der Auswerteschaltung 48 in dem Augenblick mitgeteilt, in welchem der Taktgeber 43 dieser Auswerteschaltung einen Abfrageimpuls aufdrückt. Die Auswerteschaltung 48 erfährt dann also, ob die Schwellwertstufe 63' oder die Schwellwertstufe 64' die betreffende Differenz durchliess oder nicht, und merkt infolge des Abfrageimpulses auch, wenn keine der beiden Schwellwertstufen einen Differenzwert durchliess, da sie dann im Gefolge des Abfrageimpulses keinen Differenzwert zugeliefert bekommt. In letzterem Falle bleibt der Schrittmotor 15' aberregt. In den ersten beiden Fällen wird er je nachdem, welche der beiden

Schwellwertstufen 63' oder 64' den Differenzwert durchliess, zum Verstellen des Abgriffes 70 in der einen oder anderen Drehrichtung um einen Schritt erregt und verstellt entsprechend die Ausgangsspannung auf der Leitung 49' um einen Schritt $-\Delta U$ oder $+\Delta U$.

Bei diesem Ausführungsbeispiel sei ferner angenommen, dass zunächst nach Beginn eines Arbeitsprozesses vor dem ersten Einregelstromminimum der Motor 16 mit maximaler Speisespannung gespeist wurde. Dies bedeutet, dass auf der Leitung 49' zunächst noch keine Spannung liegt. Ferner sei angenommen, dass die Addierer 19 (Fig. 6, 7) als Subtrahierer arbeiten, (in Fig. 8 addiert dagegen der Punkt 37'), also die auf der Leitung 49' liegende Spannung von der anderen eingangsseitigen Spannung abziehen. Damit befindet sich bei den Einrichtungen nach Fig. 6 bis 8 vor dem jeweils ersten Einregeln des Stromminimums der momentane Speisestrom auf der zu diesem Zeitpunkt gültigen Stromkurve 13 (Fig. 3) rechts vom Stromminimum und durch Erzeugen einer Spannung $+\Delta U$ auf der Ausgangsleitung 49' wird die Speisespannung des Motors 16 um $-\Delta U$ verringert, was bedeutet, dass diese Spannungsverstellung bereits in Richtung auf das momentane Stromminimum zu erfolgt, es sei denn, dass das momentane Stromminimum bei maximaler Speisespannung vorgelegen hatte, in welchem Falle der Regler 21'' beim nächsten Spannungsverstellungsschritt diese Verringerung der Maximalspannung wieder rückgängig machen würde. Normalerweise müssen jedoch nunmehr ein oder mehrere Spannungsschritte zur Verminderung der effektiven Speisespannung des Motors 16 durchgeführt werden. Zu diesem Zweck arbeitet der Regler 21'' im weiteren wie folgt.

Wenn die nach Anlegen der Spannung ΔU an die Ausgangsleitung 49' sich im Gefolge der hierdurch ergebenden Änderung der Speisespannung im Differenzbildner 45 einstellende Differenz $I_{sn+1} - I_{sn}$ negativ ist und den Schwellwert der Auswerteschaltung 48 sofort im Gefolge des gleichzeitig mit dem betreffenden Öffnungsimpuls auftretenden Abfrageimpulses mitgeteilt und wertet diese Mitteilung dahingehend aus, dass sich der momentane Stromwert derzeit auf der geltenden Stromkurve 13 noch rechts vom Stromminimum befindet und gibt deshalb dem Stellmotor 15' den Befehl, den Abgriff 70 des Potentiometers 49 um einen weiteren Schritt zu verdrehen und hierdurch die Ausgangsspannung auf der Leitung 49' auf $2\Delta U$ zu erhöhen; wodurch die Speisespannung nunmehr ein zweites Mal um ΔU verringert wird, also bisher insgesamt um $2\Delta U$. Nach der Reaktionszeit des Motors 16 gibt der Taktgeber 43 dann einen neuen Öffnungsimpuls an das Gatter 44, so dass nunmehr im Schieberegister die Werte $I_{sn+2} - I_{sn+1}$ gespeichert sind und der Differenzbildner bildet die Differenz $\pm(I_{sn+2} - I_{sn+1})$ und gleichzeitig wird durch den Abfrageimpuls der Auswerteschaltung 48 mitgeteilt, ob diese gespeicherte Differenz den Schwellwert einer der Schwellwertstufen übersteigt oder nicht und in letzterem Fall ist das Stromminimum bereits eingeregelt oder in ersterem Fall wird je nachdem, ob die Schwellwertstufe 63' oder 64' den gespeicherten Differenzwert durchliess der Stellmotor zum Verstellen des Potentiometers 49 in der einen oder anderen Drehrichtung erregt und so beispielsweise die Spannung auf der Ausgangsleitung nunmehr auf $3\Delta U$ vergrößert und die Speisespannung entsprechend um einen weiteren Schritt vermindert. Dies erfolgt so lange, bis das Stromminimum eingeregelt ist. Es sei hier erwähnt, dass der einzelne Spannungsverstellungsschritt ΔU beispielsweise 1-3% der maximalen oder der momentanen Speisespannung betragen kann.

Sobald dies die Auswerteschaltung 48 merkt, teilt sie dies dann dem Taktgeber 43 über die Leitung 43' mit, welcher nunmehr die Aussendung weiterer Öffnungsimpulse und Abfrageimpulse für eine vorprogrammierte Zeitspanne von beispielsweise einigen Minuten einstellt und nach Ablauf dieser Ruhepause beginnt der Taktgeber 43 wieder mit dem Aussenden von

Öffnungsimpulsen in der Reaktionszeit des Motors 16 angepassten Zeitabständen zur Durchführung einer neuen Einregelung des Stromminimums.

Bei dieser nächsten Einregelung kann beispielsweise so vorgegangen werden, dass zu ihrem Beginn zunächst der Abgriff 70 wieder in seine 0-Stellung zurückgedreht wird, in der auf der Leitung 49' keine Ausgangsspannung auftritt. Oder es kann auch vorgesehen sein, was besonders zweckmässig ist, dass zu Beginn jeder neuen Einregelung ab der zweiten Einregelung der Schrittmotor 15' den Abgriff 70 nur um eine vorbestimmte Anzahl von Schaltstufen zurückdreht, die so getroffen ist, dass in jedem Fall dann zu Beginn eines neuen Einregelungsvorganges die dann eingestellte Speisespannung ausreichend gross ist, um mit Sicherheit sich auf der momentanen Stromkurve rechts des Minimums zu befinden.

Es ist auch möglich, den Minimalstromregler 21'' noch so weiter auszugestalten, dass er wie der Minimalstromregler 21' nach Fig. 5 von selbst ermittelt, ob sich der momentane Strom bezogen auf die jeweils geltende Stromkurve links oder rechts vom Stromminimum befindet und ihn dann zu veranlassen, die weiteren Spannungsänderungen in Richtung auf das Stromminimum vorzunehmen.

Es könnte auch denkbar sein, den Minimalstromregler anstelle der beschriebenen unstetigen Arbeitsweise mit stetiger Spannungsverstellung der Speisespannung zu betreiben. Es ist dabei auch denkbar, dass das Stromminimum nicht nur in Zeitabständen eingeregelt wird, sondern ständig eine Regelung des Stromminimums stattfindet, indem die Speisespannung ständig in der hierfür erforderlichen Weise um das Stromminimum pendelnd verstellt wird.

Die oben beschriebene Arbeitsweise des Reglers 21'' sei anhand der Fig. 10a bis 10c noch an Beispielen zusätzlich graphisch erläutert. Zu Beginn des ersten Einregelungsvorganges nach Anlaufen des Motors 16 befindet sich die Speisespannung auf dem Wert A1. Die momentane Stromkurve ist mit 13 bezeichnet. Die Speisespannung wird dann in der Reaktionszeit des Motors 16 entsprechenden Zeitabständen so lange um

Schritte ΔU verringert, bis das Stromminimum 9 ungefähr erreicht ist. Die Speisespannung hat dann den Wert E_1 . Wenn nunmehr angenommen wird, dass sich im weiteren Verlauf die Last verringert, dann verschiebt sich beispielsweise gemäss Fig. 10b die Stromkurve des Motors 16 von 13 zu 13'. Damit hat sich das Stromminimum verschoben und nach der vorbestimmten Zeitdauer wird deshalb das Stromminimum erneut eingeregelt, indem die Spannung von dem zuletzt eingestellten Wert E_1 in Spannungsverstellungsschritten ΔU so lange weiter verringert wird, bis das neue, etwa erniedrigte Stromminimum in diesem Fall bei der Spannung E_2 eingeregelt ist. Dies wiederholt sich dann in vorprogrammierten Zeitabständen, so dass der Strom stets wieder in die Nähe seines Minimums eingeregelt wird.

Wenn dagegen die Last nach dem ersten Einregelungsvorgang ansteigt, bedeutet dies, dass sich die Stromkurve von der in Fig. 10c dargestellten Lage 13 zu der weiter rechts liegenden Stromkurve 13'' verschoben hat und in diesem Falle kann man beispielsweise so vorgehen, dass man zum neuen Einregeln des Stromminimums zunächst die zuletzt eingestellte Spannung E_1 um den Wert ΔU^* erhöht und dann in Schritten ΔU die Speisespannung wieder erniedrigt bis das neue Stromminimum bei der Spannung E_3 erreicht ist. Wenn man dabei weiss, dass bezogen auf die Spannung E_1 sich die Stromkurve nur nach rechts verschoben haben kann, weil die Last nur ansteigen kann, dann kann man auch direkt von der Spannung E_1 aus diese Spannung durch Spannungsschritte $+\Delta U$ bis zum neuen Stromminimum bei der Spannung E_3 erhöhen, wie es in Fig. 10c strichpunktiert mit eingezeichnet ist.

Auch bei den Minimalstromreglern 21, 21' kann zumindest bei der Stromminimierung nach Beginn eines Arbeitsprozesses bei der ersten Einregelung des Stromminimums oder auch bei nachfolgenden Einregelungen zu Beginn der oder jeder solchen Einregelung die Speisespannung anfänglich so hoch eingestellt sein oder werden, beispielsweise von der Spannung U_g (Fig. 7) ausgegangen werden, dass das Stromminimum durch ausschliessliches Vermindern der Speisespannung U_s eingeregelt wird, wie es Fig. 10a beispielsweise zeigt.

