

(19)



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT

BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(11) **CH 676442 A5**

(51) Int. Cl.⁵: **B 23 K** 11/25
B 23 K 11/24
H 02 H 7/04

(12) **PATENTSCHRIFT** A5

(21) Gesuchsnummer: 5945/84

(22) Anmeldungsdatum: 14.12.1984

(24) Patent erteilt: 31.01.1991

(45) Patentschrift
veröffentlicht: 31.01.1991

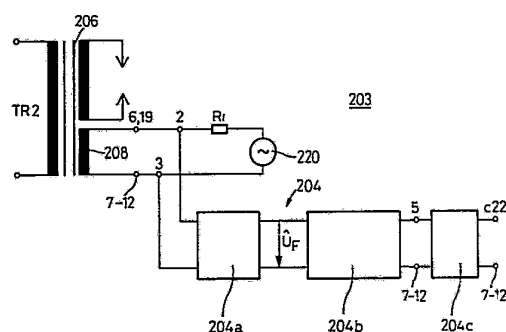
(73) Inhaber:
Elpatronic AG, Zug

(72) Erfinder:
Tengler, Hermann, Buchs AG
Mettler, Paul, Bremgarten AG

(74) Vertreter:
Dipl.-Ing. Klaus Hotz, Bergdietikon

(54) Sättigungsüberwachungsanordnung und deren Verwendung für ein Verfahren zur Steuerung einer Frequenzwandler-Schweisseinrichtung.

(57) Auf dem Kern (206) eines Schweisstransformators (TR2) ist zusätzlich eine Messwicklung (208) angeordnet, die an einen Signalfrequenzgenerator angeschlossen ist. An der Messwicklung (208) wird eine von dem Sättigungszustand des Kerns (206) abhängige Spannung durch eine Detektorschaltung (204) abgegriffen. Ein Amplitudendemodulator (204b) liefert ein Gleichspannungssignal, das umgekehrt proportional zur Sättigung ist. Eine Diskriminatorschaltung stellt durch Vergleich mit einem Referenzwert fest, ob ein sättigungsbezogener Schwellenwert bereits erreicht ist oder nicht. Wenn er erreicht ist, wird durch ein Blockiersignal die Zündung der Leistungshalbleiter unterbrochen. Mit dieser Sättigungsüberwachungsanordnung lässt sich die Schweisseinrichtung einfacher bedienen und der Schweisstransformator optimal ausnutzen. Das Steuerungsverfahren wird wesentlich einfacher, weil die Schweisszeit durch die Bedienungsperson nicht mehr in Einzelimpulse aufgeteilt zu werden braucht.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung für eine Frequenzwandler-Schweisseinrichtung zur Überwachung der Sättigung des Schweisstransformators, der aus durch ein Steuergerät gesteuerten Leistungshalbleitern positive und negative Stromimpulse empfängt und einen Kern mit drei Schenkeln aufweist, von denen der Mittelschenkel die Primär- und die Sekundärwicklung trägt.

Ausserdem betrifft die Erfindung eine Verwendung der genannten Anordnung für ein Verfahren zur Steuerung einer Frequenzwandler-Schweisseinrichtung.

Es ist eine Kontrolleinrichtung für Widerstandsschweisseinrichtungen bekannt (DE-PS 1 125 573), bei der die Spannung am Schweisstransformator überwacht wird. Beim Betrieb von Widerstandsschweisseinrichtungen, die mit Dampf- oder Gasentladungsgefässen versehen sind, wird gefordert, den Schweissstrom und die Entladungsgefässe zu überwachen, da schon bei Ausfall eines Gefässes sich einerseits ein zur Herstellung einer ordentlichen Schweissstelle unzureichender Strom einstellt und andererseits eine asymmetrische Magnetisierung des angeschlossenen Schweisstransformators und damit unter Umständen seine Zerstörung erfolgt. Bei dieser bekannten Kontrolleinrichtung kommen aus praktischen Erwägungen zur Überwachung des Schweissvorganges nur der Primärstrom und die Primärspannung in Frage. Zu diesem Zweck wird ein Hilfstransformator verwendet, der parallel an die Primärwicklung des Schweisstransformators angeschlossen ist, und mittels einer Reihenschaltung eines Relaiskreises und eines steuerbaren Schaltelements wird das Vorhandensein der Spannung geprüft und hiervon die Entscheidung «Zündung erfolgt» oder «Zündung nicht erfolgt» abgeleitet. Mit dieser bekannten Kontrolleinrichtung lässt sich der Schweisstransformator nur vor unzulässigen Dauerströmen schützen, die durch Sättigung seines Eisenkernes infolge Ausfalles eines Gefässzweiges oder bei grob unsymmetrischem Phasenanschnitt entstehen können. Die Sättigung an sich, die auch verursacht werden kann, wenn kein Gefässzweig ausgefallen oder kein grob unsymmetrischer Phasenanschnitt vorhanden ist, lässt sich mit dieser bekannten Kontrolleinrichtung offenbar nicht vermeiden. Ausserdem ist bei der bekannten Kontrolleinrichtung nachteilig, dass von einer Messung im Primärkreis ausgegangen wird, um auf das Verhalten des Transformators zu schliessen, wogegen die massgebendere Grösse dessen Übertragungseigenschaften (Sekundärspannung oder Sekundärstrom) wären.

Um eine bessere Aussage über das Verhalten des Transformators zu erzielen, wird bei einer bekannten Anordnung zum Schutz von Transformatoren und deren Schaltgeräten (DE-AS 1 029 457) der magnetische Fluss des Transformators in einer sättigbaren Drossel näherungsweise nachgebildet. Diese bekannte Anordnung soll sicherstellen, dass durch phasenrichtiges Ein- und Ausschalten bestimmte Maximalwerte des Einschaltstromes eingehalten werden, indem unter anderem dafür gesorgt wird, dass der Transformator stets mit der Halbwelle der Spannung eingeschaltet wird, die zu der zuletzt angelegten Halbwelle entgegengesetzt gerichtet ist. Ausserdem soll verhindert werden, dass bei der Verwendung der sogenannten Antiparallelschaltung der Gefässe ein Gefäss aussetzt und dadurch nur noch die Halbwellen einer Richtung auf den Transformator geschaltet werden. In diesem Fall würde nämlich nach einer bestimmten Zahl von Halbwellen die Sättigung des Transformators eintreten. Die bekannte Anordnung bezweckt deshalb den Transformator so rechtzeitig abzuschalten, dass der Transformator und die Schaltgeräte vor dem Fortdauern der unter Umständen sehr hohen Sättigungsströme geschützt werden. Die Anordnung enthält eine dem Transformator parallel geschaltete Reihenschaltung aus einem Widerstand und einer sättigbaren Drossel, deren Sättigungsfluss dem Spannungszeitintegral einer Halbwelle mindestens gleich sein muss, so dass bei Ausbleiben einer Halbwelle oder bei falschem Einschaltzeitpunkt die Drossel gesättigt wird und am Widerstand ein Spannungsimpuls entsteht, der zur Einleitung eines Auslösevorgangs benutzt wird, beispielsweise zum Abschalten der Zündeinrichtung von Gasentladungsgefässen. Nachteilig ist bei dieser bekannten Anordnung, dass sich der Sättigungszustand des zu schützenden Transformators nur näherungsweise erfassen lässt, weil die sättigbare Drossel an den Primärkreis des Transformators angeschlossen ist und ausserdem von dem Verhalten der Drossel auf das Verhalten des Transformators geschlossen werden muss.

Es ist zwar bereits eine Versuchsanordnung für Schweisstransformatoren bekannt geworden (Meyer, K.: Sättigungsvorgänge in periodisch geschalteten, einphasigen Transformatoren zur Widerstandsschweissung und Verfahren zum Schutz stromrichtergesteuerter Widerstandsschweissanlagen, Dissertation, Technische Universität Berlin, 1962), bei der eine zweite Sekundärwicklung auf dem Kern eines Schweisstransformators zur Flussfassung benutzt wird. Diese Versuchsanordnung dient jedoch lediglich zur Untersuchung des elektrischen Verhaltens von Hypersil-Schweisstransformatoren und führte zu dem Ergebnis, dass bei solchen Schweisstransformatoren die Sättigung durch Schwankungen der Betriebsgrössen in der Schweisspraxis unvermeidlich ist, weswegen auch von der Registrierung der Sättigung keine Entscheidung abgeleitet werden konnte. Mit der bekannten Versuchsanordnung liesse sich somit unter Umständen zwar der Sättigungszustand des Schweisstransformators überwachen, mit Rücksicht auf den Schweissbetrieb musste jedoch dessen Sättigung zugelassen werden. Die bekannte Versuchsanordnung führte deshalb dazu, dass bei dem Hypersil-Schweisstransformator wieder auf die Erfassung der Primärspannung zurückgegriffen wurde, was mit den oben dargelegten Nachteilen verbunden ist und sich nicht bei einem Schweisstransformator anwenden lässt, bei dem die Sättigung überhaupt vermieden werden soll.

Bei Frequenzwandler-Schweisseinrichtungen treten noch weitere Probleme auf, die sich mit den vorstehend erläuterten bekannten Einrichtungen und Anordnungen nicht beseitigen lassen. Zu Erläuterungszwecken wird im folgenden auf die Fig. 1a, 1b und Fig. 2 Bezug genommen, die einen Schweissstrom-einzelimpuls mit Stromanstieg und Stromabfall; den gleichen Impuls, aber bei Frequenzwandlersteuerung; bzw. ein Sättigungsdiagramm für die maximale Schweissstromaussteuerung zeigen.

Für einen einzelnen Schweissstromimpuls stehen ein bestimmter Schweissstrom I_s und eine Schweisszeit t_s zur Verfügung. Der Benutzer der Schweissmaschine muss die Schweisszeit t_s so wählen, dass der Schweissstromtransformator nicht in den Sättigungsbereich gelangt, weil in diesem der Primärstrom über seinen gewünschten Wert ansteigen und die gesteuerten Leistungshalbleiter, über die der Schweissstromtransformator mit Stromimpulsen versorgt wird, beschädigen könnte. Der Benutzer einer Gleichrichter-maschine wählt deshalb anhand des Diagramm nach Fig. 2 die Länge des Schweissimpulses nach Fig. 1a und der Benutzer einer Frequenzwandlermaschine wählt die Zeitdauer t_s eines Impulses nach Fig. 1b, das heisst, er teilt den Einzelimpuls nach Fig. 1a in dem hier gewählten Beispiel in drei gleichlange Einzelimpulse abwechselnder Polarität auf, wobei aber die erlaubte Zeit gemäss dem Diagramm nach Fig. 2 nicht überschritten werden darf. Wenn der Benutzer beispielsweise gemäss dem Diagramm nach Fig. 2 von der Stufe 3/Serie auf die Stufe 1/parallel umschaltet, dann muss er auch die Schweisszeit um vier Netzperioden verkürzen, damit der Schweissstromtransformator nicht in die oberhalb von 99% Schweissstromaussteuerung angenommene Sättigung gelangt. Da das Steuerungsprogramm in dem Steuergerät, in das der Maschinenbenutzer ausser dem Schweissstrom und der Schweisszeit zusätzlich noch die Vorpressezeit, die Nachpressezeit, die Abhebezeit, eine eventuelle Pausenzeit, die Impulszahl, den Anfangsstrom und die Anstiegszeit eingibt, keine eingebaute Sicherung enthält, welche die Maschine bei unzulässiger Wahl dieser Parameter oder bei einer Netzüberspannung vor Überlastung und die gesteuerten Leistungshalbleiter vor einer Zerstörung durch zu hohe Sättigungsströme schützt, ist als Schutzmassnahme in den Transformator diagrammen eine gewisse Sicherheitsreserve eingebaut, die aber eine optimale Ausnutzung des Schweissstromtransformators verhindert.

Weiter muss der Benutzer bei der Schweissstromsteuerung nicht nur die Eigenschaften des Schweissstromtransformators berücksichtigen, sondern auch die Anforderungen des Materials beachten. Für die zu schweisenden Materialien gibt es Erfahrungswerte in Tabellenform. Die zulässigen Parameter muss der Benutzer aus Diagrammblättern herauslesen, die für jeden Maschinentyp verschieden sind. Das ist umständlich und schliesst die Gefahr einer falschen Parameterwahl, wie beispielsweise der falschen Schweissstufe, nicht aus. Bei groben Fehlern in der Parameterwahl kann schliesslich die Sicherheitsreserve überschritten werden, ohne dass der Benutzer das rechtzeitig merkt. Das liess sich nur durch eine Sättigungsüberwachung erreichen, für die die oben beschriebenen bekannten Anordnungen und Einrichtungen aber aus den dargelegten Gründen nicht geeignet sind.

Bei der herkömmlichen Schweissstromsteuerung einer Frequenzwandlermaschine muss stets mit gleichlangen Teilimpulsen wechselnder Polarität gearbeitet werden, weil sich nur durch gleichlange Impulse abwechselnder Polarität verhindern lässt, dass der Transformator in die Sättigung gelangt. Wenn aber der Maschinenbenutzer die Impulsaufteilung fehlerhaft durchführt, beispielsweise zwei Teilimpulse statt drei Teilimpulsen wählt, dann ist jeder Teilimpuls zu lang, so dass der Schweissstromtransformator trotzdem in die Sättigung gelangen kann, obwohl mit gleichlangen Impulsen gearbeitet wird (vorausgesetzt, dass die genannte Sicherheitsreserve überschritten wird).

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Anordnung der eingangs genannten Art so auszubilden, dass sie das Erreichen der Sättigung im Schweissstromtransformator sicher erkennt und die Steuerung der Frequenzwandler-Schweisseinrichtung so verbessert, dass sie von der Zuverlässigkeit der Parametereingabe durch einen Benutzer wesentlich weniger abhängig ist und eine optimale Ausnutzung des Schweissstromtransformators gestattet.

Die Lösung dieser Aufgabe ist gemäss der Erfindung gekennzeichnet durch eine Messwicklung, die auf zwei von dem Mittelschenkel ausgehende Joche aufgeteilt ist und deren beide Messwicklungsteile in Reihe geschaltet sind, durch einen an die Messwicklung angeschlossenen Generator zum Erzeugen einer Messspannung bestimmter Frequenz und durch eine parallel zu dem Generator an die Messwicklung angeschlossene Detektorschaltung, die zur Erzeugung eines die Ansteuerung der Leistungshalbleiter blockierenden Signals durch einen Vergleich zwischen der Messspannung und einer Referenzspannung feststellt, wann der induktive Widerstand der Messwicklung einen auf die Sättigung bezogenen Schwellenwert unterschreitet.

Die Anordnung nach der Erfindung liefert eine genaue Angabe über das Sättigungsverhalten des Kerns des Schweissstromtransformators und schaltet bei Erreichen eines sättigungsbezogenen Schwellenwertes die Zündung der Leistungshalbleiter ab. Damit ist eine Stromeingabe nach Fig. 1a möglich (gleichstrommässig), da die Aufteilung in Impulse entsprechend der maximalen Transformatorausnutzung bis an die Sättigung nun automatisch gesteuert werden kann. Da die an der Messwicklung angegriffene Spannung mit zunehmender Annäherung an die Sättigung abnimmt, lässt sich durch entsprechende Wahl des sättigungsbezogenen Schwellenwertes mit Sicherheit verhindern, dass der Schweissstromtransformator in die Sättigung gelangt. Da gemäss der Erfindung die Schweissstromtransformatorsättigung kontrolliert werden kann, sind auch viel kleinere Sicherheitsreserven nötig. Der Schweissstromtransformator kann also optimal ausgenutzt werden.

In der Ausgestaltung der Erfindung nach den Ansprüchen 2 bis 5 wird mit Sicherheit vermieden, dass das Messergebnis durch Netzstörungen nachteilig beeinflusst wird.

In der Ausgestaltung der Erfindung nach den Ansprüchen 6 und 7 wird im Schweissbetrieb verhindert, dass sich bei dem sättigungsabhängigen Ein- und Ausschalten ein schwingungsfähiger Zustand einstellt.

Die Verwendung der erfindungsgemässen Anordnung in einem Steuerungsverfahren gemäss Anspruch 8 führt zu einer überraschenden Vereinfachung der Bedienung und der Steuerung der Frequenzwandler-Schweisseinrichtung. Die Bedienung hinsichtlich der vorzuwählenden Parameter für die Schweissstromsteuerung wird vereinfacht, weil nur noch der Schweissstrom und die gesamte Schweisszeit vorgewählt zu werden brauchen, nicht aber die Aufteilung der Schweisszeit in eine bestimmte Anzahl von Teilschweissimpulsen, deren Anzahl bei dem herkömmlichen Steuerungsverfahren anhand des Sättigungsdiagramms so gewählt werden muss, dass der Schweissstrom nicht in den Sättigungsbereich gelangt. Da jeder Schweissimpuls im Rahmen der vorgewählten Schweisszeit so lange dauert, bis der sättigungsbezogene Schwellenwert erreicht ist, legt die Steuerung selbsttätig die Aufteilung der Schweisszeit in Einzelimpulse beliebiger Länge fest. Die Frequenzwandler-Schweisseinrichtung ist also von der Zuverlässigkeit der Parametereingabe durch einen Benutzer bei Verwendung der Sättigungsüberwachungsanordnung nach der Erfindung wesentlich weniger abhängig.

Damit die Sättigungsüberwachungsanordnung nach der Erfindung in die Steuerung einwirken kann, ist es lediglich erforderlich, ein digitales Signal mit den Zuständen «sättigungsbezogener Schwellenwert nicht erreicht» und «sättigungsbezogener Schwellenwert erreicht» zur Verfügung zu stellen. Zu diesem Zweck wird in der Detektorschaltung ein Gleichspannungssignal, das umgekehrt proportional zur Sättigung ist, durch einen Komparator mit einem Referenzwert verglichen. Ist die Gleichspannung grösser als der Referenzwert, liegt am Ausgang des Komparators eine logische 1 an, ist die Spannung kleiner, gibt er eine logische 0 ab. Durch einen Invertierer hinter dem Komparator können die logischen Signalwerte für die richtige Wertzuordnung vertauscht werden, so dass dann gilt «0» = «sättigungsbezogener Schwellenwert nicht erreicht» und «1» = «sättigungsbezogener Schwellenwert erreicht». Die üblicherweise bereits vorhandene Schweissstromsteuerung benötigt dann lediglich einen zusätzlichen digitalen Eingang für die vorgenannten Binärsignale und einen digitalen Ausgang für eine Alarmanzeige, sie benötigt aber nicht länger einen Impulzzähler, der feststellt, ob eine vorgewählte Impulzzahl erreicht ist, da keine Impulzzahl mehr vorzuwählen ist.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben.

Es zeigen

- die Fig. 1a–1b Erläuterungsdiagramme,
- Fig. 2 ein Sättigungsdiagramm eines stufenweise umschaltbaren Schweissstromtransformators,
- Fig. 3 ein Schaltbild einer Frequenzwandler-Schweissmaschine mit einer Sättigungsüberwachungsanordnung nach der Erfindung,
- Fig. 4 eine ausführlichere Darstellung des Kerns des Schweissstromtransformators nach Fig. 3 mit der magnetischen Flussaufteilung,
- Fig. 5 eine ausführlichere Darstellung der an den Schweissstromtransformator nach Fig. 3 angeschlossenen Sättigungsüberwachungsanordnung nach der Erfindung,
- Fig. 6 Kurvendiagramme, die im Betrieb der Frequenzwandlermaschine nach Fig. 3 bei Verwendung der Sättigungsüberwachungsanordnung nach der Erfindung gemessen worden sind,
- Fig. 7 ein Flussdiagramm der Steuerung einer Frequenzwandler-Schweissmaschine ohne die Sättigungsüberwachungsanordnung nach der Erfindung,
- Fig. 8 ein Flussdiagramm der Steuerung einer Frequenzwandler-Schweissmaschine mit der Sättigungsüberwachungsanordnung nach der Erfindung und
- Fig. 9 einen ausführlichen Schaltplan einer in der Sättigungsüberwachungsanordnung nach der Erfindung enthaltenen Detektorschaltung.

Fig. 3 zeigt eine Frequenzwandler-Schweissmaschine mit einem in Zick-Zack geschalteten Dreiphasen-Netztransformator TR1, auf dessen Ausgangsseite drei Paare gesteuerter Halbleiter in Form von Thyristoren TH1–TH6 in Antiparallelschaltung angeordnet sind. Durch wechselseitige Gleichrichtung werden dem Schweissstromtransformator TR2 positive bzw. negative Stromimpulse zugeführt. Die Amplitude dieser Ströme, ihre Zeitdauer sowie ihr zeitlicher Verlauf werden durch ein präzise arbeitendes Digital-Steuergerät 202 eingestellt, welches mittels entsprechender Steuersignale die drei Thyristorpaare ansteuert. Um eine Sättigung des Schweissstromtransformators TR2 zu vermeiden und diesen im magnetischen Gleichgewicht zu halten, sorgt das Steuergerät ausserdem für die richtige Polarität der aufeinanderfolgenden Impulse. Dabei wird das Steuergerät 202 zusätzlich durch eine Sättigungsüberwachungsanordnung unterstützt, die aus einer elektronischen Schaltung 203 und aus einer zusätzlich auf dem Kern 206 des Schweissstromtransformators TR2 angeordneten Messwicklung 208 besteht.

In Fig. 4 ist der Kern 206 des Schweissstromtransformators TR2 mit seinen Wicklungen ausführlicher dargestellt. Der Kern 206 hat einen Mittelschenkel 206a und zwei Aussenschenkel 206b, die durch Joche 206c miteinander verbunden sind. Auf dem Mittelschenkel 206a sind die Primärwicklung W1 und die Se-

kundärwicklung W2 auf dargestellte Weise angeordnet. Die Messwicklung 208 besteht aus zwei gleichen Messwicklungsteilen 208' und 208'', die jeweils auf einem der Joche 206c beiderseits des Mittelschenkels 206a angeordnet und in Reihe geschaltet sind. Jedes Joch 206c ist also mit der halben Windungszahl Nm der Messwicklung versehen. An die Messwicklung 208 wird auf im folgenden noch näher erläuterte Weise eine Messspannung angelegt. Die Flüsse, die durch die Messwicklungsteile 208' und 208'' erzeugt werden, heben sich in dem Mittelschenkel 206a auf, so dass die Messspannung den Schweissstrom des Transformators nicht beeinflusst. Der Fluss, der durch die Primärwicklung W1 induziert wird, erzeugt keine resultierende Spannung in der Messwicklung, da sich die Spannungen an den Wicklungsteilen 208', 208'' gegenseitig aufheben. Energieübertragung und Signalübertragung sind also vollständig entkoppelt.

Fig. 5 zeigt eine ausführlichere Darstellung der Sättigungsüberwachungsanordnung. An die Messwicklung 208 ist die elektronische Schaltung 203 angeschlossen, die eine Detektorschaltung 204 und einen Signalfrequenzgenerator 220 enthält. Der Signalfrequenzgenerator 220 ist mit der Messwicklung 208 verbunden, hat einen Innenwiderstand Ri von etwa 100 Ohm und erzeugt eine Rechteckspannung mit einer Signalfrequenz, die einen Wert in einem Bereich von 5 bis 20 kHz und vorzugsweise einen Wert von etwa 10 kHz hat. Die Messwicklung 208 hat einen hier vernachlässigbaren Ohmschen Widerstand und einen induktiven Widerstand, der von dem magnetischen Zustand des Kernes 206, vom Kernmaterial und von der Windungszahl abhängig ist. An die Verbindungen zwischen dem Signalfrequenzgenerator 220 und der Messwicklung 208 ist die Detektorschaltung 204 mit ihrem Eingang (Klemmen 2 und 3) parallel angeschlossen, und der Ausgang der Detektorschaltung 204 (Klemmen c22, 7-12) ist mit dem Steuergerät 202 verbunden (Fig. 3). Die Detektorschaltung 204 besteht aus einem Hochpassfilter 204a, das alle Frequenzen unterhalb von 1 kHz sperrt und alle Frequenzen oberhalb von 1 kHz durchlässt, aus einem Amplitudendemodulator 204b und aus einer Diskriminatorschaltung 204c. Das Filter 204a verhindert das Eindringen von Netzstörungen über den Schweissstromtransformator TR2 in die Detektorschaltung 204. Das Filter 204a liefert am Ausgang eine Sinusspannung mit einer Frequenz entsprechend der Generatorsignalfrequenz. Diese Spannung wird an dem Spannungsteiler, den der Innenwiderstand Ri und die Messwicklung 208 bilden, abgegriffen und stellt die resultierende Spannung dar, die an der Messwicklung 208 noch verfügbar ist. Wenn der Kern 206 durch die in der Primär- und in der Sekundärwicklung des Schweissstromtransformators TR2 fließenden Ströme gesättigt wird, verändert sich der magnetische Zustand des Kernes, und je mehr dieser gesättigt wird, um so kleiner wird der magnetische Widerstand der Spule und somit auch die Amplitude der Spannung, die an der Messwicklung 208 abgegriffen wird. Der Amplitudendemodulator 204b liefert an seinem Ausgang eine Gleichspannung, die zu der Amplitude Signalfrequenz-Sinusspannung $\hat{u}_f$ proportional ist. Die Amplitude der Spannung $\hat{u}_f$ ist ihrerseits proportional zu dem magnetischen Widerstand der Messwicklung 208, der direkt durch den Sättigungszustand des Kernes 206 beeinflusst wird. Je mehr der Kern 206 gesättigt wird, um so mehr magnetische Feldlinien gehen durch die Luft, wodurch der magnetische Widerstand der Messwicklung 208 um so kleiner wird, so dass schliesslich nur noch der kleine Kupferwiderstand derselben wirksam ist. Die Diskriminatorschaltung 204c ist weiter unten mit Bezug auf Fig. 9 beschrieben.

Fig. 6 veranschaulicht die Arbeitsweise der Sättigungsüberwachungsanordnung am Beispiel einer einimpulsigen Schweissung. Die Kurve in Fig. 6a zeigt Taktsignale, die durch einen in dem Steuergerät 202 enthaltenen Taktgeber (nicht dargestellt) erzeugt werden. Die Kurve 6d zeigt den Schweissstrom I_s (gemessen als Spannung u an einem Shunt). Die Kurve 6c zeigt das Ausgangssignal des Amplitudendemodulators 204b. Aus dem linken Teil von Fig. 6 ist somit zu erkennen, dass mit zunehmendem Schweissstrom I_s das Ausgangssignal des Amplitudendemodulators zunächst praktisch unverändert bleibt. Wenn sich der Schweissstrom dem Sättigung nähert, beginnt das Ausgangssignal des Amplitudendemodulators abzusinken. Wenn es einen sättigungsbezogenen Schwellenwert erreicht, dessen Erzeugung weiter unten unter Bezugnahme auf Fig. 9 und die Diskriminatorschaltung 204c beschrieben ist, wird ein in Fig. 6b dargestelltes Blockiersignal erzeugt (Komparator N11 in Fig. 9), das weitere Zündimpulse für die Thyristoren TH1-TH6 (Fig. 3) verhindert. Das Blockiersignal wird an der Klemme c22 in Fig. 9 abgegeben. Der sättigungsbezogene Schwellenwert wird so gewählt, dass eine Sättigung des Kernes 206 mit Sicherheit vermieden wird.

In dem Schaltbild in Fig. 9 sind der Signalfrequenzgenerator 220, das Filter 204a und der Amplitudendemodulator 204b jeweils mit strichpunktierten Linien umrahmt. Diese drei Schaltungselemente brauchen nicht im einzelnen beschrieben zu werden, weil es sich um handelsübliche Schaltungen handelt. Die in der Schaltung nach Fig. 9 verwendeten Bauelemente sind der am Schluss der Beschreibung angegebenen Stückliste zu entnehmen. Ausser den genannten Schaltungselementen ist in Fig. 9 die Diskriminatorschaltung 204c dargestellt, die den Komparator N11 enthält und mit der der sättigungsbezogene Schwellenwert eingestellt wird. Das Einstellen dieses Sättigungsschwellenwertes erfolgt an einem einstellbaren Widerstand R104. An diesem Widerstand wird eine Spannung abgegriffen, die an den invertierenden Eingang des Komparators N11 angelegt wird. An dem nichtinvertierenden Eingang 7 des Komparators N11 liegt die Ausgangsspannung des Amplitudendemodulators 204b an. Der Komparator N11 vergleicht beide Spannungen und löst bei Erreichen des Sättigungsschwellenwertes das Blockiersignal (Fig. 6b) aus, das an dem Ausgang c22 erscheint. Zwei parallel geschaltete Dioden V101 und V102 sind auf in Fig. 9 dargestellte Weise einerseits über Invertierer V3 mit dem Ausgang des Komparators N11 und andererseits

über einen Widerstand R105 mit dem invertierenden Eingang des Komparators N11 verbunden. Mit dieser Schaltung wird eine Hysterese erzeugt, damit der Sättigungsschwellenwert, der die Sättigungsüberwachungsanordnung zum Ansprechen bringt, grösser ist als derjenige, der sie wieder unwirksam macht. Anderenfalls könnte sich ein schwingungsfähiger Zustand ergeben.

Die Hysterese wird folgendermassen erzeugt. Die Einstellung des Widerstands R104 legt eine bestimmte Referenzspannung fest, bei der die Sättigungsüberwachungsanordnung ansprechen soll. Wenn sie angesprochen hat, wird diese Referenzspannung erhöht, damit der Schwellenwert für das Ausschalten (rechte Flanke des Blockiersignals in Fig. 6b) nicht der gleiche ist wie für das Einschalten. Die von dem Widerstand R104 gelieferte Referenzspannung an dem invertierenden Eingang 6 des Komparators N11 bleibt zunächst gleich, wogegen die an dem nichtinvertierenden Eingang 7 des Komparators N11 anliegende Messspannung mit zunehmender Annäherung an den Sättigungsbereich sinkt und unter die Referenzspannung abnimmt. Wenn die Messspannung die Referenzspannung unterschreitet, gibt der Komparator N11 das Binärsignal null ab, das durch den der Ausgangsklemme c22 vorgeschalteten Invertierer V3 in ein Binärsignal eins umgewandelt wird. Das gleiche Signal eins liegt auch an den Dioden V101 und V102 an und wird über den Widerstand R105 an den Referenzspannungseingang 6 des Komparators angelegt, wodurch nach dem Ansprechen der Sättigungsüberwachungsanordnung die Referenzspannung höher ist. Da die Referenzspannung nun höher ist, muss die Sättigung niedriger sein, um dieses Signal wieder in den Grundzustand zu schalten, und zwar niedriger als diejenige Sättigung, die das Ansprechen bewirkt hat. Somit liegt die Referenzspannung, die angezeigt hat, dass der Sättigungsschwellenwert erreicht und das Blockiersignal erzeugt wurde, etwas niedriger als diejenige Spannung, die dann anzeigt, dass der Sättigungsschwellenwert wieder unterschritten worden ist. Auf diese Weise kann der Schweissstrom auf jeden Fall sicher abgeschaltet und ausserdem bei Bedarf verhindert werden, dass der nächste Thyristor gleich wieder gezündet wird.

Im folgenden wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 1, 7 und 8 beschrieben, wie die Sättigungsüberwachungsanordnung eine herkömmliche Steuerung einer Frequenzwandler-Schweisssmaschine beträchtlich vereinfacht und verbessert. Der Benutzer der Schweisssmaschine stellt über eine Bedienungstafel mit Codierschaltern oder über eine Dialogkonsole den gewünschten Schweissablauf ein. Dazu muss eine Reihe verschiedener Steuerparameter eingestellt werden, oder, wenn eine Mikrosteuerung vorhanden ist, vorprogrammiert sein. Für den einfachsten Fall der herkömmlichen Steuerung sind das die Druckparameter (Vorpresszeit, Nachpresszeit und Abhebezeit von jeweils 0...99 Perioden), und die Stromparameter, nämlich die Schweisszeit t_s (Fig. 1b) von 0...7 Perioden, die Pausenzeit von 1...99 Perioden, die Impulszahl von 1...999 Perioden, der Anfangsstrom I_A (Fig. 1a) von 30...95%, die Anstiegszeit t_A (Fig. 1a) von 0...79 Perioden und der Schweissstrom I_s von 30...99%. Alle Zeiten werden dabei in Perioden gemessen, d.h. in Perioden der Netzfrequenz. Für das folgende Beispiel werden nur die Stromparameter betrachtet und angenommen, dass zwischen den Schweissstromimpulsen keine Pausenzeiten liegen (Fig. 1b).

Bei dem herkömmlichen Steuerverfahren wird gemäss dem Mindestprogramm nach Fig. 7 durch den Maschinenbenutzer die Anfangspolarität des Schweissstromes eingestellt. Ausserdem hat er eine bestimmte Anzahl von Schweissimpulsen einzustellen (in dem Beispiel in Fig. 1b sind es drei Schweissimpulse). Ein in dem Steuergerät 202 enthaltener Impulszähler, der zunächst rückgesetzt wird, stellt fest, ob die eingestellte Impulszahl bereits abgearbeitet worden ist oder nicht. Wenn das nicht der Fall ist, wird der Periodenzähler rückgesetzt, damit dieser durch Zählung der Netzperioden für einen Schweissimpuls feststellen kann, ob die eingestellte Schweisszeit t_s bereits erreicht ist oder nicht. Da er auf null rückgesetzt wurde, ist noch keine Schweisszeit abgearbeitet, weshalb das Ergebnis NEIN lautet. Gemäss der Einstellung des Schweissstromes wird nun der Zündwinkel für die Phasenanschnittsteuerung eingestellt, damit der gewünschte Schweissstrom erreicht werden kann. Dann wird die Thyristorzündung für eine Netzperiode freigegeben und der Periodenzähler um eins erhöht, weil die Freigabe für eine Periode erfolgt ist. Danach prüft der Periodenzähler wieder, ob die Schweisszeit bereits erreicht ist. Das ist wiederum nicht der Fall, es wird wieder ein Zündimpuls erzeugt, der Periodenzähler wird wieder um eins erhöht, usw., bis der Periodenzähler feststellt, dass die Schweisszeit t_s zu Ende ist. Die Abfrage an dem Periodenzähler ergibt dann JA, was bewirkt, dass die Polarität des Schweissstromes gewechselt wird. Der Periodenzähler wird wieder rückgesetzt, und der gleiche Vorgang spielt sich für einen Schweissimpuls entgegengesetzter Polarität ab.

Das Flussdiagramm in Fig. 8 hat im wesentlichen den gleichen Aufbau wie das Flussdiagramm in Fig. 7, nur entfällt hier der Impulszähler, weil als Schweisszeit nicht die Zeit t_s' eines Teilschweissimpulses angenommen wird, sondern die gesamte Schweisszeit t_s (vgl. die Fig. 1a und 1b). Ausserdem wird nach dem Vergleich des Periodenzählerinhalts mit der Schweisszeit stets festgestellt, ob der Sättigungsschwellenwert bereits erreicht ist oder nicht. Diese unter Berücksichtigung der Sättigungsüberwachung arbeitende Steuerung hat somit folgenden Ablauf.

Zunächst wird wieder die Anfangspolarität des Schweissstromes eingestellt (der Schweissstrom I_s selbst wird später durch den Zündwinkel eingestellt). Der Periodenzähler wird auf null rückgesetzt. Da sein Inhalt null ist, also kleiner als die eingestellte Schweisszeit, lautet die Antwort NEIN. Die Frage, ob die Sättigung erreicht ist, ist ebenfalls mit NEIN zu beantworten, weil der Schweissvorgang noch nicht begonnen hat. Dann wird der Zündwinkel für die Phasen R, S und T gemäss der Einstellung des

Schweisstromes vorgewählt, in diesem Schritt also der Schweisstrom I_s eingestellt. Die Thyristorzündung wird für eine Netzperiode freigegeben, so dass nun der Schweisstrom für eine Netzperiode fliesst, und der Periodenzähler wird um eins erhöht. Die Prüfung, ob die Sättigung erreicht ist, ergibt wieder NEIN, weil nach einer Netzperiode der Sättigungsschwellenwert nicht erreicht worden sein kann. Dann wird erneut für eine Netzperiode geschweisst, usw., bis der Sättigungsschwellenwert erreicht ist.

Der wesentliche Unterschied zwischen der Steuerung nach Fig. 8 und der herkömmlichen Steuerung nach Fig. 7 besteht darin, dass die Schweissimpulslänge nicht mehr auf eine bestimmte Periodenzahl begrenzt wird, sondern dass der Impuls so lang gemacht wird, bis der Schweisstransformator den Sättigungsschwellenwert erreicht. Es wird also mit einer Impulslänge gearbeitet, die der Maschinenbenutzer vorher nicht einzustellen braucht und vorher auch nicht wissen kann.

Wenn ein Schweissimpuls beendet ist, wird die Polarität des Schweisstromes I_s gewechselt. Dann wird mit dem entgegengesetzten Schweissimpuls geschweisst, bis wieder der Sättigungsschwellenwert erreicht ist. Falls das Ende der Schweisszeit vorher erreicht werden sollte, wird das Schweißen selbstverständlich beendet, bevor der Sättigungsschwellenwert erreicht wird. Bei der Steuerung nach Fig. 7 kann der Schweisstransformator unerwünschtermassen in den Sättigungsbereich gelangen, wenn der Maschinenbenutzer anhand des Sättigungsdiagramms nach Fig. 2 für eine bestimmte Transformatorstufe eine ungeeignete Teilschweissimpulszahl gewählt hat, was eingangs näher dargelegt worden ist. Bei der Steuerung nach Fig. 8 hat der Benutzer in dem gewählten Beispiel lediglich noch den Schweisstrom und die gesamte Schweisszeit t_s einzustellen, und die Aufteilung dieser Schweisszeit auf die Teilimpulse macht dann die Steuerung selbsttätig in Abhängigkeit von der Überwachung des Sättigungsschwellenwertes. Bei diesem Steuerverfahren sind auch keine gleichlangen Teilimpulse mehr erforderlich, denn die Umschaltung von einem Teilimpuls auf den anderen erfolgt stets in Abhängigkeit von dem Sättigungsschwellenwert, so dass nach dem Umschalten von einem ersten auf einen zweiten Impuls der zweite Impuls ohne weiteres länger sein kann als der erste Impuls.

Die in Fig. 6d dargestellte Kurve wurde einem Versuchsaufbau entnommen, weshalb der Schweisstrom I_s nach der Vorderflanke des Blockiersignals (linke Flanke in Fig. 6b) nicht sofort auf null abgesunken ist, obgleich der Sättigungsschwellenwert bereits erreicht wurde. Der Grund liegt darin, dass der zuletzt leitende Thyristor erst dann zu leiten aufhört, wenn der durch ihn fliessende Strom auf null abgesunken ist. In dem Versuchsaufbau wurde nur der durch einen Thyristor erzeugte Schweissimpuls untersucht, also im Anschluss an das Abschalten von dessen Zündimpulsen kein weiterer Thyristor mit umgekehrter Polung gezündet. Im praktischen Fall wird nach dem Abschalten der Zündung des leitenden Thyristors der nächste Thyristor mit entgegengesetzter Polarität gezündet, der dann den Strom auf null und in die entgegengesetzte Richtung zieht, so dass der in Fig. 6d zu erkennende Ausschwingvorgang entfällt.

Liste der verwendeten Bauelemente (Schaltung nach Fig. 9):

	Bezugszeichen	Benennung/Merkmale			
5	C1	Tantalkondensator	22 μ F	10%	35 V
	C2	Tantalkondensator	22 μ F	10%	35 V
	C3	Vielschicht Ker.kond.	10 nF	10%	50 V
	C4	Vielschicht Ker.kond.	22 nF	10%	50 V
10	C6	Polypropylenkondensat.	10 nF	1%	63 V
	C7	Polypropylenkondensat.	10 nF	1%	63 V
	C8	Polypropylenkondensat.	10 nF	1%	63 V
	C9	Vielschicht Ker.kond.	220 nF	10%	50 V
15		CW30C224M245 B37984-J5224-K			
	C14	Vielschicht Ker.kond. CW20C473M242 B37987-J5473-K	47 nF	10%	50 V
	N1	Operationsverstärker LF411CN	J-FET		
20	N2	4-Fach-Komparator	LM 339		
	N4	Operationsverstärker LF411CN	J-FET		
	N5	Operationsverstärker LF411CN	J-FET		
	N6	Operationsverstärker LF411CN	J-FET		
25	N10	2-Fach-Operationsverst.	LM358N		
	N11	Komparator	MC1556		
	R1	Metallschichtwid.	20 kOhm	1%	1/4 W
30	R2	Metallschichtwid.	20 kOhm	1%	1/4 W
	R3	Metallschichtwid.	20 kOhm	1%	1/4 W
	R4	Kohleschichtwid.	10 kOhm	5%	1/5 W
	R5	Kohleschichtwid.	22 kOhm	5%	1/5 W
35	R6	Kohleschichtwid.	1 MOhm	5%	1/5 W
	R7	Kohleschichtwid.	1,8 kOhm	5%	1/5 W
	R8	Kohleschichtwid.	3,9 kOhm	5%	1/5 W
	R9	Kohleschichtwid.	150 kOhm	5%	1/5 W
40	R10	Kohleschichtwid.	1 kOhm	5%	1/5 W
	R11	Kohleschichtwid.	6,8 kOhm	5%	1/5 W
	R12	Kohleschichtwid.	27 Ohm	5%	1/5 W
45	R13	Kohleschichtwid.	27 Ohm	5%	1/5 W
	R14	Kohleschichtwid.	100 Ohm	5%	1/5 W
	R21	Metallschichtwid.	47 kOhm	1%	1/4 W
	R22	Metallschichtwid.	2,2 kOhm	1%	1/4 W
50	R23	Metallschichtwid.	2,2 kOhm	1%	1/4 W
	R24	Metallschichtwid.	2,2 kOhm	1%	1/4 W
	R25	Metallschichtwid.	2,2 kOhm	1%	1/4 W
	R26	Metallschichtwid.	5,6 kOhm	1%	1/4 W
55	R27	Metallschichtwid.	47 kOhm	1%	1/4 W
	R28	Metallschichtwid.	47 kOhm	1%	1/4 W
	R29	Metallschichtwid.	10 kOhm	1%	1/4 W
60	R30	Metallschichtwid.	10 kOhm	1%	1/4 W
	R31	Metallschichtwid.	4,7 kOhm	1%	1/4 W
	R32	Metallschichtwid.	10 kOhm	1%	1/4 W

65

Liste der verwendeten Bauelemente (Schaltung nach Fig. 9) (Fortsetzung):

	Bezugszeichen	Benennung/Merkmale			
5	R33	Metallschichtwid.	10 kOhm	1%	1/4 W
	R47	Metallschichtwid.	15 kOhm	1%	1/4 W
	R48	Metallschichtwid.	680 Ohm	1%	1/4 W
	R49	Kohleschichtwid.	100 kOhm	5%	1/5 W
10	R50	Kohleschichtwid.	100 kOhm	5%	1/5 W
	R69	Metallschichtwid.	10 kOhm	1%	1/4 W
	R101	Metallschichtwid.	390 Ohm	1%	1/4 W
	R102	Drahtpotentiometer	1 kOhm	1%	1/4 W
15	R103	Metallschichtwid.	2 kOhm	1%	1/4 W
	R104	Drahtpotentiometer	1 kOhm	1%	1/4 W
	R105	Metallschichtwid.	1 kOhm	1%	1/4 W
20	V1	Kleinsignaltransistor 1N4448/BAX 13	NPN	50 V	4 nS
	V6	Schnelle Diode 1N4448/BAX 13	75 mA	50 V	4 nS
	V7	Schnelle Diode 1N4448/BAX 13	75 mA	50 V	4 nS
	V101	Diode 1N4148/BAX 13			
25	V102	Diode 1N4148/BAX 13			

Patentansprüche

1. Anordnung für eine Frequenzwandler-Schweisseinrichtung zur Überwachung der Sättigung des Schweißstransformators, der aus durch ein Steuergerät gesteuerten Leistungshalbleitern positive und negative Stromimpulse empfängt und einen Kern mit drei Schenkeln aufweist, von denen der Mittelschenkel die Primär- und die Sekundärwicklung trägt, gekennzeichnet durch eine Messwicklung (208), die auf zwei von dem Mittelschenkel (206a) ausgehende Joche (206c) aufgeteilt ist und deren beide Messwicklungsteile (208', 208'') in Reihe geschaltet sind, durch einen an die Messwicklung (208) angeschlossenen Generator (220) zum Erzeugen einer Messspannung bestimmter Frequenz und durch eine parallel zu dem Generator (220) an die Messwicklung (208) angeschlossene Detektorschaltung (204), welche die am Widerstand der Messwicklung (208) auftretende Messspannung mit einer Referenzspannung vergleicht, um ein die Ansteuerung der Leistungshalbleiter (TH1-TH6) blockierendes Signal (Fig. 6b) zu erzeugen, wenn der induktive Widerstand der Messwicklung (208) einen auf die Sättigung bezogenen Schwellenwert unterschreitet.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Generator (220) ein Signalfrequenzgenerator ist und eine Rechteckspannung mit einer Frequenz in einem Bereich von 5 bis 20 kHz erzeugt.
3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Signalfrequenzgenerator (220) eine Rechteckspannung mit einer Frequenz von 10 kHz erzeugt.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektorschaltung (204) aus einem Filter (204a), einem Amplitudendemodulator (204b) und einer Diskriminatorschaltung (204c) besteht.
5. Anordnung nach den Ansprüchen 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Filter alle Frequenzen ab 1 kHz durchlässt.
6. Anordnung nach Anspruch 4 oder 5, gekennzeichnet durch eine an die Diskriminatorschaltung (204c) angeschlossene Hystereseschaltung (V101, V102, R105) zum Erhöhen einer dem Schwellenwert des induktiven Widerstandes der Messwicklung (208) entsprechenden Referenzspannung nach jedem Erreichen des Schwellenwertes.
7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Diskriminatorschaltung (204c) einen Komparator (N11) enthält, dessen nichtinvertierender Eingang mit dem Ausgang (5) des Amplitudendemodulators (204b) verbunden ist, dessen invertierender Eingang mit einem Spannungsteiler (R103, R104) zum Einstellen der dem Schwellenwert entsprechenden Referenzspannung verbunden ist und dessen Ausgang sowohl mit dem Steuergerät (202) als auch über eine Dioden- und Widerstandsschaltung (V101, V102, R105) mit seinem invertierenden Eingang verbunden ist.
8. Verwendung einer Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 für ein Verfahren zur Steuerung einer Frequenzwandler-Schweisseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die gesamte Schweisszeit für ein Schweissspiel gleichstrommässig vorgewählt wird und dass sowohl beim Ein- als auch beim Mehrimpulsschweißen der Schweissstrom innerhalb der vorgewählten Schweisszeit stets bis zum Erreichen des sättigungsbezogenen Schwellenwertes erzeugt wird.

Fig. 1a

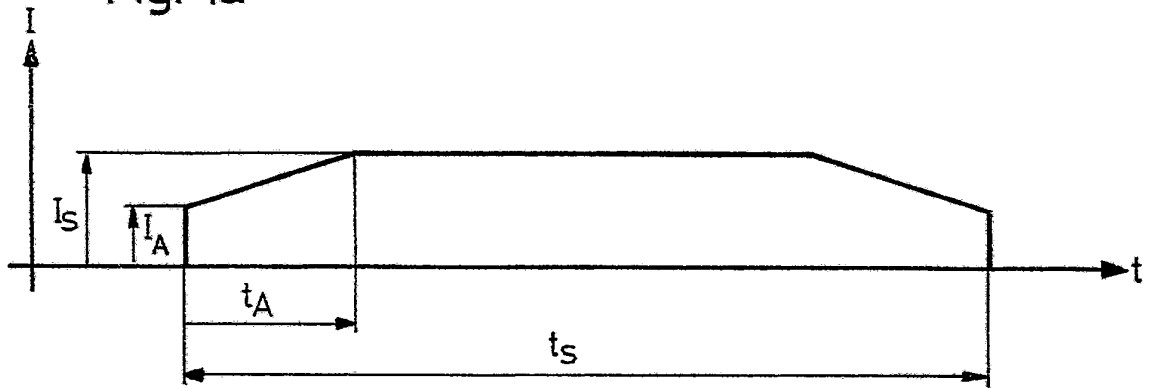


Fig. 1b

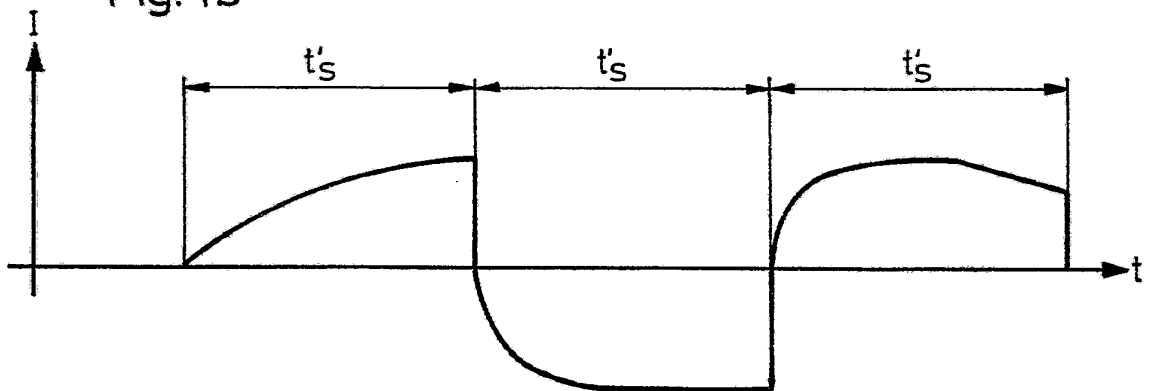


Fig. 1c

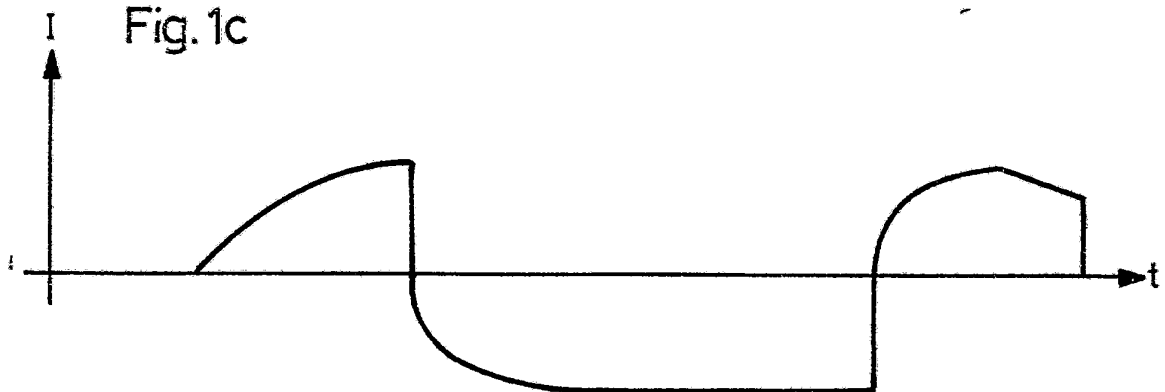
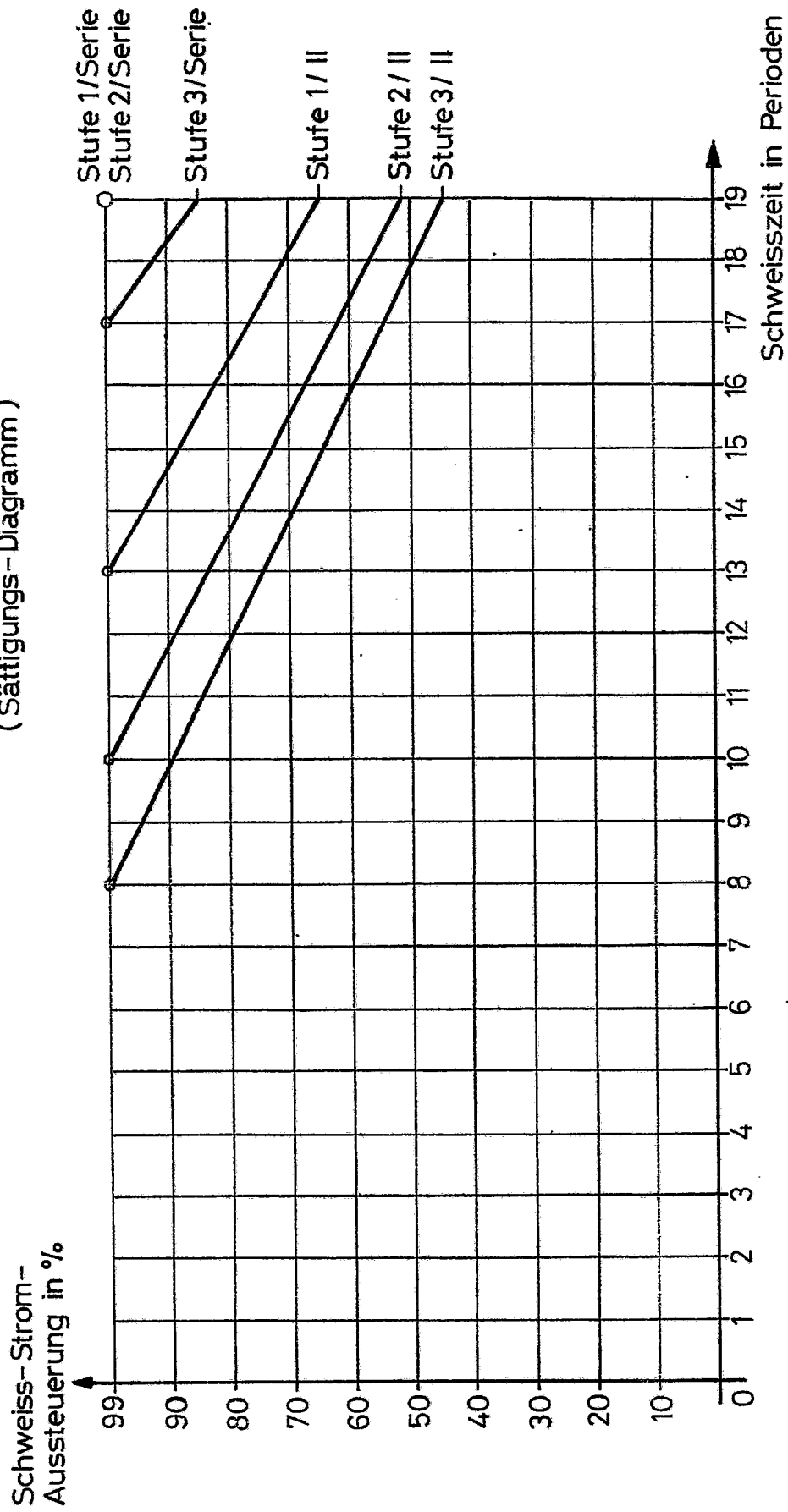


Fig. 2 Maximale Schweiß-Strom-Aussteuerung
(Sättigungs-Diagramm)



gemessen mit offenem Sekundär-Kreis
Grundlast - Widerstand: $2 \times 9 \Omega$ II = $4,5 \Omega$

Fig. 3

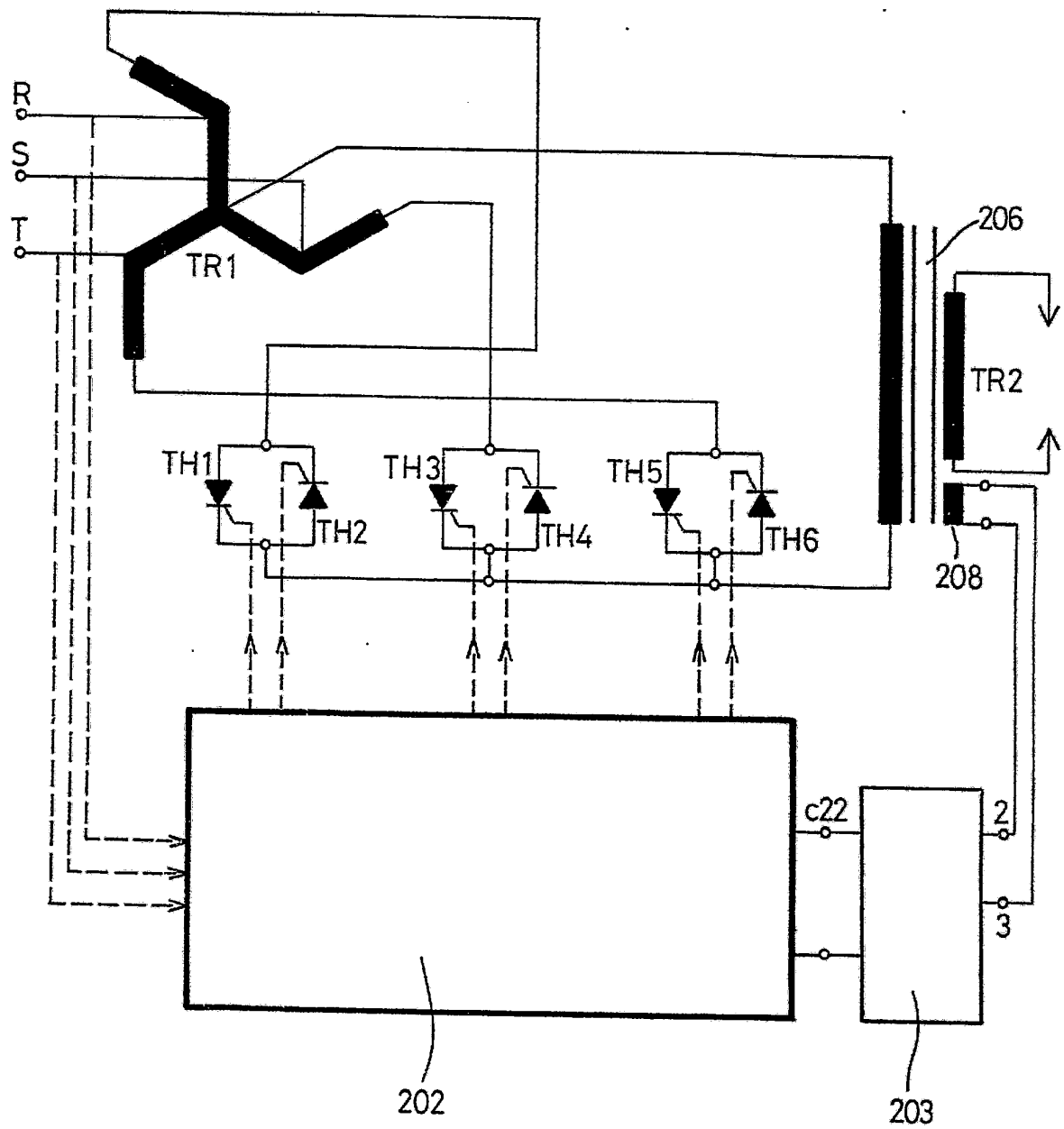


Fig. 4

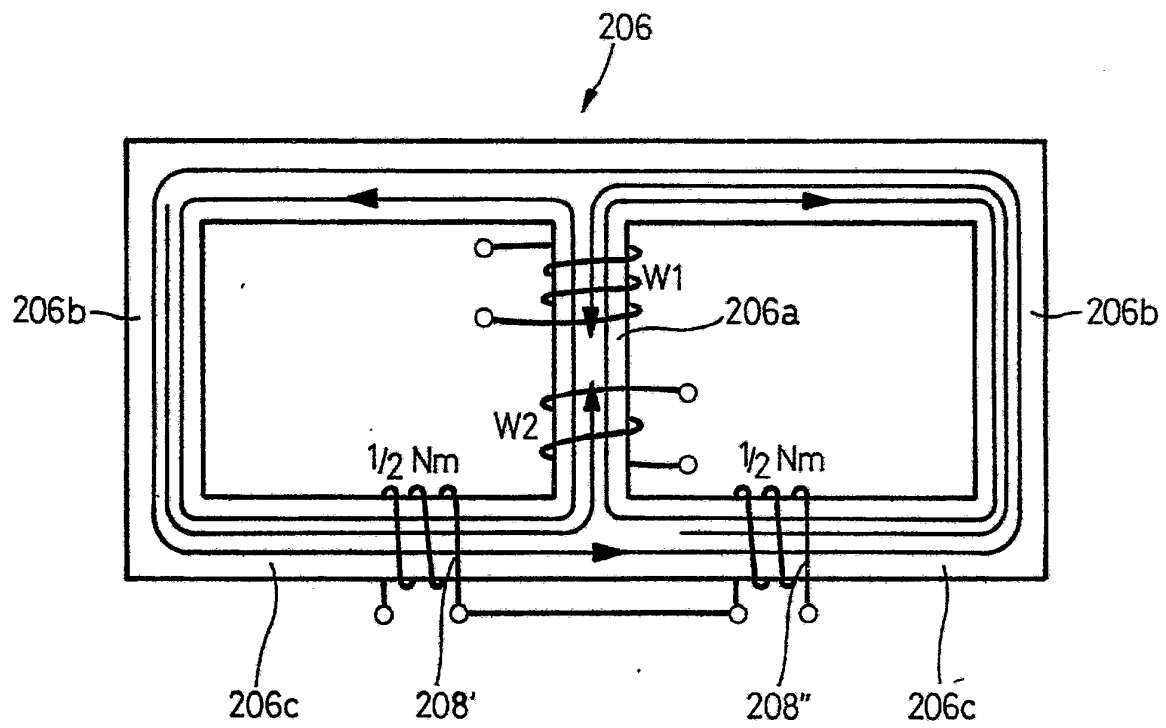


Fig. 5

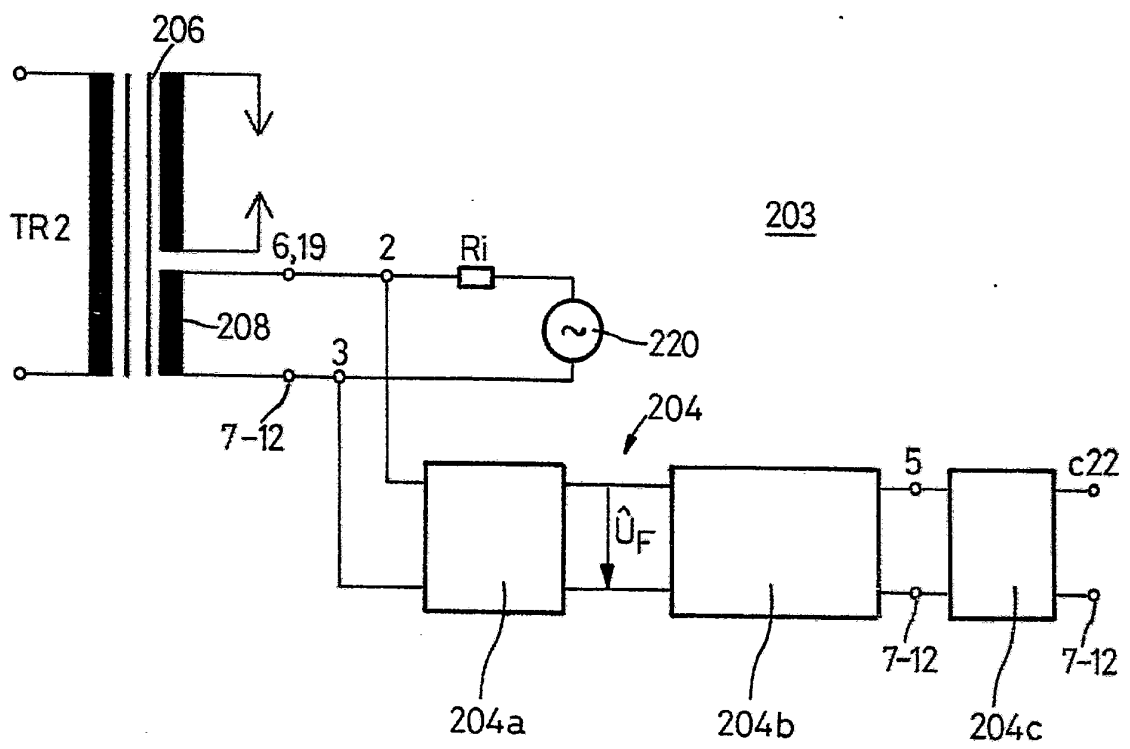


Fig. 6

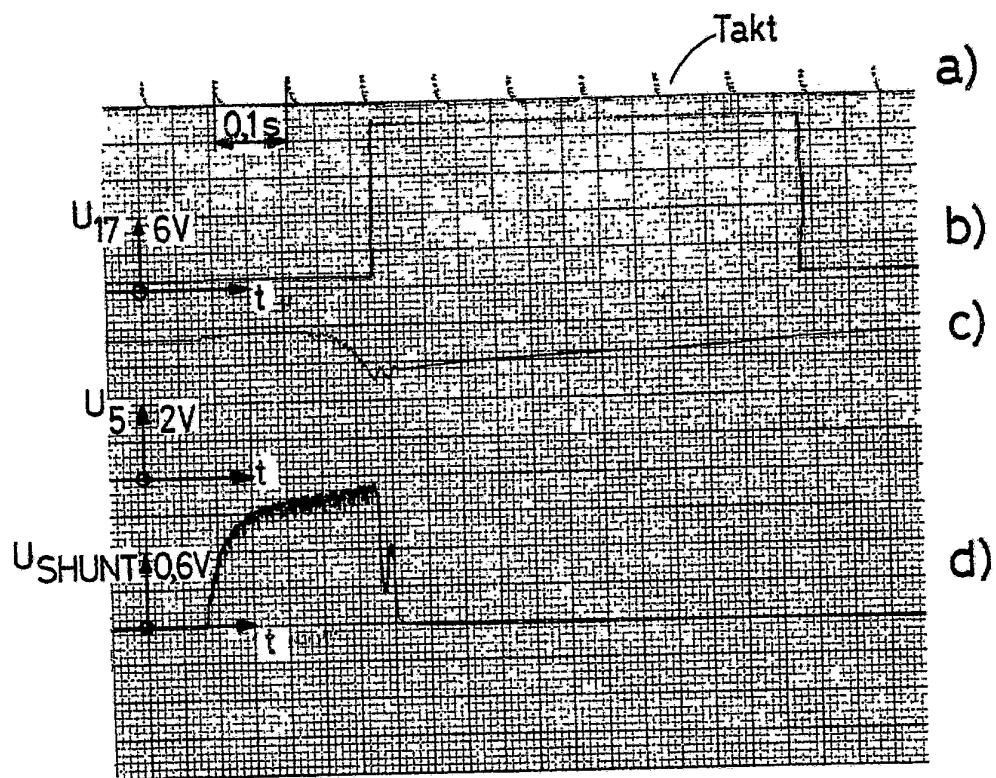


Fig. 7

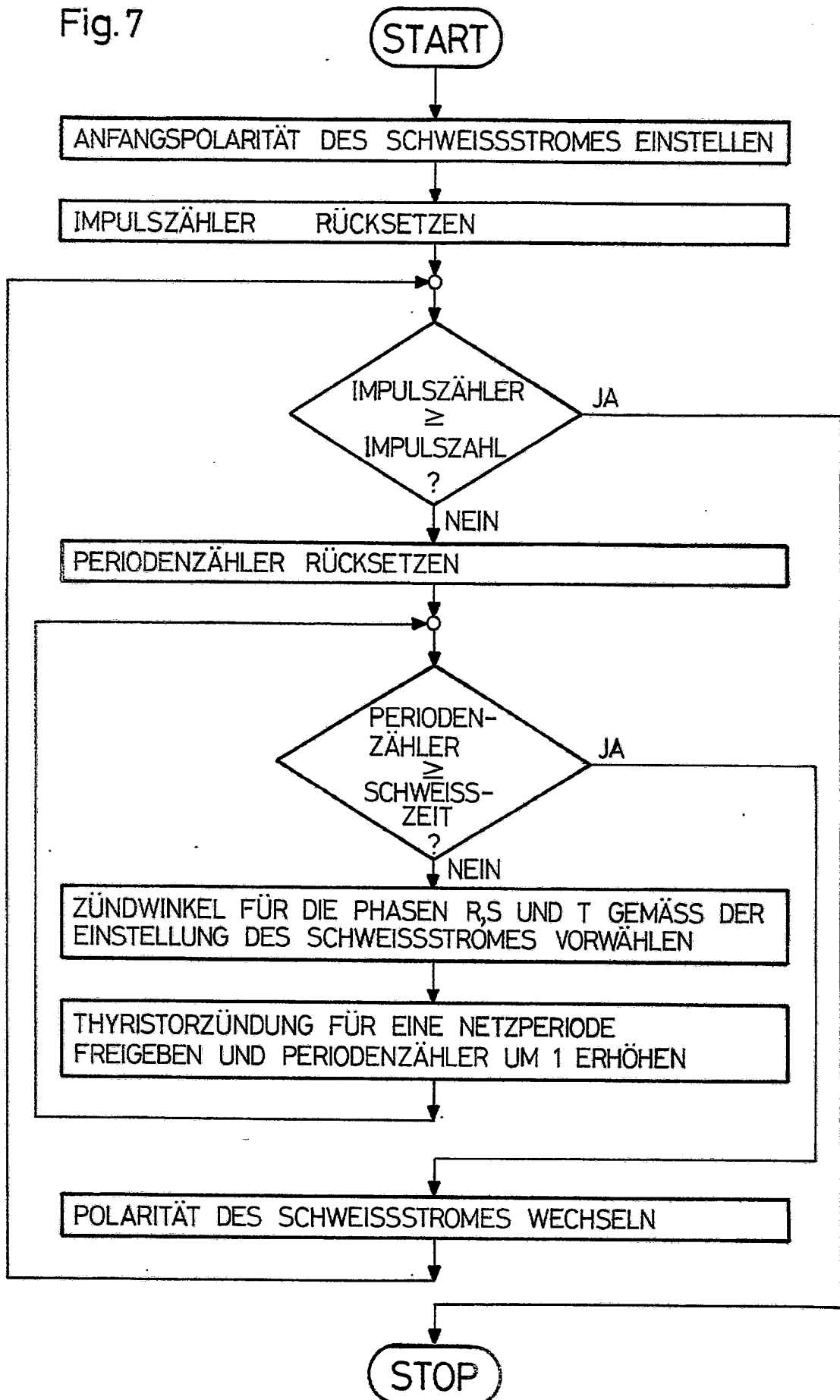


Fig. 8

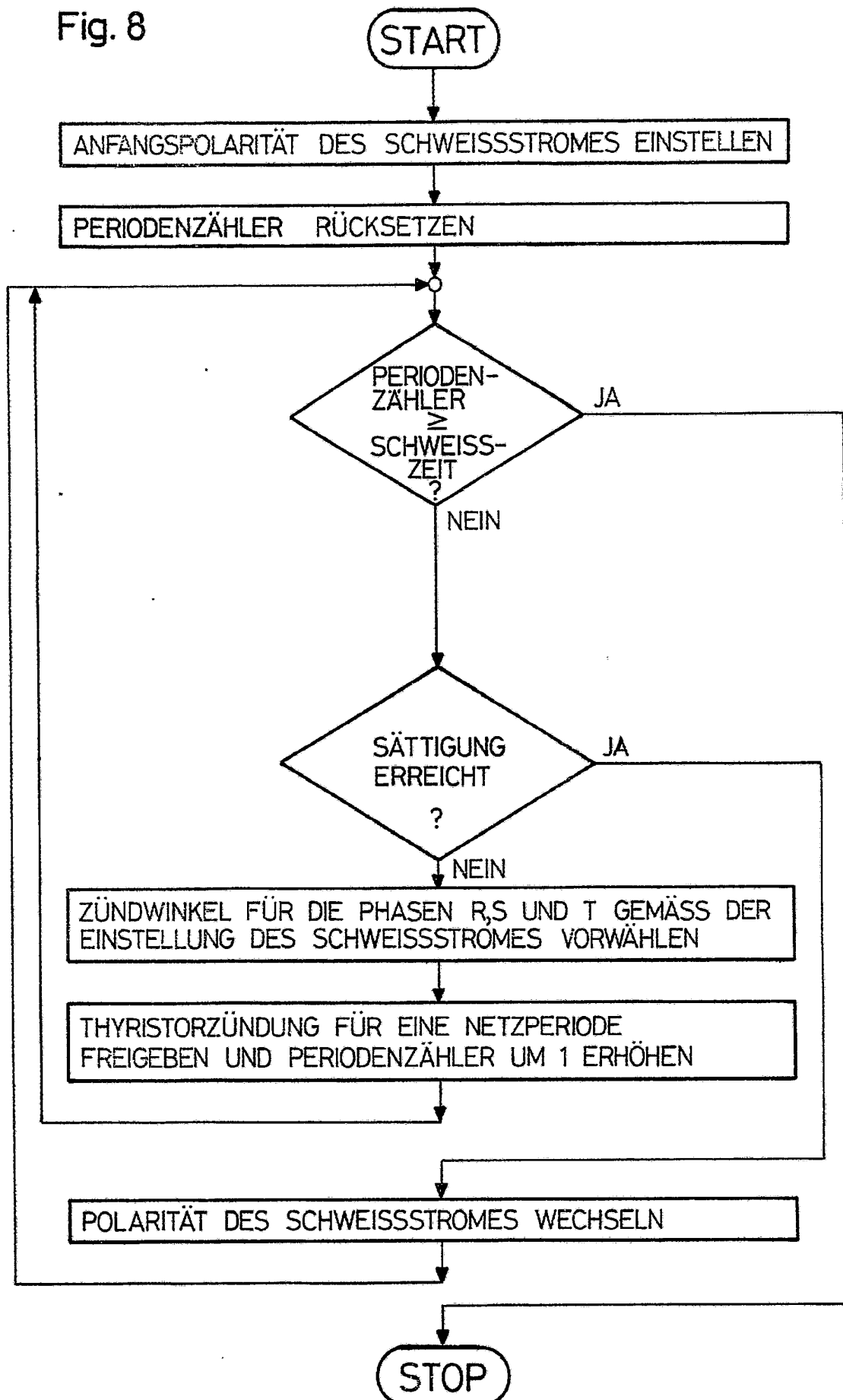


Fig. 9

