



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 667 410 A5

⑤① Int. Cl. 4: B 23 K 11/24

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

⑫ PATENTSCHRIFT A5

②① Gesuchsnummer: 3892/85

⑦③ Inhaber:
Elpatronic AG, Zug

②② Anmeldungsdatum: 10.09.1985

⑦② Erfinder:
Mettler, Paul, Bremgarten AG

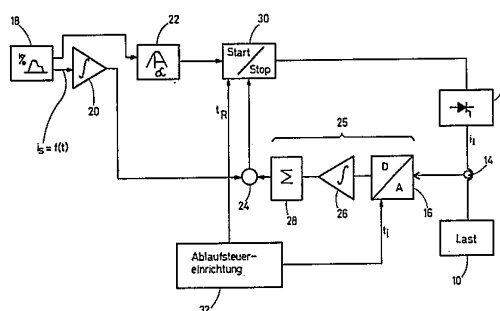
②④ Patent erteilt: 14.10.1988

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 14.10.1988

⑦④ Vertreter:
Soudronic AG, Bergdietikon

⑤④ Verfahren und Anordnung zum Regeln des Schweissvorganges bei einer Widerstandsschweissmaschine.

⑤⑦ Beschrieben sind ein Verfahren und eine Anordnung zum Regeln des Schweissvorganges bei einer Widerstandsschweissmaschine durch Abfühlen des Schweissstromes und Steuern der Schweisszeit. Ein erster Integrator (20) bestimmt die einem Schweisspunkt zuzuführende Soll-Gesamtenergie aus einem mittels eines Funktionsgebers (18) vorgegebenen Soll-Schweisstrom und einer vorgegebenen Schweisszeit. Eine mit dem Schweissstromfühler (14) verbundene Integriereinrichtung (25) bestimmt die zugeführte Ist-Energie. Ein Vergleich (24) vergleicht die Soll-Gesamtenergie mit der Ist-Energie, um den Schweissstrom mittels eines Start/Stop-Moduls (30) bei Soll-Istwert-Gleichheit abzuschalten. Auf diese Weise werden Netzspannungsschwankungen durch Verlängern oder Verkürzen der Zeit, in welcher dem Schweisspunkt Energie zugeführt wird, kompensiert, um die Güte der Schweissung von Schweisspunkt zu Schweisspunkt sicherzustellen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Regeln des Schweissvorganges bei einer Widerstandsschweissmaschine durch Abfühlen des Schweissstromes und Steuern der Schweisszeit, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Vorgeben des Soll-Schweissstromes i_s und Bestimmen der zuzuführenden Soll-Gesamtenergie aus dem Sollwert-Integral $\int i_s^2 dt$ über einer vorgegebenen Schweisszeit t_R ,
- b) Messen des Ist-Schweissstromes i_i ,
- c) Bestimmen der zugeführten Ist-Energie aus dem Istwert-Integral $\int i_i^2 dt$,
- d) Vergleichen der zugeführten Ist-Energie mit der Soll-Gesamtenergie, und, sobald die Ist-Energie mit dem Sollwert-Integral übereinstimmt,
- e) Abschalten des Schweissstromes,
- f) Wiederholen der Schritte a) – e).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt b) in festen Intervallen t_i ausgeführt wird und dass in dem Schritt c) die zugeführte Ist-Energie für jeden gemessenen Strom über jedem Intervall t_i bestimmt, jeweils saldierend abgespeichert und dann in dem Schritt d) mit der Soll-Gesamtenergie verglichen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als vorgegebene Schweisszeit t_R die Schweisszeit für einen Schweisspunkt oder ein Teil derselben gewählt wird, wobei in letzterem Fall sich an das Abschalten des Schweissstromes das Einstellen eines neuen Soll-Stromes unmittelbar anschliesst.

4. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einem Schweissstromfühler sowie mit einer Ablaufsteuereinrichtung und einem Start/Stop-Modul zum Steuern der Schweisszeit, gekennzeichnet durch einen ersten Integrator (20) zum Bestimmen der zuzuführenden Soll-Gesamtenergie aus einem mittels eines Funktionsgebers (18) vorgegebenen Soll-Schweissstrom und einer vorgegebenen Schweisszeit,

durch eine mit dem Schweissstromfühler (14) verbundene Integriereinrichtung (25) zum Bestimmen der zugeführten Ist-Energie,

durch einen mit dem ersten Integrator (20) und der Integriereinrichtung (25) verbundenen Soll-Gesamtenergie/Ist-Energie-Vergleicher (24) zum Abschalten des Schweissstromes mittels des Start/Stop-Moduls (30) bei Soll-Istwert-Gleichheit durch Übersteuern der Ablaufsteuereinrichtung (32).

5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Integriereinrichtung (25) ein zweiter Integrator (26) mit einem vorgeschalteten A/D-Wandler (16) und einem nachgeschalteten Speicher (28) ist und dass die Ablaufsteuereinrichtung (32) einen mit dem A/D-Wandler (16) verbundenen Intervallausgang (t_i) und einen mit dem Start/Stop-Modul (30) verbundenen Schweisstaktausgang (t_R) hat.

6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des Funktionsgebers (18) über einen Stellwerttabellen-Modul (22) mit dem Start/Stop-Modul (30) verbunden ist.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln des Schweissvorganges bei einer Widerstandsschweissmaschine durch Abfühlen des Schweissstromes und Steuern der Schweisszeit. Ausserdem betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Durchführung dieses Verfahrens, mit einem

Schweisstromfühler sowie mit einer Ablaufsteuereinrichtung und einem Start/Stop-Modul zum Steuern der Schweisszeit.

Aus der US-A-3 586 815 ist es bekannt, die Dauer des Schweissstroms in einem Schweisspiel durch Abfühlen eines vorgewählten Widerstands in dem Schweissstromkreis zwischen den Schweisselektroden zu steuern. Bei älteren Schweissystemen, bei denen eine vorbestimmte voreinstellbare Impulszahl gezählt und die Schweisszeit beim Erreichen dieser Impulszahl beendet wird, ist es nicht möglich, Veränderungen in den zu verschweisenden Materialien, des auf das Schweissgut ausgeübten Druckes, des Oberflächenzustands, der Netzspannung usw. zu berücksichtigen. Zur Beseitigung dieses Nachteils wird deshalb gemäss der US-A-3 586 815 die Dauer der Schweisszeit automatisch gesteuert, während der den Schweisselektroden elektrische Energie zugeführt wird. Zu diesem Zweck werden die Elektrodenspannung und der Schweissstrom abgefühlt und benutzt, um daraus den Widerstand zwischen den Schweisselektroden zu bestimmen, und die Schweissung wird beendet, sobald eine vorgewählte Änderung im Schweisswiderstand festgestellt wird. Es ist also erforderlich, zwei Parameter, nämlich die Spannung und den Strom zu bestimmen und daraus den Widerstand zwischen den Schweisselektroden zu ermitteln. Auf diese Weise sollen Faktoren, die einen nachteiligen Einfluss auf die Güte des Schweissergebnisses haben können, wie beispielsweise Netzspannungsänderungen, ausgeschaltet werden. Das Bestimmen von zwei Parametern zum Ermitteln eines dritten Parameters ist ein fehlerbehaftetes Verfahren, das zusätzlich mit dem Nachteil behaftet ist, dass sich gewisse Bedingungen bei der Schweissung ändern können, die eine Veränderung der abgeführten Spannung oder des abgeführten Stroms ohne eine korrelative Änderung des Schweisswiderstands verursachen können. Es ist deshalb erforderlich, die Dauer der Abtastzeit gemäss gewissen elektrischen Bedingungen der Last zu verändern. Es wird deshalb insbesondere die Amplitude des Laststroms abgefühlt und die Abtastzeit gemäss Änderungen im abgeführten Laststrom verändert, wobei von der Annahme ausgegangen wird, dass beispielsweise ein grosser Laststrom auf einen Anstieg der Netzspannung zurückzuführen ist. Es muss also zusätzlicher Aufwand für Änderungen getrieben werden, die sich zwar auf die abgeführte Spannung oder den abgeführten Strom auswirken, aber überhaupt keine Widerstandsänderung verursachen.

Die US-A-4 289 951 beschreibt ein Leistungsfaktorüberwachungs- und -regelsystem, mittels welchem Verzerrungen der Netzspannungswellenform, die durch mehrere gleichzeitig an derselben Netzleitung betriebene Schweisseinrichtungen verursacht werden und verhindern, dass der Netzspannungsnulldurchgang als genauer Referenzpunkt für die Zeitsteuerung benutzt werden kann, kompensiert werden, indem Widerstandsänderungen abgefühlt werden, die bei der Bildung der Schweissung in der Sekundärwicklung eines Schweissstromtransformators auftreten. Durch Messen der Widerstandsänderung, die in Beziehung zur Schweissgüte steht, in der Sekundärwicklung des Schweissstromtransformators und durch Abfühlen der Leistungsfaktoränderung im Primärkreis des Schweissstromtransformators lassen sich Überwachungs- und Vorrichtungen in den Zuleitungen zu den Schweisselektroden vermeiden. Durch Vergrössern oder Verkleinern des Schweissstroms wird dann die bei der Schweissung zugeführte Energie geregelt.

Die DE-A-3 113 250 beschreibt ein Verfahren und eine Einrichtung zur Überwachung und Regelung einer Widerstandsschweissung, um Änderungen solcher Faktoren wie Netzspannung, Werkstoffdicke und Elektroden Durchmesser zu kompensieren, um die Sollscheissqualität ohne erhebli-

che Änderung der Sollschiesszeit zu erreichen. Zu diesem Zweck wird der Widerstand der Schweißbuckel überwacht, um den Schweißstrom aufgrund eines ermittelten ΔR -Sollwerts zu regeln, ohne die Schweißzeit merklich zu beeinflussen. Es werden dafür die Widerstandswerte von Schweißbuckeln und die Geschwindigkeit der Widerstandsänderung während der Aufheizphase der Schweißung überwacht, und die gemessenen Widerstandswerte werden mit einer vorgegebenen Sollwiderstandskurve verglichen. Wenn die Vergleichsergebnisse eine vorgesehene Schweißzeit ergeben, die wesentlich grösser oder kleiner als die Sollschiesszeit ist, erfolgt eine dynamische Änderung des Schweißstroms und damit der bei der Schweißung erzeugten Wärme. Da in diesem Fall der Widerstand der Schweißbuckel aus der an den Schweißelektroden abgetasteten Spannung und aus dem von der Primärwicklung des Schweißtransformators aufgenommenen Schweißstrom ermittelt wird, ergeben sich die gleichen Probleme, die oben im Zusammenhang mit der USA-3 586 815 dargelegt worden sind.

Die DE-A-3 310 602 beschreibt eine durch Mikroprozessor gesteuerte Steuereinheit für Widerstandsschweißmaschinen, bei der zur Kompensation von Netzspannungsschwankungen und Störungen die richtige Zündzeit berechnet wird, um eine konstante Leistung während der Netzspannungsschwankungen und Störungen aufrechtzuerhalten. Diese bekannte Steuereinheit ist lediglich für eine Einphasenschweißmaschine vorgesehen und erfordert einen erheblichen Rechenaufwand.

Schliesslich beschreibt die EP-A-0 142 582 eine adaptive Punktschweißregelung, bei der Unterschiede im Schweißstrom, welcher zum Erzielen einer optimalen Schweißung erforderlich ist, ermittelt werden, indem die zeitliche Änderung des Widerstands während desjenigen Teils des Schweißspiels bestimmt wird, in welchem der Widerstand ansteigt. Die Schweißregelung verkleinert den Schweißstrom, wenn die zeitliche Änderung des Widerstands einen Maximalwert übersteigt, und vergrössert den Schweißstrom, wenn die zeitliche Änderung des Widerstands kleiner als ein Minimalwert wird. Diese Regelung basiert also auch auf der Ermittlung des Widerstands zwischen den Schweißelektroden zum entsprechenden Verändern des Schweißstroms, was mit den oben dargelegten Problemen verbunden ist. Diese EP-A-0 142 582 beschreibt auch Probleme, die bei zeitadaptiven Schweißregelungen auftreten, und kritisiert, dass solche zeitadaptiven Regelungen nicht geeignet sind, das Schweißen von in weiten Bereichen variierenden Stahllegierungen mit derselben Einstellung des Schweißstroms zu gestatten. Die daraus bekannte Schweißregelung ist deshalb so ausgebildet, dass sie in der Lage ist, automatisch einen optimalen Schweißstrom oder eine optimale Maske des Schweißstroms zu wählen, unmittelbar nachdem den Elektroden elektrische Energie zugeführt und die zeitliche Änderung des Widerstands des Werkstücks ermittelt worden ist. Das kann zwar die Probleme, die mit der Ermittlung des Widerstands aus zwei abgefühlten Parametern verbunden sind, zum Teil aufwiegen, es erfordert jedoch zusätzlichen Aufwand, der nur bei entsprechend teuren Schweißmaschinen gerechtfertigt sein dürfte. Dieser zusätzliche Aufwand ist in der Praxis üblicherweise nicht gerechtfertigt, weil der Schweißmaschinenbediener vor der ersten Schweißung die dem zu schweißenden Werkstoff entsprechende Sollkurve (z. B. des Stroms oder des Widerstands über der Zeit) passend wählen wird.

Der vorstehend in chronologischer Reihenfolge dargelegte Stand der Technik zeigt, dass das Problem, dass der Schweißstrom durch Netzspannungsschwankungen nachteilig beeinflusst wird, bereits erkannt worden ist und dass versucht worden ist, diesem Problem dadurch zu begegnen, den

Schweißstrom und/oder die Schweißzeit entsprechend Netzspannungsschwankungen nachzuregeln. Die beste Lösung wäre, den Schweißstrom genau der Sollkurve über der Zeit folgen zu lassen. Das bedeutete aber einen grossen Rechenaufwand, der nur bei grossen und teuren Schweißmaschinen gerechtfertigt ist. Nachteilig ist überdies im Stand der Technik, dass zum Nachregeln des Schweißstroms und/oder der Schweißzeit auf die Ermittlung des Schweißwiderstands zurückgegriffen wird.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Anordnung der eingangs genannten Art so zu verbessern, dass sich beim punkweisen Schweißen die Güte der Schweißung auf weniger aufwendige Weise, genauer und von Schweißpunkt zu Schweißpunkt reproduzierbar sicherstellen lässt.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäss durch die Schritte gelöst:

- a) Vorgeben des Soll-Schweißstromes i_s und Bestimmen der zuzuführenden Soll-Gesamtenergie aus dem Sollwert-Integral $\int i_s^2 dt$ über einer vorgegebenen Schweißzeit t_R ,
- b) Messen des Ist-Schweißstromes i_I ,
- c) Bestimmen der zugeführten Ist-Energie aus dem Istwert-Integral $\int i_I^2 dt$,
- d) Vergleichen der zugeführten Ist-Energie mit der Sollgesamtenergie, und, sobald die Ist-Energie mit dem Sollwert-Integral übereinstimmt,
- e) Abschalten des Schweißstromes,
- f) Wiederholen der Schritte a) – e);

bzw.

durch einen ersten Integrator zum Bestimmen der zuzuführenden Soll-Gesamtenergie aus einem mittels eines Funktionsgebers vorgegebenen Soll-Schweißstrom und einer vorgegebenen Schweißzeit,

durch eine mit dem Schweißstromfühler verbundene Integriereinrichtung zum Bestimmen der zugeführten Ist-Energie,

durch einen mit dem ersten Integrator und der Integriereinrichtung verbundenen Soll-Gesamtenergie/Ist-Energie-Vergleicher zum Abschalten des Schweißstromes mittels des Start/Stop-Moduls bei Soll-Istwert-Gleichheit durch Übersteuern der Ablaufsteuereinrichtung.

Durch das Verfahren und die Anordnung nach der Erfindung wird der Schweißstrom, der durch Netzspannungsschwankungen und andere Faktoren (Rost zwischen zu verschweißenden Blechen, Schwankungen der Presskraft und der Werkstoffdicke, Umpolungsverluste wegen Sättigung im Schweißtransformator usw.) beeinflusst wird, zwar wie im Stand der Technik abgefühlt, im Gegensatz dazu wird erfindungsgemäss jedoch nicht der Strom geregelt, sondern die zugeführte Energie, die sich aus dem Integral des Schweißstroms und der Schweißzeit ergibt. Es wird also die zugeführte Energiemenge und damit die Wärmemenge, die in den Schweißpunkt einfließt, geregelt. Dazu wird erfindungsgemäss die Schweißzeit, je nachdem, ob der Schweißstrom die Vorgabe in Form einer Sollkurve über- oder unterschreitet, gegenüber der vorgegebenen Schweißzeit so verkürzt bzw. verlängert, dass die durch die Fläche unter der Sollkurve vorgegebene zuzuführende Soll-Gesamtenergie gleich der durch die Fläche unter der tatsächlich gefahrenen Schweißstromkurve gegebenen zugeführten Ist-Energie ist. Es ergeben sich dadurch zwar je nach Schwankung der Netzspannung od. dgl. Schweißzeiten, die von der vorgegebenen Schweißzeit abweichen, da solche Schwankungen jedoch sowohl in positiver als auch in negativer Richtung auftreten werden, werden sich sowohl kürzere als auch längere Schweißzeiten ergeben, so dass im Mittel mit keiner nennenswerten Überschreitung der Summe der vorgegebenen

Schweiszeiten zu rechnen ist. Längere Schweiszeiten werden überhaupt auch nur beim Fließbandschweissen von unmittelbar aufeinanderfolgenden Werkstücken oder beim Widerstandsnahtschweissen, bei dem die Naht aus unmittelbar aufeinanderfolgenden Schweißpunkten besteht, von Bedeutung sein. Bei einer Punkt- oder Buckelschweissmaschine, bei der ohnehin Handhabungszeitspannen zwischen den einzelnen Schweißpunkten eingeplant werden müssen, sind Verlängerungen der Schweiszeit, die ohnehin nur im Mikrosekundenbereich liegen würden, vernachlässigbar.

In der Ausgestaltung der Erfindung nach den Ansprüchen 2 und 5 erfolgt die Messung des Ist-Schweisstroms in festen Intervallen, für die vorzugsweise die Intervalle von 500 μ s benutzt werden, die bei einer Dreiphasen-Punktschweissmaschine mit primär- oder sekundärseitiger Gleichrichtung, bei der jeder Schweißimpuls aus einzelnen Buckeln entsprechend den einzelnen Phasen R, S, T besteht, welche durch die Netzfrequenz von 50 Hz gegeben sind, vorgegeben sind. Dadurch, dass die zugeführte Ist-Energie für jeden gemessenen Strom jeweils über einem Intervall von 500 μ s bestimmt wird, lässt sich der Zeitpunkt, in welchem die zugeführte Ist-Energie gleich der zuzuführenden Soll-Gesamtenergie ist, rechtzeitig ermitteln. Die Istwert-Integrale jedes Messintervalls werden zwar saldierend gespeichert und der Saldo jeweils mit der Soll-Gesamtenergie verglichen, statt dessen kann jedoch beispielsweise auch eine Tastspeicherschaltung od. dgl. mit fortlaufender Zeitzählung für diesen Zweck benutzt werden. Ausserdem kann der in dieser Ausgestaltung der Erfindung benutzte A/D-Wandler entfallen, wenn ein digitaler Schweisstromfühler statt des vorausgesetzten analogen Schweisstromfühlers benutzt wird.

In der Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 3 wird als vorgegebene Schweiszeit die Schweiszeit für einen Schweißpunkt vorzugsweise dann gewählt, wenn es sich um Einimpulsschweissen ohne Stromanstieg und/oder Stromabfall handelt. Beim Einimpulsschweissen mit Stromanstieg und oder Stromabfall wird die Fläche unter der Schweisstromsollkurve über der Schweiszeit in Teilflächen aufgeteilt, wobei jeder Teilfläche dann eine Schweiszeit zugeordnet ist, die ein Teil der vorgegebenen Gesamtschweiszeit ist. Beim Einimpulsschweissen mit Stromanstieg und Stromabfall würden zweckmässig drei Teilflächen gewählt, eine für die Zeit des Stromanstiegs, eine für die Zeit konstanten Schweisstroms und eine für die Zeit des Stromabfalls. Beim Einimpulsschweissen mit Stromprogramm, bei dem der Strom in verschiedener Stärke wirkt, z. B. als Schweis- und Nachwärmstrom bei unveränderter Krafteinstellung, wird in der Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 3 anschliessend an das Abschalten des Schweisstroms als neuer Soll-Strom der Soll-Nachwärmstrom eingestellt und statt der definitionsgemäss (vgl. DIN 44753, S. 8–10) eigentlich dem Schweisstrom zugeordneten Schweiszeit die Nachwärmzeit gesteuert. Die in der Beschreibung und in den Ansprüchen verwendeten Begriffe «Schweiszeit» und «Schweisstrom» umfassen also allgemein jede beim Schweissen auftretende Stromzeit (d. h. Vorwärm-, Schweis- oder Nachwärmzeit bzw. jeden dem Schweißpunkt zugeführten Strom (d. h. Vorwärm-, Schweis- oder Nachwärmstrom).

In der Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 6 enthält der Stellenwerttabellen-Modul beispielsweise eine Tabelle für die Umwandlung der durch die Schweisstromsollkurve $i_s = f(t)$ vorgegebenen Schweisstromsollwerte in entsprechende Phasenanschnittwinkel für die Einstellung der diesem Schweisstrom entsprechenden Netzspannung.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Anordnung nach der Erfindung zum Regeln des Schweisvorganges bei einer Widerstandsschweissmaschine und

die Fig. 2a und 2b Erläuterungsdiagramme.

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild einer Anordnung zum Regeln des Schweisvorganges bei einer Widerstandsschweissmaschine, von der der Einfachheit halber lediglich die Elektroden, zwischen denen zu verschweisende Werkstücke eingespannt werden, allgemein als Last 10 und ein Stellglied 12 (Thyristorgruppen), über das dem ebenfalls nicht dargestellten Schweisstransformator positive bzw. negative Spannungsimpulse zugeführt werden, dargestellt sind. Bei der folgenden Beschreibung ist vorausgesetzt, dass es sich bei der Widerstandsschweissmaschine um eine Dreiphasen-Gleichstrompunktschweissmaschine handelt. Der von der Last 10 aufgenommene Schweisstrom (bei dem es sich um den eigentlichen Schweisstrom, einen Vorwärm- oder einen Nachwärmstrom handelt), wird durch einen Schweisstromfühler 14 gemessen, bei dem es sich in dem dargestellten Ausführungsbeispiel um einen Stromwandler handeln kann, statt dem aber auch ein Digitalstromfühler verwendet werden könnte, wobei dann ein dem Stromfühler nachgeschalteter A/D-Wandler 16 entfallen könnte.

Ein Funktionsgeber 18, der durch eine Bedienungsperson einstellbar ist, versorgt die Anordnung mit der Sollkurve des Schweisstroms $i_s = f(t)$. Die für ein bestimmtes Schweisgut passende Sollkurve wird durch die Bedienungsperson beispielsweise dadurch gewählt, dass mehrere Schweismuster mit einer anderen Sollkurve geschweisst werden und dann anhand eines Schliffbildes beurteilt wird, welche Sollkurve am besten passt. In dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel bleibt die Krafteinstellung an den Schweis Elektroden jeweils unverändert. Der Funktionsgeber ist mit einem Integrator 20 verbunden, der die gemäss der Sollkurve zuzuführende Soll-Gesamtenergie aus dem Sollwert-Integral $\int i_s^2 dt$ über einer vorgegebenen Schweiszeit t_R bestimmt. Dieses Sollwert-Integral entspricht in Fig. 2a der Fläche unter der mit ausgezogener Linie dargestellten Kurve für i_s . Der Ausgang des Integrators 20 ist mit einem Vergleichler 24 verbunden. Mit dem Ausgang des A/D-Wandlers 16 ist ein Integrator 26 verbunden, dessen Ausgang mit einem saldierenden Speicher 28 verbunden ist. Der A/D-Wandler 16, der Integrator 26 und der saldierende Speicher 28 bilden gemeinsam eine Integriereinrichtung 25. Der Ausgang des saldierenden Speichers 28 ist mit einem weiteren Eingang des Vergleichlers 24 verbunden. Der Ausgang des Vergleichlers 24 ist mit einem ersten Eingang eines Start/Stop-Moduls 30 verbunden. Der Ausgang des Funktionsgebers 18 ist weiter mit einem Stellenwerttabellen-Modul 22 verbunden, dessen Ausgang mit einem zweiten Eingang des Start/Stop-Moduls 30 verbunden ist. Der Stellenwerttabellen-Modul 22 enthält eine gespeicherte Tabelle zur Umwandlung des Soll-Stroms $i_s = f(t)$ in entsprechende Phasenanschnittwinkel $\alpha(t)$. Ein dritter Eingang des Start/Stop-Moduls 30 ist mit einem Ausgang einer Ablaufsteuereinrichtung 32 verbunden, über den dieser entsprechend dem Schweistakt die Aufsteuerung des Stellglieds 12 startet und stoppt. Ein weiterer Ausgang der Ablaufsteuereinrichtung 32 ist mit einem Takteingang des A/D-Wandlers 16 verbunden, über den dieser für Intervalle von 500 μ s, die durch die Netzfrequenz von 50 Hz beim Dreiphasenbetrieb vorgegeben sind, aufgesteuert wird.

Die vorstehend beschriebene Anordnung arbeitet folgendermassen.

Nachdem der Soll-Schweisstrom i_s , welcher mittels des Funktionsgebers 18 vorgegeben wird, über der vorgegebenen Schweiszeit t_R durch den Integrator 20 integriert und somit die zuzuführende Soll-Gesamtenergie bestimmt worden ist, wird diese Soll-Gesamtenergie dem Vergleichler 24 zugeführt.

Die Ablaufsteuereinrichtung 32 betätigt den Start/Stop-Modul 30, so dass der Last 10 über das Stellglied 12 ein Ist-Laststrom i_i zugeführt wird, der gleich dem Soll-Strom i_s ist, sofern keine Netzspannungsschwankung (oder irgendein anderer Störeinfluss) auftritt. In diesem Fall sind bei Ablauf der Schweisszeit t_R (vgl. Fig. 2a) die zuzuführende Soll-Gesamtenergie und die der Last 10 zugeführte Istenergie gleich, so dass das Ausgangssignal des Vergleichers (Fehler- oder Regelabweichungssignal) null ist. Der Vergleich 24 übersteuert daher nicht das durch die Ablaufsteuereinrichtung 32 an den Start/Stop-Modul 30 abgegebene Schweisstaktsignal, so dass der Schweissstrom erst im Zeitpunkt t_A abgeschaltet wird, so dass er bis zum Zeitpunkt t_R , d. h. bis zum Ablauf der Schweisszeit auf null abklingt. Die ansteigende und die abfallende Flanke der Stromkurve i_s sollen in Fig. 2a lediglich den nach einer e-Funktion erfolgenden Stromanstieg bzw. Stromabfall darstellen, weshalb der dargestellte Stromimpuls ideal auch als Rechteck dargestellt werden könnte. Es könnte sich aber auch um Schweißen mit Stromanstieg bzw. Stromabfall handeln, wobei dann die beiden schraffierten Flächen unter dem ansteigenden bzw. unter dem abfallenden Kurvenast als getrennte Flächen behandelt werden würden, wobei dann für die beiden schraffierten Flächen und die zwischen ihnen vorhandene unschraffierte Fläche jeweils die in diesen Bereichen zuzuführende Soll-Teilenergie ermittelt und mit der entsprechenden zugeführten Ist-Teilenergie auf die geschilderte Weise verglichen werden würde. Für die folgende Beschreibung wird aber angenommen, dass der gezeigte Stromanstieg und der gezeigte Stromabfall vernachlässigbar sind und dass die Soll-Gesamtenergie jeweils für die Gesamtfläche unter den drei in Fig. 2a gezeigten Kurven bestimmt wird.

Nachdem die Stromzufuhr zu der Last 10 begonnen hat, wird durch die Integriereinrichtung 25 jeweils für $t_i = 500 \mu s$ die zugeführte Ist-Energie aus dem abgefühlten Ist-Strom i_i durch Integrieren über der Zeit t_i bestimmt, wobei die Ist-Energiebeiträge jedes Intervalls von $500 \mu s$ in dem Speicher 28 aufsummiert werden. Sobald der Vergleich 24 bei dem Vergleich des zugeführten Ist-Energie-Saldos mit der Soll-Gesamtenergie aus dem Integrator 20 feststellt, dass diese übereinstimmen, gibt er ein Ausgangssignal an den Start/Stop-Modul 30 ab, welches das durch die Ablaufsteuereinrichtung an den Start/Stop-Modul abgegebene Signal übersteuert, so dass der Schweissstrom in einem Zeitpunkt t_B sofort abgeschaltet wird. Da in diesem Fall angenommen worden ist, dass eine positive Netzspannungsschwankung (d. h. eine Netzspannungserhöhung) aufgetreten ist, liegt der Zeit-

punkt t_B vor dem Zeitpunkt t_A (Abbruch bei nicht vorhandener Netzspannungsschwankung). Da die Fläche unter der gestrichelt dargestellten Kurve gleich der Fläche unter der mit ausgezogener Linie dargestellten Kurve ist, entspricht die dem Schweisspunkt zugeführte Gesamtenergie der Soll-Gesamtenergie, lediglich mit dem Unterschied, dass diese Energie dem Schweisspunkt in einer Zeit zugeführt worden ist, die kürzer als die vorgegebene Schweisszeit t_R ist. Wenn die Netzspannung in negativer Richtung schwankt (d. h. Netzspannungsverkleinerung), wird die Soll-Gesamtenergie erst in einem Zeitpunkt erreicht, der nach dem Zeitpunkt t_R liegt. Das Abschalten des Schweissstroms erfolgt daher nicht im Zeitpunkt t_A , sondern in einem späteren Zeitpunkt. Das Ausgangssignal null des Vergleichers 24 bei Soll-Istwert-Gleichheit führt nur dann zum Übersteuern der Ablaufsteuereinrichtung 32, wenn diese Gleichheit vor oder nach dem Zeitpunkt t_A festgestellt wird (d. h. $t_B \neq t_A$). Bei idealem Rechteckverlauf des Stromimpulses i_s wären t_R und t_A selbstverständlich identisch.

Fig. 2b zeigt die Stromkurven für Schweißen mit Stromprogramm, gemäss welchem sich an die Schweisszeit t_R noch eine Nachwärmzeit anschliesst, während welcher mit geringerer Stromstärke gearbeitet wird. Die ansteigenden und abfallenden Flanken der Stromkurven werden bei der folgenden Beschreibung wieder ausser Betracht gelassen. In diesem Fall werden zwei Sollwert-Integrale bestimmt, und zwar für die Zeiten $0-t_R$ und t_R-t_W für die vorgegebene Schweisszeit bzw. die vorgegebene Nachwärmzeit. Wenn die Netzspannung über den Nennwert steigt, erfolgt das Abschalten des Schweissstroms nicht erst im Zeitpunkt t_A , sondern bereits im Zeitpunkt t_B . Der Strom klingt dann nicht auf den Nachwärmstrom i_W ab, sondern bleibt wegen der höheren Netzspannung oberhalb desselben, wie es die gestrichelte Kurve in Fig. 2b zeigt. Die Schweisszeit und die Nachwärmzeit sind entsprechend kürzer, so dass auch die Stromzeiten jeweils entsprechend kürzer sind wie in dem in Fig. 2a dargestellten Fall. Bei einer Netzspannungsabsenkung ist es umgekehrt (vgl. die in Fig. 2b punktierte Kurve). In jedem Fall wird wieder die für jeden Stromkurventeil vorgegebene zuzuführende Gesamtenergie durch entsprechendes Verlängern oder Verkürzen der Stromzeit eingehalten, so dass der Schweisspunkt immer die zuzuführende Soll-Gesamtenergie empfängt, wodurch die Güte aller Schweisspunkte sichergestellt wird. In der Praxis ist die Regelanordnung so ausgelegt, dass sie die Fläche unter der Stromkurve entsprechend dem zu fahrenden Stromprogramm selbständig aufteilt.

50

55

60

65

Fig. 1

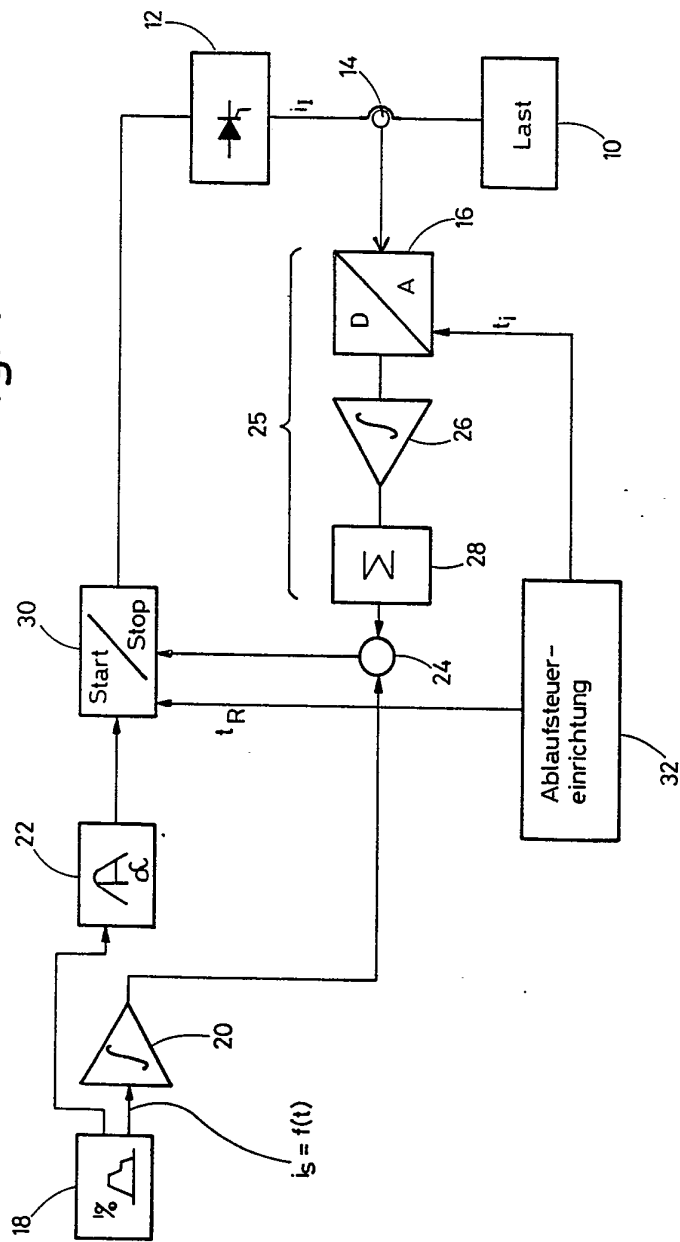


Fig. 2a

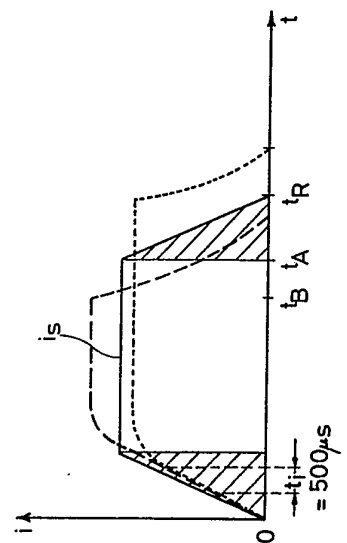


Fig. 2b

