



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 058 753 A1** 2010.05.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 058 753.2**

(22) Anmeldetag: **17.11.2008**

(43) Offenlegungstag: **20.05.2010**

(51) Int Cl.⁸: **B23K 9/20** (2006.01)

B23K 9/10 (2006.01)

G01R 27/02 (2006.01)

G01R 27/26 (2006.01)

(71) Anmelder:

Newfrey LLC, Newark, Del., US

(74) Vertreter:

Witte, Weller & Partner, 70173 Stuttgart

(72) Erfinder:

Schmitt, Klaus Gisbert, 35394 Gießen, DE;

Schmidt, Wolfgang, 35394 Gießen, DE; Schulz,

Udo, 35394 Gießen, DE; Scheffler, Heiko, 35394

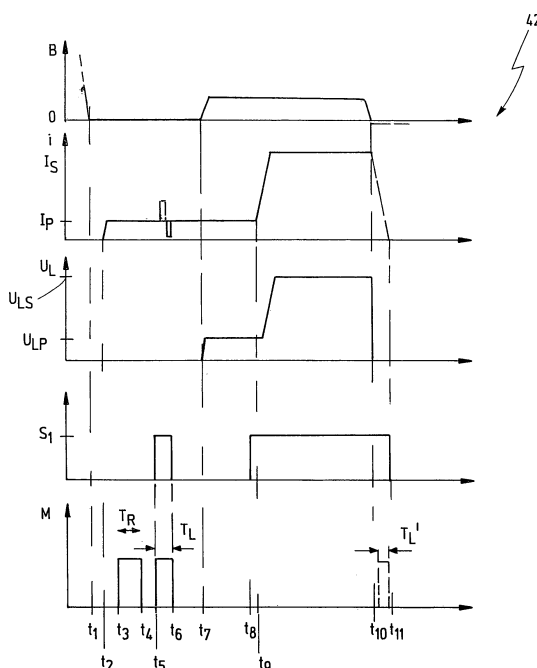
Gießen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln von elektrischen Schweißkreisgrößen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln von elektrischen Größen (R_3 , L_3) eines Schweißkreises (32), der an eine elektrische Energieversorgungseinrichtung (24) angeschlossen ist, die dazu ausgelegt ist, entweder einen Schweißstrom (I_S) oder einen kleineren Pilotstrom (I_P) bereitzustellen, wobei die Energieversorgungseinrichtung (24) zur Bereitstellung des Pilotstromes (I_P) einen Vorkreis (40) aufweist, der zur Bereitstellung des Schweißstromes (I_S) überbrückt wird, mit den Schritten:

- Ermitteln einer ersten elektrischen Größe (R_3), wenn der Vorkreis (40) nicht überbrückt ist, und
- Ermitteln einer zweiten elektrischen Größe (L_3), wenn der Vorkreis (40) überbrückt ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln von elektrischen Größen eines Schweißkreises, der an eine elektrische Energieversorgungseinrichtung angeschlossen ist. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Regelung eines Schweißprozesses sowie eine Schweißvorrichtung wie eine Bolzenschweißanlage.

[0002] Eine Bolzenschweißanlage zum Schweißen von Bolzen auf Werkstücke unter Verwendung eines Lichtbogens, der im Wege der Hubzündung gezündet wird, weist eine Energieversorgungseinrichtung auf, die mit einem den Bolzen haltenden Schweißkopf über wenigstens eine Verbindungsleitung verbunden ist, die Teil eines Schweißkreises bildet, und weist ferner eine Steuereinrichtung auf.

[0003] Bei modernen Bolzenschweißanlagen wird eine Messung der Lichtbogen Spannung durchgeführt, um den Prozess besser regeln und Schweißergebnisse überprüfen zu können.

[0004] Zum Messen der Lichtbogen Spannung ist es bekannt, Messleitungen parallel zu den Verbindungsleitungen von der Energieversorgungseinrichtung zu dem Schweißkopf zu verlegen. Hierdurch kann die Lichtbogen Spannung zwischen dem Bolzenhalter und den Masseanschlüssen am Werkstück direkt gemessen werden. Diese Methode ist sehr genau, allerdings mechanisch störanfällig und kann Stillstandszeiten zur Störungsbeseitigung erfordern.

[0005] Das Messen der Lichtbogen Spannung direkt an den Ausgangsklemmen der Energieversorgungseinrichtung ist stark fehlerbehaftet. Denn die Verbindungsleitung zu dem Schweißkopf beinhaltet einen elektrischen Widerstand (Wirkwiderstand) und eine Induktivität. Beim Messen an den Ausgangsklemmen der Energieversorgungseinrichtung wird der Spannungsabfall über dem Widerstand und der Induktivität mitgemessen. Dies kann Messfehler von über 50% verursachen.

[0006] Ferner ist es bekannt, den Widerstand des Schweißkreises mittels einer zusätzlichen elektrischen Schaltung zu messen. Dabei wird der Spannungsabfall über dem Widerstand des Schweißkreises von der an den Ausgangsklemmen der Energieversorgungseinrichtung gemessenen Spannung abgezogen, so dass sich eine berechnete Lichtbogen Spannung ergibt, deren Ungenauigkeit in erster Linie durch das Nichtberücksichtigen des Spannungsabfalls über der Schweißkreisinduktivität gegeben ist.

[0007] Aus dem Dokument EP 1 183 125 B1 ist ein Verfahren zur Ermittlung der Schweißprozessspannung bekannt, wobei die Schweißprozessspannung zwischen einem Schweißbrenner für das kontinuierliche

che Lichtbogenschweißen mit abbrennender Elektrode und einem Werkstück ermittelt wird. Eine Berechnung der Schweißprozessspannung wird in Echtzeit unter Berücksichtigung der Störgrößen Induktivität und Widerstand einer Schweißanlage gemäß einer Maschengleichung durchgeführt, wobei die Induktivität und der Widerstand durch statische Messverfahren ermittelt werden. Das statische Berechnen der Störgrößen kann dabei erfolgen, wenn ein Kurzschluss zwischen der Elektrode und dem Werkstück geschaffen wird.

[0008] Aus der DE 10 2005 053 438 A1 ist ein Verfahren zum Überprüfen der Qualität beim Bolzenschweißen an elektrisch leitenden Bauteilen bekannt. Hierbei wird nach der Schweißzeit die den Bolzen an das Bauteil anpressende Presskraft aufrechterhalten, wobei nach einer der Schweißzeit folgenden Wartezeit ein Prüfstrom für eine bestimmte Prüfzeit durch einen Schweißtransformator geleitet wird, insbesondere ein konstanter Prüfstromimpuls. Der aufgrund des Prüfstromimpulses durch den Bolzen fließende Prüfstrom wird ermittelt, und der Wert des Prüfstromes wird mit zuvor ermittelten Vergleichswerten verglichen, um die Qualität der hergestellten Schweißung zu überprüfen.

[0009] Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung zum Ermitteln von elektrischen Größen eines Schweißkreises anzugeben, die insbesondere für Bolzenschweißanlagen geeignet ist.

[0010] Die obige Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Ermitteln von elektrischen Größen eines Schweißkreises, der an eine elektrische Energieversorgungseinrichtung angeschlossen ist, die dazu ausgelegt ist, entweder einen Schweißstrom oder einen kleineren Pilotstrom bereitzustellen, wobei die Energieversorgungseinrichtung zur Bereitstellung des Pilotstromes einen Vorkreis aufweist, der zur Bereitstellung des Schweißstromes überbrückt wird, mit den Schritten:

- a) Ermitteln einer ersten elektrischen Größe, wenn der Vorkreis nicht überbrückt ist, und
- b) Ermitteln einer zweiten elektrischen Größe, wenn der Vorkreis überbrückt ist.

[0011] Bolzenschweißanlagen, die nach dem Hubzündungsverfahren arbeiten, beinhalten die Möglichkeit, zunächst einen relativ kleinen Pilotstrom von z. B. 20 Ampère durch den Schweißkreis zu leiten, mittels dessen der Lichtbogen gezogen werden kann. Erst hiernach wird der eigentliche Schweißstrom (bis zu 2.000 Ampère) eingestellt. Moderne Bolzenschweißanlagen ermöglichen es, den Vor- oder Pilotstrom zur Erzeugung des Pilotstromlichtbogens sowie den Schweißstrom für den eigentlichen Schweißprozess mit Hilfe einer einzigen Energiequelle zu er-

zeugen. Da der Pilotstrom im Vergleich zum Schweißstrom sehr klein ist, wird für den Pilotstrom eine Stabilisierung mittels einer großen Induktivität benötigt, die Teil eines Vorkreises ist. Dieser Vorkreis wird mit Beginn des Schweißstromes mittels eines Schalters überbrückt, um die Anstiegsgeschwindigkeit des Schweißstromes nicht zu begrenzen. Die Induktivität des Vorkreises kann 10.000-fach größer sein als die Induktivität des Schweißkreises.

[0012] Wenn die erste elektrische Größe des Schweißkreises im Schritt a) bestimmt wird, kann aus diesem Grund die Induktivität des Schweißkreises vernachlässigt werden. Daher kann die erste elektrische Größe unter Vernachlässigung der Induktivität des Schweißkreises berechnet werden. Dies kann beispielsweise durch an sich bekannte Maschengleichungen erfolgen. In dem Schritt b) wird die zweite elektrische Größe bestimmt, wenn der Vorkreis überbrückt ist, die Induktivität des Vorkreises also nicht in die Messung mit eingeht.

[0013] Da die elektrischen Größen des Schweißkreises derart ermittelbar sind, lässt sich die Lichtbogen Spannung ohne zusätzlichen Hardware-Aufwand einfach und genau berechnen. Messleitungen zum Schweißkopf sind nicht erforderlich.

[0014] Erfindungsgemäß kann das oben beschriebene Ermittlungsverfahren auch in einem Verfahren zur Regelung eines Schweißprozesses verwendet werden. Ferner kann das Ermittlungsverfahren in einer Vorrichtung zum Schweißen verwendet werden, die eine Energieversorgungseinrichtung und eine Steuereinrichtung aufweist, die dazu ausgelegt ist, das Ermittlungsverfahren durchzuführen.

[0015] Insbesondere kann die Schweißvorrichtung eine Bolzenschweißanlage der oben beschriebenen Art sein, die eine Steuereinrichtung aufweist, die dazu ausgelegt ist, das erfindungsgemäße Ermittlungsverfahren durchzuführen.

[0016] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird die obige Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Regelung eines Schweißprozesses, das vorteilhaft mit dem Ermittlungsverfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung kombiniert werden kann, jedoch nicht muss. Bei dem Verfahren zur Regelung eines Schweißprozesses gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung bildet ein mathematisches Modell des Schweißkreises einen regelungstechnischen Beobachter, wobei wenigstens ein Schweißparameter in Abhängigkeit von einer Zustandsgröße eingestellt wird, die in dem Beobachter enthalten ist.

[0017] Die Aufgabe wird somit vollkommen gelöst.

[0018] Von besonderem Vorzug ist es bei dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung, wenn die ers-

te elektrische Größe der elektrische Widerstand des Schweißkreises ist.

[0019] Dies gilt insbesondere, wenn die Induktivität des Schweißkreises sehr viel kleiner ist als die Induktivität des Vorkreises und folglich beim Ermitteln des elektrischen Widerstandes vernachlässigbar ist.

[0020] Demgemäß ist es ebenfalls vorteilhaft, wenn die zweite elektrische Größe die Induktivität des Schweißkreises ist.

[0021] Wenn der Vorkreis überbrückt ist, ist die Induktivität des Vorkreises nicht wirksam, so dass die Induktivität des Schweißkreises ermittelbar ist.

[0022] Insgesamt ist es ferner bevorzugt, wenn der Schritt a) und/oder der Schritt b) im Verlauf eines Schweißprozesses durchgeführt wird.

[0023] Hierdurch können die elektrischen Größen des Schweißkreises "online", d. h. zeitnah zu dem eigentlichen Schweißprozess, durchgeführt werden. Demzufolge kann gewährleistet werden, dass die elektrischen Größen zum Zeitpunkt des Schweißprozesses richtig ermittelt sind.

[0024] Von besonderem Vorteil ist es dabei, wenn der Schritt a) durchgeführt wird, wenn eine Schweißspannung kurzgeschlossen ist und der Pilotstrom eingeschaltet ist.

[0025] Dies kann beispielsweise im Verlauf eines Bolzenschweißprozesses erfolgen, wenn der Bolzen auf das Werkstück aufgesetzt ist und der Pilotstrom eingeschaltet ist, d. h. kurz vor dem Ziehen des Lichtbogens.

[0026] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der Schritt b) durchgeführt, wenn eine Schweißspannung kurzgeschlossen ist und bevor der Strom von dem Pilotstrom auf den Schweißstrom erhöht wird.

[0027] Hierbei wird der Schritt b) bei einem Bolzenschweißprozess beispielsweise durchgeführt, wenn der Bolzen auf das Werkstück aufgesetzt ist und der Pilotstrom eingeschaltet ist. Zum Zwecke der Ermittlung der zweiten elektrischen Größe wird hierbei der Vorkreis überbrückt. Die Überbrückung des Schweißkreises erfolgt hierbei vorzugsweise für einen kurzen Messzeitraum, um anschließend bei erneuter Nicht-Überbrückung des Vorkreises den Bolzen zur Hubzündung von dem Werkstück abheben zu können. Denn hierbei ist die relativ große Induktivität des Vorkreises erforderlich, um den Strom zu stabilisieren.

[0028] Bevorzugt wird zur Überbrückung des Vorkreises ein Thyristor verwendet. Dieser kann zwar

„unter Last“ eingeschaltet werden, um den Messzeitraum zu beginnen. Bei Beendigung des Messzeitraumes kann es hierbei notwendig sein, den Pilotstrom wieder kurz auf Null abzusenken, da ein Thyristor generell nicht unter Last ausgeschaltet werden kann. Dies ist mit einem getakteten Schaltnetzteil, wie es in modernen Energieversorgungseinrichtungen verwendet wird, kein Problem.

[0029] Der Messzeitraum wird vorliegend als Ermittlungszeitraum bezeichnet.

[0030] Gemäß der oben beschriebenen Ausführungsform wird die zweite elektrische Größe vorzugsweise vor dem Einschalten des Schweißstromes ermittelt. Gemäß einer alternativen Ausführungsform ist es möglich, den Schritt b) während des Abfallens des Schweißstromes durchzuführen, d. h. nachdem der Schweißstrom angeschaltet war und nachdem eine Schweißspannung sich wieder im Kurzschluss befindet.

[0031] Dies kann bei einem Bolzenschweißprozess beispielsweise erfolgen, sobald der Bolzen nach dem Anschmelzen der Oberflächen auf das Werkstück abgesenkt wird. Hierbei wird der Lichtbogen, d. h. die Schweißspannung, kurzgeschlossen. Der Strom wird zwar hierbei in der Regel sofort abgeschaltet, fällt jedoch aufgrund der Induktivität des Schweißkreises relativ langsam ab. Bis zu dem Zeitpunkt, zu dem der Schweißstrom wieder auf Null abgefallen ist, kann der Schritt b) durchgeführt werden.

[0032] Obgleich es bevorzugt ist, die Ermittlung der elektrischen Größen des Schweißkreises im Verlauf eines Schweißprozesses durchzuführen, ist es natürlich auch möglich, den Schritt a) und/oder den Schritt b) vor oder nach einem Schweißprozess durchzuführen, d. h. „offline“. Dabei kann die Ermittlung der elektrischen Größen gegebenenfalls vollkommen unabhängig von einem Schweißprozess durchgeführt werden, d. h. beispielsweise alle 10, 100 oder 1.000 Schweißprozesse. Da sich die elektrischen Größen in der Regel nicht schnell ändern, kann es hinreichend sein, diese nur in derartigen Abständen zu ermitteln.

[0033] Von besonderem Vorzug ist es, wenn im Schritt b) zur Ermittlung der zweiten elektrischen Größe das Ergebnis des Schrittes a) zur Ermittlung der ersten elektrischen Größe verwendet wird.

[0034] Da in Schritt b) beispielsweise sowohl der Widerstand als auch die Induktivität im Schweißkreis vorhanden sind und die Induktivität nicht vernachlässigbar ist, kann die Induktivität auf einfache Weise festgestellt werden, wenn der Widerstand bereits ermittelt ist.

[0035] Bei dem Verfahren zur Regelung eines

Schweißprozesses unter Verwendung der erfindungsgemäß ermittelten elektrischen Größen des Schweißkreises ist es beispielsweise möglich, Änderungen des di/dt des Schweißstromes zu erkennen, die durch Änderungen der elektrischen Größen bedingt sind. Derartige Änderungen lassen sich dann durch Verlängerung bzw. Verkürzung der Schweißzeiten kompensieren, und zwar „online“ und positionsbezogen.

[0036] Ferner lassen sich Änderungen des di/dt des Schweißstromes erkennen, die durch Änderungen der Schweißspannung, insbesondere der Lichtbogenspannung, bedingt sind, und zwar insbesondere bei konstantem Strom. Diese Änderungen lassen sich wiederum in entsprechender Weise kompensieren, wie oben beschrieben.

[0037] Ferner lässt sich bei bekannten elektrischen Größen des Schweißkreises eine durch die Schweißspannung, insbesondere die Lichtbogenspannung, gesteuerte Ereignistriggerung des Schweißprozesses leichter durchführen, z. B. eine Kurzschlusserkennung. Die Ereignistriggerung kann bei Kurzschlüssen während der Schweißung dazu genutzt werden, den Schweißstrom sehr schnell, vorzugsweise in Zeitspannen von < 1 bis $10 \mu\text{s}$, abzuschalten und damit so weit zu reduzieren, dass das Auflösen des Kurzschlusses sanft bzw. ohne größere Explosionen der flüssigen Kurzschlussbrücke zwischen Bolzen und Werkstück erfolgen kann. Des Weiteren kann die Ereignistriggerung bewirken, dass mit der Auflösung des Kurzschlusses unmittelbar nach dem Auftreten eines neuen Lichtbogens der Schweißstrom in ursprünglicher oder geänderter Größe wieder eingeschaltet wird. Dies kann in Zeitspannen von $< 1 \mu\text{s}$ bis $100 \mu\text{s}$ erfolgen.

[0038] Beides geschieht zweckmäßig mit Hilfe einer getakteten Halb- oder Vollbrückentransistorschaltung der Energieversorgungseinheit, deren Taktfrequenz zwischen 20 kHz und 200 kHz betragen kann.

[0039] Ferner lassen sich die so ermittelten elektrischen Größen in die Parameterüberwachung des Schweißkreises integrieren, um Aussagen über notwendige Wartungen bzw. Instandhaltungen des Schweißkreises bzw. der Bolzenschweißanlage machen zu können.

[0040] Insgesamt ist es von besonderem Vorzug, dass das erfindungsgemäße Verfahren zum Ermitteln von elektrischen Größen durchgeführt werden kann, ohne dass ein zusätzlicher Hardwareaufwand erforderlich ist. Vielmehr können die insbesondere in Bolzenschweißanlagen ohnehin vorhandenen Energieversorgungseinrichtungen einschließlich des darin enthaltenen Vorkreises und einschließlich der Schaltbarkeit des Vorkreises verwendet werden, um das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen.

[0041] Die Energieversorgungseinrichtung beinhaltet vorzugsweise eine getaktete Energiequelle, die den Schweißstrom entweder als Gleichstrom und/oder als Wechselstrom liefert.

[0042] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0043] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0044] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Bolzenschweißanlage;

[0045] [Fig. 2](#) ein Schaltungsdiagramm der elektrischen Größen eines Vorkreises einer Energieversorgungseinrichtung und eines Schweißkreises;

[0046] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung einer elektrischen Energieversorgungseinrichtung mit einem regelungstechnischen Beobachter; und

[0047] [Fig. 4](#) Zeitablaufdiagramme des Bolzenweges, des Stromes, der Lichtbogenspannung, der Schalterstellung eines Vorkreises und der Ermittlungszeiträume während eines Schweißprozesses.

[0048] In [Fig. 1](#) ist eine Bolzenschweißanlage generell mit **10** bezeichnet. Die Bolzenschweißanlage **10** dient dazu, jeweils einen Bolzen **12** aus einem elektrisch leitenden Material auf ein Werkstück **14** aus einem elektrisch leitenden Material zu schweißen.

[0049] Die Bolzenschweißanlage **10** beinhaltet einen Roboter **16**, der wenigstens einen Arm **18** aufweist. An dem Ende des Arms **18** ist ein Schweißkopf **20** angeordnet. In dem Schweißkopf **20** ist ein elektrisch leitender Bolzenhalter **22** vorgesehen, der jeweils einen aufzuschweißenden Bolzen **12** hält.

[0050] Alternativ hierzu kann der Schweißkopf **20** auch an einer Schweißpistole vorgesehen sein, die von Hand betätigt wird.

[0051] Die Bolzenschweißanlage **10** beinhaltet ferner eine Energieversorgungseinrichtung **24**, in der eine Leistungselektronik **26** zur Realisierung einer Stromquelle enthalten ist. Die Energieversorgungseinrichtung **24** weist Ausgangsklemmen **28a**, **28b** auf, an denen eine Schweißkreisspannung bereitgestellt wird.

[0052] Der Energieversorgungseinrichtung **24** ist eine Steuereinrichtung **30** zugeordnet, die den Ablauf

eines Schweißprozesses steuert.

[0053] An die Ausgangsklemmen **28a**, **28b** ist ein Schweißkreis **32** angeschlossen, der wenigstens eine Verbindungsleitung **34** von der Energieversorgungseinrichtung **24** zu dem Schweißkopf **20** beinhaltet. Generell können die beiden Ausgangsklemmen **28a**, **28b** über jeweilige Verbindungsleitungen mit dem Schweißkopf **20** verbunden sein.

[0054] Alternativ hierzu ist eine der Ausgangsklemmen (**28b**) mit Masse **36** verbunden, wie in [Fig. 1](#) dargestellt.

[0055] In diesem Fall ist das Werkstück **14** ebenfalls mit der Masse **36** verbunden, wie es ebenfalls in [Fig. 1](#) dargestellt ist.

[0056] Ein bei dem Bolzenschweißen gezogener Lichtbogen ist bei **38** gezeigt.

[0057] [Fig. 2](#) zeigt ein Schaltungsdiagramm eines Teils der Energieversorgungseinrichtung **24** und des Schweißkreises **32**.

[0058] Der Schweißkreis **32** weist im Wesentlichen aufgrund der Verbindungsleitung **34** eine Induktivität L_3 und einen elektrischen Widerstand R_3 auf. Sofern zwischen dem Bolzen **12** und dem Werkstück **14** ein Lichtbogen **38** gezogen ist, fällt über diesen Lichtbogen **38** eine Lichtbogenspannung U_L ab. Durch den Schweißkreis **32** fließt im Verlauf des Schweißprozesses entweder ein Pilotstrom I_p oder ein Schweißstrom I_s .

[0059] Die Energieversorgungseinrichtung **24** weist eine nicht näher dargestellte Leistungselektronik auf, die an zwei Klemmen (in [Fig. 2](#) links gezeigt) einen Strom bereitstellt. Parallel zu den Klemmen ist eine Diode D_1 angeschlossen. Ferner beinhaltet die Energieversorgungseinrichtung **24** eine Induktivität L_1 , die jedoch vorliegend vernachlässigt werden kann.

[0060] Zwischen der Diode D_1 und den Ausgangsklemmen **28a**, **28b** sind ein Messwiderstand R_1 und ein Vorkreis **40** in Reihe geschaltet. Über dem Messwiderstand R_1 fällt eine Spannung U_{R1} ab. Da der Widerstand R_1 bekannt ist, lässt sich über die Messung der Spannung U_{R1} der jeweils in den Schweißkreis **32** fließende Strom bestimmen. Parallel zu den Ausgangsklemmen **28a**, **28b** ist eine Messeinrichtung zur Messung der Schweißkreisspannung U_{SK} angeschlossen. Der zwischen dem Messwiderstand R_1 und der einen Ausgangsklemme **28a** angeordnete Vorkreis **40** beinhaltet eine sehr große Induktivität L_2 und einen Widerstand R_2 . Der Vorkreis **40** ist mittels eines Schalters S_1 überbrückbar.

[0061] Die bekannten Größen des dargestellten Schaltungsdiagramms sind L_1 , R_1 , L_2 , R_2 , die über der Di-

ode D_1 abfallende Spannung U_{D1} , die über dem Widerstand R_1 abfallende Spannung U_{R1} und die Schweißkreisspannung U_{SK} . Zur Steuerung des Schweißprozesses ist eine möglichst genaue Kenntnis der jeweiligen Lichtbogenspannung U_L von Bedeutung. Diese ließe sich, wie eingangs beschrieben, durch eine eigene Messeinrichtung mit Messklemmen unmittelbar an dem Bolzen **12** (bzw. dem Bolzenhalter **22**) und an dem Werkstück **14** messen. Vorliegend kann die Lichtbogenspannung U_L jedoch in ähnlich präziser Weise ermittelt werden, indem allein die Schweißkreisspannung U_{SK} gemessen wird. Hierzu ist Voraussetzung, dass die jeweiligen elektrischen Größen des Schweißkreises **32** bekannt sind, d. h. die Induktivität L_3 und der Widerstand R_3 .

[0062] Der Widerstand R_3 lässt sich bei geöffnetem Schalter S_1 rechnerisch bestimmen durch Aufstellen einer Maschengleichung, und zwar dann, wenn der Lichtbogen kurzgeschlossen ist (d. h. $U_L = 0$).

[0063] Für diesen Fall ist die über der Induktivität abfallende Spannung U_{L3} vernachlässigbar und wird zu Null angesetzt, da $L_2 \gg L_3$.

[0064] Die Maschengleichung lautet folglich

$$U_{L1} + U_{D1} + U_{R1} + U_{L2} + U_{R2} + U_{R3} = 0$$

oder

$$U_{SK} + U_{R3} = 0$$

[0065] Da der durch den Schweißkreis **32** fließende Strom durch Messung von U_{R1} bekannt ist, kann aus dieser Gleichung die Spannung U_{R3} ermittelt werden und folglich auch hieraus über $U = R \cdot I$ der elektrische Widerstand R_3 .

[0066] In einem zweiten Schritt zur Bestimmung der Induktivität L_3 wird der Schalter S_1 geschlossen. Der Lichtbogen bleibt hierbei kurzgeschlossen (d. h. $U_L = 0$).

[0067] Die Maschengleichung lautet in diesem Fall

$$U_{L1} + U_{D1} + U_{R1} + U_{L3} + U_{R3} = 0$$

oder

$$U_{SK} + U_{L3} + U_{R3} = 0$$

[0068] Hieraus folgt, da R_3 und folglich U_{R3} bekannt sind, die rechnerische Ermittlung von L_3 unter Verwendung der Gleichung $U_{L3} = L_3 \cdot dl/dt$.

[0069] Sofern L_3 und R_3 ermittelt sind, lässt sich bei brennendem Lichtbogen die Lichtbogenspannung U_L auf einfache Weise aus der folgenden Maschengleichung ermitteln

$$U_{SK} + U_{L3} + U_{R3} + U_L = 0.$$

[0070] **Fig. 3** zeigt in schematischer Weise die Möglichkeit der Integration eines Beobachters in die Schweißregelung.

[0071] Für den Schweißkreis **32** und gegebenenfalls die Energieversorgungseinrichtung **24** lassen sich mathematische Modelle ermitteln, die Gegenstand eines regelungstechnischen Beobachters **44** sein können. Der Beobachter **44** stellt dabei parallel zum eigentlichen Schweißprozess die in dem Schweißprozess jeweils vorhandenen Zustandsgrößen mathematisch nach. Hierdurch können auch solche Größen, die messtechnisch nicht unmittelbar erfassbar sind, über die Beobachter-Zustandsgrößen ermittelt werden. Das Grundprinzip eines regelungstechnischen Beobachters **44** ist bekannt. Die Zustandsgrößen werden aus messbaren Eingangs- und Ausgangsgrößen des Beobachters **44** ermittelt. Die in dem Beobachter **44** verwendeten und berechneten Zustandsgrößen können zur Ermittlung der Schweißregelung verwendet werden, und zwar entweder für sich genommen oder als Redundanz bzw. zum Abprüfen der Plausibilität von Messergebnissen.

[0072] Da sehr viele Komponenten mit ihren eigenen Toleranzen und Abhängigkeiten den Schweißprozess beeinflussen, kann durch den Beobachter **44** diese Abhängigkeit reduziert und im Idealfall eliminiert werden.

[0073] **Fig. 4** zeigt einen Schweißprozess **42** und die Möglichkeit der Integration von Ermittlungszeiträumen zur Ermittlung von elektrischen Größen des Schweißkreises in schematischer Form.

[0074] In **Fig. 4** bezeichnet B den Bolzenweg in Bezug auf das Werkstück **14**. Bei Null berührt der Bolzen **12** das Werkstück **14**.

[0075] In dem Zeitablaufdiagramm des Stromes i sind die Werte des Schweißstromes I_s und die Werte des Pilotstromes I_p eingetragen. In entsprechender Weise findet sich in dem Diagramm U_L die Lichtbogenspannung. Die relativen Größen der Lichtbogenspannungen und der Ströme sind nicht maßstabsgerecht sondern zur besseren Darstellung verzerrt dargestellt.

[0076] In dem Diagramm S_1 ist die Stellung des Schalters S_1 dargestellt. Schließlich sind in dem Diagramm M die Ermittlungszeiträume eingetragen.

[0077] Der Bolzenschweißprozess wird durchgeführt, indem der Bolzen **12** zunächst auf das Werkstück **14** abgesenkt wird, bis er auf das Werkstück **14** auftritt (Zeitpunkt t_1). Anschließend wird der Pilotstrom I_p eingeschaltet (zum Zeitpunkt t_2).

[0078] Zu einem Zeitpunkt t_7 wird der Bolzen **12** von dem Werkstück **14** abgehoben, so dass ein Lichtbogen gezogen wird und sich eine entsprechende Lichtbogenspannung U_{LP} einstellt. Zu einem Zeitpunkt t_8 wird der Vorkreis überbrückt, d. h. der Schalter S_1 wird geschlossen. Anschließend wird der Strom auf den Schweißstrom I_S erhöht (zum Zeitpunkt t_9). Durch den relativ hohen Schweißstrom von bis zu 2.000 Ampère werden die einander gegenüberliegenden Oberflächen des Bolzens **12** und des Werkstückes **14** angeschmolzen. Zu einem Zeitpunkt t_{10} wird der Bolzen **12** wieder auf das Werkstück **14** abgesenkt, und zwar bis unter die Nulllage, um die Schmelzen gut zu durchmischen (Zeitpunkt t_{10}). Anschließend wird der Schweißstrom abgeschaltet. Sobald dieser 0 ist, kann auch der Schalter S_1 wieder geöffnet werden (Zeitpunkt t_{11}).

[0079] Die Ermittlung des elektrischen Widerstandes R_3 lässt sich in einem Ermittlungszeitraum T_R durchführen, der mit einem Zeitpunkt t_3 beginnt, wenn also der Pilotstrom I_p eingeschaltet ist und die Lichtbogenspannung U_L noch kurzgeschlossen ist. Der Ermittlungszeitraum T_R endet bei t_4 .

[0080] Im Anschluss daran kann in einem zweiten Ermittlungszeitraum T_L die Induktivität L_3 ermittelt werden, d. h. von einem Zeitpunkt t_5 bis zu einem Zeitpunkt t_6 . Auch hierbei ist die Lichtbogenspannung U_L noch kurzgeschlossen. Hierbei wird für den Ermittlungszeitraum T_L der Schalter S_1 geschlossen. Nach dem Ermittlungszeitraum T_L wird der Schalter S_1 wieder geöffnet, um zum Zeitpunkt t_7 den Strom zu stabilisieren, wenn der Lichtbogen gezogen wird. Sofern der Schalter S_1 als Thyristor ausgebildet ist, kann es notwendig sein, den Pilotstrom I_p kurzzeitig wieder auf 0 abzusenken, um den Thyristor lastfrei zu schalten, damit dieser bei t_6 geöffnet werden kann. Dies ist in dem Diagramm des Stromes schematisch dargestellt. Ferner ist in dem Diagramm des Stromes dargestellt, dass der Strom während des Ermittlungszeitraumes T_L verändert werden kann, um die Induktivität aufgrund der Veränderung des Stromes (di/dt) messen zu können.

[0081] Auch ist in [Fig. 4](#) dargestellt, dass die Ermittlung der Induktivität L_3 auch zwischen den Zeitpunkten von t_{10} und t_{11} durchgeführt werden kann (Ermittlungszeitraum T_L').

[0082] Die messtechnische Erfassung der Spannungen U_{R1} und U_{SK} erfolgt zweckmäßigerweise außerhalb der Ein- und Ausschaltvorgänge von Leistungstransistoren der Energieversorgungseinrichtung, und zwar vorzugsweise mindestens zweimal während der Zeitspanne, in der die Transistoren sicher eingeschaltet und/oder ausgeschaltet sind. Auf diese Art können dann auch die für die Rechnung notwendigen di/dt -Werte sowie die Mittelwerte von I_p bzw. I_S bestimmt werden.

[0083] Die Messungen zur Erfassung und Berechnung der zeitlichen Verläufe müssen nicht in dem Takt der Schaltfrequenz der Leistungstransistoren 1:1 erfolgen, sondern können je nach Auflösungsbedarf bis zum Faktor 1:10 reduziert werden.

[0084] Die Messungen zur Berechnung von R_3 können, wie oben beschrieben, in der Kurzschlussphase vor dem Entstehen des Lichtbogens durchgeführt werden. Die Messungen zur Berechnung von L_3 können entweder in dieser Kurzschlussphase vor dem Entstehen des Lichtbogens oder in der Kurzschlussphase nach dem Erlöschen des Lichtbogens erfolgen, wie oben in Bezug auf T_L bzw. T_L' beschrieben.

[0085] Die Berechnung der zeitlichen Verläufe kann offline nach dem Ende der Schweißung zur Verwertung durch die Schweißparameterüberwachung oder online, d. h. während der Schweißung, erfolgen, um eine Prozessregelung durchzuführen.

[0086] Die Berechnung des Schweißstromes kann die Erwärmung des Widerstandes R_1 infolge von Stromstärke und Stromflussdauer berücksichtigen.

[0087] Die Bestimmung von R_3 und L_3 muss nicht vor jeder Bolzenschweißung erfolgen. In automatischen Anlagen mit reproduzierbaren Bewegungsverläufen der Schweiß- und Masseleitungen ist es auch zulässig, wenn diese Messungen positionsbezogen nur alle 10, 100 oder 1.000 Schweißungen durchgeführt werden. Veränderungen des Widerstandes R_3 können im Rahmen der Schweißparameterüberwachung bewertet werden und so zu einer Aufforderung "vorbeugende Wartung" führen, wenn durch Ermüdung der Widerstand R_3 so groß geworden ist, dass ein erfolgreiches Bolzenschweißen in Kürze nicht mehr gegeben ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 1183125 B1 [\[0007\]](#)
- DE 102005053438 A1 [\[0008\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln von elektrischen Größen (R_3 , L_3) eines Schweißkreises (32), der an eine elektrische Energieversorgungseinrichtung (24) angeschlossen ist, die dazu ausgelegt ist, entweder einen Schweißstrom (I_S) oder einen kleineren Pilotstrom (I_P) bereitzustellen, wobei die Energieversorgungseinrichtung (24) zur Bereitstellung des Pilotstromes (I_P) einen Vorkreis (40) aufweist, der zur Bereitstellung des Schweißstromes (I_S) überbrückt wird, mit den Schritten:

- a) Ermitteln einer ersten elektrischen Größe (R_3), wenn der Vorkreis (40) nicht überbrückt ist, und
- b) Ermitteln einer zweiten elektrischen Größe (L_3), wenn der Vorkreis (40) überbrückt ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste elektrische Größe der elektrische Widerstand (R_3) des Schweißkreises (32) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die zweite elektrische Größe die Induktivität (L_3) des Schweißkreises (32) ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Vorkreis (40) eine Induktivität (L_2) aufweist, die sehr viel größer ist als die Schweißkreis-Induktivität (L_3).

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Schritt a) und/oder der Schritt b) im Verlauf eines Schweißprozesses (42) durchgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der Schritt a) durchgeführt wird, wenn eine Schweißspannung (U_L) kurzgeschlossen ist und der Pilotstrom (I_P) eingeschaltet ist.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Schritt b) durchgeführt wird, wenn eine Schweißspannung (U_L) kurzgeschlossen ist und bevor der Strom von dem Pilotstrom (I_P) auf den Schweißstrom (I_S) erhöht wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei zur Durchführung des Schrittes b) der Vorkreis (40) für einen Ermittlungszeitraum (T_L) überbrückt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Schritt b) während des Abfallens des Schweißstromes (I_S) durchgeführt wird, nachdem der Schweißstrom (I_S) angeschaltet war und nachdem eine Schweißspannung (U_L) sich wieder im Kurzschluss befindet.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Schritt a) und/oder der Schritt b) vor oder nach einem Schweißprozess (42) durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis

10, wobei im Schritt b) zur Ermittlung der zweiten elektrischen Größe (L_3) das Ergebnis des Schrittes a) zur Ermittlung der ersten elektrischen Größe (R_3) verwendet wird.

12. Verfahren zur Regelung eines Schweißprozesses unter Verwendung von elektrischen Größen (R_3 , L_3) eines Schweißkreises (32), die in einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 ermittelt wurden.

13. Verfahren zur Regelung eines Schweißprozesses (42), insbesondere nach Anspruch 12, wobei ein mathematisches Modell des Schweißkreises einen regelungstechnischen Beobachter (44) bildet und wenigstens ein Schweißparameter in Abhängigkeit von einer in dem Beobachter (44) enthaltenen Zustandsgröße eingestellt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der Beobachter auch ein mathematisches Modell einer Leistungselektronik (26) enthält, die dazu verwendet wird, den Schweißkreis (32) anzusteuern.

15. Vorrichtung zum Schweißen, mit einer Energieversorgungseinrichtung (24) und einer Steuereinrichtung (30), die dazu ausgelegt ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 durchzuführen.

16. Bolzenschweißanlage (10) zum Schweißen von Bolzen (12) auf Werkstücke (14) unter Verwendung eines Lichtbogens (38), der im Wege der Hubzündung gezündet wird, mit einer Energieversorgungseinrichtung (24), die mit einem den Bolzen (12) haltenden Schweißkopf (20) über wenigstens eine Verbindungsleitung (34) verbunden ist, die Teil eines Schweißkreises (32) bildet, und mit einer Steuereinrichtung (30), die dazu ausgelegt ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 durchzuführen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

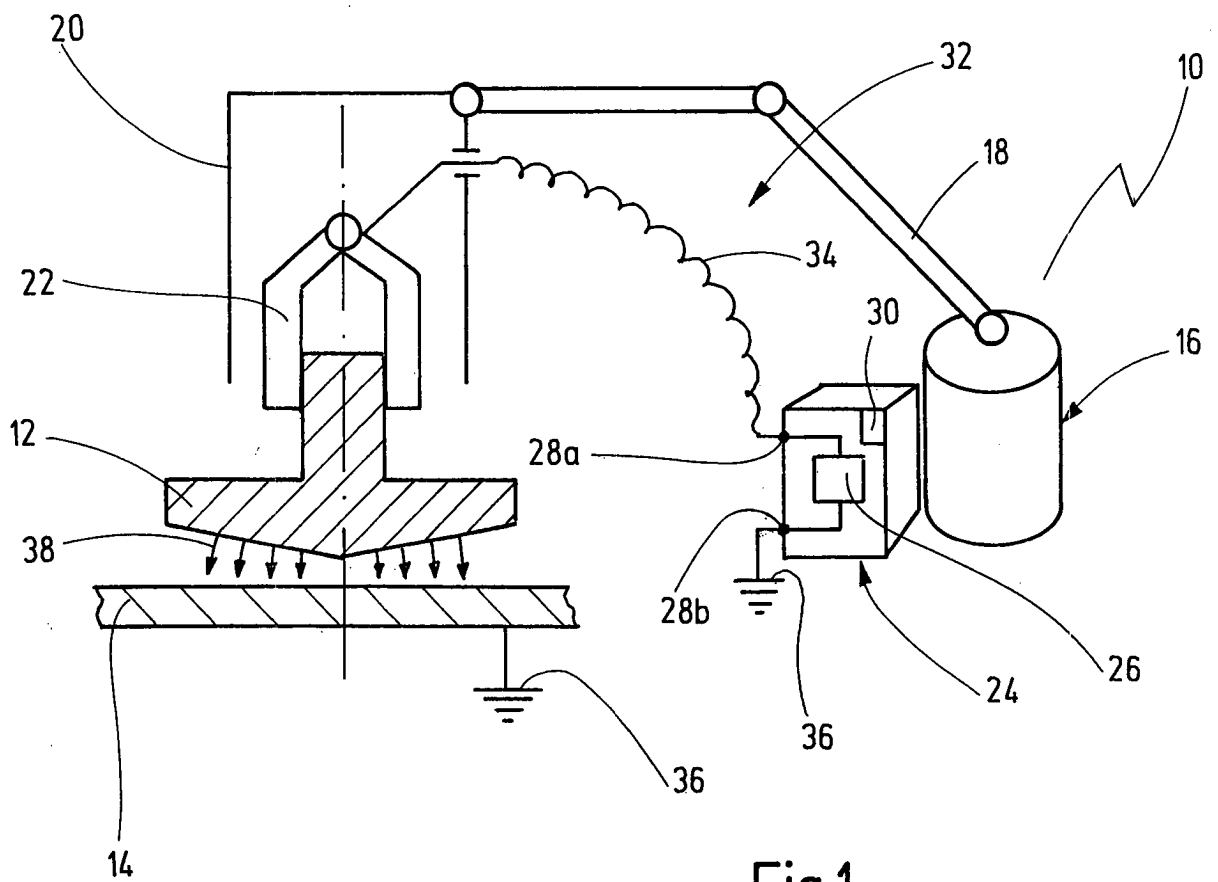


Fig.1

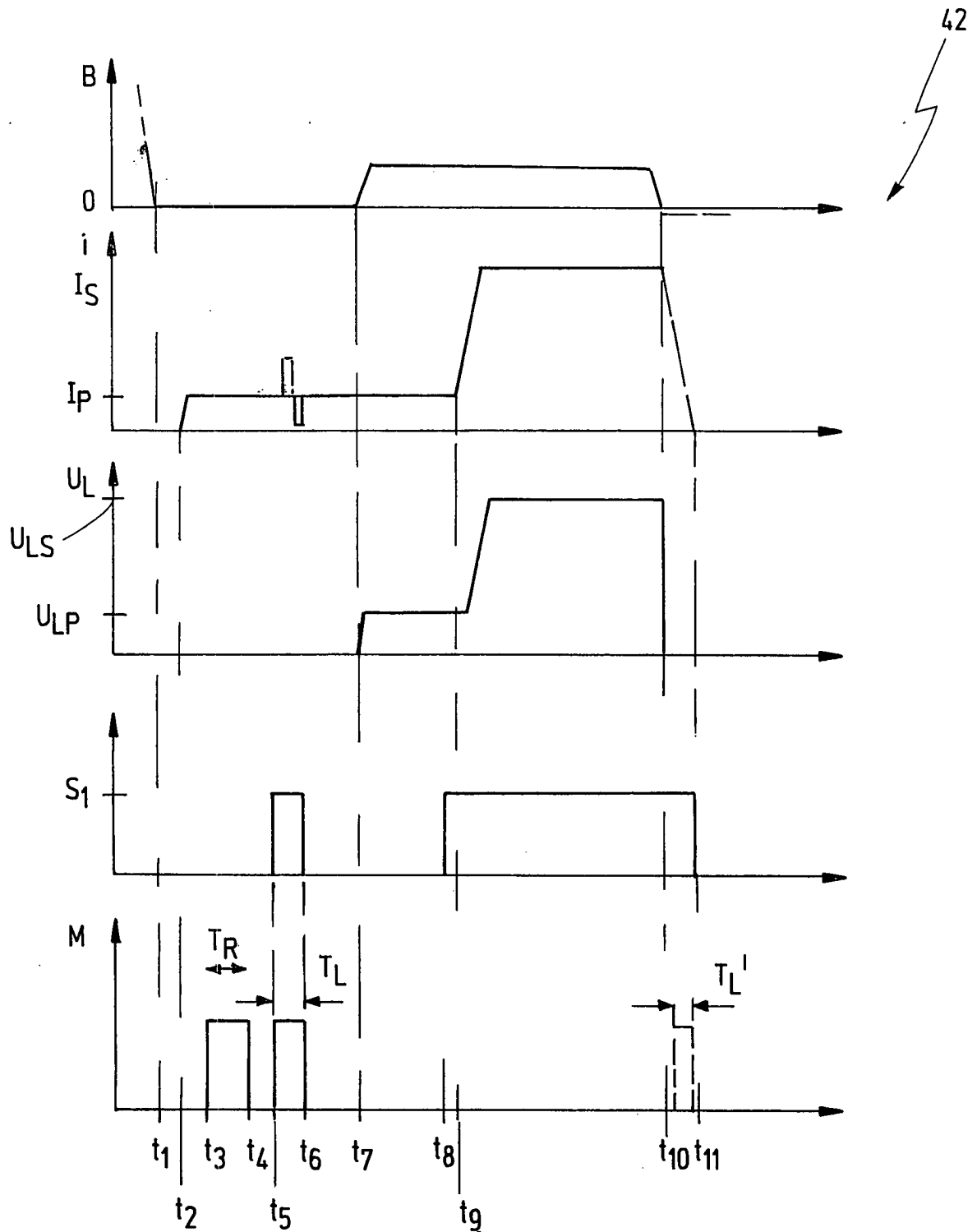


Fig.4