

Veröffentlichung

(51) Int Cl.: **B23K 9/073** (2006.01)

(74) Vertreter:
**Grosse, Schumacher, Knauer, von Hirschhausen,
45133 Essen, DE**

(72) Erfinder:
**Koprivnak, George Bradley, Painesville, Ohio, US;
Dodge, Robert L., Mentor, Ohio, US**

(54) Bezeichnung: **Systeme und Verfahren zum Bereitstellen einer Niederstromregelung für Wechselstrom-Lichtbogenschweissprozesse**

Beschreibung**QUERVERWEIS AUF
VERWANDTE ANMELDUNGEN**

[0001] Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen US-Patentanmeldung Nr. 61/900,635, eingereicht am 6. November 2013, sowie der US-Patentanmeldung Nr. 14/248,410, eingereicht am 4. April 2014, und ist eine Teilweiterbehandlung der US-Patentanmeldung Nr. 13/625,177, eingereicht am 24. September 2012, von denen jede hiermit durch Bezugnahme in vollem Umfang in den vorliegenden Text aufgenommen wird.

TECHNISCHES GEBIET

[0002] Bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung betreffen das Lichtbogenschweißen. Genauer gesagt, betreffen bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung Systeme und Verfahren zum Bereitstellen einer Niederstromregelung für Wechselstrom-Lichtbogenschweißprozesse zum Regeln der Lichtbogenschweißleistung.

HINTERGRUND

[0003] Bestimmte Schweißsysteme des Standes der Technik verwenden Brückentopologien in einer Schweißstromquelle zum Bereitstellen einer Wechselstromschweißfähigkeit. Eine Halbbrückentopologie kann in einer Schweißstromquelle verwendet werden, die duale Ausgangsstrompfade aufweist, die dafür konfiguriert sind, einen gemeinsamen Pfad gemeinsam zu nutzen, dergestalt, dass jeder Ausgang einen Fluss von entgegengesetzter Polarität in dem gemeinsam genutzten Pfad induzieren kann. In der Praxis sind viele Schweißstromquellen in dieser Weise konfiguriert und erfordern möglicherweise nur die Hinzufügung eines zweiten Satzes Gleichrichtervorrichtungen zum Vervollständigen des zweiten Pfades. Ein Schalter kann in dem nicht gemeinsam genutzten Pfad jedes Stromquellenabschnitts angeordnet werden, und die Richtung des Stromflusses durch einen verbundenen Schweißausgangstromkreispfad wird durch den aktiven Abschnitt bestimmt. Eine Vollbrückentopologie kann mit nahezu jeder Stromquellentopologie, Flexibilität und dem Potenzial, zu vorhandenen konstruierten Stromquellen hinzugefügt zu werden, verwendet werden. Die Vollbrückentopologie erlaubt eine einfache Implementierung von Nulldurchgangsassistentkreisen. Eine Sperrdiode kann verwendet werden, um die Bauelemente in der Stromquelle vor Hochspannungstransienten zu schützen, die während des Nulldurchgangs auftreten. Für viele Schweißprozesse, wie zum Beispiel einen Wechselstrom-Gas-Wolfram-Lichtbogenschweiß(GTAW oder WIG)-Prozess oder einen Gas-Metall-Lichtbogenschweiß(GMAW oder MIG)-Prozess, ist es wünschenswert, dass der Lichtbo-

gen zwischen der Elektrode und dem Werkstück in der entgegengesetzten Polaritätsrichtung rasch neu gezündet wird, wenn der Schweißstrom einen Nulldurchgang ausführt.

[0004] Eine Schweißstromquelle kann einen maximalen Spannungspegel (zum Beispiel 100 V-) haben, für dessen Ausgabe sie ausgelegt ist. Wenn ein Schweißwechselstrom einen Nulldurchgang ausführt (d. h. seine Polarität ändert), so kann eine höhere Spannung (zum Beispiel 300 V-) von der Stromquelle abgefordert werden, als die Stromquelle liefern kann, um den Lichtbogen aufrecht zu halten und den Lichtbogen stabiler zu machen, wenn der Lichtbogenstrom niedrig ist, und den Lichtbogen zwischen der Elektrode und dem Werkstück neu zu zünden. Infolge dessen kann der Lichtbogen erlöschen und möglicherweise nicht wiederhergestellt werden. Wenn beim WIG-Schweißen (wo es keine Drahtelektrode gibt) der Lichtbogen erlischt, so muss die Schweißstromquelle möglicherweise den gesamten Lichtbogenherstellungsprozess wiederholen, bevor das Schweißen fortgesetzt werden kann, was einen ineffizienten Schweißprozess zur Folge hat. Im Allgemeinen neigt die Plasmasäule, die beim Niederstrom-Lichtbogenschweißen entsteht, zur Instabilität und kann zu unerwünschten Lichtbogenausfällen führen.

[0005] Weitere Einschränkungen und Nachteile herkömmlicher, traditioneller und vorgeschlagener Lösungsansätze erkennt der Fachmann durch Vergleichen solcher Lösungsansätze mit Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, die im übrigen Teil der vorliegenden Anmeldung mit Bezug auf die Zeichnungen dargelegt sind.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung enthalten Systeme und Verfahren zum Bereitstellen einer Niederstromregelung für Gleichstrom- und Wechselstrom-Lichtbogenschweißprozesse zum Regeln der Lichtbogenschweißleistung durch Regeln des Schweißausgangsstroms sowie zum Bereitstellen eines Mittels zum Generieren einer Spannung zum Neuzünden während eines Polaritätsübergangs, um das Wiederentzünden des Lichtbogens sicherzustellen. Das Anlegen eines höheren Spannungspegels zwischen der Schweißelektrode und dem Werkstück bei und in der Nähe des Polaritätsübergangs des Schweißstroms dient dem Zweck, den Lichtbogen sofort und zuverlässig in der entgegengesetzten Polarität wieder zu entzünden, selbst wenn die Spannung von der Stromquelle begrenzt ist. Wechselstromschweißen, polaritätsvariables Schweißen (zum Beispiel Gleichstromschweißen in jeder Polarität) und andere Hybridschweißprozesse werden unterstützt. Konfigurationen von polaritätsumkehrenden Brückenkreisen und Lichtbogen-

Regelungskreisen erlauben die Richtungsumschaltung des ausgegebenen Schweißstroms durch den Schweißausgangsstromkreispfad, während sie außerdem eine verbesserte Niederstromregelung und das schnelle Wiederentzünden des Lichtbogens erlauben, wenn der Schweißstrom die Polarität ändert. Ein Lichtbogen-Regelungskreis, der einen Induktor und eine Konstantstromquelle aufweist, liefert die Spannung, die während eines Strompolaritätsübergangs gebraucht wird, um den Lichtbogen rasch und zuverlässig wieder zu entzünden. In einigen Ausführungsformen kann ein Überlagerungskondensator zusätzliche gespeicherte Energie bereitstellen, um das Wiederentzünden des Lichtbogens während eines oder beider Polaritätsübergänge zu unterstützen.

[0007] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Schweißstromquelle. Die Schweißstromquelle enthält eine Steuereinheit und einen Leistungswandlungskreis, der dafür konfiguriert ist, einen Eingangsstrom in einen Ausgangsstrom umzuwandeln. Der Leistungswandlungskreis kann Transformator-basiert und mit einer Halbbrückenausgangstopologie ausgestattet sein. Der Leistungswandlungskreis kann eine Gleichstromausgangstopologie enthalten. Der Leistungswandlungskreis kann zum Beispiel ein Inverter-basierter Kreis oder ein Zerkacker-basierter Kreis sein. Die Schweißstromquelle enthält außerdem einen Brückenkreis, der mit dem Leistungswandlungskreis wirkverbunden ist und dafür konfiguriert ist, auf Befehl der Steuereinheit eine Richtung des Ausgangsstroms durch einen Schweißausgangsstromkreispfad umzuschalten, der mit einem Schweißausgang der Schweißstromquelle wirkverbunden ist. Der Brückenkreis kann zum Beispiel als ein Halbbrückenkreis oder als ein Vollbrückenkreis konfiguriert sein. Der Brückenkreis kann zum Beispiel mindestens zwei Schalttransistoren enthalten. Die Schweißstromquelle enthält des Weiteren einen Lichtbogen-Regelungskreis, der mit dem Brückenkreis wirkverbunden ist und dafür konfiguriert ist, eine Spannung zwischen einer Elektrode und einem Werkstück des Schweißausgangsstromkreispfades zu induzieren, die für ein Wiederentzünden des Lichtbogens während eines Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms ausreichend ist. Der Lichtbogen-Regelungskreis kann zum Beispiel mindestens einen Induktor und mindestens eine Konstantstromquelle enthalten. Die Konstantstromquelle stellt einen geregelten Konstantstrom zwischen beispielsweise 2 und 10 A am Lichtbogen bereit, um eine Niedrigausgangsstromregelung zu ermöglichen. Der Wert des mindestens einen Induktors kann gemäß verschiedenen Ausführungsformen zwischen etwa 10 und 100 Millihenry (zum Beispiel 20 Millihenry) betragen. Der Leistungswandlungskreis, der Brückenkreis und der Lichtbogen-Regelungskreis können dafür konfiguriert sein, auf Befehl der Steuereinheit der Schweißstromquelle einen Gleichstrom-positiven Schweißvorgang,

einen Gleichstrom-negativen Schweißvorgang oder einen Wechselstromschweißvorgang bereitzustellen. Gemäß einer alternativen Ausführungsform können sich der Brückenkreis und der Lichtbogen-Regelungskreis außerhalb der Schweißstromquelle befinden – zum Beispiel in Form eines Moduls, das mit der Schweißstromquelle wirkverbunden ist.

[0008] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Schweißstromquelle. Die Schweißstromquelle enthält ein Mittel zum Konvertieren eines Eingangsstroms zu einem Ausgangsstrom und ein Mittel zum Umschalten einer Richtung des Ausgangsstroms durch einen Schweißausgangsstromkreispfad, der mit einem Schweißausgang der Schweißstromquelle wirkverbunden ist, um mindestens einen Wechselstromschweißvorgang bereitzustellen. Die Schweißstromquelle enthält außerdem ein Mittel zum Induzieren einer Spannung zwischen einer Schweißelektrode und einem Schweißwerkstück des Schweißausgangsstromkreispfades während eines Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms zur automatischen Wiederherstellung eines Lichtbogens zwischen der Schweißelektrode und dem Werkstück mit einer entgegengesetzten Polarität.

[0009] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren. Das Verfahren enthält das Umwandeln eines Eingangsstroms in einen Ausgangsstrom in einer Schweißstromquelle. Das Verfahren enthält außerdem das Umschalten einer Richtung des Ausgangsstroms durch einen Schweißausgangsstromkreispfad, der mit einem Schweißausgang der Schweißstromquelle wirkverbunden ist, von einer ersten Richtung zu einer zweiten Richtung auf Befehl einer Steuereinheit der Schweißstromquelle. Das Verfahren enthält des Weiteren das Induzieren eines Spannungspegels zwischen einer Schweißelektrode und einem Werkstück des Schweißausgangsstromkreispfades, der ausreichend ist, um einen Lichtbogen zwischen der Elektrode und dem Werkstück in der zweiten Richtung als Teil des Umschaltens in die zweite Richtung automatisch wieder zu entzünden. Das Verfahren kann außerdem Folgendes enthalten: Umschalten einer Richtung des Ausgangsstroms durch den Schweißausgangsstromkreispfad von der zweiten Richtung zu der ersten Richtung auf Befehl der Steuereinheit der Schweißstromquelle, und des Weiteren Induzieren eines Spannungspegels zwischen der Schweißelektrode und dem Werkstück des Schweißausgangsstromkreispfades, der ausreichend ist, um einen Lichtbogen zwischen der Elektrode und dem Werkstück in der ersten Richtung als Teil des Umschaltens zu der ersten Richtung automatisch wieder zu entzünden. Die Schritte des Induzierens eines Spannungspegels können durch einen Lichtbogen-Regelungskreis erreicht werden, der mindestens einen Induktor und mindestens eine Konstantstromquelle aufweist.

[0010] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Schweißstromquelle. Die Schweißstromquelle enthält einen Brückenkreis, der dafür konfiguriert ist, einen Wechselstrom-Schweißausgangsstrom bereitzustellen. Die Schweißstromquelle enthält des Weiteren einen Lichtbogen-Regelungskreis, der mit dem Brückenkreis wirkverbunden und dafür konfiguriert ist, eine Spannung an einem Schweißausgang der Schweißstromquelle zu induzieren, die eine ausreichende Größenordnung besitzt, um einen Lichtbogen in einem Ausgangsstromkreispfad, der mit dem Schweißausgang verbunden ist, bei Umkehr einer Polarität eines Schweißausgangsstroms durch den Ausgangsstromkreispfad automatisch wieder zu entzünden. Der Lichtbogen-Regelungskreis kann mindestens einen Induktor und mindestens eine Konstantstromquelle enthalten.

[0011] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Schweißstromquelle. Die Schweißstromquelle enthält einen Stromumschaltkreis, der mindestens einen Induktor und mindestens eine Konstantstromquelle aufweist, wobei der mindestens eine Induktor und die mindestens eine Konstantstromquelle dafür konfiguriert sind, an einer Last, die mit einem Schweißausgang der Schweißstromquelle verbunden ist, eine Spannung zu induzieren, die ausreichend ist, um einen Schweißlichtbogen an der Last bei Umkehr einer Polarität eines Schweißausgangsstroms durch die Last wieder zu entzünden. Der Stromumschaltkreis kann zum Beispiel als ein Halbbrückenkreis oder ein Vollbrückenkreis konfiguriert sein. Weitere Ausführungsformen können aus der folgenden Beschreibung, den Ansprüchen und den Zeichnungen abgeleitet werden.

[0012] Details veranschaulichter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden anhand der folgenden Beschreibung und Zeichnungen besser verstanden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0013] Fig. 1 veranschaulicht ein Blockschaubild einer beispielhaften Ausführungsform einer Schweißstromquelle, die mit einer Schweißelektrode und einem Werkstück wirkverbunden ist;

[0014] Fig. 2 veranschaulicht ein Schaubild einer ersten beispielhaften Ausführungsform eines Abschnitts der Schweißstromquelle von Fig. 1, die einen Brückenkreis und einen bipolaren Lichtbogen-Regelungskreis aufweist;

[0015] Fig. 3A–Fig. 3C veranschaulichen den Betrieb der Schweißstromquelle in Fig. 2 im Fall der Implementierung einer Wechselstrom-Schweißausgangsstromwellenform;

[0016] Fig. 4 veranschaulicht ein Schaubild einer zweiten beispielhaften Ausführungsform eines Abschnitts der Schweißstromquelle von Fig. 1, die einen Brückenkreis und einen bipolaren Lichtbogen-Regelungskreis aufweist;

[0017] Fig. 5 veranschaulicht ein Schaubild einer dritten beispielhaften Ausführungsform eines Abschnitts der Schweißstromquelle von Fig. 1, die einen Brückenkreis und einen bipolaren Lichtbogen-Regelungskreis aufweist;

[0018] Fig. 6 veranschaulicht ein Schaubild einer vierten beispielhaften Ausführungsform eines Abschnitts der Schweißstromquelle von Fig. 1, die einen Brückenkreis und einen bipolaren Lichtbogen-Regelungskreis aufweist;

[0019] Fig. 7A–Fig. 7B veranschaulichen den Betrieb der Schweißstromquelle in Fig. 2, die den optionalen Überlagerungskondensator enthält, im Fall der Implementierung einer Wechselstrom-Schweißausgangsstromwellenform;

[0020] Fig. 8A–Fig. 8B veranschaulichen den Betrieb einer weiteren Ausführungsform einer Schweißstromquelle, die einen Überlagerungskondensator enthält, im Fall der Implementierung einer Wechselstrom-Schweißausgangsstromwellenform; und

[0021] Fig. 9A–Fig. 9C veranschaulichen den Betrieb einer weiteren Ausführungsform einer Schweißstromquelle, die eine unabhängige Entladungssteuerung eines Überlagerungskondensators enthält, im Fall der Implementierung einer Wechselstrom-Schweißausgangsstromwellenform.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0022] Es folgen Definitionen beispielhafter Begriffe, die innerhalb der Offenbarung verwendet werden können. Sowohl die Einzahl- als auch die Mehrzahlformen aller Begriffe fallen in die jeweilige Bedeutung: „Software“ oder „Computerprogramm“ im Sinne des vorliegenden Textes beinhaltet beispielsweise eine oder mehrere computerlesbare und/oder -ausführbare Anweisungen, die einen Computer oder eine andere elektronische Vorrichtung veranlassen, gewünschte Funktionen oder Aktionen auszuführen und/oder sich in einer gewünschten Weise zu verhalten. Die Anweisungen können in verschiedenen Formen verkörpert sein, wie zum in Beispiel Routinen, Algorithmen, Modulen oder Programmen, die separate Anwendungen oder Code von dynamisch verlinkten Bibliotheken enthalten. Software kann ebenfalls in verschiedenen Formen implementiert werden, wie zum Beispiel als ein eigenständiges Programm, ein Funktionsruf, ein Servlet, ein Applet, eine Anwendung, Anweisungen, die in einem Speicher gespeichert sind, ein Teil eines Betriebssystems oder irgend eine andere

re Art von ausführbaren Anweisungen. Dem Durchschnittsfachmann leuchtet ein, dass die Form der Software zum Beispiel von den Anforderungen einer gewünschten Anwendung, der Umgebung, in der sie abläuft, und/oder den Vorstellungen eines Designers oder Programmiers oder dergleichen abhängig ist.

[0023] „Computer“ oder „Verarbeitungselement“ oder „Computervorrichtung“ im Sinne des vorliegenden Textes beinhaltet beispielsweise eine beliebige programmierte oder programmierbare elektronische Vorrichtung, die Daten speichern, abrufen und verarbeiten kann. Zu „nicht-transitorischen computerlesbaren Medien“ gehören beispielsweise eine CD-ROM, eine Flash-Wechselspeicherkarte, ein Festplattenlaufwerk, ein Magnetband und eine Floppy-Disk.

[0024] „Schweißwerkzeug“ meint im Sinne des vorliegenden Textes beispielsweise eine Schweißpistole, einen Schweißbrenner oder eine sonstige Schweißvorrichtung, die eine aufzehrbare oder nicht-aufzehrbare Schweißelektrode aufnimmt, um von einer Schweißstromquelle kommende elektrische Leistung an die Schweißelektrode anzuleiten.

[0025] „Schweißausgangsstromkreispfad“ meint im Sinne des vorliegenden Textes den elektrischen Pfad von einer ersten Seite des Schweißausgangs einer Schweißstromquelle durch ein erstes Schweißkabel (oder eine erste Seite eines Schweißkabels) zu einer Schweißelektrode, zu einem Werkstück (entweder durch einen Kurzschluss oder einen Lichtbogen zwischen der Schweißelektrode und dem Werkstück), durch ein zweites Schweißkabel (oder eine zweite Seite eines Schweißkabels) und zurück zu einer zweiten Seite des Schweißausgangs der Schweißstromquelle.

[0026] „Schweißkabel“ meint im Sinne des vorliegenden Textes das elektrische Kabel, das zwischen einer Schweißstromquelle und einer Schweißelektrode und dem Werkstück (zum Beispiel durch eine Schweißdrahtzuführvorrichtung) verbunden sein kann, um elektrischen Strom bereitzustellen, um einen Lichtbogen zwischen der Schweißelektrode und dem Werkstück zu erzeugen.

[0027] „Schweißausgang“ kann sich im Sinne des vorliegenden Textes auf die elektrischen Ausgangsschaltungen oder den elektrischen Ausgangsport oder die elektrischen Ausgangsanschlüsse einer Schweißstromquelle oder auf die elektrische Leistung, die elektrische Spannung oder den elektrischen Strom beziehen, die bzw. der durch die elektrischen Ausgangsschaltungen oder den elektrischen Ausgangsport einer Schweißstromquelle bereitgestellt wird, oder auf die Last, die an einen Ausgang einer Schweißstromquelle angeschlossen ist.

[0028] „Computerspeicher“ meint im Sinne des vorliegenden Textes eine Speichervorrichtung, die dafür konfiguriert ist, digitale Daten oder Informationen zu speichern, die durch einen Computer oder ein Verarbeitungselement abgerufen werden können.

[0029] „Steuereinheit“ meint im Sinne des vorliegenden Textes die Logikschaltungen und/oder Verarbeitungselemente und zugehörige Software oder ein zugehöriges Programm, die bzw. das an der Steuerung einer Schweißstromquelle beteiligt ist.

[0030] Die Begriffe „Signal“, „Daten“ und „Informationen“ können im vorliegenden Text austauschbar verwendet werden und können in digitaler oder analoger Form vorliegen.

[0031] Der Begriff „Wechselstromschweißen“ wird im vorliegenden Text in einem allgemein Sinn verwendet und kann sich sowohl auf echtes Wechselstromschweißen, Gleichstromschweißen mit positiven und negativen Polaritäten, polaritätsvariables Schweißen und andere Hybridschweißprozesse beziehen.

[0032] Die Plasmasäule, die beim Niederstrom-Lichtbogenschweißen entsteht, neigt zur Instabilität und kann zu unerwünschten Lichtbogensausfällen führen. Bei Wechselstromschweißprozessen stoppt zusätzlich der Lichtbogenstrom und ändert seine Richtung während des Null-Übergangs. In Abhängigkeit vom Zustand des Lichtbogenplasmas und der Gase, die die Schweißnaht umgeben, kann sich der Lichtbogen wieder entzünden oder auch nicht. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung enthalten einen Niederstromlichtbogen-Regelungskreis, der einen exakt gesteuerten Strom mit einem signifikanten Betrag an Induktivität bereitstellt, der eine Hochenergie-Konstantstromquelle zum Stabilisieren des Lichtbogenplasmas darstellt. Während eines Polaritätswechsels klingt der Lichtbogenstrom auf null ab, bevor er in der entgegengesetzten Polarität weiterfließt. Während dieser Polaritätsübergangszeit fließt sowohl der Strom vom Lichtbogen als auch vom Lichtbogen-Regelungskreis in einen Hochspannungs-Snubberkreis. Die durch den Snubberkreis erzeugte Hochspannung erschöpft rasch die gesamte Lichtbogenenergie. Jedoch wird nur ein kleiner Teil der Energie des Lichtbogen-Regelungskreises erschöpft. Wenn die Energie der Schweißstromkreis-Induktivität erschöpft ist, so ist der Schweißausgang in der Lage, die Polarität umzukehren. Die Lichtbogen-Neuzündungsspannung wird durch Energie bereitgestellt, die im Induktor des Lichtbogen-Regelungskreises gespeichert ist, und wird durch den Hochspannungs-Snubberkreis begrenzt. Sobald der Lichtbogen wiederhergestellt ist, wird der Strom von dem Lichtbogen-Regelungskreis zurück zum Lichtbogen umgelenkt, und die Spannung kollabiert zurück

zu jener, die erforderlich ist, um den Lichtbogen aufrecht zu erhalten.

[0033] Fig. 1 veranschaulicht ein Blockschaubild einer beispielhaften Ausführungsform einer Schweißstromquelle **100**, die mit einer Schweißelektrode E und einem Werkstück W wirkverbunden ist. Die Schweißstromquelle **100** enthält einen Leistungswandlungskreis **110**, der eine Schweißausgangsleistung zwischen der Schweißelektrode E und dem Werkstück W bereitstellt. Der Leistungswandlungskreis **110** kann Transformatorbasiert sein und eine Halbbrückenausgangstopologie aufweisen. Zum Beispiel kann der Leistungswandlungskreis **110** von einem Inverter-Typ sein, der zum Beispiel eine Eingangsleistungsseite und eine Ausgangsleistungsseite enthält, die durch die primäre bzw. die sekundäre Seite eines Schweißtransformators abgegrenzt wird. Es sind auch andere Typen von Leistungswandlungskreisen möglich, wie zum Beispiel ein Zerhacker-Typ, der eine Gleichstromausgangstopologie aufweist. Eine optionale Drahtzufuhrvorrichtung **5** kann eine aufzehrbare Draht-Schweißelektrode E in Richtung des Werkstücks W zuführen. Alternativ kann die Elektrode E, wie in einem GTAW-Prozess, nicht-aufziehbar sein, und die Drahtzufuhrvorrichtung **5** braucht nicht verwendet zu werden, oder kann dafür verwendet werden, einen Fülldraht in Richtung des Werkstücks W zu leiten. Die Drahtzufuhrvorrichtung **5**, die aufzehrbare Schweißelektrode E und das Werkstück W sind nicht Teil der Schweißstromquelle **100**, können aber mit der Schweißstromquelle **100** über ein Schweißausgangskabel wirkverbunden sein.

[0034] Die Stromquelle **100** enthält des Weiteren einen Wellenformgenerator **120** und eine Steuereinheit **130**. Der Wellenformgenerator **120** generiert Schweißwellenformen auf Anweisung der Steuereinheit **130**. Eine durch den Wellenformgenerator **120** erzeugte Wellenform moduliert das Ausgangssignal des Leistungswandlungskreises **110**, um den Schweißausgangsstrom zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W zu erzeugen.

[0035] Die Schweißstromquelle **100** enthält des Weiteren einen Spannungsrückmeldungskreis **140** und einen Stromrückmeldungskreis **150** zum Überwachen der Schweißausgangsspannung und des Schweißausgangsstroms zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W und zum Zurückmelden der überwachten Spannung und des überwachten Stroms an die Steuereinheit **130**. Die zurückgemeldete Spannung und der zurückgemeldete Strom können durch die Steuereinheit **130** verwendet werden, um Entscheidungen mit Bezug auf das Modifizieren der durch den Wellenformgenerator **120** erzeugten Schweißwellenform zu treffen und/oder andere Entscheidungen zu treffen, die zum Beispiel den Betrieb der Schweißstromquelle **100** beeinflussen.

[0036] Die Schweißstromquelle **100** enthält außerdem einen Stromumschaltkreis **180**, der einen Brückenkreis **160** und einen Lichtbogen-Regelungskreis **170** aufweist. Der Brückenkreis **160** ist mit dem Leistungswandlungskreis **110** wirkverbunden und ist dafür konfiguriert, auf Befehl der Steuereinheit **130** eine Richtung des Ausgangsstroms durch einen Niedrigimpedanz-Schweißausgangsstromkreispfad (der die Elektrode E und das Werkstück W enthält), der mit einem Schweißausgang der Schweißstromquelle **100** wirkverbunden ist, umzuschalten. Der Lichtbogen-Regelungskreis ist mit dem Brückenkreis wirkverbunden und dafür konfiguriert, eine exakt geregelte Niedrigwert-Stromzufuhr bereitzustellen, um Schweißen am unteren Ende zu stabilisieren und Strompolaritätsübergänge um null herum zu unterstützen (zum Beispiel durch Induzieren einer Spannung zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W des Schweißausgangsstromkreispfades, die ausreicht, um den Lichtbogen während eines Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms wieder zu entzünden). Detaillierte Beispiele und die Funktionsweise solcher Brücken- und Lichtbogenregelungskreise werden weiter unten noch ausführlich beschrieben.

[0037] Fig. 2 veranschaulicht ein Schaubild einer ersten beispielhaften Ausführungsform eines Abschnitts der Schweißstromquelle **100** von Fig. 1, die einen Brückenkreis **160** und einen bipolaren Lichtbogen-Regelungskreis **170** aufweist. Des Weiteren ist in Fig. 2 ein Abschnitt **210** des Leistungswandlungskreises **110** veranschaulicht, wobei der Leistungswandlungskreis **110** eine in der Mitte abgegriffene oder Halbbrückentopologie (zum Beispiel ein Inverter-basierter Stromkreis) ist. Der Stromumschaltkreis **180** von Fig. 2 hat die Form einer Halbbrückentopologie, wobei der Leistungswandlungskreis **110** duale Ausgangsstrompfade bereitstellt, die dafür konfiguriert sind, einen gemeinsamen Pfad gemeinsam zu nutzen, dergestalt, dass jeder Ausgangspfad eines Fluss von entgegengesetzter Polarität in dem gemeinsam genutzten Pfad induzieren kann.

[0038] Der Brückenkreis **160** enthält Schalttransistoren **211** und **212**. Der Lichtbogenregulierungskreis **170** enthält Schalttransistoren **213** und **214**, einen Induktor **215**, eine Konstantstromquelle **216**, Dioden **217–220** und einen optionalen Überlagerungskondensator **221**. Gemäß einer Ausführungsform sind die Schalttransistoren Bipolartransistoren mit isolierter Sperrelektrode (IGBTs). Jedoch können gemäß anderen Ausführungsformen auch andere Typen von Schalttransistoren verwendet werden (zum Beispiel Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren oder MOSFETs). Gemäß einer Ausführungsform kann die Konstantstromquelle justierbar sein (zum Beispiel zwischen 2 A und 10 A). Ein aktiver Snubberkreis **181**, der eine Diode **182** und einen Kondensator **183** aufweist, wird dafür verwendet, die Spannung am Stromumschaltkreis **180** zu be-

grenzen (zum Beispiel irgendwo zwischen 300 V und 600 V), um den Ausgangsstrom durch den Ausgangsstromkreispfad zu veranlassen, rasch abzuklingen, und den Lichtbogen-Neuzündungsspannungspegel zu begrenzen. Die anti-parallelen Dioden der Schalttransistoren **211** und **212** transportieren den Snubber-/Abklingstrom. Ein Vorladen des Induktors (zum Beispiel durch Kurzschließen der Transistoren des Lichtbogen-Regelungskreises **170**) kann erwünscht sein, dergestalt, dass der Induktor gespeicherte Energie hat und bereit ist, initiale Lichtbogenentzündungsfunktionen (am Beginn des Schweißprozesses) oder Lichtbogen-Neuzündungsfunktionen (bei Nulldurchgängen) rascher ausführen.

[0039] Der optionale Überlagerungskondensator **221** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** kann dafür verwendet werden, einen moderaten Overshoot durch Null-Strom während eines Polaritätswechsels bereitzustellen. Der Kondensator **221** kann Energie von dem Induktor des Lichtbogen-Regelungskreises während der Brückentotzeit speichern. Die Energie kann freigesetzt werden, wenn der Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität wiederhergestellt ist, wodurch eine zusätzliche Verstärkung oder ein Overshoot zusätzlich zu dem Strom bereitgestellt wird, der durch die Konstantstromquelle und den Induktor bereitgestellt wird. In **Fig. 2** ist der Kondensator direkt mit der Stromquelle **216** und dem Induktor **215** verbunden. Der Induktor lädt den Kondensator während der Totzeit, und der Kondensator gibt Energie an die Last ab, wenn der Brückenkreis **160** sich wieder EINSchaltet. Dieser Zyklus vollzieht sich bei jedem Polaritätswechsel. Die Oberseite des Kondensators **221** kann mit der Katode der Diode **217** anstelle des Induktors **215** verbunden werden, wodurch immer noch ein Laden in beiden Halbzyklen möglich ist, aber Energie nur beim Negativ-zu-positiv-Übergang abgegeben wird, wodurch die erforderliche Totzeit pro Zyklus zum Laden minimiert wird, während die gespeicherte Energie maximiert wird.

[0040] Der Stromumschaltkreis **180** von **Fig. 2** erlaubt einen Wechselstromschweißvorgang und induziert eine Spannung am Schweißausgang der Schweißstromquelle, die eine ausreichende Größenordnung besitzt, um den Schweißlichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W während Polaritätsumkehrungen des Schweißprozesses wiederherzustellen, wie im vorliegenden Text mit Bezug auf die **Fig. 3A–Fig. 3C** beschrieben, und zwar ohne den optionalen Überlagerungskondensator **221**. Es sind Schweißausgangsanschlüsse **191** und **192** gezeigt, die den Schweißausgang der Schweißstromquelle darstellen, mit dem die Elektrode E und das Werkstück W durch einen Schweißkabelpfad verbunden werden können.

[0041] Gemäß einer Ausführungsform hat der Induktor **215** einen Induktivitätswert zwischen etwa

10 und 100 Millihenry (gewöhnlich viel größer als die Gesamtinduktivität des Schweißausgangsstromkreispfades), und die Konstantstromquelle **216** stellt einen Konstantstrom im Bereich von 2 A bis 10 A bereit. Die Konstantstromquelle **216** kann eine beliebige von mehreren verschiedenen Typen sein, einschließlich beispielsweise ein Chopper-Buck-Regler oder eine einfache Spannungsquelle und ein Widerstand. Der Induktor ist so bemessen, dass er einen relativ stabilen Strom bereitstellt, während er eine hinreichend große Spannung zwischen der Elektrode und dem Werkstück induziert, um den Lichtbogen rasch und zuverlässig sofort wieder zu entzünden, nachdem der Lichtbogen aufgrund der Ausgangsstrom-Umschaltrichtung ausgeht (Polaritätsumkehr/-umschaltung). Während des Nullstromdurchgangs (Polaritätsumkehr/-umschaltung) erlischt der Lichtbogen, wenn der Strom null erreicht, und die Hochspannung (zum Beispiel 200 bis 400 V–), die durch die Energie des Induktors **215** des Lichtbogenregulierungskreises **170** induziert wird, wird verwendet, um den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität wiederherzustellen. Der Induktor **215** lässt den Strom weiter fließen und induziert die Hochspannung bis zu der durch den Snubberkreis **181** eingestellten Grenze (zum Beispiel 400 V–). Der Induktor **215** ist in der Lage, den Hochspannungspegel in jeder Polarität zu induzieren, die durch den Zustand der Schalttransistoren **213** und **214** in Verbindung mit den Schalttransistoren **211** und **212** bestimmt wird (d. h. beim Durchgang durch den Nullstrompunkt von jeder Richtung aus).

[0042] Gemäß einer Ausführungsform transportieren die Schalttransistoren und die Dioden in dem Lichtbogen-Regelungskreis nur einen Hintergrundstrom (zum Beispiel weniger als 2–10 A), und die Schalttransistoren des Brückenkreises werden gemeinsam genutzt, um den Vollbrückenpfad des Lichtbogen-Regelungskreises zu vervollständigen. Die Dioden in dem Lichtbogen-Regelungskreis blockieren sowohl den Stromquellenstrom als auch den unbeabsichtigten Freilaufstrompfad, der durch die Schenkel des Lichtbogen-Regelungskreises gebildet wird. Die Schalttransistoren in dem Lichtbogen-Regelungskreis können verwendet werden, um eine einfache Boost-Versorgung zu bilden, die verwendet werden kann, um den Kondensator des Snubberkreises (mit AUS-geschaltetem Brückenkreis) vorzuladen. In ähnlicher Weise können die Schalttransistoren in dem Lichtbogen-Regelungskreis verwendet werden, um den Induktor des Lichtbogen-Regelungskreises vorzuladen. Gemäß einer Ausführungsform kann ein Induktor von 100 Millihenry in etwa 20 Millisekunden auf 10 A geladen werden (unter der Annahme eines Unterschiedes von 50 V zwischen der Lichtbogenspannung und der Spannungsversorgung für die Stromquelle). Darum sollte die Zeit zum Starten und Stabilisieren eines GTAW-Prozesses (oder irgend eines sonstigen Prozesses) mit Gleichstrom

mehr als ausreichend sein, um den Induktor des Lichtbogen-Regelungskreises ohne zusätzliche Mittel vorzuladen.

[0043] Fig. 3A–Fig. 3C veranschaulichen den Betrieb der Schweißstromquelle in **Fig. 2** im Fall der Implementierung einer Wechselstrom-Schweißausgangsstromwellenform (zum Beispiel als eine einfache Rechteckwellenform dargestellt) ohne den optionalen Überlagerungskondensator **221**. Die in den **Fig. 3A–Fig. 3C** gezeigte Last **230** repräsentiert den Widerstand und die Induktivität des Lichtbogens zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W und des Schweißkabelpfades, der die Elektrode E und das Werkstück W mit der Schweißstromquelle verbindet (d. h. der Schweißausgangsstromkreislauf). Die Elektrode E, das Werkstück W und der Schweißkabelpfad sind jedoch nicht Teil der Schweißstromquelle.

[0044] Wenden wir uns dem oberen Teil von **Fig. 3A** zu. Während des positiven Stromabschnitts einer Wechselstromwellenform **300** (siehe die dickeren dunklen Linien der Wellenform **300**), die durch die Schweißstromquelle erzeugt wird, fließt Strom überwiegend von dem Leistungswandlungskreis **210** durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last **230** (in der positiven Richtung) und zurück zu dem Leistungswandlungskreis **210** durch den gemeinsamen Pfad (siehe dicke Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215** (und speichert Energie in dem Induktor), durch die Diode **217** durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last **230** (in der positiven Richtung), durch die Diode **219** und den Umschalttransistor **214** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zu der Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile).

[0045] Wenden wir uns dem unteren Teil von **Fig. 3A** zu. Während des positiven Stromabklingabschnitts der Wechselstromwellenform **300** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **300**) fungiert die Last **230** effektiv als eine Stromquelle, die versucht, den Strom am Fließen zu halten. Strom fließt von der Last **230** durch den Leistungswandlungskreis **210** (in einer freilaufenden Weise), durch den aktiven Snubberkreis **181**, durch die anti-parallele Diode des Umschalttransistors **212** des Brückenkreises **160** und zurück zur Last **230** (in der positiven Richtung, siehe die dicken Pfeile), bis der Strom vollständig abklingt. Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216**, durch den Induktor **215** (wobei Energie in dem Induktor gespeichert wird), durch die Diode **217**, durch den Snubberkreis **181**, durch die Diode **220** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zur Konstant-

stromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Selbst wenn der Strom durch die Last **230** vollständig abgeklungen ist, fließt der Strom von dem Lichtbogen-Regulatorkreis **170** weiter, wie beschrieben.

[0046] Während des Abklingens des Stroms wechselt der Brückenkreis **160** die Polarität. Solange jedoch der Lichtbogenstrom immer noch positiv ist, leitet der Induktor **215** durch den Hochspannungspfad ab, der durch den Snubberkreis **181** gebildet wird. Der Lichtbogen-Regelungskreis **170** speist 2–10 A in den Snubberkreis **181** ein. Wenn der Strom durch die Last in Richtung null abfällt, erlischt der Lichtbogen, und der Lichtbogen-Regelungskreis legt eine Hochspannung an die Last an, um den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität wieder zu entzünden.

[0047] Wir wenden uns **Fig. 3B** zu. Während des Polaritätsübergangsabschnitts der Wechselstromwellenform **300** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **300**) wird kein signifikanter Strom durch den Leistungswandlungskreis **210** bereitgestellt. Der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W erlischt kurz. Jedoch induziert in dem Induktor **215** gespeicherte Energie eine Lichtbogenzündspannung zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W. Strom von dem Leistungswandlungskreis kann wieder beginnen, durch die Last in der entgegengesetzten Richtung zu fließen. Der Lichtbogenstrom wird rasch wiederhergestellt, und jeglicher Undershoot oder Overshoot des Schweißausgangsstroms wird durch den Induktor **215** gesteuert. Ohne den Lichtbogen-Regelungskreis würde der Leistungswandlungskreis versuchen, den Lichtbogen wiederherzustellen. Da jedoch die Spannung, die durch den Leistungswandlungskreis bereitgestellt wird, gewöhnlich begrenzt ist (zum Beispiel auf 100 V–), kann keine Wiederherstellung des Lichtbogens stattfinden. Wenn die Energie von dem Induktor **215** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** abgegeben wird, so fließt Strom von dem Induktor **215** durch den Umschalttransistor **213**, durch die Diode **218**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160**, durch die Diode **220**, durch die Konstantstromquelle **216** und zurück zum Induktor **215** (siehe Pfeile). Infolge dessen wird der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W rasch in der negativen Richtung wieder entzündet und schwingt sich auf einen Spannungspegel ein, der niedrig genug ist, damit die Stromquelle einen Strom bereitstellen kann.

[0048] Wir wenden uns dem oberen Abschnitt von **Fig. 3C** zu. Während des negativen Stromabschnitts der Wechselstromwellenform **300** (siehe die dickeren dunklen Linien der Wellenform **300**), die durch die Schweißstromquelle erzeugt wird, fließt Strom überwiegend vom Leistungswandlungskreis **210** durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160** und

zurück zum Leistungswandlungskreis **210** (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorekreis **170** bereitgestellt wird, die Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215** (wobei Energie in dem Induktor gespeichert wird), durch den Umschalttransistor **213**, durch die Diode **218**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160**, durch die Diode **220** des Lichtbogen-Regulatorekreises **170** und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile).

[0049] Wir wenden uns dem unteren Teil von **Fig. 3C** zu. Während des negativen Stromabklingabschnitts der Wechselstromwellenform **300** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **300**) fungiert die Last **230** effektiv als eine Stromquelle, die versucht, den Strom am Fließen zu halten. Strom fließt von der Last **230** durch die anti-parallele Diode des Umschalttransistors **211** des Brückenkreises **160**, durch den aktiven Snubberkreis **181**, durch den Leistungswandlungskreis **210** (in einer freilaufenden Weise) und zurück zur Last **230** (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorekreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215** (wobei Energie in dem Induktor gespeichert wird), durch die Diode **217**, durch den Snubberkreis **181**, durch die Diode **220** des Lichtbogen-Regulatorekreises **170** und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Selbst wenn der Strom durch die Last **230** vollständig abgeklungen ist, fließt der Strom von dem Lichtbogen-Regulatorekreis **170** weiter, wie beschrieben.

[0050] Beim Übergang zurück zum positiven Abschnitt der Wellenform **300** (d. h. die Wellenform wiederholt sich) gibt der Induktor **215** in einer ähnlichen Weise wie in **Fig. 3B** seine gespeicherte Energie durch die Last (aber in der positiven Richtung) über die Diode **217**, den Umschalttransistor **211**, die Diode **219**, den Umschalttransistor **214** und die Konstantstromquelle **216** ab, was zur Folge hat, dass der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W sich rasch in der positiven Richtung wieder entzündet. Der Lichtbogen-Regulatorekreis **170** addiert kontinuierlich einen exakt geregelten Niedrigwert von Strom zu dem Schweißausgangsstrom, der durch die Stromquelle bereitgestellt wird, um den Lichtbogen zu stabilisieren, während der Strom, der durch den Leistungswandlungskreis bereitgestellt wird, in Richtung null abnimmt, und um den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität sofort wieder zu entzünden.

[0051] **Fig. 4** veranschaulicht ein Schaubild einer zweiten beispielhaften Ausführungsform eines Abschnitts der Schweißstromquelle **100** von **Fig. 1**, die einen Brückenkreis **160** und einen bipolaren Lichtbo-

gen-Regulatorekreis **170** aufweist. Des Weiteren ist in **Fig. 4** ein Abschnitt **210** des Leistungswandlungskreises **110** veranschaulicht, wobei der Leistungswandlungskreis **110** eine in der Mitte abgegriffene oder Halbbrückentopologie ist (zum Beispiel ein Inverter-basierter Kreis). Der Stromumschaltkreis **180** von **Fig. 4** hat die Form einer Halbbrückentopologie, wobei der Leistungswandlungskreis **110** duale Ausgangsstrompfade bereitstellt, die dafür konfiguriert sind, einen gemeinsamen Pfad gemeinsam zu nutzen, dergestalt, dass jeder Ausgangspfad einen Fluss von entgegengesetzter Polarität in dem gemeinsam genutzten Pfad induzieren kann. Die Funktionsweise des Schweißstromquellenabschnitts von **Fig. 4** ist ähnlich der von **Fig. 2**. Jedoch stellt **Fig. 4** einen Vollbrücken-Lichtbogen-Regulatorekreis **170** bereit, der vier Schalttransistoren aufweist, was zu einer geringfügig komplizierteren Implementierung führt, die eine verbesserte Niederstromregelung und Lichtbogenzündleistung gegenüber der Konfiguration von **Fig. 2** haben kann.

[0052] Der Brückenkreis **160** enthält Schalttransistoren **411** und **412**. Der Lichtbogenregulatorekreis **170** enthält Schalttransistoren **413**, **414**, **415** und **416**, einen Induktor **417**, eine Konstantstromquelle **418**, eine Diode **419** und optional einen Vorlade-Umschalttransistor **420**. Gemäß einer Ausführungsform sind die Schalttransistoren Bipolartransistoren mit isolierter Sperrlektrode (IGBTs). Jedoch können gemäß anderen Ausführungsformen auch andere Typen von Schalttransistoren verwendet werden (zum Beispiel Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren oder MOSFETs). Ein aktiver Snubberkreis **481**, der eine Diode **482** und einen Kondensator **483** aufweist, wird verwendet, um die Spannung an dem Stromumschaltkreis **180** zu begrenzen (zum Beispiel irgendwo zwischen 300 V und 600 V), um zu veranlassen, dass der Ausgangsstrom durch den Ausgangsstromkreispfad rasch abklingt, und den Lichtbogenwiederentzündungsspannungspegel zu begrenzen. Die anti-parallelen Dioden der Schalttransistoren **411** und **412** transportieren den Snubber-/Abklingstrom. Der optionale Vorlade-Umschalttransistor **420** des Lichtbogen-Regulatorekreises **170** kann dafür verwendet werden, den Induktor **417** mit Energie vorzuladen. Wenn der Vorladungstransistor **420** ein ist, so fließt Strom von dem Induktor **417** durch den Vorladungstransistor **420**. Als eine alternative Option kann das Vorladen des Induktors durch Kurzschließen der Transistoren des Lichtbogen-Regulatorekreises **170** (zum Beispiel **413** und **414** oder **415** und **416**) bewerkstelligt werden. Das Vorladen des Induktors kann dergestalt gewünscht werden, dass der Induktor gespeicherte Energie hat und bereit ist, initiale Lichtbogenentzündungsfunktionen (am Beginn des Schweißprozesses) oder Lichtbogen-Neuzündungsfunktionen (bei Nulldurchgängen) rascher auszuführen.

[0053] Der Stromumschaltkreis **180** von **Fig. 4** ermöglicht einen Wechselstromschweißvorgang und induziert eine Spannung an dem Schweißausgang der Schweißstromquelle, die eine ausreichende Größenordnung besitzt, um den Schweißlichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W während Polaritätsumkehrungen des Schweißprozesses wiederherzustellen. Schweißausgangsanschlüsse **191** und **192** sind gezeigt und repräsentieren den Schweißausgang der Schweißstromquelle, mit dem die Elektrode E und das Werkstück W durch einen Schweißkabelpfad verbunden werden können.

[0054] Gemäß einer Ausführungsform hat der Induktor **417** einen Induktivitätswert zwischen etwa 10 und 100 Millihenry, und die Konstantstromquelle **418** stellt einen Konstantstrom im Bereich von 2 A bis 10 A bereit. Die Konstantstromquelle **418** kann eine beliebige von mehreren verschiedenen Typen sein, einschließlich beispielsweise ein Chopper-Buck-Regler oder eine einfache Spannungsquelle und ein Widerstand. Der Induktor ist so bemessen, dass er einen relativ stabilen Strom bereitstellt, während er eine hinreichend große Spannung zwischen der Elektrode und dem Werkstück induziert, um den Lichtbogen sofort rasch und zuverlässig wieder zu entzünden, nachdem der Lichtbogen aufgrund der Ausgangsstrom-Umschaltrichtung (Polaritätsumkehr/-umschaltung) ausgeht.

[0055] Während des Nullstromdurchgangs (Polaritätsumkehr/-umschaltung) erlischt der Lichtbogen, und die Hochspannung, die durch die Energie des Induktors **417** des Lichtbogenregulierungskreises **170** induziert wird, wird verwendet, um den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität wiederherzustellen. Der Induktor **417** hält den Strom am Fließen und induziert die Hochspannung bis zu der Grenze, die durch den Snubberkreis **481** eingestellt wurde (zum Beispiel 400 V–). Der Induktor **417** induziert den Hochspannungspegel in jeder Polarität, die durch den Zustand der Schalttransistoren bestimmt wird (d. h. beim Durchgang durch den Nullstrompunkt aus der einen oder der anderen Richtung).

[0056] **Fig. 5** veranschaulicht ein Schaubild einer dritten beispielhaften Ausführungsform eines Abschnitts der Schweißstromquelle **100** von **Fig. 1**, die einen Brückenkreis **160** und einen bipolaren Lichtbogen-Regelungskreis **170** aufweist. Des Weiteren ist in **Fig. 5** ein Abschnitt **210** des Leistungswandlungskreises **110** veranschaulicht, wobei der Leistungswandlungskreis **110** eine in der Mitte abgegriffene oder Halbbrückentopologie ist (zum Beispiel ein Inverter-basierter Kreis). Der Stromumschaltkreis **180** von **Fig. 5** hat die Form einer Halbbrückentopologie, wobei der Leistungswandlungskreis **110** duale Ausgangsstrompfade bereitstellt, die dafür konfiguriert sind, einen gemeinsamen Pfad gemeinsam zu nutzen, dergestalt, dass jeder Ausgangspfad einen

Fluss von entgegengesetzter Polarität in dem gemeinsam genutzten Pfad induzieren kann. Die Funktionsweise des Schweißstromquellenabschnitts von **Fig. 5** ist ähnlich der von **Fig. 2**. Jedoch stellt **Fig. 5** einen dualen Lichtbogen-Regelungskreis **170** bereit, der zwei gekoppelte Induktoren und zwei Konstantstromquellen aufweist, was eine kompliziertere Implementierung zur Folge hat, die eine verbesserte Niederstromregelung und Lichtbogen-Regelleistung gegenüber der Konfiguration von **Fig. 2** ermöglichen kann.

[0057] Der Brückenkreis **160** enthält Schalttransistoren **511** und **512**. Der Lichtbogenregulierungskreis **170** enthält gekoppelte Induktoren **513** und **514**, Konstantstromquellen **515** und **516**, Dioden **517** und **519** und einen optionalen Vorlade-Umschalttransistor **518**. Gemäß einer Ausführungsform sind die Schalttransistoren Bipolartransistoren mit isolierter Sperr Elektrode (IGBTs). Jedoch können gemäß anderen Ausführungsformen auch andere Typen von Schalttransistoren verwendet werden (zum Beispiel Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren oder MOSFETs). Ein aktiver Snubberkreis **581**, der eine Diode **582** und einen Kondensator **583** aufweist, wird verwendet, um die Spannung an dem Stromumschaltkreis **180** zu begrenzen (zum Beispiel irgendwo zwischen 300 V und 600 V), um zu veranlassen, dass der Ausgangsstrom durch den Ausgangsstromkreispfad rasch abklingt, und den Lichtbogen-Neuzündungsspannungspegel zu begrenzen. Die anti-parallelen Dioden der Schalttransistoren **511** und **512** transportieren den Snubber-/Abklingstrom. Der optionale Vorlade-Umschalttransistor **518** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** kann dafür verwendet werden, die Induktoren **513** und **514** mit Energie vorzuladen. Wenn der Vorladungstransistor **518** ein ist, so fließt Strom von den Induktoren durch den Vorladungstransistor. Als eine Alternative kann das Vorladen durch Kurzschließen der Schalttransistoren ausgeführt werden. Das Vorladen der Induktoren kann dergestalt gewünscht werden, dass die Induktoren gespeicherte Energie haben und bereit sind, initiale Lichtbogenentzündungsfunktionen (am Beginn des Schweißprozesses) oder Lichtbogen-Neuzündungsfunktionen (bei Nulldurchgängen) rascher auszuführen.

[0058] Der Stromumschaltkreis **180** von **Fig. 5** ermöglicht einen Wechselstromschweißvorgang und induziert eine Spannung an dem Schweißausgang der Schweißstromquelle, die eine ausreichende Größenordnung besitzt, um den Schweißlichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W während Polaritätsumkehrungen des Schweißprozesses wiederherzustellen. Schweißausgangsanschlüsse **191** und **192** sind gezeigt und repräsentieren den Schweißausgang der Schweißstromquelle, mit dem die Elektrode E und das Werkstück W durch einen Schweißkabelpfad verbunden werden können.

[0059] Gemäß einer Ausführungsform haben die Induktoren **513** und **514** jeweils einen Induktivitätswert zwischen etwa 10 und 100 Millihenry, und die Konstantstromquellen **515** und **516** stellen jeweils einen Konstantstrom im Bereich von 2 A bis 10 A bereit. Die Konstantstromquellen **515** und **516** können beliebige von mehreren verschiedenen Typen sein, einschließlich beispielsweise ein Chopper-Buck-Regler oder eine einfache Spannungsquelle und ein Widerstand. Die Induktoren sind so bemessen, dass sie eine hinreichend große Spannung zwischen der Elektrode und dem Werkstück induzieren, um den Lichtbogen sofort rasch und zuverlässig wieder zu entzünden, nachdem der Lichtbogen aufgrund der Ausgangsstrom-Umschaltrichtung (Polaritätsumkehr/-umschaltung) ausgeht.

[0060] Während des Nullstromdurchgangs (Polaritätsumkehr/-umschaltung) erlischt der Lichtbogen, und die Hochspannung, die durch die Energie von einem entsprechenden Induktor des Lichtbogenregulierungskreises **170** induziert wird, wird verwendet, um den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität wiederherzustellen. Die Induktoren halten den Strom am Fließen und induzieren die Hochspannung bis zu der Grenze, die durch den Snubberkreis **581** eingestellt wurde (zum Beispiel 400 V-). Die Induktoren induzieren den Hochspannungspegel in jeder Polarität, die durch den Zustand der Schalttransistoren bestimmt wird (d. h. beim Durchgang durch den Nullstrompunkt aus der einen oder der anderen Richtung).

[0061] Fig. 6 veranschaulicht ein Schaubild einer vierten beispielhaften Ausführungsform eines Abschnitts der Schweißstromquelle **100** von Fig. 1, die einen Brückenkreis **160** und einen bipolaren Lichtbogen-Regelungskreis **170** aufweist. Des Weiteren ist in Fig. 6 ein Abschnitt **610** des Leistungswandlungskreises **110** veranschaulicht, wobei der Leistungswandlungskreis **110** einen Gleichstrom + Ausgang (zum Beispiel einen Zerkhacker-basierten Kreis) bereitstellt. Der Stromumschaltkreis **180** von Fig. 6 hat die Form einer Vollbrückentopologie, die mit fast jeder Stromquellentopologie verwendet werden kann, was Flexibilität und die Möglichkeit bereitstellt, zu existierenden konstruierten Stromquellen hinzugefügt zu werden. Fig. 6 stellt eine gemeinsam genutzte H-Brückenschalttopologie bereit, die zu einer Implementierung gehört, die eine verbesserte Niederstromregelung und Lichtbogen-Neuzündungsleistung gegenüber der Konfiguration von Fig. 2 ermöglichen kann.

[0062] Der Brückenkreis **160** enthält Schalttransistoren **611**, **612**, **613** und **614**, die eine Voll-H-Brückenkongfiguration bilden. Der Lichtbogenregulierungskreis **170** enthält einen Induktor **615**, eine Konstantstromquelle **616**, eine Diode **617** und einen optionalen Vorlade-Umschalttransistor **618**. Gemäß einer Ausführungsform sind die Schalttransistoren Bipolar-

transistoren mit isolierter Sperrelektrode (IGBTs). Jedoch können gemäß anderen Ausführungsformen auch andere Typen von Schalttransistoren verwendet werden (zum Beispiel Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren oder MOSFETs). Ein aktiver Snubberkreis **681**, der eine Diode **682** und einen Kondensator **683** aufweist, wird verwendet, um die Spannung an dem Stromumschaltkreis **180** zu begrenzen (zum Beispiel irgendwo zwischen 300 V und 600 V), um zu veranlassen, dass der Ausgangsstrom durch den Ausgangsstromkreispfad rasch abklingt, und die Lichtbogen-Wiederentzündungsspannung zu begrenzen. Die anti-parallelen Dioden der Schalttransistoren **611–614** transportieren den Snubber-/Abklingstrom. Der optionale Vorlade-Umschalttransistor **618** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** kann dafür verwendet werden, den Induktor **615** mit Energie vorzuladen. Wenn der Vorladungstransistor **618** ein ist, so fließt Strom von dem Induktor durch den Vorladetransistor. Auch hier kann wieder, als eine Alternative, das Vorladen durch Kurzschließen der Schalttransistoren ausgeführt werden. Das Vorladen der Induktoren kann dergestalt gewünscht werden, dass der Induktor gespeicherte Energie hat und bereit ist, initiale Lichtbogenentzündungsfunktionen (am Beginn des Schweißprozesses) oder Lichtbogen-Neuzündungsfunktionen (bei Nulldurchgängen) rascher auszuführen.

[0063] Der Stromumschaltkreis **180** von Fig. 6 ermöglicht einen Wechselstromschweißvorgang und induziert eine Spannung an dem Schweißausgang der Schweißstromquelle, die eine ausreichende Größenordnung besitzt, um den Schweißlichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W während Polaritätsumkehrungen des Schweißprozesses wiederherzustellen. Schweißausgangsanschlüsse **191** und **192** sind gezeigt und repräsentieren den Schweißausgang der Schweißstromquelle, mit dem die Elektrode E und das Werkstück W durch einen Schweißkabelpfad verbunden werden können.

[0064] Gemäß einer Ausführungsform hat der Induktor **615** einen Induktivitätswert zwischen etwa 10 und 100 Millihenry, und die Konstantstromquelle **616** stellt einen Konstantstrom im Bereich von 2 A bis 10 A bereit. Die Konstantstromquelle **616** kann eine beliebige von mehreren verschiedenen Typen sein, einschließlich beispielsweise ein Chopper-Buck-Regler oder eine einfache Spannungsquelle und ein Widerstand. Der Induktor ist so bemessen, dass er einen relativ stabilen Strom bereitstellt, während er eine hinreichend große Spannung zwischen der Elektrode und dem Werkstück induziert, um den Lichtbogen sofort rasch und zuverlässig wieder zu entzünden, nachdem der Lichtbogen aufgrund der Ausgangsstrom-Umschaltrichtung (Polaritätsumkehr/-umschaltung) ausgeht.

[0065] Während des Nullstromdurchgangs (Polaritätsumkehr-/umschaltung) erlischt der Lichtbogen, und die Hochspannung, die durch die Energie von dem Induktor des Lichtbogenregulierungskreises **170** induziert wird, wird verwendet, um den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität wiederherzustellen. Der Induktor hält den Strom am Fließen und induziert die Hochspannung bis zu der Grenze, die durch den Snubberkreis **681** eingestellt wurde (zum Beispiel 400 V–). Der Induktor induziert den Hochspannungspegel in jeder Polarität, die durch den Zustand der Schalttransistoren bestimmt wird (d. h. beim Durchgang durch den Nullstrompunkt aus der einen oder der anderen Richtung).

[0066] Gemäß einigen Ausführungsformen speichert der Lichtbogen-Regelungskreis Energie und gibt die gespeicherte Energie als einen zusätzlichen Spannungsstoß zum Ermöglichen einer Neuzündung des Lichtbogens ab. Der zusätzliche Spannungsstoß kann bei Polaritätsübergängen in beiden Richtungen bereitgestellt werden oder kann auf nur eine Richtung des Polaritätsübergangs begrenzt werden, wie zum Beispiel der Negativ-zu-positiv-Übergang, der sich in der Regel schwieriger realisieren lässt. In den **Fig. 7–Fig. 9** sind jene Komponenten, die denen der **Fig. 2–Fig. 3** gleich sind, in der folgenden Besprechung mit den gleichen Bezugszahlen versehen, aber sind in einigen Fällen auch in den **Fig. 7–Fig. 9** weggelassen, um die Übersichtlichkeit der Figuren nicht zu beeinträchtigen.

[0067] **Fig. 7A–Fig. 7B** veranschaulichen den Betrieb der Schweißstromquelle in **Fig. 2** im Fall der Implementierung einer Wechselstrom-Schweißausgangsstromwellenform (zum Beispiel als eine einfache Rechteckwellenform dargestellt), die die Verwendung des optionalen Überlagerungskondensators **721** enthält. Der Lichtbogen-Regelungskreis **170**, der den Überlagerungskondensator **721** enthält, wie in den **Fig. 7A–Fig. 7B** beschrieben, lädt den Überlagerungskondensator während der vorgegebenen Totzeit zwischen Polaritäten und gibt die Energie an die Last ab, wenn der Brückenkreis **160** wieder in der einen oder anderen Polarität eingeschaltet wird. Der Ausgangsstrom **700** und die Kondensatorspannung **710** sind während des Betriebes der Schweißstromquelle veranschaulicht, wie unten beschrieben.

[0068] Die in den **Fig. 7A–Fig. 7B** gezeigte Last **230** repräsentiert den Widerstand und die Induktivität des Lichtbogens zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W und den Schweißkabelpfad, der die Elektrode E und das Werkstück W mit der Schweißstromquelle verbindet (d. h. der Schweißausgangstromkreispfad). Die Elektrode E, das Werkstück W und der Schweißkabelpfad sind jedoch nicht Teil der Schweißstromquelle.

[0069] Wir wenden uns dem oberen Abschnitt von **Fig. 7A** zu. Während des positiven Stromabschnitts einer Wechselstromwellenform **700** (siehe die dicken dunklen Linien der Wellenform **700**), die durch die Schweißstromquelle erzeugt wird, fließt Strom überwiegend vom Leistungswandlungskreis **210** durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last **230** (in der positiven Richtung) und zurück zum Leistungswandlungskreis **210** durch den gemeinsamen Pfad (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215** (wobei Energie in dem Induktor gespeichert wird), durch die Diode **217**, durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last **230** (in der positiven Richtung), durch die Diode **219** und den Umschalttransistor **214** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Außerdem entlädt sich der Überlagerungskondensator **721**, um zusätzlichen Strom bereitzustellen, durch die Diode **217**, durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last (in der positiven Richtung), durch die Diode **219** und den Umschalttransistor **214** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zum Überlagerungskondensator **721** (siehe Strichlinienpfeile). Die Entladung des Überlagerungskondensators **721** stellt einen initialen Spannungsstoß im Ausgangsstrom bereit, während der Ausgangsstrom in die positive Richtung übergeht, um den Lichtbogen zu bilden oder wieder zu bilden. Der Kondensator ist bereits durch die Totzeit geladen, die dem Impuls vorangeht. Während der Wiederherstellung wird der positive Gleichrichter **210** durch die in dem Kondensator gespeicherte Spannung in der Sperrrichtung vorgespannt. Darum fließt Strom zu dem Lichtbogen von dem Kondensator und der restlichen Energie, die in dem Niederstrom-Hintergrundkreisinduktor **215** gespeichert ist. Der Überlagerungskondensator stellt den initialen Spannungsstoß (nur durch die Lichtbogenimpedanz begrenzt) bereit, die in dem Wellenformschaubild in **Fig. 7A** dargestellt ist. Sobald die Kondensatorspannung unter die maximale Ausgangsspannung der Stromquelle **210** abklingt, spannt der positive Gleichrichter erneut in die Durchlassrichtung vor, und die Stromquelle kann wieder den Lichtbogenstrom ausgeben.

[0070] Wir wenden uns dem unteren Teil von **Fig. 7A** zu. Während des positiven Stromabklingabschnitts der Wechselstromwellenform **700** (siehe die dicke dunkle Linie der Wellenform **700**) fungiert die Last **230** effektiv als eine Stromquelle, die versucht, den Strom am Fließen zu halten. Strom fließt von der Last **230** durch den Leistungswandlungskreis **210** (in einer freilaufenden Weise), durch den aktiven Snubberkreis **181**, durch die anti-parallele Diode des Umschalttransistors **212** des Brückenkreises **160** und zurück zur Last **230** (in der positiven

Richtung, siehe die dicken Pfeile), bis der Strom vollständig abklingt. Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215**, durch den Überlagerungskondensator **721** (und lädt den Kondensator) und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe Strichlinienpfeile). Energie ist bereits in dem Induktor **215** gespeichert. Sobald die Überlagerungskondensatorspannung die maximale Versorgungsspannung der Stromquelle überschreitet, ist es die Energie in dem Induktor, die den Kondensator weiterhin lädt (und die ganze Zeit abklingt, während er die Energie an den Kondensator abgibt). Selbst wenn der Strom durch die Last **230** vollständig abgeklungen ist, fließt der Strom von dem Lichtbogen-Regulatorkreis **170** weiter, wie beschrieben, um den Überlagerungskondensator **721** während der Totzeit des Polaritätswechsels zu laden. Die Totzeit während des Polaritätswechsels kann justiert werden, um die gewünschte Ladung für den Überlagerungskondensator bereitzustellen.

[0071] Während des Stromabklingens ändert der Brückenkreis **160** die Polarität. Wenn der Strom durch die Last in Richtung null abfällt, erlischt der Lichtbogen, und der Lichtbogen-Regelungskreis mit dem Überlagerungskondensator legt eine Hochspannung an die Last an, um den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität neu zu zünden.

[0072] Wir wenden uns dem oberen Abschnitt von Fig. 7B zu. Während des Polaritätsübergangsabschnitts der Wechselstromwellenform **700** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **700**) wird kein signifikanter Strom durch den Leistungswandlungskreis **210** bereitgestellt. Der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W erlischt kurz. Jedoch kombinieren sich die in dem Induktor **215** gespeicherte Energie und die in dem Überlagerungskondensator **721** gespeicherte Energie, um eine Lichtbogenzündspannung zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W zu induzieren. Sobald eine Neuzündung stattfindet, wird die in dem Überlagerungskondensator gespeicherte Energie an den Lichtbogen angelegt, um ein Niedrigimpedanzplasma zu erzeugen. Sobald die Lichtbogenspannung unter die maximale Ausgangsspannung der Stromquelle **210** abfällt, spannt der negative Gleichrichter erneut in Durchlassrichtung vor, und die Stromquelle kann wieder den Lichtbogenstrom ausgeben. Strom von dem Leistungswandlungskreis kann wieder durch die Last in der entgegengesetzten Richtung zu fließen beginnen. Ohne den Lichtbogen-Regelungskreis würde der Leistungswandlungskreis versuchen, den Lichtbogen wiederherzustellen. Da jedoch die Spannung, die durch den Leistungswandlungskreis bereitgestellt wird, gewöhnlich begrenzt ist (zum Beispiel auf 100 V–), kann eine Wiederherstellung des Lichtbogens nicht stattfinden. Wenn die En-

ergie von dem Induktor **215** und dem Überlagerungskondensator **721** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** abgegeben wird, so fließt Strom von dem Induktor **215** und dem Überlagerungskondensator **721** durch den Umschalttransistor **213**, durch die Diode **218**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160**, durch die Diode **220**, zurück zum Kondensator **721** und durch die Konstantstromquelle **216** zurück zum Induktor **215** (siehe Pfeile). Die Entladung des Überlagerungskondensators **721** stellt einen initialen Spannungsstoß in dem Ausgangsstrom bereit, wenn der Ausgangsstrom zur negativen Richtung übergeht, um den Lichtbogen zu bilden oder erneut zu bilden. Infolge dessen zündet der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W rasch neu in der negativen Richtung und schwingt sich auf einen Spannungspegel ein, der niedrig genug ist, damit die Stromquelle Strom ausgeben kann.

[0073] Wir bleiben beim oberen Abschnitt von Fig. 7B. Während des negativen Stromabschnitts der Wechselstromwellenform **700** (siehe die dickeren dunklen Linien der Wellenform **700**), die durch die Schweißstromquelle erzeugt wird, fließt Strom überwiegend vom Leistungswandlungskreis **210** durch die Last **230** (in der negativen Richtung) durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160** und zurück zum Leistungswandlungskreis **210** (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215** (wobei Energie in dem Induktor gespeichert wird), durch den Umschalttransistor **213**, durch die Diode **218**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160**, durch die Diode **220** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Außerdem entlädt sich der Überlagerungskondensator **721**, um zusätzlichen Strom bereitzustellen, durch den Umschalttransistor **213**, durch die Diode **218**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160**, durch die Diode **220** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zum Überlagerungskondensator **721** (siehe Strichlinienpfeile), und tritt während des initialen Abschnitts der Halbwelle ein, bis die Energie in dem Kondensator erschöpft (entladen) ist.

[0074] Wir wenden uns dem unteren Teil von Fig. 7B zu. Während des negativen Stromabklingabschnitts der Wechselstromwellenform **700** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **700**) fungiert die Last **230** effektiv als eine Stromquelle, die versucht, den Strom am Fließen zu halten. Strom fließt von der Last **230** durch die anti-parallele Diode des Umschalttransistors **211** des Brückenkreises **160** durch den aktiven Snubberkreis **181**, durch den Leistungs-

wandlungskreis **210** (in einer freilaufenden Weise) und zurück zur Last **230** (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorekreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215**, durch den Überlagerungskondensator **721** (und lädt den Kondensator) zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe Strichlinienpfeile). Die Energie ist bereits in dem Induktor **215** gespeichert. Sobald die Überlagerungskondensatorspannung die maximale Versorgungsspannung der Stromquelle überschreitet, ist es die Energie in dem Induktor, die den Kondensator weiterhin lädt (und die ganze Zeit abklingt, während er die Energie an den Kondensator abgibt). Selbst wenn der Strom durch die Last **230** vollständig abgeklungen ist, fließt der Strom von dem Lichtbogen-Regulatorekreis **170** weiter, wie beschrieben, um den Überlagerungskondensator **721** während der Totzeit des Polaritätswechsels zu laden. Die Totzeit während des Polaritätswechsels kann justiert werden, um ein adäquates Laden des Überlagerungskondensators zu ermöglichen.

[0075] Beim Übergang zurück zum positiven Abschnitt der Wellenform **700** (d. h. die Wellenform wiederholt sich), wie oben für **Fig. 7A** beschrieben, geben der Induktor **215** und der Überlagerungskondensator **721** beide die gespeicherte Energie durch die Last (aber in der positiven Richtung) über die Diode **217**, den Umschalttransistor **211**, die Diode **219**, den Umschalttransistor **214** und die Konstantstromquelle **216** ab, was zur Folge hat, dass der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W sich in der positiven Richtung rasch wieder entzündet. Der Lichtbogen-Regelungskreis **170** addiert kontinuierlich einen exakt geregelten Niedrigwert von Strom zu dem Schweißausgangsstrom, der durch die Stromquelle bereitgestellt wird, um den Lichtbogen zu stabilisieren, wenn der Strom, der durch den Leistungswandlungskreis bereitgestellt wird, in Richtung null abnimmt, und den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität sofort nach der vorgeschriebenen Totzeit neu zu entzünden, indem die Energie abgegeben wird, die sowohl in dem Induktor als auch in dem Überlagerungskondensator gespeichert ist.

[0076] **Fig. 8A–Fig. 8B** veranschaulichen den Betrieb einer weiteren Ausführungsform einer Schweißstromquelle im Fall der Implementierung einer Wechselstrom-Schweißausgangsstromwellenform (zum Beispiel als eine einfache Rechteckwellenform dargestellt), die die Verwendung eines Überlagerungskondensators **821** enthält, der mit der Kathode von Diode **217** verbunden ist. Der Lichtbogen-Regelungskreis **170**, der den Überlagerungskondensator **821** enthält, wie in den **Fig. 8A–Fig. 8B** veranschaulicht, lädt den Überlagerungskondensator während der vorgegebenen Totzeit zwischen Polaritäten und gibt die Energie an die Last während des Negativ-zu-positiv-Übergangs ab, der herkömmlicherweise

am schwierigsten wiederherzustellen war. Zweimaliges Laden und einmaliges Entladen pro Zyklus kann die Totzeit reduzieren, die pro Zyklus zum Laden des Überlagerungskondensators erforderlich ist, während die gespeicherte Energie erhöht wird, die zum Wiederentzünden des Lichtbogens während des Negativ-zu-positiv-Übergangs zur Verfügung steht. Der Ausgangsstrom **800** und die Kondensatorspannung **810** sind während des Betriebes der Schweißstromquelle veranschaulicht, wie unten beschrieben.

[0077] Die in den **Fig. 8A–Fig. 8B** gezeigte Last **230** repräsentiert den Widerstand und die Induktivität des Lichtbogens zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W und des Schweißkabelpfades, der die Elektrode E und das Werkstück W mit der Schweißstromquelle verbindet (d. h. der Schweißausgangsstromkreislauf). Die Elektrode E, das Werkstück W und der Schweißkabelpfad sind jedoch nicht Teil der Schweißstromquelle.

[0078] Wir wenden uns dem oberen Abschnitt von **Fig. 8A** zu. Während des positiven Stromabschnitts einer Wechselstromwellenform **800** (siehe die dicken dunklen Linien der Wellenform **800**), die durch die Schweißstromquelle erzeugt wird, fließt Strom überwiegend vom Leistungswandlungskreis **210** durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last **230** (in der positiven Richtung) und zurück zum Leistungswandlungskreis **210** durch den gemeinsamen Pfad (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorekreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215** (wobei Energie in dem Induktor gespeichert wird), durch die Diode **217**, durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last **230** (in der positiven Richtung), durch die Diode **219** und den Umschalttransistor **214** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Außerdem entlädt sich der Überlagerungskondensator **821**, um zusätzlichen Strom für die positive Sammelschiene bereitzustellen, durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last (in der positiven Richtung), durch die Diode **219** und den Umschalttransistor **214** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zum Überlagerungskondensator **821** (siehe Strichlinienpfeile). Die Entladung des Überlagerungskondensators **821** stellt einen initialen Spannungssstoß in dem Ausgangsstrom **800** bereit, während der Ausgangsstrom zu der positiven Richtung übergeht, um den Lichtbogen zu bilden oder erneut zu bilden. Der Kondensator ist bereits durch die Totzeit geladen, die dem Impuls vorgeht. Während der Wiederherstellung wird der positive Gleichrichter **210** durch die in dem Kondensator gespeicherte Spannung in der Sperrrichtung vorgespannt. Darum fließt Strom zu dem Lichtbogen von dem Kondensator und der restlichen Ener-

gie, die in dem Niederstrom-Hintergrundkreisinduktor **215** gespeichert ist. Der Überlagerungskondensator stellt den initialen Spannungsstoß bereit (nur durch die Lichtbogenimpedanz begrenzt), der in dem Wellenformschaubild in **Fig. 8A** dargestellt ist. Sobald die Kondensatorspannung unter die maximale Ausgangsspannung der Stromquelle **210** abklingt, spannt der positive Gleichrichter erneut in Durchlassrichtung vor, und die Stromquelle kann wieder den Lichtbogenstrom ausgeben.

[0079] Wir wenden uns dem unteren Teil von **Fig. 8A** zu. Während des positiven Stromabklingabschnitts der Wechselstromwellenform **800** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **800**) fungiert die Last **230** effektiv als eine Stromquelle, die versucht, den Strom am Fließen zu halten. Strom fließt von der Last **230** durch den Leistungswandlungskreis **210** (in einer freilaufenden Weise), durch den aktiven Snubberkreis **181**, durch die anti-parallele Diode des Umschalttransistors **212** des Brückenkreises **160** und zurück zur Last **230** (in der positiven Richtung, siehe die dicken Pfeile), bis der Strom vollständig abklingt. Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215**, durch die Diode **217**, durch den Überlagerungskondensator **821** (und lädt den Kondensator) und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe Strichlinienpfeile). Energie ist bereits in dem Induktor **215** gespeichert. Sobald die Überlagerungskondensatorspannung die maximale Versorgungsspannung der Stromquelle überschreitet, ist es die Energie in dem Induktor, die weiterhin den Kondensator lädt (und die ganze Zeit abklingt, während er die Energie an den Kondensator abgibt). Selbst wenn der Strom durch die Last **230** vollständig abgeklungen ist, fließt der Strom von dem Lichtbogen-Regulatorkreis **170** weiter, wie beschrieben, um den Überlagerungskondensator **821** während der Totzeit des Polaritätswechsels zu laden. Die Totzeit während des Polaritätswechsels kann justiert werden, um die gewünschte Ladung für den Überlagerungskondensator bereitzustellen.

[0080] Während des Stromabklingens ändert der Brückenkreis **160** die Polarität. Wenn der Strom durch die Last in Richtung null abfällt, so erlischt der Lichtbogen, und der Induktor des Lichtbogen-Regelungskreises legt eine Hochspannung an die Last an, um den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität wieder zu entzünden.

[0081] Wir wenden uns dem oberen Abschnitt von **Fig. 8B** zu. Während des Polaritätsübergangsabschnitts der Wechselstromwellenform **800** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **800**) wird kein signifikanter Strom durch den Leistungswandlungskreis **210** bereitgestellt. Der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W erlischt kurz. Je-

doch induziert die in dem Induktor **215** gespeicherte Energie eine Lichtbogenzündspannung zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W. Strom von dem Leistungswandlungskreis kann erneut durch die Last in entgegengesetzter Richtung zu fließen beginnen. Ein Undershoot am Lichtbogen wird durch den Induktor begrenzt. Ein Overshoot wird nicht durch den Induktor begrenzt, da nicht der gesamte Lichtbogenstrom durch den Induktor fließt. Ohne den Lichtbogen-Regelungskreis würde der Leistungswandlungskreis versuchen, den Lichtbogen wiederherzustellen. Da jedoch die Spannung, die durch den Leistungswandlungskreis bereitgestellt wird, gewöhnlich begrenzt ist (zum Beispiel auf 100 V–), kann keine Wiederherstellung des Lichtbogens stattfinden. Wenn die Energie von dem Induktor **215** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** abgegeben wird, so fließt Strom von dem Induktor **215** durch den Umschalttransistor **213**, durch die Diode **218**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160**, durch die Diode **220**, durch die Konstantstromquelle **216** und zurück zum Induktor **215** (siehe Pfeile). Infolge dessen entzündet sich der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W rasch wieder in der negativen Richtung und schwingt sich auf einen Spannungspegel ein, der niedrig genug ist, damit die Stromquelle Strom ausgeben kann. Der Überlagerungskondensator **821**, der mit der Katode von Diode **217** verbunden ist, entlädt sich nicht, wenn der Ausgangsstrom zur negativen Richtung übergeht, um den Lichtbogen zu bilden oder wieder zu bilden, wodurch der Überlagerungskondensator **821** die gespeicherte Energie behalten kann, die er während der Totzeit während des Polaritätsübergangs gespeichert hat.

[0082] Wir bleiben beim oberen Abschnitt von **Fig. 8B**. Während des negativen Stromabschnitts der Wechselstromwellenform **800** (siehe die dickeren dunklen Linien der Wellenform **800**), die durch die Schweißstromquelle erzeugt wird, fließt Strom überwiegend vom Leistungswandlungskreis **210** durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160** und zurück zum Leistungswandlungskreis **210** (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215** (wobei Energie in dem Induktor gespeichert wird), durch den Umschalttransistor **213**, durch die Diode **218**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160**, durch die Diode **220** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Der Überlagerungskondensator **821** entlädt sich nicht während des negativen Stromabschnitts der Wechselstromwellenform **800** und behält die gespeicherte Energie, wie durch die Kondensatorspannungsformen **810** veranschaulicht.

[0083] Wir wenden uns dem unteren Teil von **Fig. 8B** zu. Während des negativen Stromabklingabschnitts der Wechselstromwellenform **800** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **800**) fungiert die Last **230** effektiv als eine Stromquelle, die versucht, den Strom am Fließen zu halten. Strom fließt von der Last **230** durch die anti-parallele Diode des Umschalttransistors **211** des Brückenkreises **160** durch den aktiven Snubberkreis **181**, durch den Leistungswandlungskreis **210** (in einer freilaufenden Weise) und zurück zur Last **230** (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorekreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215**, durch die Diode **217**, durch den Überlagerungskondensator **821** (und lädt den Kondensator) zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Energie ist bereits in dem Induktor gespeichert. Sobald die Überlagerungskondensatorspannung die maximale Versorgungsspannung der Stromquelle überschreitet, ist es die Energie in dem Induktor, die weiterhin den Kondensator lädt (und die ganze Zeit abklingt, während er die Energie an den Kondensator abgibt). Selbst wenn der Strom durch die Last **230** vollständig abgeklungen ist, fließt der Strom von dem Lichtbogen-Regulatorekreis **170** weiter, wie beschrieben, um den Überlagerungskondensator **821** während der Totzeit des Polaritätswechsels. Die Totzeit während des Polaritätswechsels kann justiert werden, um ein adäquates Laden des Überlagerungskondensators bereitzustellen.

[0084] Beim Übergang zurück zum positiven Abschnitt der Wellenform **800** (d. h. die Wellenform wiederholt sich), wie oben für **Fig. 8A** beschrieben, geben der Induktor **215** und der Überlagerungskondensator **821** gespeicherte Energie durch die Last ab (aber in der positiven Richtung), was zur Folge hat, dass der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W sich in der positiven Richtung rasch wieder entzündet. Der Lichtbogen-Regelungskreis **170** addiert kontinuierlich einen exakt geregelten Niedrigwert von Strom zu dem Schweißausgangsstrom, der durch die Stromquelle bereitgestellt wird, um den Lichtbogen zu stabilisieren, während der durch den Leistungswandlungskreis bereitgestellte Strom in Richtung null abnimmt, und um den Lichtbogen sofort in der entgegengesetzten Polarität wieder zu entzünden.

[0085] **Fig. 9A–Fig. 9C** veranschaulichen den Betrieb einer weiteren Ausführungsform einer Schweißstromquelle im Fall der Implementierung einer Wechselstrom-Schweißausgangsstromwellenform (zum Beispiel als eine einfache Rechteckwellenform dargestellt), die für eine unabhängige Entladungssteuerung eines Überlagerungskondensators **921** durch einen Umschalttransistor **922** konfiguriert ist. Der Lichtbogen-Regelungskreis **170**, der den Überlagerungskondensator **921** enthält, wie in den

Fig. 9A–Fig. 9C veranschaulicht, lädt den Überlagerungskondensator während der vorgegebenen Totzeit zwischen Polaritäten und gibt die Energie an die Last während des Negativ-zu-positiv-Übergangs ab, der herkömmlicherweise am schwierigsten wiederherzustellen war. Zweimaliges Laden und einmaliges Entladen pro Zyklus kann die Totzeit reduzieren, die pro Zyklus zum Laden des Überlagerungskondensators erforderlich ist, während die gespeicherte Energie erhöht wird, die zum Wiederentzünden des Lichtbogens während des Negativ-zu-positiv-Übergangs zur Verfügung steht. Der unabhängige Entladungssteuerungs-Umschalttransistor **922** wird eingeschaltet, um den Überlagerungskondensator **921** während des Negativ-zu-positiv-Übergangs zu entladen, und beseitigt einen unbeabsichtigten freilaufenden Pfad durch den Kondensator **821**, wie in den **Fig. 8A–Fig. 8B** veranschaulicht. Der Ausgangsstrom **900** und die Kondensatorspannung **910** sind während des Betriebes der Schweißstromquelle veranschaulicht, wie unten beschrieben.

[0086] Die in den **Fig. 9A–Fig. 9C** gezeigte Last **230** repräsentiert den Widerstand und die Induktivität des Lichtbogens zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W und des Schweißkabelpfades, der die Elektrode E und das Werkstück W mit der Schweißstromquelle verbindet (d. h. der Schweißausgangsstromkreis). Die Elektrode E, das Werkstück W und der Schweißkabelpfad sind jedoch nicht Teil der Schweißstromquelle.

[0087] Wir wenden uns dem oberen Abschnitt von **Fig. 9A** zu. Während des positiven Stromabschnitts einer Wechselstromwellenform **900** (siehe die dickeren dunklen Linien der Wellenform **900**), die durch die Schweißstromquelle erzeugt wird, fließt Strom überwiegend vom Leistungswandlungskreis **210** durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last **230** (in der positiven Richtung) und zurück zum Leistungswandlungskreis **210** durch den gemeinsamen Pfad (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorekreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215** (wobei Energie in dem Induktor gespeichert wird), durch die Diode **217**, durch den Umschalttransistor **211** des Brückenkreises **160**, durch die Last **230** (in der positiven Richtung), durch die Diode **219** und den Umschalttransistor **214** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Der unabhängige Entladungssteuerungs-Umschalttransistor **922** verhindert, dass der Überlagerungskondensator **921** sich während des positiven Stromabschnitts entlädt, und der Überlagerungskondensator **921** lädt zu der Lichtbogenspannung, wie in der Kondensatorspannungswellenform **910** veranschaulicht.

[0088] Wir wenden uns dem unteren Teil von **Fig. 9A** zu. Während des positiven Stromabklingabschnitts der Wechselstromwellenform **900** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **900**) fungiert die Last **230** effektiv als eine Stromquelle, die versucht, den Strom am Fließen zu halten. Strom fließt von der Last **230** durch den Leistungswandlungskreis **210** (in einer freilaufenden Weise) durch den aktiven Snubberkreis **181**, durch die anti-parallele Diode des Umschalttransistors **212** des Brückenkreises **160** und zurück zur Last **230** (in der positiven Richtung, siehe die dicken Pfeile), bis der Strom vollständig abklingt. Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215**, durch die Diode **923**, durch den Überlagerungskondensator **921** (und lädt den Kondensator) und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Energie ist bereits in dem Induktor gespeichert. Sobald die Überlagerungskondensatorspannung die maximale Versorgungsspannung der Stromquelle überschreitet, ist es die Energie in dem Induktor, die weiterhin den Kondensator lädt (und die ganze Zeit abklingt, während er die Energie an den Kondensator abgibt). Selbst wenn der Strom durch die Last **230** vollständig abgeklungen ist, fließt der Strom von dem Lichtbogen-Regulatorkreis **170** weiter, wie beschrieben, um den Überlagerungskondensator **921** während der Totzeit des Polaritätswechsels zu laden. Die Totzeit während des Polaritätswechsels kann justiert werden, um die gewünschte Ladung für den Überlagerungskondensator bereitzustellen.

[0089] Während des Stromabklingens ändert der Brückenkreis **160** die Polarität. Wenn der Strom durch die Last in Richtung null abfällt, so erlischt der Lichtbogen, und der Lichtbogen-Regelungskreis legt eine Hochspannung an die Last an, um den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität wieder zu entzünden.

[0090] Wir wenden uns dem oberen Abschnitt von **Fig. 9B** zu. Während des Polaritätsübergangsabschnitts der Wechselstromwellenform **900** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **900**) wird kein signifikanter Strom durch den Leistungswandlungskreis **210** bereitgestellt. Der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W erlischt kurz. Jedoch induziert gespeicherte Energie in dem Induktor **215** eine Lichtbogenzündspannung zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W. Strom von dem Leistungswandlungskreis kann erneut durch die Last in entgegengesetzter Richtung zu fließen beginnen. Ein Undershoot am Lichtbogen wird durch den Induktor begrenzt. Ein Overshoot wird nicht durch den Induktor begrenzt, da nicht der gesamte Lichtbogenstrom durch den Induktor fließt. Ohne den Lichtbogen-Regelungskreis würde der Leistungswandlungskreis versuchen, den Lichtbogen wiederherzustellen.

Da jedoch die Spannung, die durch den Leistungswandlungskreis bereitgestellt wird, gewöhnlich begrenzt ist (zum Beispiel auf 100 V–), kann keine Wiederherstellung des Lichtbogens stattfinden. Wenn die Energie von dem Induktor **215** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** abgegeben wird, so fließt Strom von dem Induktor **215** durch den Umschalttransistor **213**, durch die Diode **218**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160**, durch die Diode **220**, durch die Konstantstromquelle **216** und zurück zum Induktor **215** (siehe Pfeile). Infolge dessen entzündet sich der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W rasch wieder in der negativen Richtung und schwingt sich auf einen Spannungsspiegel ein, der niedrig genug ist, damit die Stromquelle Strom ausgeben kann. Der unabhängige Entladungssteuerungs-Umschalttransistor **922** verhindert, dass der Überlagerungskondensator **921** sich entlädt, wenn der Ausgangsstrom zur negativen Richtung übergeht, so dass der Überlagerungskondensator **921** die gespeicherte Energie während der Totzeit während des vorherigen Polaritätsübergangs und des positiven Stromabschnitts der Wellenform **900** behalten kann.

[0091] Wir bleiben beim oberen Abschnitt von **Fig. 9B**. Während des negativen Stromabschnitts der Wechselstromwellenform **900** (siehe die dickeren dunklen Linien der Wellenform **900**), die durch die Schweißstromquelle erzeugt wird, fließt Strom überwiegend vom Leistungswandlungskreis **210**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160** und zurück zum Leistungswandlungskreis **210** (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215** (wobei Energie in dem Induktor gespeichert wird), durch den Umschalttransistor **213**, durch die Diode **218**, durch die Last **230** (in der negativen Richtung), durch den Umschalttransistor **212** des Brückenkreises **160**, durch die Diode **220** des Lichtbogen-Regelungskreises **170** und zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Der Überlagerungskondensator **921** entlädt sich nicht während des negativen Stromabschnitts der Wechselstromwellenform **900** und behält die gespeicherte Energie, wie durch die Kondensatorspannungswellenform **910** veranschaulicht.

[0092] Wir wenden uns dem unteren Teil von **Fig. 9B** zu. Während des negativen Stromabklingabschnitts der Wechselstromwellenform **900** (siehe die dickere dunkle Linie der Wellenform **900**) fungiert die Last **230** effektiv als eine Stromquelle, die versucht, den Strom am Fließen zu halten. Strom fließt von der Last **230** durch die anti-parallele Diode des Umschalttransistors **211** des Brückenkreises **160**, durch den aktiven Snubberkreis **181**, durch den Leistungs-

wandlungskreis **210** (in einer freilaufenden Weise) und zurück zur Last **230** (siehe die dicken Pfeile). Außerdem fließt ein niedriger geregelter Strom, der durch den Lichtbogen-Regulatorkreis **170** bereitgestellt wird, von der Konstantstromquelle **216** durch den Induktor **215**, durch die Diode **923**, durch den Überlagerungskondensator **921** (und lädt den Kondensator) zurück zur Konstantstromquelle **216** (siehe die dünneren Pfeile). Energie ist bereits in dem Induktor gespeichert. Sobald die Überlagerungskondensatorspannung die maximale Versorgungsspannung der Stromquelle überschreitet, ist es die Energie in dem Induktor, die weiterhin den Kondensator lädt (und die ganze Zeit abklingt, während er die Energie an den Kondensator abgibt). Selbst wenn der Strom durch die Last **230** vollständig abgeklungen ist, fließt der Strom von dem Lichtbogen-Regulatorkreis **170** weiter, wie beschrieben, um den Überlagerungskondensator **921** während der Totzeit des Polaritätswechsels zu laden. Die Totzeit während des Polaritätswechsels kann justiert werden, um ein adäquates Laden des Überlagerungskondensators bereitzustellen.

[0093] Wir wenden uns **Fig. 9C** zu. Beim Übergang zurück zum positiven Abschnitt der Wellenform **900** (d. h. die Wellenform wiederholt sich) gibt der Induktor **215** gespeicherte Energie durch die Last (aber in der positiven Richtung) ab, was zur Folge hat, dass der Lichtbogen zwischen der Elektrode E und dem Werkstück W sich in der positiven Richtung rasch wieder entzündet, wie oben für **Fig. 9A** beschrieben. Außerdem entlädt sich der Überlagerungskondensator **921** durch den Umschalttransistor **922**, durch die Last **230** (in der positiven Richtung), durch die Diode **219** und den Umschalttransistor **214** des Lichtbogen-Regulatorkreises **170** und zurück zum Überlagerungskondensator **921** (siehe Strichlinienpfeile). Der Überlagerungskondensator **921** stellt einen zusätzlichen Energiestoß bereit, um das Herstellen und Wiederherstellen des Lichtbogens in der positiven Richtung zu unterstützen. Sobald der Lichtbogen hergestellt ist, wird der Umschalttransistor **922** auf AUS geschaltet, um das Entladen des Überlagerungskondensators **921** zu unterbrechen, und der Prozess wiederholt sich, wie oben beschrieben. Auf diese Weise addiert der Lichtbogen-Regulatorkreis **170** kontinuierlich einen exakt geregelten Niedrigwert von Strom zu dem Schweißausgangsstrom, der durch die Stromquelle bereitgestellt wird, um den Lichtbogen zu stabilisieren, während der durch den Leistungswandlungskreis bereitgestellte Strom in Richtung null abnimmt, und sofort den Lichtbogen in der entgegengesetzten Polarität neu zu entzünden.

[0094] Kurz gesagt, werden Systeme und Verfahren offenbart, die eine Niederstromregelung für Wechselstrom-Lichtbogenschweißprozesse zum Regeln der Lichtbogenschweißleistung bereitstellen. In Lichtbogenschweißstromquellen-Ausführungsformen erlau-

ben Konfigurationen von Brücken- und Lichtbogen-Regelungskreisen eine Richtungsumschaltung des Schweißausgangsstroms durch den Schweißausgangsstromkreislauf und induzieren eine Spannung zwischen der Elektrode und dem Werkstück des Schweißausgangsstromkreislaufes, die ausreicht, den Lichtbogen während eines Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms wieder zu entzünden. Der Lichtbogen-Regelungskreis stellt einen hohen Induktivitätspegel zum Speichern von Energie in beiden Polaritäten bereit, die den Spannungspegel zum Wiederentzünden des Lichtbogens während des Nulldurchgangs des Ausgangsstroms induziert und eine Stabilisierung von Lichtbogenstrom am unteren Ende bereitstellt.

[0095] In den beigefügten Ansprüchen werden die Begriffe „enthalten“ und „aufweisen“ als direkte sprachliche Äquivalente des Begriffes „umfassen“ verwendet; die Formulierung „bei denen“ ist äquivalent zu „wobei“. Darüber hinaus werden in den beigefügten Ansprüchen die Begriffe „erster“, „zweiter“, „dritter“, „oberer“, „unterer“, „unten“, „oben“ usw. lediglich als Bezeichner verwendet und dienen nicht dazu, numerische oder positionale Anforderungen an ihre Objekte zu stellen. Des Weiteren sind die Einschränkungen der beigefügten Ansprüche nicht im Mittel-plus-Funktion-Format geschrieben, und es besteht nicht die Absicht, dass sie im Sinne von 35 U.S.C. § 112, sechster Absatz, ausgelegt werden, sofern nicht – und bis – solche Anspruchseinschränkungen ausdrücklich die Phrase „Mittel für“ verwenden, gefolgt von einer Darlegung der Funktion ohne weitere Struktur. Im Sinne des vorliegenden Textes ist ein Element oder Schritt, das bzw. der in der Einzahl mit vorangestelltem „ein“ oder „eine“ genannt wird, nicht so zu verstehen, als sei die Mehrzahl der Elemente oder Schritte ausgeschlossen, sofern nicht ein solcher Ausschluss ausdrücklich angegeben ist. Des Weiteren sind Verweise auf „eine Ausführungsform“ der vorliegenden Erfindung nicht so zu verstehen, als würden sie die Existenz weiterer Ausführungsformen, die ebenfalls die zitierten Merkmale enthalten, ausschließen. Darüber hinaus können, sofern nicht ausdrücklich etwas anderes ausgesagt wird, Ausführungsformen, die ein Element oder mehrere Elemente mit einer bestimmten Eigenschaft „umfassen“, „enthalten“ oder „aufweisen“, weitere derartige Elemente ohne jene Eigenschaft enthalten. Darüber hinaus können bestimmte Ausführungsformen so dargestellt werden, dass sie gleiche oder ähnliche Elemente aufweisen; das dient jedoch lediglich Veranschaulichungszwecken, und solche Ausführungsformen brauchen nicht unbedingt die gleichen Elemente zu haben, sofern dies nicht in den Ansprüchen ausgesagt wird.

[0096] Im Sinne des vorliegenden Textes bezeichnen die Begriffe „können“ und „können sein“ die Möglichkeit eines Eintretens innerhalb einer Gruppe von

Umständen; den Besitz einer spezifizierten Eigenschaft, eines spezifizierten Merkmals oder einer spezifizierten Funktion; und/oder sie qualifizieren ein anderes Verb durch Ausdrücken einer Fähigkeit und/oder Eignung oder Möglichkeit, die dem qualifizierten Verb eigen ist. Dementsprechend bezeichnet der Gebrauch von „können“ und „kann sein“, dass ein modifizierter Begriff für eine angegebene Eigenschaft, Funktion oder Nutzung augenscheinlich zweckmäßig, brauchbar oder geeignet ist, wobei die Möglichkeit berücksichtigt wird, dass der modifizierte Begriff unter einigen Umständen nicht unbedingt zweckmäßig, brauchbar oder geeignet sein muss. Zum Beispiel kann unter einigen Umständen ein Ereignis oder eine Fähigkeit erwartet werden, während das Ereignis oder die Fähigkeit unter anderen Umständen nicht eintritt. Diese Unterscheidung wird durch die Begriffe „können“ und „kann sein“ erfasst.

[0097] Diese schriftliche Beschreibung verwendet Beispiele zum Offenbaren der Erfindung, einschließlich des besten Modus, und außerdem, um es dem Durchschnittsfachmann zu ermöglichen, die Erfindung zu praktizieren, einschließlich des Herstellens und Verwendens jeglicher Vorrichtungen oder Systeme und des Ausführens der hier enthaltenen Verfahren. Der patentierbare Schutzzumfang der Erfindung wird durch die Ansprüche definiert und kann andere Beispiele enthalten, die dem Durchschnittsfachmann einfallen. Es ist beabsichtigt, dass solche anderen Beispiele in den Schutzzumfang der Ansprüche fallen, wenn sie strukturelle Elemente haben, die sich nicht von der wörtlichen Formulierung der Ansprüche unterscheiden, oder wenn sie vergleichbare strukturelle Elemente mit unwesentlichen Unterschieden von den wörtlichen Formulierungen der Ansprüche enthalten.

[0098] Obgleich der beanspruchte Gegenstand der vorliegenden Anmeldung mit Bezug auf bestimmte Ausführungsformen beschrieben wurde, leuchtet dem Fachmann ein, dass verschiedene Änderungen vorgenommen werden können und dass Äquivalente substituiert werden können, ohne vom Schutzzumfang des beanspruchten Gegenstandes abzuweichen. Außerdem können viele Modifizierungen vorgenommen werden, um eine bestimmte Situation oder ein bestimmtes Material an die Lehren des beanspruchten Gegenstands anzupassen, ohne seinen Schutzzumfang zu verlassen. Daher ist es beabsichtigt, dass der beanspruchte Gegenstand nicht auf die konkret offenbarten Ausführungsformen beschränkt ist, sondern dass der beanspruchte Gegenstand alle Ausführungsformen beinhaltet, die in den Schutzzumfang der beigefügten Ansprüche fallen.

Bezugszeichenliste

100	Schweißstromquelle
110	Stromkreis
120	Generator
130	Steuereinheit
140	Rückmeldungskreis
150	Rückmeldungskreis
160	Brückenkreis
170	Regelungskreis
180	Umschaltkreis
181	Snubberkreis
182	Diode
183	Kondensator
191	Anschluss
192	Anschluss
210	Abschnitt
211	Transistor
212	Transistor
213	Transistor
214	Transistor
215	Induktor
216	Quelle
217	Diode
218	Diode
219	Diode
220	Diode
221	Kondensator
230	Last
300	Wellenform
411	Transistor
412	Transistor
413	Transistor
414	Transistor
415	Transistor
416	Transistor
417	Induktor
418	Quelle
419	Diode
420	Transistor
481	Snubberkreis
482	Diode
483	Kondensator
511	Transistor
512	Transistor
513	Induktor
514	Induktor
515	Quelle
516	Quelle
517	Diode
518	Transistor
519	Diode
581	Snubberkreis
582	Diode
611	Transistor
612	Transistor
613	Transistor
614	Transistor
615	Induktor
616	Quelle

617	Diode
618	Transistor
681	Snubberkreis
682	Diode
683	Kondensator
700	Strom
710	Spannung
721	Kondensator
800	Strom
810	Spannung
821	Kondensator
900	Strom
910	Spannung
921	Kondensator
922	Transistor
923	Diode
E	Elektrode
W	Werkstück

Patentansprüche

1. Schweißstromquelle (**100**), die Folgendes umfasst:

einen Leistungswandlungskreis (**110**), der dafür konfiguriert ist, einen Eingangsstrom in einen Ausgangsstrom umzuwandeln; eine Steuereinheit (**130**); einen Brückenkreis (**160**), der mit dem Leistungswandlungskreis (**110**) wirkverbunden und dafür konfiguriert ist, eine Richtung des Ausgangsstroms durch einen Schweißausgangsstromkreispfad, der mit einem Schweißausgang der Schweißstromquelle wirkverbunden (**100**) ist, auf Befehl der Steuereinheit (**130**) umzuschalten; einen Lichtbogen-Regelungskreis (**170**), der mit dem Brückenkreis (**160**) wirkverbunden ist und dafür konfiguriert ist, eine Spannung zwischen einer Elektrode (E) und einem Werkstück (W) des Schweißausgangsstromkreispfades zu induzieren, die für eine Lichtbogen-Neuzündung während eines Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms ausreichend ist, und des Weiteren dafür konfiguriert ist, einen Overshoot-Strom zu induzieren, um eine Lichtbogen-Neuzündung während mindestens eines Negativ-zu-positiv-Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms zu ermöglichen.

2. Schweißstromquelle nach Anspruch 1, wobei der Lichtbogen-Regelungskreis (**170**) einen Überlagerungskondensator enthält, der dafür konfiguriert ist, den Overshoot-Strom bereitzustellen.

3. Schweißstromquelle nach Anspruch 2, wobei der Lichtbogen-Regelungskreis (**170**) einen unabhängigen Entladungssteuerungsschalter enthält, der dafür konfiguriert ist, selektiv zu entladen der Überlagerungskondensator während des Negativ-zu-positiv-Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms.

4. Schweißstromquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Lichtbogen-Regelungskreis (**170**)

mindestens einen Induktor und mindestens eine Konstantstromquelle enthält.

5. Schweißstromquelle nach Anspruch 3, wobei ein Induktivitätswert des mindestens einen Induktors zwischen etwa 10 und 100 Millihenry liegt.

6. Schweißstromquelle nach Anspruch 3, wobei die Konstantstromquelle einen geregelten Konstantstrom zwischen 2 A und 10 A bereitstellt.

7. Schweißstromquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Leistungswandlungskreis (**110**), der Brückenkreis (**160**) und der Lichtbogen-Regelungskreis (**170**) dafür konfiguriert sind, auf Befehl der Steuereinheit (**130**) der Schweißstromquelle (**100**) einen Gleichstrom-positiven Schweißvorgang, einen Gleichstrom-negativen Schweißvorgang oder einen Wechselstromschweißvorgang bereitzustellen.

8. Schweißstromquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Leistungswandlungskreis (**110**) Transformator-basiert ist und eine Halbbrückenausgangstopologie aufweist, wobei der Leistungswandlungskreis (**110**) eine Gleichstromausgangstopologie enthält, wobei der Leistungswandlungskreis (**110**) ein Inverter-basierter Kreis ist, und/oder wobei der Leistungswandlungskreis ein Zerhacker-basierter Kreis ist.

9. Schweißstromquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Brückenkreis (**160**) als ein Halbbrückenkreis konfiguriert ist, oder wobei der Brückenkreis (**160**) als ein Vollbrückenkreis konfiguriert ist.

10. Schweißstromquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Brückenkreis (**160**) mindestens zwei Schalttransistoren enthält.

11. Schweißstromquelle, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 10, die Folgendes umfasst: ein Mittel zum Konvertieren eines Eingangsstroms zu einem Ausgangsstrom; ein Mittel zum Umschalten einer Richtung des Ausgangsstroms durch einen Schweißausgangsstromkreispfad, der mit einem Schweißausgang der Schweißstromquelle wirkverbunden ist, um mindestens einen Wechselstromschweißvorgang bereitzustellen; ein Mittel zum Induzieren einer Spannung zwischen einer Schweißelektrode und einem Schweißwerkstück des Schweißausgangsstromkreispfades während eines Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms zur automatischen Wiederherstellung eines Lichtbogens zwischen der Schweißelektrode und dem Werkstück mit einer entgegengesetzten Polarität; und ein Mittel zum Induzieren eines Overshoot-Stroms zum Ermöglichen einer Lichtbogen-Neuzündung während mindestens eines Negativ-zu-positiv-Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms.

12. Schweißstromquelle, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 11, die Folgendes umfasst: einen Brückenkreis, der dafür konfiguriert ist, einen Wechselstrom-Schweißausgangsstrom bereitzustellen; und einen Lichtbogen-Regelungskreis, der mit dem Brückenkreis wirkverbunden und dafür konfiguriert ist, eine Spannung an einem Schweißausgang der Schweißstromquelle zu induzieren, die eine ausreichende Größenordnung besitzt, um einen Lichtbogen in einem Ausgangsstromkreispfad, der mit dem Schweißausgang verbunden ist, bei Umkehr einer Polarität des Schweißausgangsstroms durch den Ausgangsstromkreispfad automatisch wieder zu entzünden, und des Weiteren dafür konfiguriert ist, einen Overshoot-Strom zum Ermöglichen einer Lichtbogen-Neuzündung während mindestens eines Negativ-zu-positiv-Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms zu induzieren.

13. Schweißstromquelle, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 12, die einen Stromumschaltkreis umfasst, der mindestens einen Induktor, mindestens eine Konstantstromquelle und mindestens einen Überlagerungskondensator aufweist, wobei der mindestens eine Induktor, die mindestens eine Konstantstromquelle und der mindestens eine Überlagerungskondensator dafür konfiguriert sind, an einer Last, die mit einem Schweißausgang der Schweißstromquelle verbunden ist, eine Spannung zu induzieren, die ausreichend ist, um einen Schweißlichtbogen an der Last bei Umkehr einer Polarität eines Schweißausgangsstroms durch die Last wieder zu entzünden, wobei der Stromumschaltkreis bevorzugt als ein Halbbrückenkreis oder ein Vollbrückenkreis konfiguriert ist.

14. Verfahren, das Folgendes umfasst:
Umwandeln eines Eingangsstroms in einen Ausgangsstrom in einer Schweißstromquelle; Umschalten einer Richtung des Ausgangsstroms durch einen Schweißausgangsstromkreispfad, der mit einem Schweißausgang der Schweißstromquelle wirkverbunden ist, von einer ersten Richtung zu einer zweiten Richtung auf Befehl einer Steuereinheit der Schweißstromquelle; und Induzieren eines Spannungspegels zwischen einer Schweißelektrode und einem Werkstück des Schweißausgangsstromkreispfades, der ausreichend ist, um einen Lichtbogen zwischen der Elektrode und dem Werkstück in der zweiten Richtung als Teil des Umschaltens in die zweite Richtung automatisch wieder zu entzünden; und Induzieren eines Overshoot-Stroms zum Ermöglichen einer Lichtbogen-Neuzündung während mindestens eines Negativ-zu-positiv-Polaritätsübergangs des Ausgangsstroms.

15. Verfahren nach Anspruch 14, das des Weiteren Folgendes umfasst:
Umschalten einer Richtung des Ausgangsstroms durch den Schweißausgangsstromkreispfad von der

zweiten Richtung zu der ersten Richtung auf Befehl der Steuereinheit der Schweißstromquelle; und Induzieren eines Spannungspegels zwischen der Schweißelektrode und dem Werkstück des Schweißausgangsstromkreispfades, der ausreichend ist, um einen Lichtbogen zwischen der Elektrode und dem Werkstück in der ersten Richtung als Teil des Umschaltens zu der ersten Richtung automatisch wieder zu entzünden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die Schritte des Induzierens eines Spannungspegels durch einen Lichtbogen-Regelungskreis erreicht werden, der mindestens einen Induktor und mindestens eine Konstantstromquelle aufweist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 oder 16, wobei die Schritte des Induzierens eines Spannungspegels durch einen Lichtbogen-Regelungskreis erreicht werden, der mindestens einen Induktor und mindestens eine Konstantstromquelle aufweist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, wobei der Schritt des Induzierens eines Overshoot-Stroms durch einen Lichtbogen-Regelungskreis erreicht wird, der mindestens einen Überlagerungskondensator aufweist.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

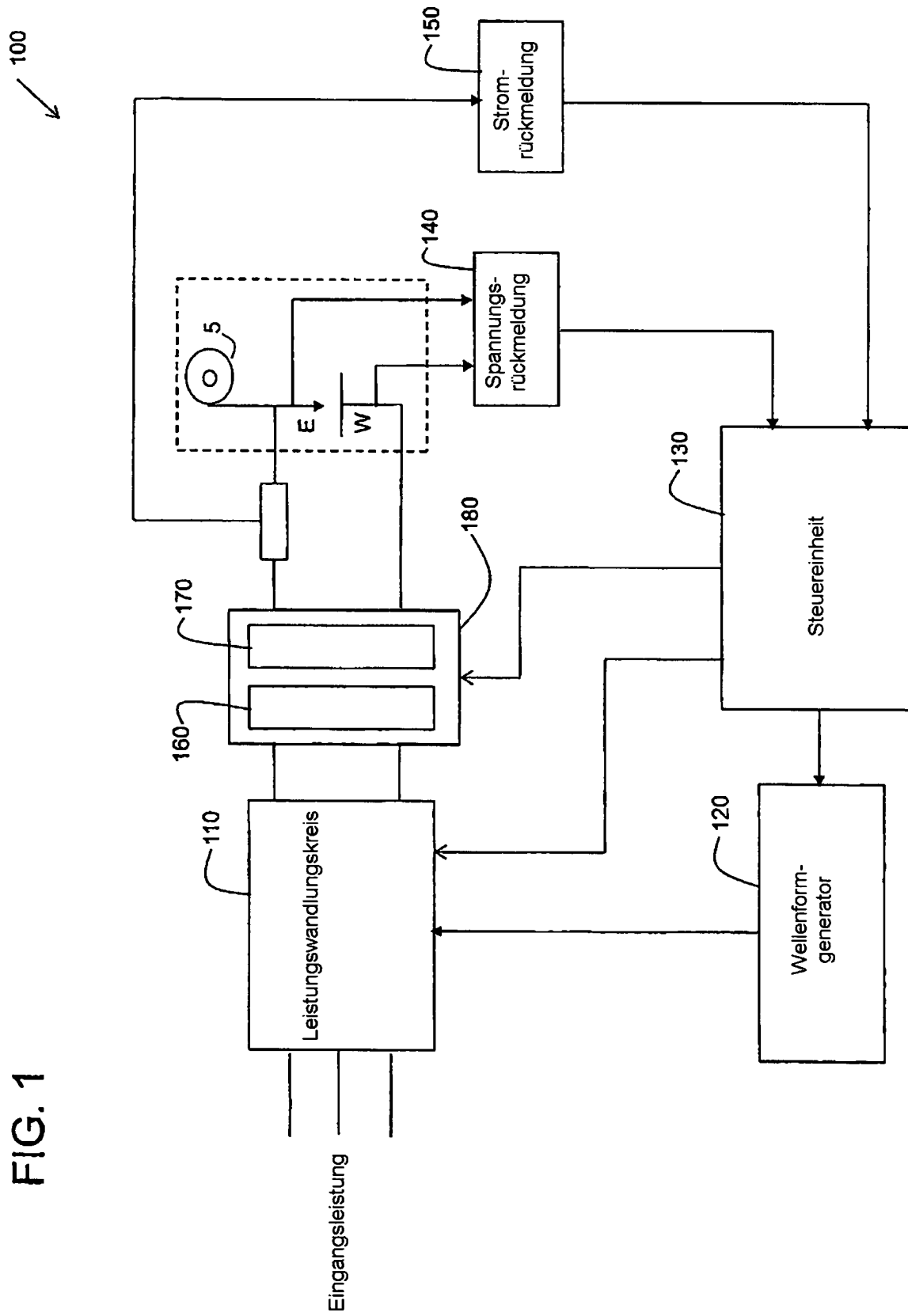


FIG. 2

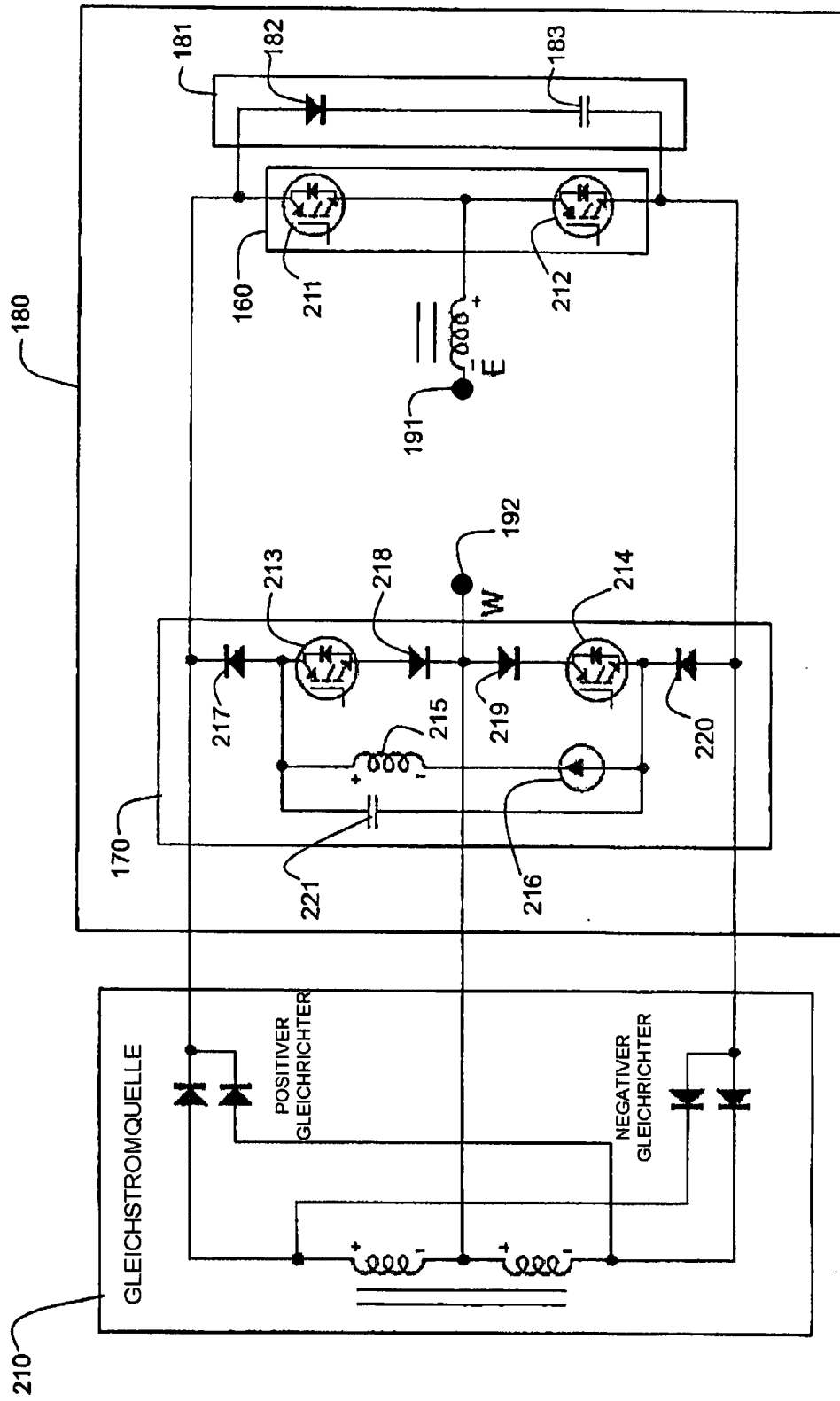


FIG. 3A

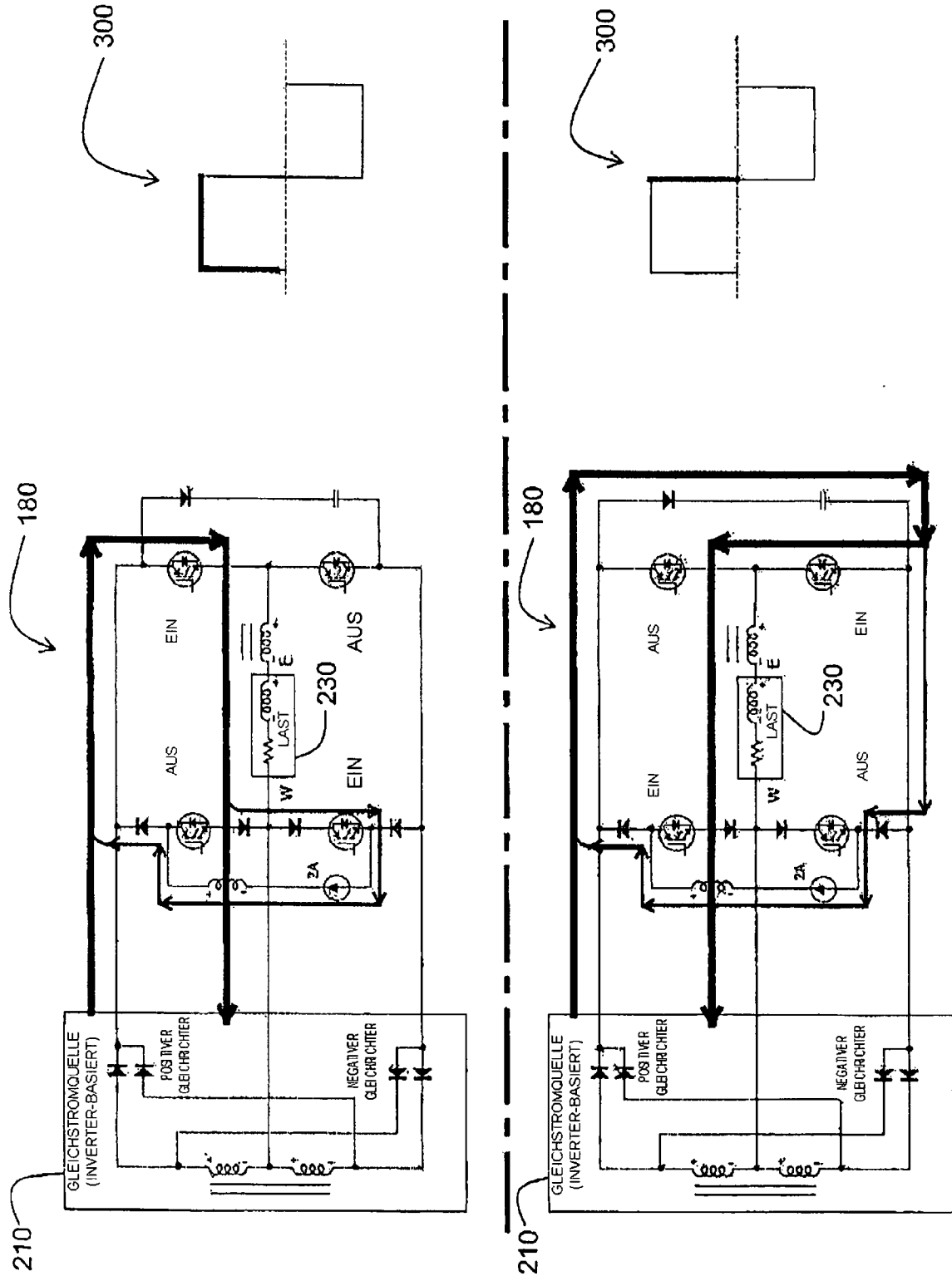


FIG. 3B

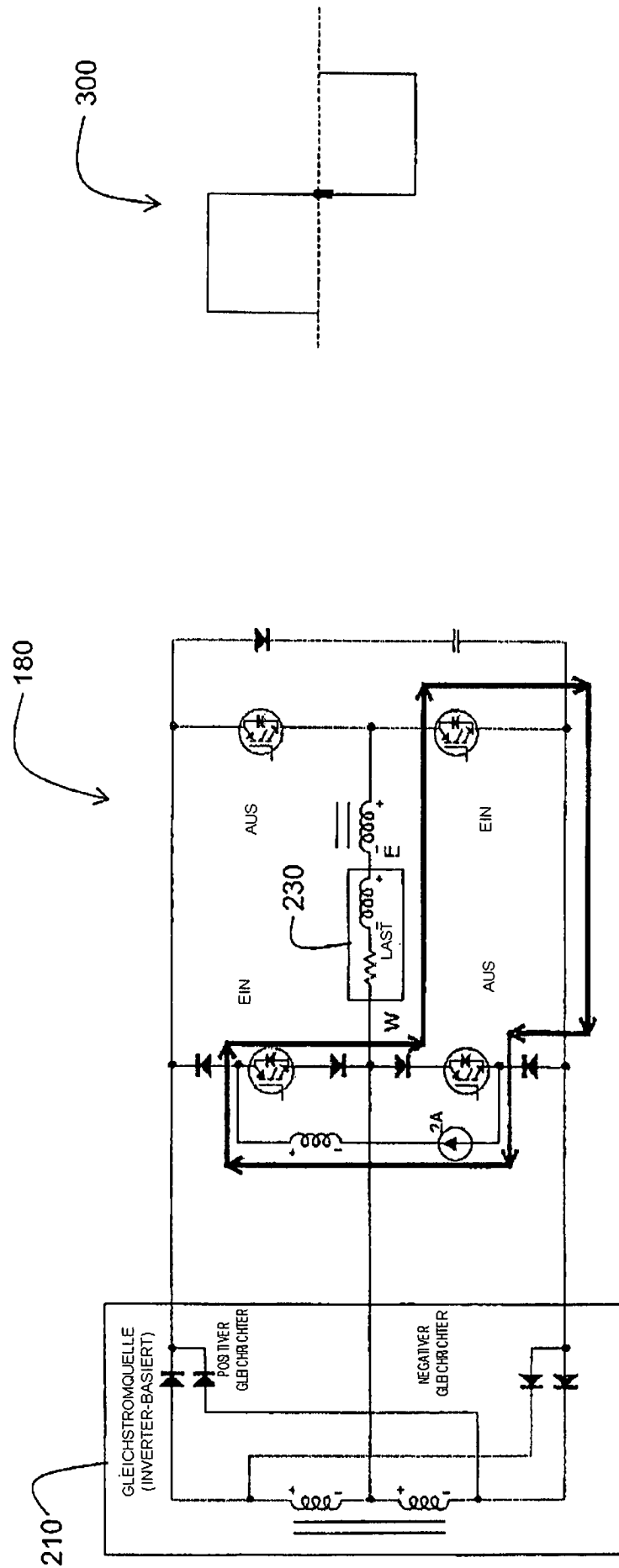


FIG. 3C

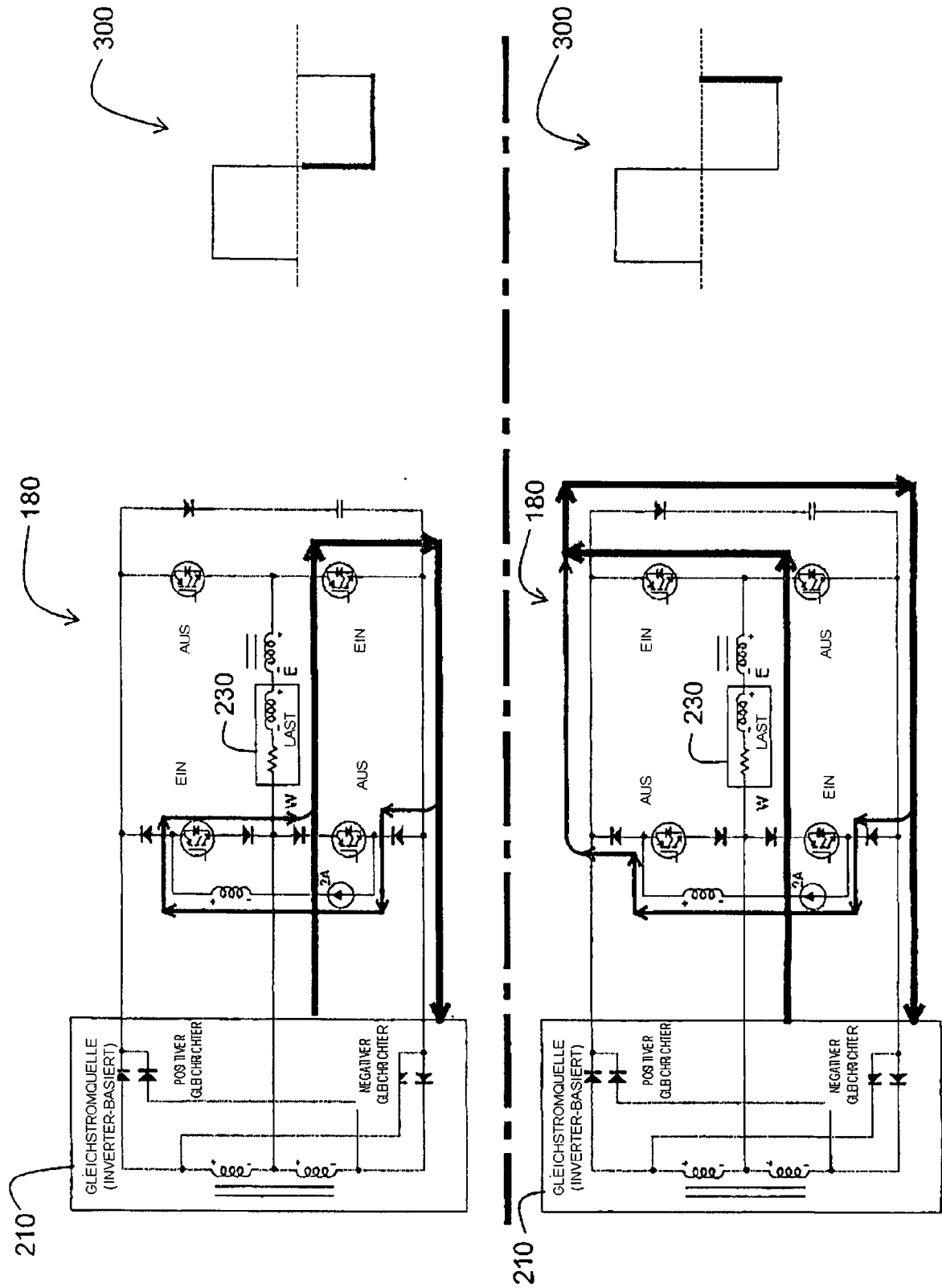


FIG. 4

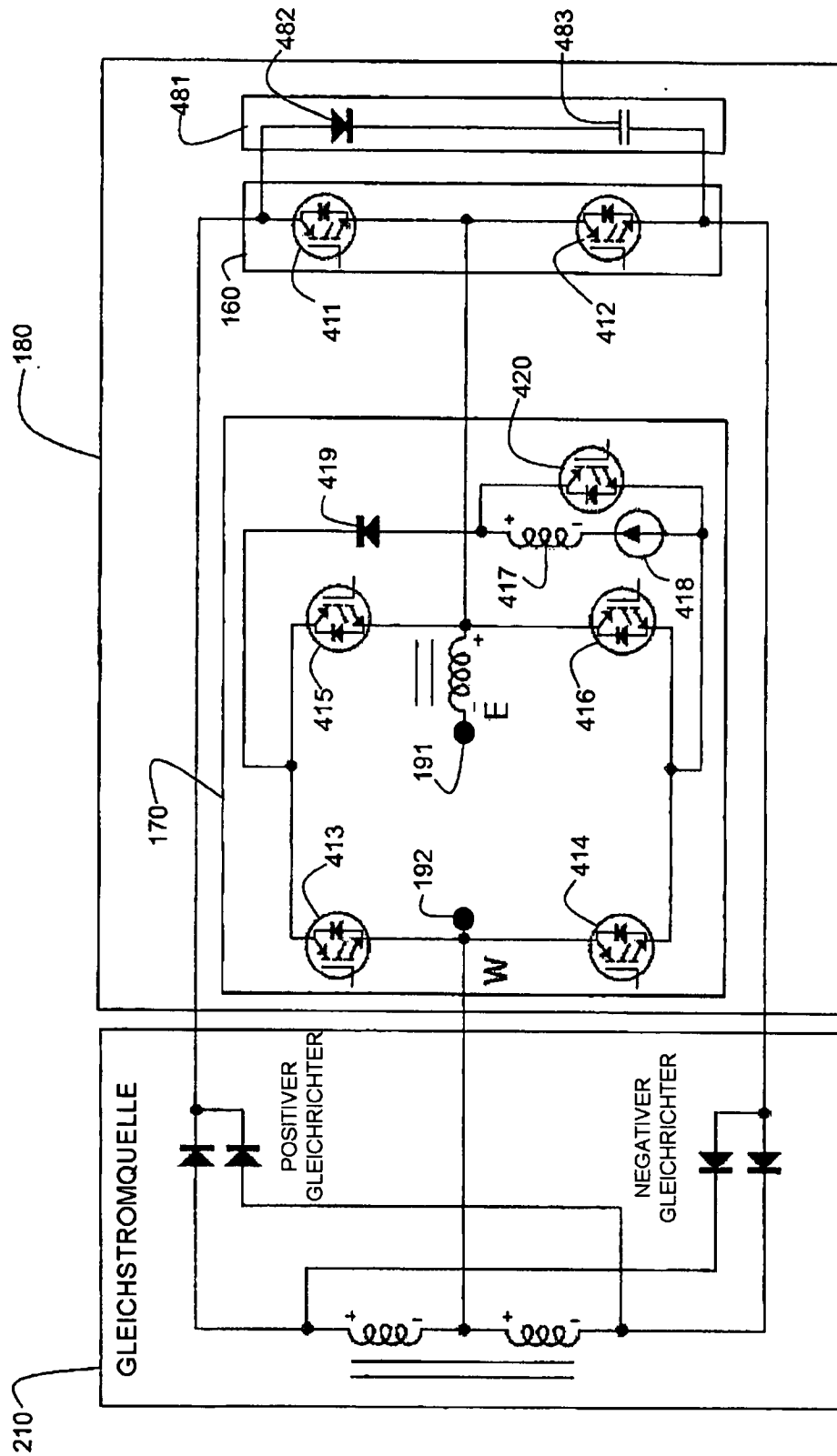


FIG. 5

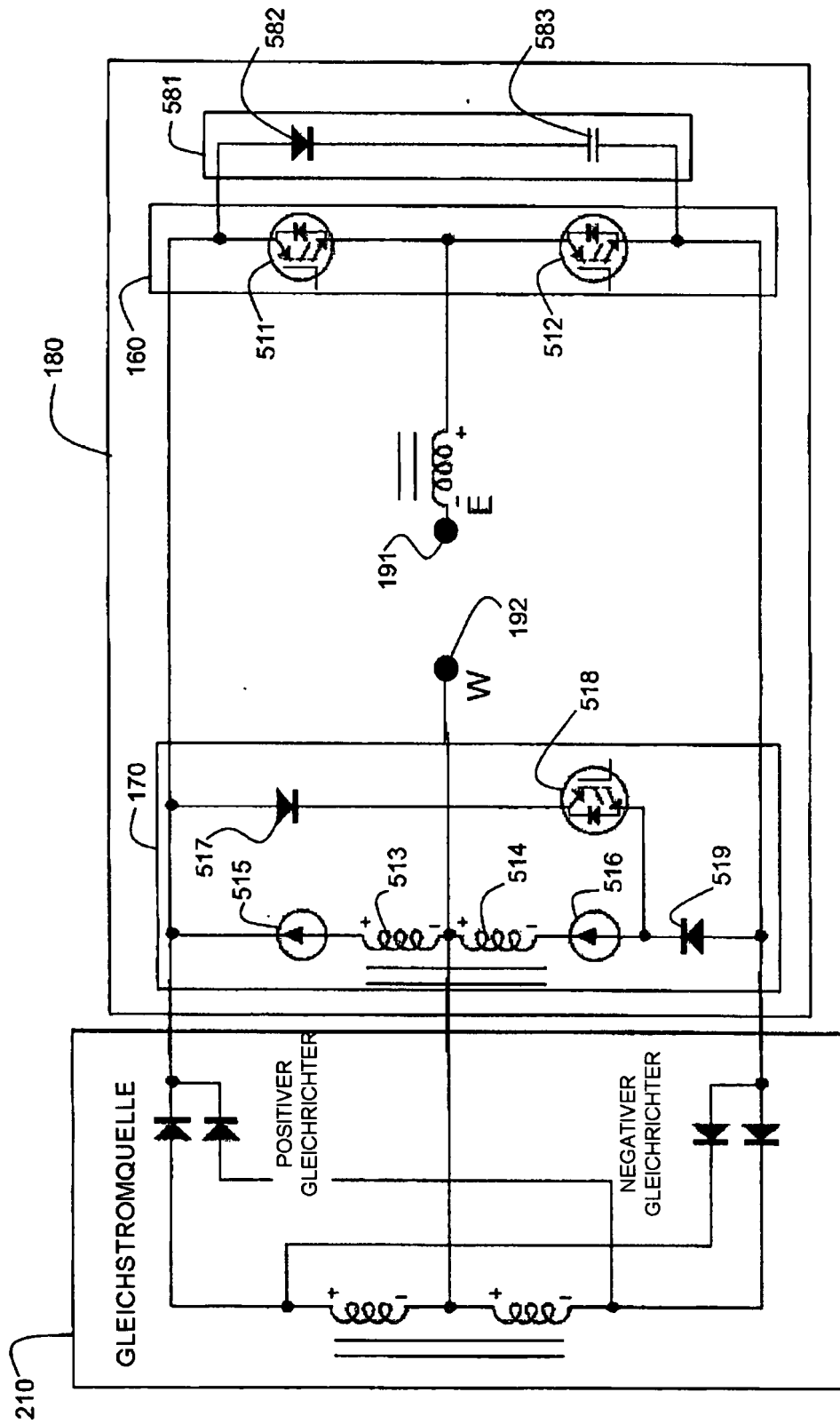


FIG. 6

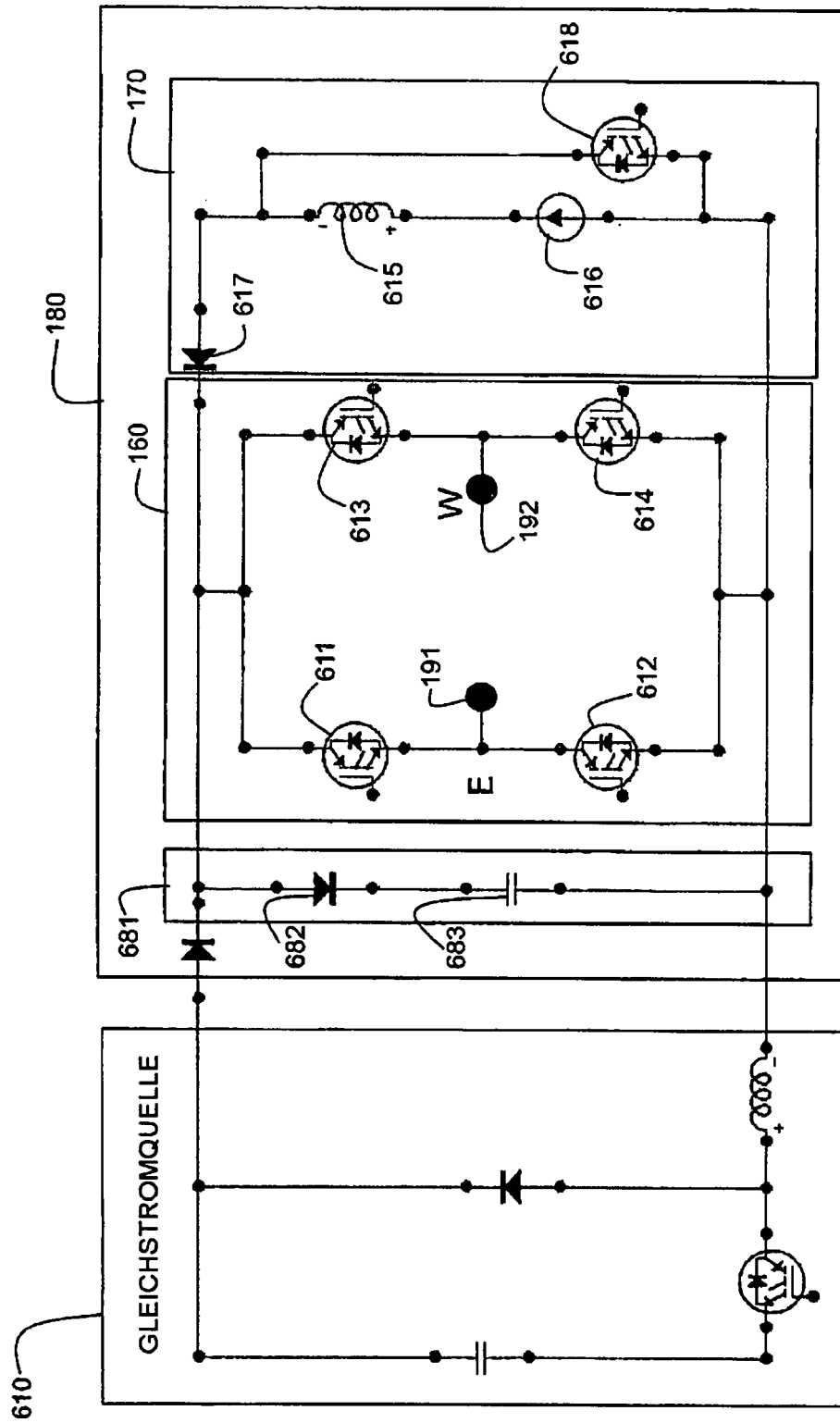


FIG. 7A

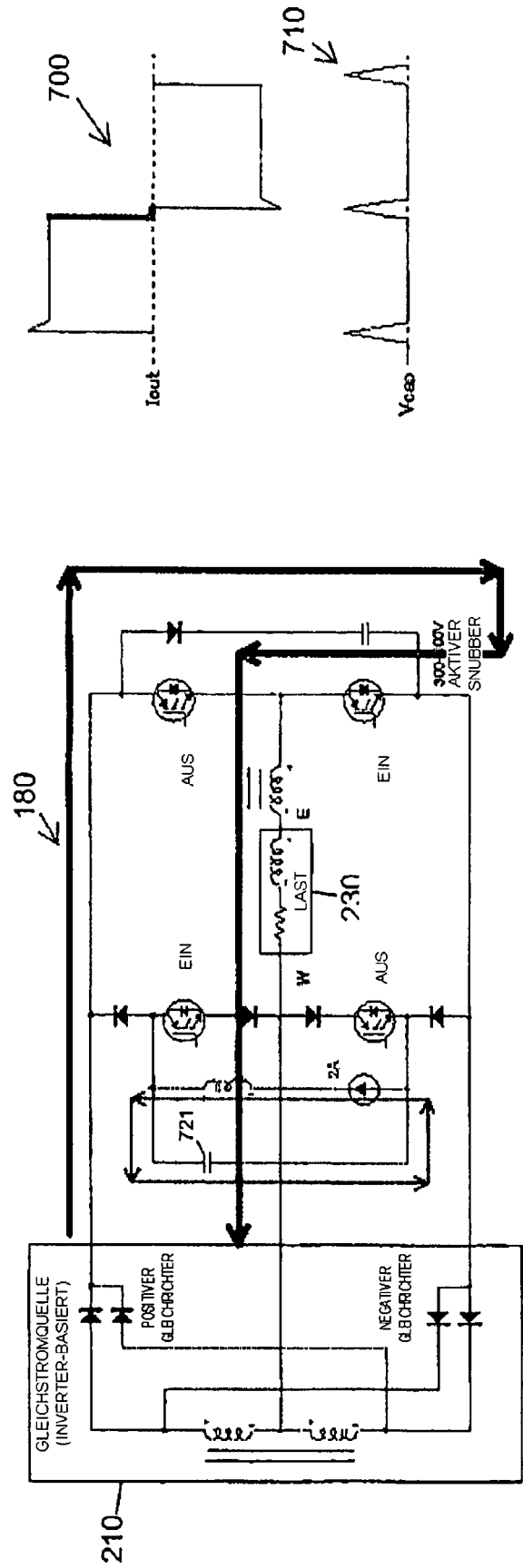
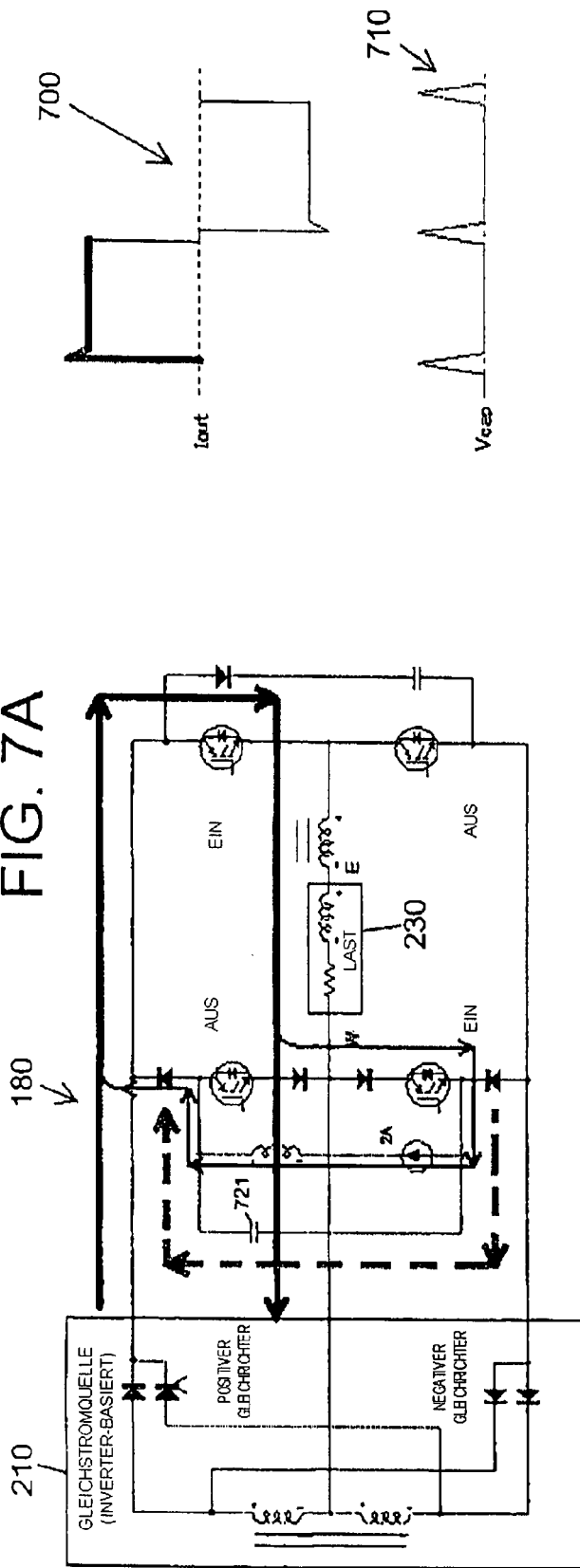


FIG. 7B

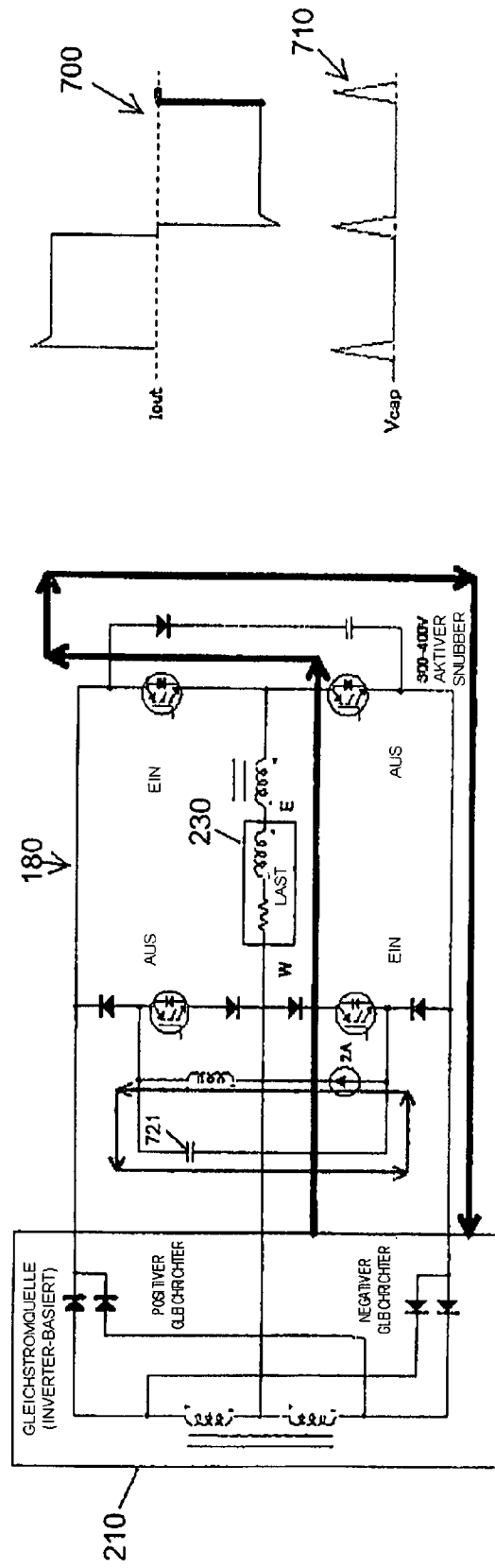
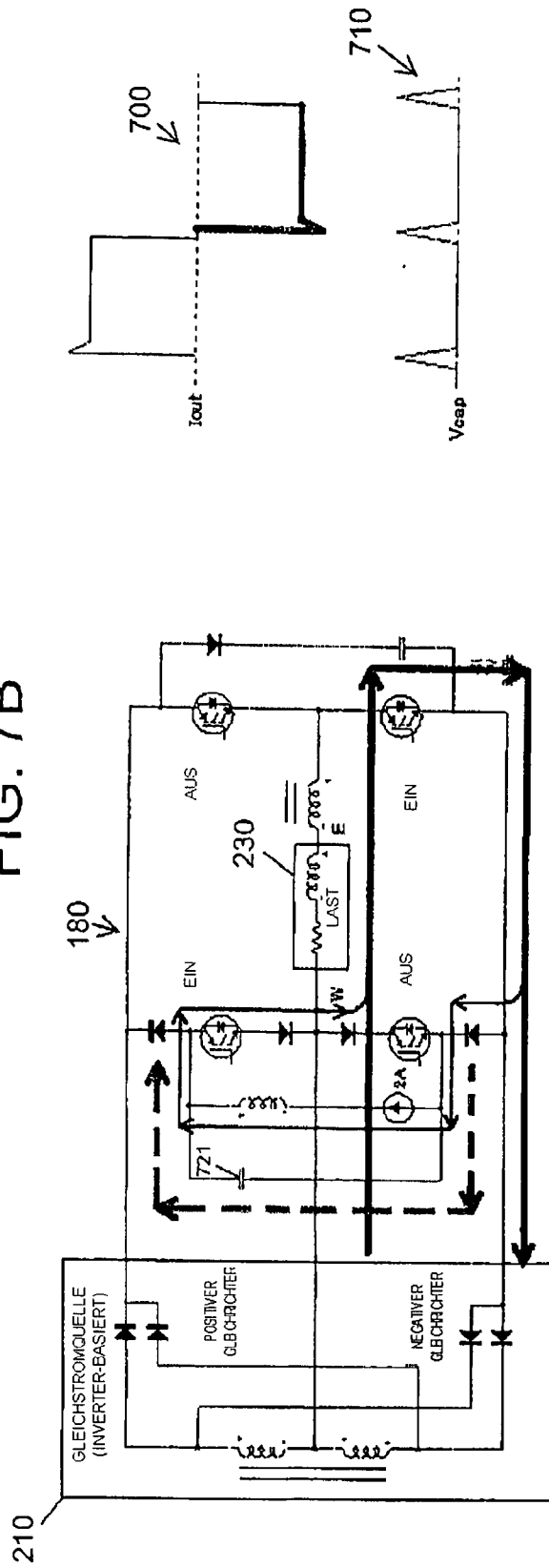


FIG. 8A

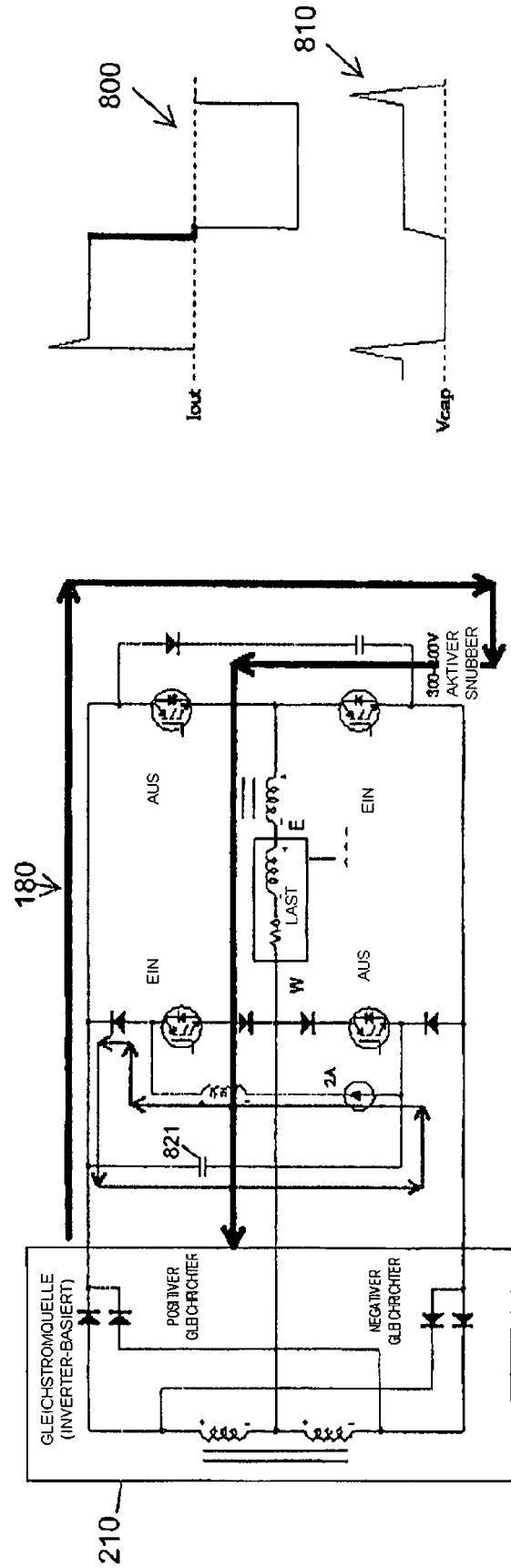
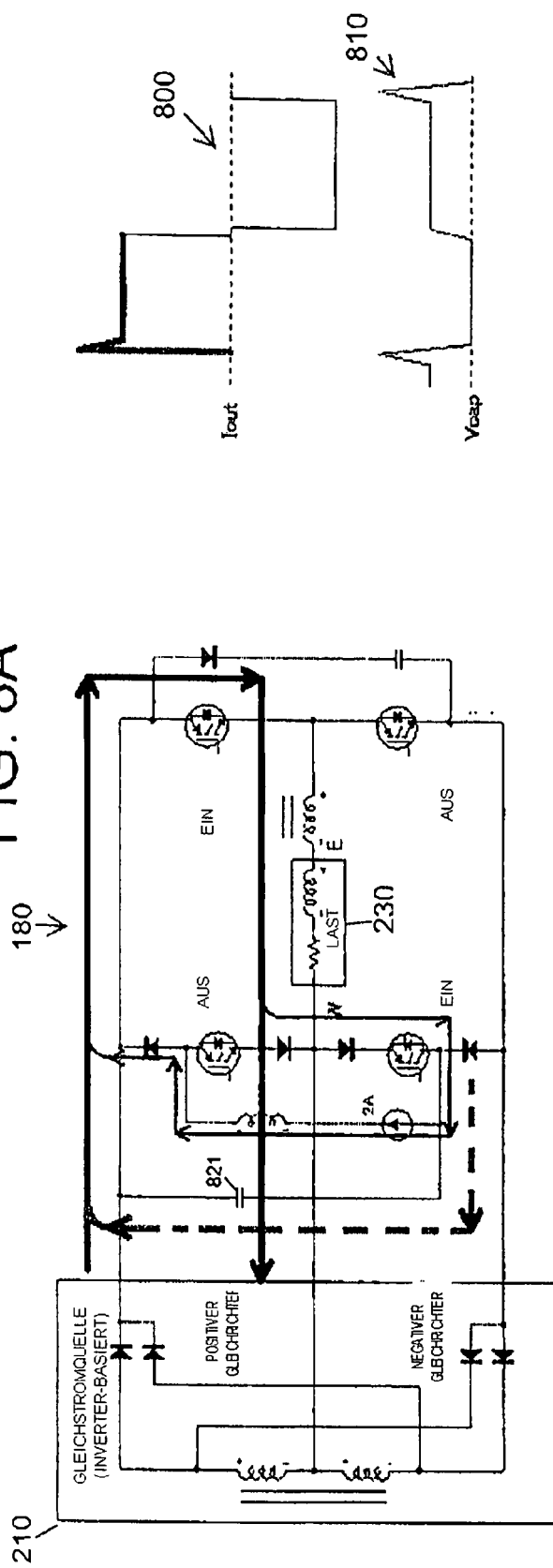


FIG. 8B

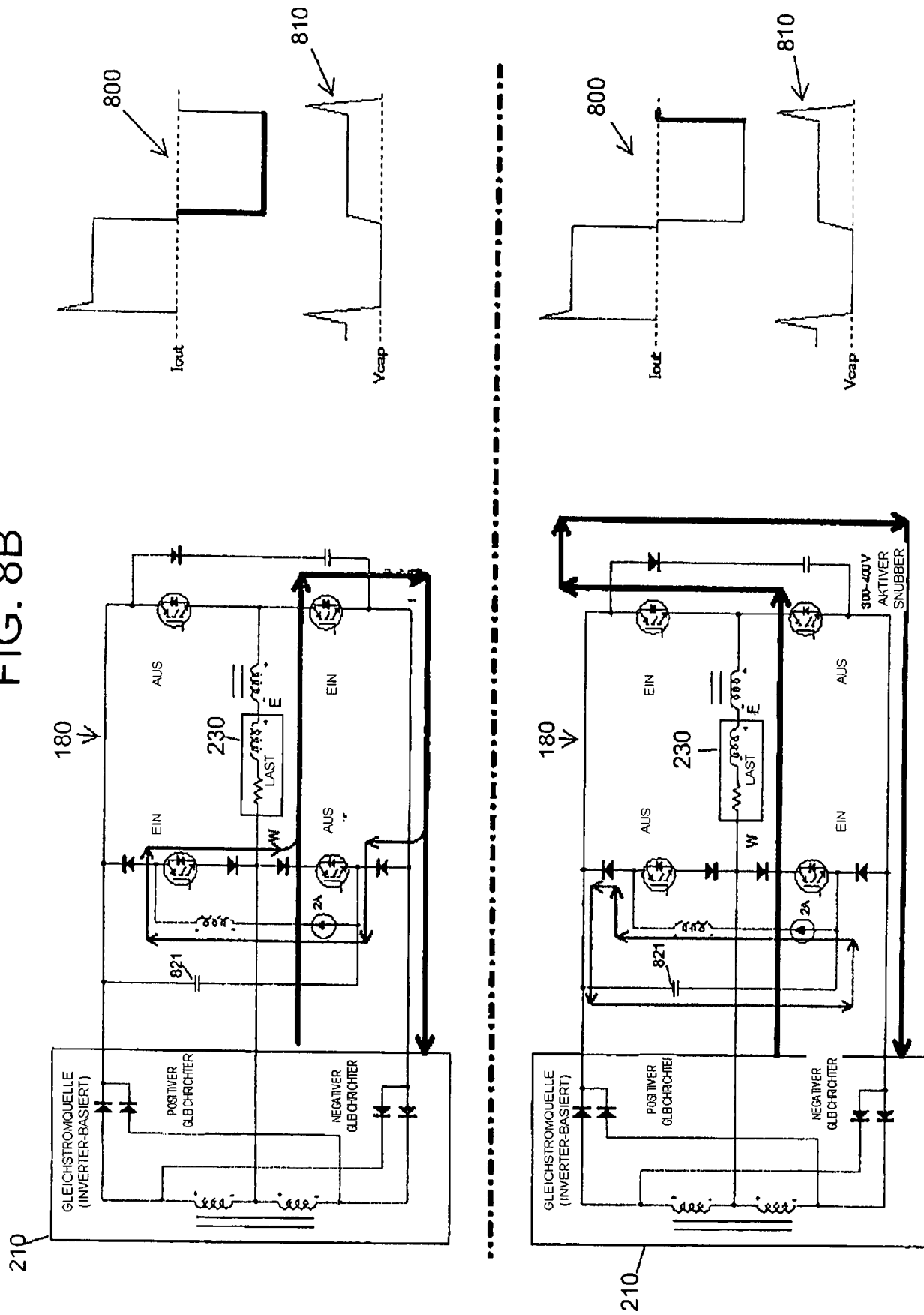


FIG. 9A

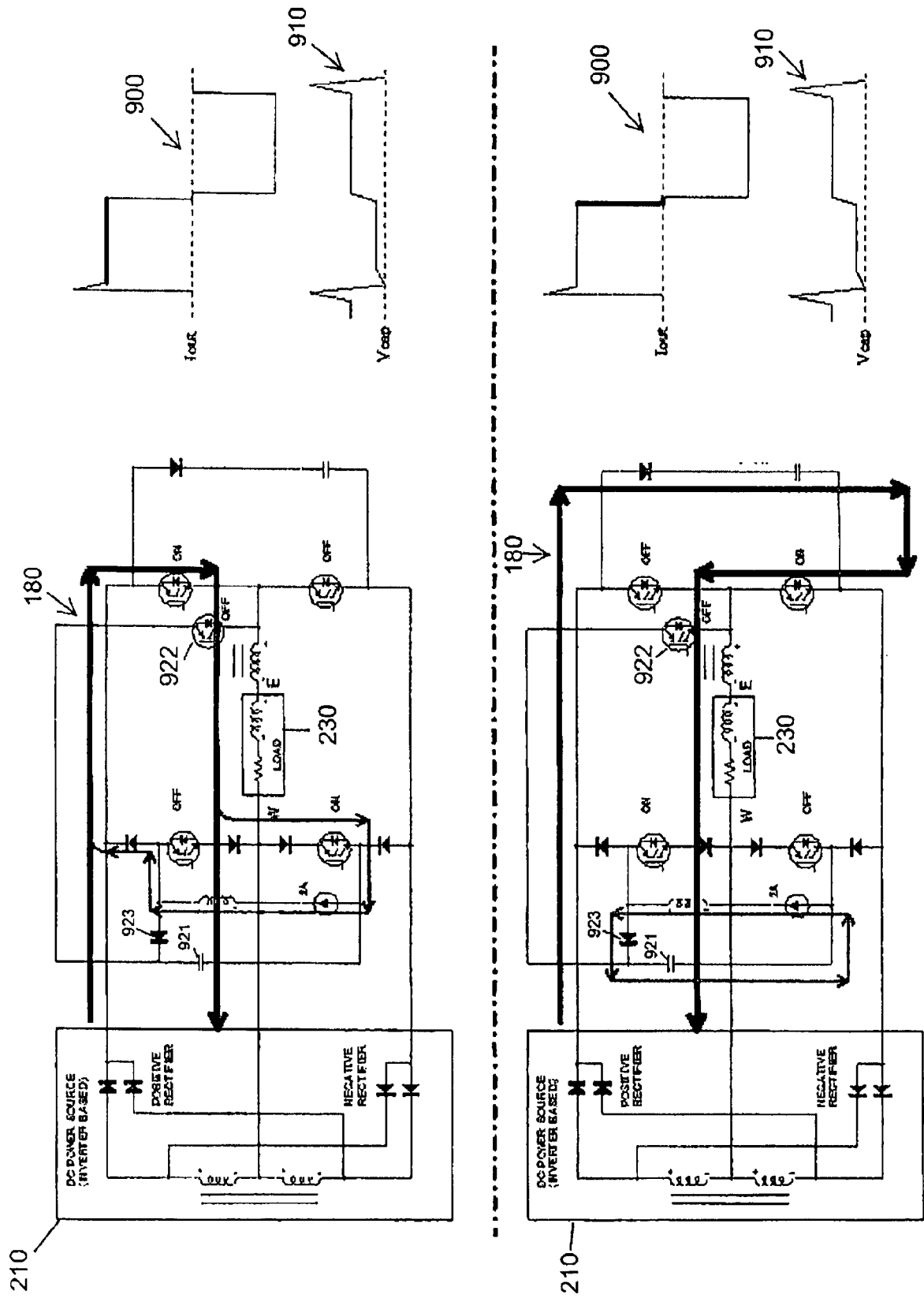


FIG. 9B

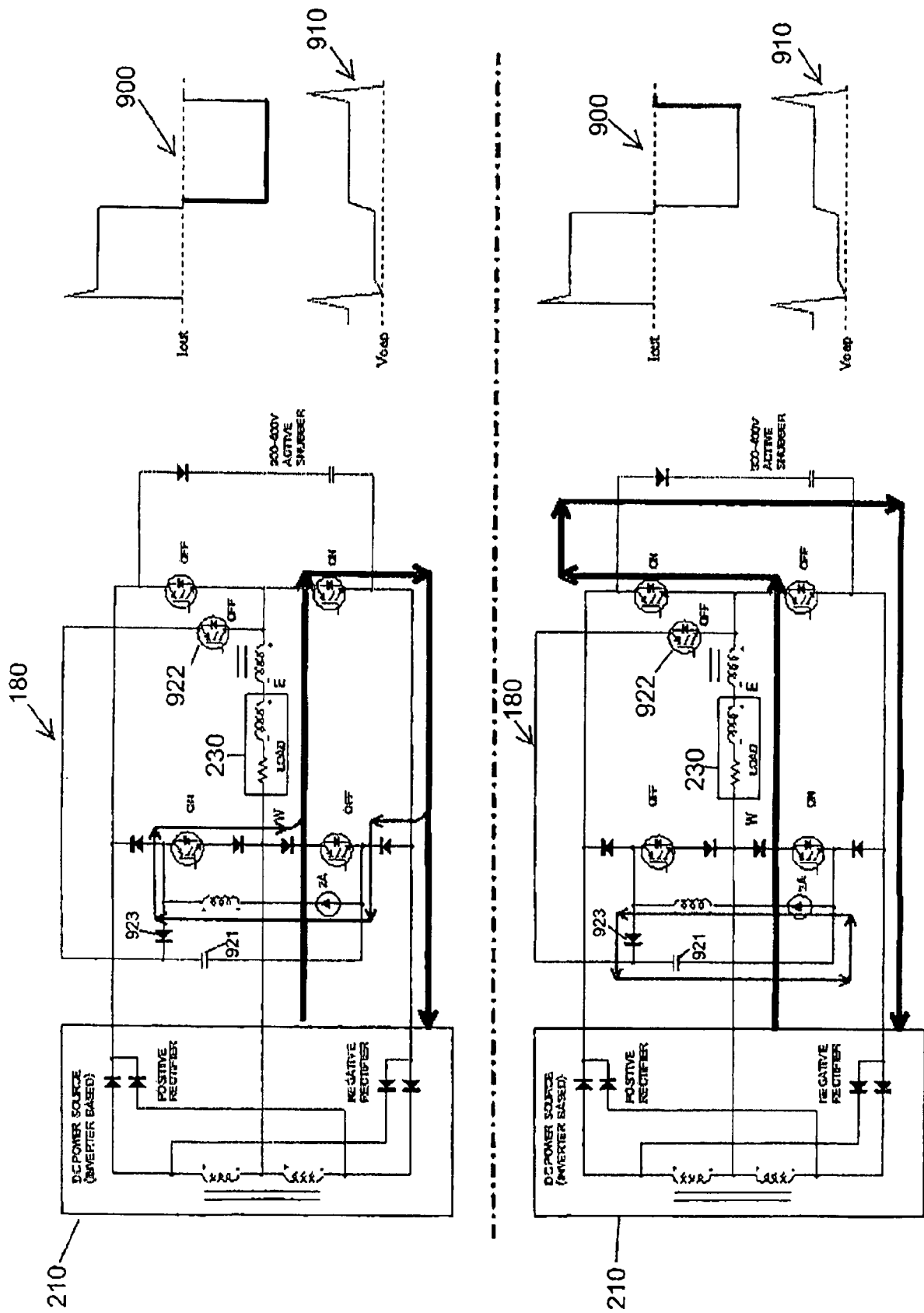


FIG. 9C

