



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 693 088 A5

51 Int. Cl.⁷: B 23 H 001/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 02197/97

22 Anmeldungsdatum: 17.09.1997

30 Priorität: 12.03.1997 JP 9-057688

24 Patent erteilt: 28.02.2003

45 Patentschrift veröffentlicht: 28.02.2003

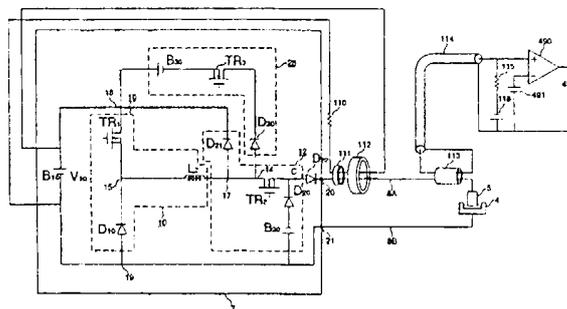
73 Inhaber:
Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha,
2-3, Marunouchi 2-chome,
Chiyoda-ku/Tokyo (JP)

72 Erfinder:
Yoshihide Kinbara,
2-3 Marunouchi 2-chome,
Chiyoda-ku, Tokyo 100 (JP)

74 Vertreter:
Bovard AG, Patentanwälte, Optingenstrasse 16,
3000 Bern 25 (CH)

54 Funkerosionsmaschine.

57 Es wird eine Funkerosionsmaschine zum Erzeugen einer elektrischen Entladung in einem Raum zwischen einer oder mehreren Elektroden (5) und einem oder mehreren Werkstücken (4) beschrieben. Sie umfasst mindestens eine sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113), die in eine Zuführungsleitung (8A, 8B) eingefügt ist. Die Zuführungsleitung dient der Zufuhr einer Bearbeitungsenergie aus einer Bearbeitungsstromversorgung (7) zur einen oder den mehreren Elektroden (5), ebenso wie zum einen oder den mehreren Werkstücken (4). Die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113) wird durch einen Strom angeregt, welcher entgegengesetzt zum Entladungsstrom ist.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Funkerosionsmaschine zum Erzeugen einer elektrischen Entladung in einem Zwischenraum zwischen einer oder mehreren Elektroden und einem oder mehreren Werkstücken zur Bearbeitung von einem oder mehreren Werkstücken, wobei eine sättigbare Reaktanzspule in eine Zuführungsleitung eingefügt ist. Sie erlaubt die Steuerung eines Bearbeitungsstroms ebenso wie den Nachweis der Erzeugung einer elektrischen Entladung oder ihrer Unterbrechung, wenn die elektrische Entladung in einer Versorgungseinheit für eine Funkerosionsmaschine erzeugt wird.

Fig. 26 zeigt «ein Speisegerät für eine elektrische Funkerosionsmaschine», welche in der offen gelegten japanischen Patentpublikation Nr. HEI 6-31 534 offenbart ist und das der konventionellen Technologie entspricht. In der Fig. ist, unter der Voraussetzung, dass eine Bearbeitungsflüssigkeit 2 im Bearbeitungsflüssigkeitsgefäß 1 vorhanden ist, ein Werkstück 4 auf dem Bearbeitungstisch 3 angeordnet, welches durch ein numerisches Steuergerät oder dgl. gesteuert ist, und eine Elektrode 5, welche eine Position besitzt, welche durch ein Elektrodenzuführmittel 6 für die Bearbeitung des Werkstückes in eine gewünschte Form gesteuert wird und Bearbeitungsenergie wird von einer Stromversorgung 7 auf einen Abschnitt zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 durch die Zuführungsleitungen 8A und 8B geliefert. Da die Stromversorgung 7 im Allgemeinen von der Elektrode 5 ebenso wie vom Werkzeug 4 entfernt angeordnet ist, liegt die Länge der Zuführungsleitungen 8A und 8B im Bereich von 2 bis 5 m. Aus diesem Grund werden die Zuführungsleitungen 8A und 8B nahe beieinander oder verdreht verdrahtet, um die Induktion in den Drähten zu reduzieren. Demzufolge besteht oft ein Fall, wo die Kapazität zwischen den Zuführungsleitungen 8A und 8B zunimmt.

Fig. 27 ist eine Ansicht, welche ein «Wellenformsteuerungsgerät für eine Funkerosionsmaschine» zeigt, welches in der offen gelegten japanischen Patentpublikation Nr. HEI 7-68 417 offenbart ist. Diese Einheit ist ein Beispiel einer Stromversorgung 7 für die Zufuhr eines Bearbeitungsstroms für die Elektrode 5 und das Werkstück 4. Die Arbeitsweise dieser Einheit sind im Einzelnen in der oben beschriebenen Erfindung offenbart, sodass ihr Beschrieb hier ausgelassen werden kann. Wenn ein Schaltelement TR_2 auf ON eingeschaltet wird, wird ein Bearbeitungsstrom angelegt und wenn es auf OFF abgeschaltet wird, wird der Strom unterbrochen. Obschon die Diode D_{22} in der Erfindung nicht beschrieben ist, bestehen viele Fälle, wo die Diode D_{22} verwendet ist, wo eine andere Stromversorgung mit der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 verbunden ist. Es existieren ebenso Induktivitäten 100, 101 der Verdrahtung in der Zuführungsleitung 8A bzw. 8B und es ist oft der Fall, dass die Induktivitäten 100, 101 der Verdrahtung mit einer statischen Kapazität zwischen den Zuführungsleitungen 8A und 8B in Resonanz treten, wegen der Fluktuation einer momentanen Spannung, wenn die elektri-

sche Erosion zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 gebildet wird. Fig. 28 zeigt tatsächliche Wellenformen einer Spannung 420 und eines Stromes 421 im Moment, wenn die elektrische Entladung dazwischen stattfindet. Die Spannung ist eine Nulllastspannung, welche mit dem Bezugszeichen 424 versehen ist und beträgt etwa 87 V und ein Entladungsstrom 421 ist null, unmittelbar bevor eine elektrische Entladung gebildet wird. Wenn eine elektrische Entladung zum Zeitpunkt 423 stattfindet, fällt die Spannung abrupt auf eine Entladungsspannung, welche mit 425 angegeben wird, auf etwa 25 V ab. Der Entladungsstrom 421 beginnt zu fließen und steigt sofort und danach an und der Strom bekommt einen konstanten Wert bei 30 A in diesem Beispiel. Die obige Beschreibung beschreibt ein Phänomen, wo die Induktivität der Zuführungsleitung und die statische Kapazität in Resonanz treten, wenn die Kapazität zwischen den Zuführungsleitungen gross ist und die elektrische Entladung verschwindet, wenn der Strom negativ oder null ist, wie es an der Stelle, die in der Figur mit 426 bezeichnet ist, der Fall ist. Dieses Phänomen wird als «Splitpuls» bezeichnet, nämlich wenn die elektrische Entladung nicht zweckmässig generiert wird, sodass die Bearbeitungsgeschwindigkeit vermindert werden kann und eine Erschöpfung der Elektrode stattfinden kann.

Gemäss Fig. 27, wird dann, wenn das Schaltelement TR_2 ausgeschaltet ist (OFF), ein Bearbeitungsstrom null und die Diode D_{22} wird ausgeschaltet (OFF) und eine Sperrschichtkapazität der Diode D_{22} und die Induktivität 100, 101 der Verdrahtung treten miteinander in Resonanz. Fig. 29 zeigt tatsächliche Wellenformen der Ausgangsspannung 430 und eines Stromes 421 von der Stromversorgung 7 vor und nach dem Moment 433, wenn das Schaltelement TR_2 ausgeschaltet wird in einen Zustand, wo die elektrische Entladung zwischen der Elektrode und dem Werkstück 4 gebildet wird. Die Spannung ist eine Entladungsspannung, welche mit 425 gekennzeichnet ist, und beträgt ungefähr 25 V unmittelbar bevor das Schaltelement ausgeschaltet wird und der Entladungsstrom 421 ist 20 A in diesem Beispiel. Wenn das Schaltelement TR_2 , welches in Fig. 27 gezeigt wird, ausgeschaltet wird zum Zeitpunkt mit dem Bezugszeichen 433, fällt die Spannung steil auf eine Spannung von etwa -60 V ab auf einen konstanten Spannungskörper B_{20} , welcher mit 435 bezeichnet ist. Von diesem Moment an nimmt der Entladungsstrom 421 ab und wird null zum Zeitpunkt, welcher mit 431 bezeichnet ist. Die Diode D_{22} wird ausgeschaltet, unmittelbar nachdem der Strom null ist, wobei jedoch eine Spannung mit einer recht hohen Frequenz erzeugt wird, wie bei 432 angegeben, und zwar auf Grund der Sperrschichtkapazität und der Induktivitäten 100, 101 der Verdrahtung, die miteinander in Resonanz treten. Wie beim Entladungsstrom fliesst ein Resonanzstrom zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4, wie bei 434 angegeben. Diese Hochfrequenzspannung 432 übt einen schlechten Einfluss auf den Steuerschaltkreis in Form eines Geräusches aus und der Resonanzstrom 434 im Entladungsstrom verursacht eine Zunahme der Erschöp-

fung einer Elektrode, da ein Umkehrstrom darin fließt.

Fig. 30 zeigt einen Bearbeitungszustand durch eine Funkenerosionsmaschine, die äquivalent zu derjenigen von Fig. 26 ist. Die Stromversorgung 7 und die Elektrode 5 bzw. die Versorgung 7 und das Werkstück 4 sind miteinander mit Zuführungsleitungen 8A bzw. 8B verbunden. Es besteht eine statische Kapazität zwischen den Leitungen, da die Zuführungsleitungen 8A, 8B nahe zusammen verdrahtet sind. Wenn jede der Leitungen eine Länge von einigen Metern besitzt, besitzt die Kapazität einen Wert von höchstens einigen Nanofarad. Ebenfalls existiert eine statische Kapazität, wie eine Sperrschichtkapazität im Schaltelement und derjenigen in der Diode, oder dgl., beim Ausgang der Stromversorgung, da die Stromversorgung ein Halbleiterschaltkreis ist. Ihre Kapazität wird als statische Kapazität C_1 angegeben. Fig. 31 zeigt eine Spannung und einen Strom zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 in der Funkenerosionsmaschine, die in Fig. 30 abgebildet ist. Die Spannung 420 steigt und bevor die elektrische Entladung erzeugt wird, wird die statische Kapazität C_1 bei 424 auf eine Nichtlastspannung geladen. Dann, wenn die elektrische Entladung gebildet wird, zum Zeitpunkt, welcher durch 423 angegeben ist, wird aus der Spannung zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 5 eine Entladungsspannung 425. Demzufolge fließt die elektrische Ladung, welche in der Kapazität C_1 akkumuliert ist, als starker Strom zu einem Punkt A, wo die elektrische Entladung über die Zuführungsleitungen 8A, 8B stattfindet. Dieses Phänomen ist durch das Bezugszeichen 450 in Fig. 31 angegeben und wenn die Induktivität der Zuführungsleitungen tief ist, fließt ein pulsierter Strom 450 mit einer scharfen führenden Flanke, wie einer Spitze mit einem hohen Niveau während einer kurzen Zeitdauer. Der pulsierter Strom 450 fließt ungeachtet der Amplitude des Entladungsstroms 421. Wenn somit der Entladungsstrom 421 eine kleine Amplitude aufweist, d.h., wenn der Entladungsstrom für eine abschliessende Funkenerosion verwendet wird, besitzt die Elektrode 5 in vielen Fällen eine kleine Grösse, welche bewirkt, dass die Elektrode 5 wegen diesem pulsierten Strom 450 einer beträchtlichen Abnutzung unterworfen ist. Wenn die Zuführungsleitungen 8A, 8B nahe miteinander verdrahtet sind, oder wenn sie verdreht sind oder dgl., sodass die Induktivität der Zuführungsleitungen so klein wie möglich ist, um den Wirkungsgrad der Funkenerosionsbearbeitung zu erhöhen, nimmt die statische Kapazität C_1 zu und ein Spitzenwert des gepulsten Stroms 450 wird hoch, wodurch die Abnutzung der Elektrode in unerwünschter Weise zunimmt, was von Nachteil ist.

Fig. 32 ist eine Ansicht, welche die «Versorgungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine» zeigt, welche in der offen gelegten japanischen Patentanmeldung Nr. HEI 6-31 534 offenbart ist. Die Stromversorgung 7, die Elektroden 5 und das Werkstück 4 sind miteinander mit einem Koaxialkabel 36 verbunden. In einem Fall, wo die Verdrahtung dazwischen durch ein Koaxialkabel, wie oben beschrieben, realisiert ist, wird die Induktivität der

Verdrahtung reduziert, mit verbessertem schnellem Ansprechverhalten auf einem Bearbeitungsstrom, damit der Wirkungsgrad der Funkenerosionsmaschine verbessert wird. Ist jedoch die Kapazität 37 auf Grund der Eigenschaften des Koaxialkabels hoch und die Induktivität in der Verdrahtung klein, wird der Wellenstrom 450, der in Fig. 31B dargestellt ist, hoch, und die Elektrode wird stark abgenützt, was bewirkt, dass die Verdrahtung durch ein Koaxialkabel nicht machbar ist.

Fig. 33 ist eine Ansicht, welche eine «elektrische Funkenerosionsmaschine für die partielle Bearbeitung» darstellt, welche in der offen gelegten japanischen Patentpublikation Nr. HEI 6-226 538 dargestellt ist. Mehrere Elektroden 5a, 5b, 5c und ein Werkstück 4 sind mit einer gewöhnlichen Stromversorgung 7 verbunden. In einem Fall, wo die Verbindung dazwischen so wie oben beschrieben ausgeführt ist, wird, wenn eine elektrische Entladung an der Elektrode 5b erzeugt wird, eine elektrische Ladung, welche in der statischen Kapazität zwischen der Elektrode 5a und dem Werkstück 4 ebenso wie in der statischen Kapazität zwischen der Elektrode 5c und dem Werkstück 4 akkumuliert ist, zum Punkt A der elektrischen entladungsbildenden geleitet, wie dies durch 470 angegeben ist. Dieser Strom wird grösser mit zunehmender Anzahl der angeordneten Elektroden. Wie oben beschrieben, wird, wenn eine Funkenerosionsbearbeitung durchgeführt wird, durch Verbinden von mehreren Elektroden mit der Stromversorgungseinheit der in Fig. 31 gezeigte Einschaltstromstoss 450 gross, was eine starke Abnutzung der Elektroden bewirkt. Wie in Fig. 34 gezeigt, können mehrere Stromversorgungen 7a, 7b, 7c mit mehreren Elektroden 5a, 5b bzw. 5c verbunden werden, wobei jedoch diese Methode eine Zunahme der Kosten verursacht, ebenso wird die Steuerung kompliziert, sodass sie als nicht praktisch erachtet werden muss.

Fig. 35 zeigt ein Beispiel eines elektrischen Entladungsdetektors für eine Funkenerosionsmaschine. In diesem Detektor werden eine Spannung zwischen der Elektrode 5 und einem Werkstück 4 und eine Referenzspannung 491 bei einem Komparator 490 eingegeben, und der Output 492 dieses Komparators 490 wird als Signal zum Anzeigen des Nachweises der elektrischen Entladung ausgegeben.

Fig. 36A bis 36C zeigen die Wirkungsweise dieses Schaltkreises. Wie in Fig. 36A gezeigt, ist dann, wenn eine Bearbeitungsspannung von der Stromversorgung 7 angelegt wird, die Spannung zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 eine Nichtlastspannung 424. Dann wird, wenn eine elektrische Entladung vom Zeitpunkt, welche mit 423 angegeben wird, erzeugt wird, die Spannung eine Entladungsspannung 425 und der Entladungsstrom 421 fließt darin, wie in Fig. 36B angegeben. Wenn die Referenzspannung 491 auf dem Niveau, welches bei 500 angegeben ist, vorgegeben wird, wird das Signal 492, welches den Nachweis einer elektrischen Entladung anzeigt, wie bei 504 angegeben, ausgegeben, wenn die Spannung zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 die Referenzspannung 500 übersteigt, wie in Fig. 36C ge-

zeigt. Es kann jedoch häufig ein Phänomen vorkommen, welches als unmittelbare elektrische Entladung bezeichnet werden kann, wobei eine elektrische Entladung stattfindet, unmittelbar bevor die Spannung die Nichtlastspannung erreicht, und eine Entladungsspannung 425 darstellt, wie sie durch eine gestrichelte Linie bei 501 in Fig. 36A dargestellt ist. Im oben beschriebenen Fall wird demzufolge das Signal, welches den Nachweis einer elektrischen Entladung anzeigt, manchmal nicht ausgegeben, wie durch 502 in Fig. 36C gezeigt. In diesem Fall kann die Erzeugung einer elektrischen Entladung nicht nachgewiesen werden, sodass eine Zeitperiode 503, während welcher ein Entladungsstrom 421 fließt, nicht korrekt nachgewiesen werden kann, was nachteilig ist.

Fig. 37 zeigt tatsächliche Wellenformen der Spannung 420 und der Strom 421 im Moment, wenn die elektrische Entladung zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 gebildet wird, was gleich ist wie im Fall gemäss Fig. 28. Die Spannung ist eine Nichtlastspannung, welche mit 424 bezeichnet ist, etwa 87 V und ein Entladungsstrom 421 ist null, unmittelbar bevor eine elektrische Entladung gebildet wird. Wenn eine elektrische Entladung zum Zeitpunkt 423 erzeugt wird, fällt die Spannung abrupt auf eine Entladungsspannung ab, welche mit 425 bezeichnet ist, und wird etwa 25 V. Der Entladungsstrom 421 beginnt von diesem Moment an zu fließen, nimmt dann zu und der Strom nimmt in diesem Beispiel einen konstanten Wert von 30 A an. Dieser Entladungsstrom 421 nimmt sehr rasch zu, sodass er einen Wert von etwa 13 A zum Zeitpunkt der mit 511 in 0,5 μ sec nach der Erzeugung der elektrischen Entladung annimmt und erreicht etwa 27 A zum Zeitpunkt der durch 512 bezeichnet ist, 1 μ sec danach. Sogar wenn ein Hochgeschwindigkeits-Reaktions-Komparator als Komparator 490 gemäss Fig. 35 verwendet wird, um ein Signal 492 zu erhalten, das den Nachweis einer elektrischen Entladung in Folge der Erzeugung einer elektrischen Entladung 423 angibt, ist der Entladungsstrom 421 schon erhöht, sodass der zeitliche Ablauf 513 nahe der ansteigenden Flanke des Entladungsstroms 421 nicht gesteuert werden kann. Es gibt demzufolge keine Funkerosionsmaschine, in welcher der Entladungsstrom momentan und nach Beginn der elektrischen Entladung zu willkürlichen Wellenformen gesteuert werden kann. Aus diesem Grund wurde noch kein Forschungsergebnis vorgestellt, welches zu optimalen Wellenformen führt, mit welchen die Abnutzung der Elektrode auf ein tiefes Niveau vermindert wird, zum Zeitpunkt des Anstiegs des Entladungsstroms, was eine sehr starke Abnutzung der Elektrode bewirkt. Es muss bemerkt werden, dass ein Verfahren, welches als Steigungssteuerung bezeichnet wird, in welchem ein Entladungsstrom mit einer linearen Flanke bei und nach Beginn der elektrischen Entladung ansteigt, für Produkte verwendet wird und aus dem Verfahren, hervorgeht, dass, je weniger die Flanke geneigt ist, umso weniger die Elektrode abgenutzt wird. Wenn jedoch die Flanke eine zu kleine Neigung aufweist, ist die Anstiegsgeschwindigkeit eines Stromes ebenfalls tief nach einem Zeitpunkt nahe des Be-

ginn des Entladungsstroms, wodurch der mittlere Wert des Bearbeitungsstroms abfällt, was zu einer Verminderung der Bearbeitungsgeschwindigkeit führt.

Fig. 38 zeigt eine Ansicht, in welcher eine X-Achse in der «Steigungsgesteuerten Wellenform und ihre Charakteristika bei der Anstiegszeit» offenbart in Mitsubishi Denki Technological Report No. 6 Vol. 61, 1987, einen Veränderungsgrad des Stroms ersetzt ist. Diese Bearbeitung wird unter solchen Bedingungen durchgeführt, in welchen eine Elektrode aus Kupfer ist, das Werkstück aus Eisen (SK3), ein Spitzenstrom 11A beträgt und die Impulsbreite 250 μ sec beträgt und die Messung durchgeführt wird, indem die Anstiegsgeschwindigkeit eines Entladungsstroms geändert wird. Aus dieser Figur geht hervor, dass die Elektrode weniger abgenutzt wird, wenn der Änderungsgrad (Grad der Zunahme) eines Stromes tiefer ist. Ebenso fällt die Bearbeitungsgeschwindigkeit signifikant auf einen tieferen Teil des Änderungsgrads des Stroms ab.

Der Abschnitt von 2.1.2 «Bearbeitung mit extrem tiefer Abnutzung in der angeführten Referenz umfasst die Beschreibung», dass «eine gesamte Stromdichte auf einem tiefen Niveau gehalten wird in Übereinstimmung mit einer Expansion einer Bogensäule, und als Resultat wird die elektrische Stromdichte auf einem tiefen Niveau gehalten, wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, sodass die Abnutzung der positiven Elektrode reduziert werden kann. Wenn ein Steuermittel für die Flanke verwendet wird, kann ein Abnutzungsgrad der Elektrode von 0,1 bis 0,01% erhalten werden». In einer Steuerung der Flanke, in welcher der Entladungsstrom mit einer linearen Flanke erhöht wird, von Beginn an der elektrischen Entladung, und ein Strom mit einer konstanten Geschwindigkeit erhöht wird, von einem tiefen Strom bis zum Spitzenstrom, und solche Effekte wirksam sind, dass die gesamte Stromdichte auf einem konstanten Niveau gehalten wird, gemäss der Expansion der Bogensäule (elektrische Entladungssäule) bis zum Zeitpunkt unmittelbar nach Beginn der elektrischen Entladung, derart, dass es denkbar ist, dass die Zunahme eines Stromes auf Grund der Flanke langsamer sein kann im Vergleich zur Zunahme des Querschnitts der elektrischen Entladungssäule, nachdem der Strom auf ein gewisses Niveau zunimmt, was äquivalent ist zu dem Fall, wo ein Mittelwert des Stroms abfällt und es ist denkbar, dass dieses Phänomen bewirkt, dass eine Bearbeitungsgeschwindigkeit signifikant abfällt, wenn der Veränderungsgrad des Stromes tief ist.

Wird ein Bearbeitungsstrom in einer konventionellen Funkerosionsmaschine, wie oben beschrieben, gesteuert, treten verschiedene Probleme auf, wie dass die Elektrode manchmal wie oben beschrieben stark abgenutzt wird, dass die Bearbeitungsgeschwindigkeit reduziert wird, dass die elektrische Entladung nicht nachgewiesen werden kann, im Moment der elektrischen Entladung, oder dass die Erzeugung der elektrischen Entladung nicht nachgewiesen werden kann, bevor der Entladungsstrom beginnt.

Es ist Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Fun-

kenerosionsmaschine zur Verfügung zu stellen, in welcher die Erzeugung einer elektrischen Entladung, sogar in einem Zustand einer momentanen elektrischen Entladung, nachgewiesen werden kann, die Erzeugung einer elektrischen Entladung, bevor der Entladungsstrom zu fließen beginnt, nachgewiesen werden kann, die Abnutzung der Elektrode reduziert werden kann, und die Bearbeitungsgeschwindigkeit nicht abfällt.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Funkenerosionsmaschine zum Erzeugen einer elektrischen Entladung in einem Raum zwischen einer oder mehreren Elektroden und einem oder mehreren Werkstücken zur Bearbeitung von einem oder mehreren Werkstücken, wobei mindestens eine sättigbare Reaktanzspule in eine Zuführungsleitung eingefügt ist, für die Zufuhr einer Bearbeitungsenergie aus einer Bearbeitungsstromversorgung zur einen oder den mehreren Elektroden, ebenso wie zum einen oder den mehreren Werkstücken und die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) durch einen Strom angeregt wird, welcher entgegengesetzt zum Entladungsstrom ist.

Die Funkenerosionsmaschine weist eine Spannung nach, welche in einem elektrischen Draht gebildet wird; welcher in die sättigbare Reaktanzspule eindringt oder darum herum gewunden ist, um ihn anzuregen und die nachgewiesene Spannung wird als Signal ausgegeben, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen einer Elektrode und einem Werkstück stattfindet.

Die sättigbare Reaktanzspule enthält mehrere sättigbare Reaktanzspule, welche alle verschiedene Längen des magnetischen Pfades aufweisen.

Die vorgeschlagene sättigbare Reaktanzspule zum Nachweis eines Signals, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen einer Elektrode und einem Werkstück anzeigt, besteht aus mehreren sättigbaren Reaktanzspulen, welche verschiedene Längen von magnetischen Pfaden besitzen, wobei einer die kürzeste magnetische Pfadlänge aufweist.

Im Weiteren besitzt die sättigbare Reaktanzspule eine Form mit einem grossen Durchmesser im zentralen Abschnitt in axialer Richtung und ebenso einen kleineren Durchmesser an der Stelle der beiden Enden.

Die sättigbare Reaktanzspule enthält mehrere sättigbare Reaktanzspulen, jeweils mit verschiedener Anzahl von Windungen der Zuführungsleitungen darum herum.

Die vorgeschlagene sättigbare Reaktanzspule zur Erzeugung eines Signals, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen einer Elektrode und einem Werkstück anzeigt, besteht aus mehreren sättigbaren Reaktanzspulen, welche je eine verschiedene Anzahl von Windungen der Zuführungsleitung darum herum aufweisen, wobei einer die grösste Anzahl Windungen der Zuführungsleitungen aufweist.

Die vorgeschlagene sättigbare Reaktanzspule zur Abgabe eines Signales, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen einer Elektrode und einem Werkstück anzeigt, ist in einer Stellung angeordnet, welche näher bei der Elektrode

oder dem Werkstück liegt und eine andere sättigbare Reaktanzspule befindet sich in einer Stelle, welche näher beim Output der Bearbeitungsstromversorgung liegt.

In der Funkenerosionsmaschine für die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen mehreren Elektroden und mehreren Werkstücken zur Bearbeitung von mehreren Werkstücken wird eine sättigbare Reaktanzspule bei jeder Zuführungsleitung zu Zuführen einer Bearbeitungsenergie von der Bearbeitungsstromversorgung zur Elektrode wie auch zum Werkstück eingefügt und die sättigbare Reaktanzspule wird durch einen Strom in umgekehrter Richtung bezogen auf den Entladungsstrom angeregt.

Die vorgeschlagene sättigbare Reaktanzspule zur Abgabe eines Signals, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen mehreren Elektroden und mehreren Werkstücken anzeigt, wird in jede der Zuführungsleitungen eingesetzt, welche den Bearbeitungsstrom von einer Bearbeitungsstromversorgung an die Elektrode wie auch an das Werkstück abgeben, wobei die sättigbare Reaktanzspule durch eine Stromumkehr des Entladungsstroms angeregt wird und eine Spannung nachweist, welche in einem elektrischen Draht erzeugt wird, welcher in die sättigbare Reaktanzspule eindringt oder darum herum gewunden ist, um ihn anzuregen, und gibt die nachgewiesene Spannung als Signal aus, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen jeder der Elektroden und jedem Werkstück anzeigt.

Im Weiteren ist ein Mittel für die Anregung der sättigbare Reaktanzspule eine serielle Anordnung, die einen Widerstand und eine Gleichstrom-Stromversorgung umfasst.

Die sättigbare Reaktanzspule, die einen kleinen inneren Durchmesser besitzt, ist mit einem schlanken Teil eines Werkzeuges für die Befestigung der Elektrode an ein Elektrodenzufuhrmittel versehen und wird durch ein isoliertes Stützglied gestützt.

Bei einer sättigbare Reaktanzspule mit einer Zuführungsleitung zum Zuführen einer Bearbeitungsenergie von einer Bearbeitungsstromversorgung zu einer Elektrode und zu einem Werkstück, durch welche sie durchtritt oder um welche sie gewunden ist, ist ein separat von der oben beschriebenen Zuführungsleitung vorgesehener elektrischer Draht, welcher die sättigbare Reaktanzspule durchdringt oder darum herum gewunden ist, mit einer Kernleitung eines Koaxialkabels, ebenso wie mit seiner Abschirmung verbunden, und eine serielle Anordnung eines Widerstandes und einer Gleichstromversorgung ist mit dem anderen Ende des Koaxialkabels verbunden, derart, dass die sättigbare Reaktanzspule durch einen Strom angeregt wird, welcher dem Entladungsstrom entgegengesetzt ist, und ein Signal, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen der Elektrode und dem Werkstück anzeigt, erhalten wird, indem eine Spannung zwischen der Kernleitung am anderen Ende des Koaxialkabels und der Abschirmung mit einem vorgegebenen Wert verglichen wird. In einer sättigbaren Reaktanzspule mit einer Zuführungsleitung für die Zufuhr eines Bearbeitungsstroms aus einer Be-

arbeitsstromversorgung an eine Elektrode und ein Werkstück, welche sie durchdringt oder um welche sie gewunden ist, ein elektrischer Draht, welcher separat von der Zuführungsleitung angeordnet ist, und in die sättigbare Reaktanzspule eindringt oder darum herum gewunden ist, mit einer Kernleitung eines Koaxialkabels und der Abschirmung davon verbunden ist, eine serielle Anordnung eines Widerstandes und einer Gleichstromversorgung mit dem anderen Ende des Koaxialkabels verbunden ist, derart, dass die sättigbare Reaktanzspule ange-
regt wird durch einen dem Entladungsstrom entgegengesetzten Strom, und ein Signal, das den Stopp der elektrischen Entladung zwischen der Elektrode und dem Werkstück anzeigt, erhalten wird, indem die Spannung zwischen der Kernleitung am anderen Ende des Koaxialkabels und der Abschirmung mit einem vorgegebenen Wert verglichen wird.

Der Widerstandswert eines Widerstandes in einer seriellen Anordnung eines Widerstandes und einer Gleichstromversorgung wird auf den gleichen Wert gesetzt wie die charakteristische Impedanz des Koaxialkabels. Eine serielle Anordnung des Widerstandes und der Gleichstromversorgung wird mit jedem der elektrischen Drähte verbunden, welche separat von den Zuführungsleitungen vorgesehen sind, wobei jeder in eine der mehrere sättigbare Reaktanzspulen eindringt oder darum herum gewunden ist, wobei jeder eine unterschiedliche Länge eines magnetischen Pfades aufweist oder eine unterschiedliche Anzahl von Windungen der Zuführungsleitung aufweist für die Zufuhr eines Bearbeitungsstroms von einer Bearbeitungsstromversorgung an die Elektrode und das Werkstück, derart, dass jede der mehreren sättigbaren Reaktanzspulen angeregt wird durch einen Strom, der dem Entladungsstrom entgegengesetzt ist, und eine zunehmende Kurve des Entladungsstroms an eine Kurve angepasst wird, welche für die Funkenerosion geeignet ist.

Eine zunehmende Kurve des Entladungsstroms wird an die Kurve angepasst, welche für die Funkenerosion geeignet ist, indem ein Widerstandswert des Widerstandes oder die Spannung der Gleichstromversorgung geändert wird.

Im Weiteren sind Schalter vorgesehen, parallel zu elektrischen Drähten, die separat von den Zuführungsleitungen vorgesehen sind, und die in die sättigbare Reaktanzspulen eindringen oder darum herum gewunden sind, und eine zunehmende Kurve eines Entladungsstroms wird an eine Kurve angepasst, welche für die Funkenerosion geeignet ist, indem die Kombination der Ein- und Aus-Zustände der Schalter geändert wird.

Ebenfalls sind Schalter vorgesehen, parallel zu den Zuführungsleitungen, die in mehrere sättigbaren Reaktanzspulen eindringen oder darum herum gewunden sind, und eine zunehmende Kurve eines Entladungsstroms an eine Kurve angepasst wird, welche für die Funkenerosion zweckmässig ist, indem die Kombination von Ein- und Aus-Zuständen der Schalter geändert wird.

Andere Ziele und Merkmale dieser Erfindung werden mithilfe der folgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen verstanden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 ist eine Ansicht für die Erklärung der Arbeitsweisen in der Wellenformsteuereinheit für eine Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 ist die Ansicht einer Wellenform für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und ebenso zeigt Fig. 3 eine vergrösserte Form als Resultat einer Messung eines Stroms und einer Spannung vor und nach dem Zeitpunkt 423, wenn die elektrische Entladung gemäss Fig. 2 gebildet ist;

Fig. 4 ist eine Ansicht, die eine Form einer sättigbaren Reaktanzspule gemäss Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 5 ist eine Ansicht einer Wellenform für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss der Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung; und ebenso zeigt Fig. 5 vergrösserte Wellenformen in jedem Abschnitt vor und nach der Zeit 433, wenn der Entladungsstrom abgestellt ist;

Fig. 6 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 7 ist eine Ansicht einer Wellenform für die Erklärung von Arbeitsweisen und der Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung; und Fig. 7 zeigt ebenfalls vergrösserte Wellenformen der Entladungsspannung 133 und des Entladungsstroms 421 zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 gemäss Fig. 6, vor und nach dem Moment, bei welchem die elektrische Entladung erzeugt wird;

Fig. 8 ist eine Ansicht einer Wellenform für die Erklärung von Arbeitsweisen der Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung; und ebenso zeigt Fig. 8 vergrösserte Wellenformen, die eine Entladungsspannung 133 des Entladungsstroms 421 zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 gemäss Fig. 6 vor und nach dem Moment zeigen, bei welchem die elektrische Entladung beendet ist;

Fig. 9 zeigt eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung; und ebenso zeigt Fig. 9 einen Zustand, in welchem Detektoren der elektrischen Entladung je eine sättigbare Reaktanzspule gemäss Fig. 6 zeigen, welche an den Zuführungsleitungen vorgesehen sind, wobei die drei Elektroden 5A, 5B bzw. 5C und die Werkstücke 4A, 4B, 4C gleichzeitig mit einer Stromversorgung 7 verbunden sind;

Fig. 10 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 4 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 11 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 5 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 12 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 6 der vorliegenden Erfindung; und ebenso ist Fig. 12 eine Ansicht, welche die einfachste Konfiguration für die Erklärung der Arbeitsweisen gemäss der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 13 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss der Ausführungsform 7 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 14 ist eine Wellenformsteuereinheit für die elektrische Funkenerosionsmaschine gemäss der Ausführungsform 8 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 15 ist eine Wellenformsteuereinheit für die elektrische Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 9 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 16 ist eine Wellenformsteuereinheit für die elektrische Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 10 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 17 ist eine Wellenformsteuereinheit für die elektrische Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 10 der vorliegenden Erfindung, und ebenso zeigt die Fig. 17 einen Zustand, in welchem die Komponenten der Ausführungsform 10 mit dem Elektrodenzufuhrmittel 6 verbunden sind;

Fig. 18 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 11 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 19 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 12 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 20 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 13 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 21 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 14 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 22 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 15 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 23 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 16 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 24 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 17 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 25 ist eine Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 18 der vorliegenden Erfindung;

Fig. 26 ist ein Blockdiagramm für die Erklärung der Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für die Funkenerosionsmaschine auf Basis konventioneller Technologie;

Fig. 27 ist ein Schaltkreisdiagramm für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für die Funkenerosionsmaschine auf Basis konventioneller Technologie;

Fig. 28 ist die Ansicht einer Wellenform für die Erklärung der Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für die Funkenerosionsmaschine auf Basis konventioneller Technologie;

Fig. 29 ist die Ansicht einer Wellenform für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für die Funkenerosionsmaschine auf Basis von konventioneller Technologie;

Fig. 30 ist ein Blockdiagramm für die Erklärung

von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für die Funkenerosionsmaschine auf Basis konventioneller Technologie;

Fig. 31 ist eine Ansicht einer Wellenform für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Funkenerosionsmaschine gemäss Fig. 30;

Fig. 32 ist ein Blockdiagramm für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für die Funkenerosionsmaschine auf Basis von konventioneller Technologie;

Fig. 33 ist ein Blockdiagramm für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine auf Basis von konventioneller Technologie;

Fig. 34 ist ein Blockdiagramm für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit einer Funkenerosionsmaschine auf Basis von konventioneller Technologie;

Fig. 35 ist ein Beispiel eines elektrischen Entladungsdetektors für eine Funkenerosionsmaschine für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für die Funkenerosionsmaschine auf Basis von konventioneller Technologie;

Fig. 36 ist die Ansicht einer Wellenform für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für die Funkenerosionsmaschine auf Basis von konventioneller Technologie gemäss Fig. 35;

Fig. 37 ist die Ansicht einer Wellenform für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für die Funkenerosionsmaschine auf Basis der konventionellen Technologie; und

Fig. 38 ist eine Ansicht für die Erklärung von Arbeitsweisen in der Stromversorgungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine auf Basis von konventioneller Technologie.

Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen

Nachstehend werden Ausführungen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen im Einzelnen beschrieben. Es soll beachtet werden, dass in den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung die gleichen Bezugszeichen verwendet werden, welche den entsprechenden Abschnitten in denjenigen der Beispiele auf Basis der konventionellen Technologie zugeordnet werden, sodass ihre Beschreibung ausgelassen werden kann.

Eine sättigbare Reaktanzspule zeigt im Allgemeinen gesättigtes magnetisches Material an, sogar in einem magnetischen Feld, welches eine verhältnismässig schwache Stärke aufweist, von magnetischen Materialien, in welchen die Flussdichte nicht zunimmt, welche gesättigt sind, wenn die Stärke des magnetischen Feldes durch Addition eines magnetischen Feldes zum magnetischen Material, welches zu einer torusförmigen Form oder zu einer zylindrischen Form geformt wird, mit einem elektrischen Draht, welcher in das magnetische Material eindringt oder darum herum gewunden ist. In der vorliegenden Erfindung kann zusätzlich zur Sättigungsreaktion jegliches magnetische Material als sättigbare Reaktanzspule verwendet werden, wenn es die Charakteristika besitzt, gesättigt zu sein.

Demzufolge kommen als magnetisches Material zum Zweck der vorliegenden Erfindung verschiedene Typen von magnetischen Materialien in Frage, mit Sättigungscharakteristiken wie amorphes Permalloy oder eine Siliziumstahlplatte oder dgl.

Fig. 1 zeigt eine Wellenformsteuereinheit für eine Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung.

In der Figur ist die Stromversorgung 7 der «Wellenformsteuerapparat für die Funkenerosionsmaschine» gemäss Fig. 27, welches ein Beispiel auf Basis eines konventionellen Types von Technologie darstellt. Die sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112 sind in Stellungen, die näher bei der Stromversorgung 7 an den Versorgungsleitungen 8A, 8B, welche Stromversorgung 7 mit der Elektrode 5 wie mit dem Werkstück 4 verbinden, vorgesehen, während die sättigbare Reaktanzspule 113 an einer Position vorgesehen ist, welche näher der Elektrode 5 liegt und die sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112 in solcher Weise verbunden sind, dass ein Strom durch den Widerstand 110 fliesst, welcher mit der Gleichstromversorgung B₁₀ verbunden ist, in der Stromversorgung 7 eine Anregung verursacht in einer Richtung, die entgegengesetzt der Richtung liegt, in welcher die sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112 durch einen Entladungsstrom angeregt werden. Die sättigbare Reaktanzspule 113 ist mit einem Koaxialkabel 114 verbunden, welches eine willkürliche Länge aufweist, indem eine Kernleitung und eine Abschirmung in die Seite der sättigbaren Reaktanzspule 113 eindringen oder darum herum gewunden sind, durch oder um die sättigbare Reaktanzspule 113. Eine serielle Anordnung eines Widerstandes 115 und einer Gleichstromversorgung 116 werden mit dem anderen Ende des Koaxialkabels 114 derart verbunden, dass ein Strom, welcher in der Leitung des Koaxialkabels 114 fliesst, das in die sättigbare Reaktanzspule eindringt oder darum herum gewunden ist, eine Anregung verursacht, in entgegengesetzter Richtung zur Richtung, in welcher die sättigbare Reaktanzspule 113 durch einen Entladungsstrom angeregt wird, und die Kernleitung des Koaxialkabels ist mit einer positiven Input-Klemme eines Komparators 490 verbunden, während eine Referenzspannung 491 mit einer negativen Input-Klemme davon verbunden ist und ein Signal 492, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung anzeigt, ausgegeben wird, wenn eine Spannung zwischen der Kernleitung des Koaxialkabels und der Abschirmung die Referenzspannung 491 übersteigt. In dieser Konfiguration wird das Koaxialkabel in solcher Weise verdrahtet, dass eine Spannung in der sättigbaren Reaktanzspule 113 erzeugt wird, unter der Voraussetzung, dass eine Position nahe der Elektrode in einem willkürlichen Abstand angeordnet wird und mit diesem Merkmal kann der Komparator 490 in der Position des Steuerschaltkreises vorgesehen werden. Der Widerstand 115 kann den gleichen Widerstandswert aufweisen wie derjenige der charakteristischen Impedanz des Koaxialkabels 114. Wenn ein Koaxialkabel eine charakteristische Impedanz von 50 Ω besitzt, kann der Widerstandswert auf 50 Ω gesetzt werden.

Die nächste Beschreibung gilt den Arbeitsweisen der Wellenformsteuereinheit für die Funkenerosions-

maschine gemäss Ausführungsform 1. (a) in Fig. 2 zeigt eine Spannung 420 zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 und (b) in Fig. 2 zeigt einen Strom 421. Wenn das Schaltelement TR₂, welches in Fig. 1 dargestellt wird, eingeschaltet wird zum Zeitpunkt 117, wird eine Spannung V₁₀ der Gleichstromversorgung B₁₀ an die Elektrode 5 ebenso wie an das Werkstück 4 angelegt. Diese Spannung ist eine Nichtlastspannung 424, bevor eine elektrische Entladung gebildet wird und es wird etwa 87 V angelegt. Wenn die elektrische Entladung zum Zeitpunkt 423 erzeugt wird, fällt die Spannung 420 steil ab auf eine Entladungsspannung 425, welche etwa 25 V beträgt. Ein Entladungsstrom 421 steigt abrupt auf einen Wert von beispielsweise 20 A an, wie er zuvor in eine sättigbare Reaktanzspule L₂ fliesst. Dann wird ein Strommittelwert auf 20 A als voreingestellter Wert durch An- und Abschalten des Schaltelements TR₁ gesteuert. Dieser Wert ist ein Spitzenstrom, und ein Entladungsstrom mit einer Impulsbreite von etwa 200 μs fliesst durch. Wird das Schaltelement TR₂ bei einem vorgesetzten Zeitpunkt 433 ausgeschaltet, wird der Entladungsstrom 421 momentan zu null abgetrennt und die elektrische Entladung zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 ist beendet.

Fig. 3 ist eine Ansicht, welche eine breitere Form darstellt als Messresultat vor und nach dem Zeitpunkt 423, wenn eine elektrische Entladung in Fig. 2 erzeugt wird. (a) in Fig. 3 zeigt eine Spannung 420 zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4, welche augenblicklich abfällt auf die Entladungsspannung 425. (b) in Fig. 3 zeigt einen Entladungsstrom 421, welcher fliesst, wenn eine elektrische Entladung erzeugt wird, jedoch zurückgehalten wird durch die Impedanz der sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112, 113 und für eine spezifizierte Zeitdauer als Sättigungsstrom 130 gehalten wird. Unter der Annahme, dass dieser Sättigungsstrom 130 auf I_s festgelegt wird, wird ein I_s durch folgende Gleichung dargestellt.

$$I_s = H_s \cdot L/N \text{ (A)} \quad <500>$$

H_s: ist eine Magnetkraft, die für eine Sättigungsflussdichte B_s (AT/m) erforderlich ist
L: mittlere magnetische Pfadlänge den Kerne in den sättigbaren Reaktanzspulen

N: Anzahl der Windungen um einen Kern

Wie durch Gleichung 500 gezeigt, ist der Sättigungsstrom 130 kleiner, wenn die mittlere magnetische Pfadlänge L von Kernleitungen in den sättigbaren Reaktanzspulen kürzer ist und die Anzahl Windungen N um den Kern grösser ist unter den sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112, 113, derart, dass die sättigbare Reaktanzspule 113 vorgesehen ist, um ein Signal aufzunehmen, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen der Elektrode und dem Werkstück 4 gemäss Fig. 1 anzeigt, und jeder der mehreren sättigbaren Reaktanzspulen eine unterschiedliche magnetische Länge besitzt, einer besitzt den kleinen Sättigungsstrom 113 oder jede der mehreren sättigbaren Reaktanzspulen besitzt eine unterschiedliche Anzahl von Windungen um einen Kern, einer besitzt die grösste

Anzahl von Windungen um einen Kern, während eine Spannung 133, die in (d) in Fig. 3 gezeigt ist, gebildet wird an beiden Enden der sättigbaren Reaktanzspule 113 so früh wie möglich, im Vergleich mit denjenigen der anderen sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112. Diese Spannung entspricht der Ausgabe eines Signals 492 zum Anzeigen der Erzeugung einer elektrischen Entladung, wie bei (f) in Fig. 3 gezeigt, durch Vergleichen derselben mit der Referenzspannung 491 über die Eingabe bei dem Komparator 490 über das Koaxialkabel. Wenn der Widerstand 115 den gleichen Widerstandswert aufweist wie derjenige der charakteristischen Impedanz des Koaxialkabels 114 zu dieser Zeit, wird keine Reflexion gebildet und das Geräusch in der Wellenform wird reduziert, sodass ein korrektes Signal 492 die Erzeugung einer elektrischen Entladung ausgegeben werden kann. Wie für die Gleichstromversorgung 116, die in Fig. 1 dargestellt ist, kann eine vergleichsweise tiefe Spannung genügend sein, da ein Strom fließen kann, durch welchen eine Sättigung in der sättigbaren Reaktanzspule 113 zurückgesetzt wird, nachdem der Entladungsstrom null ist. Die sättigbare Reaktanzspule wird ausreichend durch einen Strom bzw. eine Spannung von ungefähr 5 bis 15 V betrieben, sodass eine Stromversorgung des Komparators 490 verwendet werden kann, und aus diesem Grund kann eine kostengünstige Funkerosionsmaschine realisiert werden.

Weiterhin werden die Kernleitung und die Abschirmung auf der Seite der sättigbaren Reaktanzspule 113 des Koaxialkabels 114 bei einem Gleichstrom kurzgeschlossen, derart, dass eine Spannung, welche an die positive Eingangsklemme des Komparators 490 abgegeben wird, stetig null ist und diese Spannung 133 während einer vorgegebenen Zeitperiode nur unmittelbar nach dem Start der elektrischen Entladung beginnt. Weiterhin ist die sättigbare Reaktanzspule 113 gesättigt und die Spannung wird nicht abgegeben, sodass Rauschen oder dgl. auf Grund einer Funkerosion nicht ausgegeben wird und ein Nachweis mit hoher Präzision möglich wird.

In der sättigbaren Reaktanzspule 111 ist die Anzahl der Windungen N um den Kern kleiner als in der sättigbaren Reaktanzspule 113 oder eine mittlere magnetische Pfadlänge L davon ist länger als diejenige der sättigbaren Reaktanzspule 113, und bei der sättigbaren Reaktanzspule 112 ist die Zahl der Wicklungen N um einen Kern kleiner als diejenige der sättigbaren Reaktanzspule 111 oder eine durchschnittliche magnetische Pfadlänge L hiervon ist ferner länger als diejenige der sättigbaren Reaktanzspule 111. Mit diesem Merkmal kann der Entladungsstrom 421 exponentiell erhöht werden, wie dies durch die Zunahmekurve des Entladungsstroms 421 in Fig. 3 dargestellt ist, wie dies in der Zeitperiode 132 gezeigt ist, indem der Entladungsstrom durch Kabel eingestellt wird, wobei jedes einen unterschiedlichen Kerndurchmesser oder eine unterschiedliche Anzahl von Kernstücken oder Anzahl von Windungen eines Kerns. Wenn dieser Strom zunimmt, wird die Kurve in solcher Weise eingestellt, dass der Strom zunimmt in Übereinstimmung mit der Expansion einer elektrischen Entla-

dungssäule, wobei die Stromdichte der elektrischen Entladungssäule auf einem konstanten Niveau gehalten werden kann und ein Entladungsstrom nicht abrupt zunimmt, wenn der Querschnitt der elektrischen Entladungssäule klein ist, sodass die Abnutzung der Elektrode reduziert werden kann. Wenn ein Durchmesser einer elektrischen Entladungssäule linear zunimmt, geht der Bereich der elektrischen Entladungssäule mit dem Quadrat des Durchmessers davon, in solcher Weise, dass die Zunahme des Entladungsstromes 421 durch Einstellung des Kerns realisiert werden kann, sodass er in einer Kurve der zweiten Ordnung zunimmt.

Eine Sättigungszeit T_s in jeder Zeitperiode 131 und 132 in jeder sättigbaren Reaktanzspule 111, 112, 113 kann durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden.

$$T_s = N \cdot S \cdot B_s/E \text{ (}\mu \text{ sec)} \quad <501>$$

N: Anzahl der Windungen eines Kerns
S: Querschnitt eines Kerns
B_s: Änderung der gesamten Flussdichte
E: Spannung

Die Sättigungszeit T_s wird länger, wenn die Anzahl der Umdrehungen N eines Kerns und des Querschnitts S des Kerns grösser sind. Die Anzahl von Umdrehungen N um einen Kern wird vorgegeben durch das Setzen eines Sättigungsstroms I_s gemäss Gleichung «500» derart, dass die Sättigungszeit T_s gemäss dem Querschnitt S des Kerns gesetzt wird. D.h., um eine Sättigungszeit T_s länger zu machen, wird ein grösserer Kerntyp mit einem grossen Querschnitt S verwendet. Um eine Zunahmekurve des Entladungsstroms 421 an eine Zielkurve anzupassen, bestehen solche Verfahren, wie diejenigen, in welchen verschiedene Typen von sättigbaren Reaktanzspulen verwendet werden, in welchen ein unterschiedlicher Sättigungsstrom I_s und eine unterschiedliche Sättigungszeit T_s miteinander kombiniert sind, wobei die Anzahl Windungen N um den Kern in jeder sättigbaren Reaktanzspule eingestellt wird, und worin die sättigbare Reaktanzspule 140 eine Form mit einem grösseren Durchmesser in einem Mittelabschnitt in axialer Richtung besitzt und ebenso einen kleineren Durchmesser in einer Position aufweist, die in der Nähe der beiden Enden ist, wie in Fig. 4 dargestellt, wobei eine Zuführungsleitung 8A oder 8B eingesetzt ist, und eine Vorspannungsgleichstromversorgung für das Anlegen eines Anregungsstroms vorgesehen ist, welcher entgegengesetzt dem Entladungsstrom ist, mit einem Widerstand R_b, welcher seriell verbunden ist mit der sättigbaren Reaktanzspule 140 oder dgl., und der gleiche Effekt in jedem der oben beschriebenen Verfahren erreicht werden kann.

Wenn die Sättigungszeit T_s abgelaufen ist, wird die sättigbare Reaktanzspule magnetisch gesättigt, sodass die Impedanz nahezu null wird, wobei der Entladungsstrom einen Spitzenstrom erreicht und dann der Entladungsstrom null wird, wenn die elektrische Entladung unterbrochen wird, wobei eine (Strom-)Spannung für die Funkerosion überhaupt nicht beeinträchtigt wird, bis der Sättigungszustand durch einen entgegengesetzten Anregungsstrom zu-

rückgesetzt wird. Der Reaktor hat die oben beschriebene Wirkung, welche nicht erreicht werden kann durch einen nicht gesättigten Reaktor. Wenn eine kernlose Spule oder ein Kern mit einer Lücke oder dgl. verwendet wird, wird die Impedanz nicht null, bleibt jedoch, wobei die Zeit für die Unterbrechung des Stroms, wenn der Entladungsstrom abgeschnitten werden muss, verzögert wird. Demzufolge ist die Verwendung einer sättigbaren Reaktanzspule, welche gesättigt ist, während der Entladungsstrom darin fliesst, verschieden von der Verwendung eines gewöhnlichen Reaktors und er hat den oben beschriebenen spezifischen Effekt.

Die sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112, welche in Fig. 1 dargestellt sind, sind vorgesehen an den Seiten, die näher dem Ausgang der Stromversorgung 7 liegen und die sättigbare Reaktanzspule 113 darin ist an der Seite vorgesehen, welche näher zur Elektrode 5 liegt. Die sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112, die an der Seite vorgesehen sind, welche näher zum Ausgang der Stromversorgung 7 liegen, sind in solcher Weise wirksam, wie dies in der Beschreibungseinleitung im Zusammenhang mit Fig. 29 beschrieben ist, um eine Resonanz eines statischen kapazitiven Widerstandes in den Dioden D_{22} oder D_{20} oder dgl., welche am Ausgang der Stromversorgung 7 vorgesehen sind, mit der Induktivität der Zuführungsleitungen 8A und 8B, zu verhüten. Die Reaktoren wirken ebenfalls zur Verhinderung eines negativen Stromes 434 auf Grund einer Resonanz durch das Fließen in der Elektrode 5 im Moment 431, in welchem der Entladungsstrom, welcher in Fig. 29 gezeigt ist, unterbrochen wird. Während die sättigbare Reaktanzspule 113, der an der Seite vorgesehen ist, die näher zur Elektrode 5 liegt, wie dies in der Beschreibungseinleitung im Zusammenhang mit Fig. 28 beschrieben ist, für die Verhinderung eines Impulssplitting agieren kann, in welchem ein Strom negativ wird, wie dies durch 426 angegeben ist, wegen der Resonanz eines statischen kapazitiven Widerstandes zwischen den Zuführungsleitungen 8A, 8B zur Induktivität im Moment 423, wenn eine elektrische Entladung gebildet wird. Ebenso besitzt der Reaktor 113 einen Sättigungsstrom 130, der gleich dem Entladungsstrom 421 ist, sodass er zur Verhütung eines Stromstosses 450 dient, wie dies in Fig. 31B gezeigt wird, vom Fluss in der Elektrode 5 unmittelbar nach der Erzeugung der elektrischen Entladung.

Fig. 5 zeigt vergrösserte Wellenformen in jedem Abschnitt vor und nach der Zeit 433, wenn ein Entladungsstrom unterbrochen wird, wie dies in Fig. 2 gezeigt ist. Wenn das Schaltelement TR_2 , welches in Fig. 1 gezeigt ist, ausgeschaltet ist, nimmt der Entladungsstrom 421, dargestellt in (b), ab, in einem Gradienten, der abhängig ist von jeder Induktivität der Zuführungsleitungen 8A, 8B, ebenso wie von einer Spannung im Spannungsbegrenzungskörper 620, und wird nur zur Zeit null ist, welche mit 150 bezeichnet ist. Zu diesem Zeitpunkt arbeiten, wie durch 434 in Fig. 29 gezeigt, die sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112, 113 in solcher Weise, dass ein Umkehrstrom nicht fließen kann, und andererseits eine statische Kapazität in den Dioden D_{22} oder D_{20} beim Ausgang der Stromversorgung 7

mit der Induktivität der Zuführungsleitungen 8A, 8B in Resonanz tritt und eine hohe Impedanz in den sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112 und 113 erzeugt wird. D.h., in den sättigbaren Reaktanzspulen wird jede Spannung in (e), (d) in der Zeitperiode erzeugt, welche mit 151 bezeichnet ist, was die Erzeugung eines Umkehrstromes verhütet, damit nur ein aussergewöhnlich schwacher Umkehrstrom (b) in der Zeitperiode, welche mit 151 bezeichnet ist, auftreten kann und der Resonanzstrom 434 gemäss Fig. 29 nicht erzeugt wird. Demzufolge ist die Zeitperiode 152, die für die Unterbrechung des Stromes nötig ist, etwa die gleiche, wie diejenige im Falle, wo die sättigbaren Reaktanzspulen 111, 112, 113 nicht vorgesehen sind und zusätzlich eine Abnutzung der Elektrode auf Grund eines Umkehrstromes reduziert werden kann, wobei die Resonanzspannung 432 gemäss Fig. 29 nicht auftritt, was die Erzeugung von Geräuschen unterdrückt und sämtliche geräuschbedingten Störungen von anderen Kontrollmitteln ebenfalls reduziert werden, was ein Teil der Vorteile darstellt, welche durch die sättigbare Reaktanzspule gemäss dieser Ausführungsform der Erfindung bewirkt wird.

Fig. 6 zeigt eine Wellenformsteuerungseinheit für eine Funkerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform werden Funktionen verwendet, um die Erzeugung und die Unterbrechung von elektrischen Entladungen nachzuweisen. In der Figur ist eine sättigbare Reaktanzspule 113 vorgesehen, in einer Position nahe der Elektrode 5, der Zuführungsleitungen 8A, 8B, welche die Stromversorgung 7 mit der Elektrode bzw. dem Werkstück verbinden. Eine sättigbare Reaktanzspule mit einem tiefen Sättigungsstrom I_s mit einer kurzen mittleren magnetischen Pfadlänge seines Kerns oder mit einer grossen Anzahl von Windungen um einen Kern wird als sättigbare Reaktanzspule 113 verwendet. Als Kern der tatsächlich verwendeten sättigbaren Reaktanzspule werden acht Stücke von amorphen Kernen verwendet, wovon jeder einen inneren Durchmesser von 2 mm, einen äusseren Durchmesser von 4 mm und eine Länge von 8 mm aufweist. Das koaxiale Kabel 114, der Widerstand 115, die Gleichstromversorgung 116, der Komparator 490, die Referenzspannung 491 und ein Signale 492, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung angeben, sind die gleichen wie diejenigen, welche in Fig. 1 dargestellt sind. Eine negative Referenzspannung 161 wird an die positive Eingangsklemme eines Komparators 160 abgegeben, der Ausgang des Koaxialkabels 114 wird mit einer daran angeordneten negativen Eingangsklemme verbunden und der Ausgang des Komparators 160 wird als Signal 162 abgegeben, was den Unterbruch der elektrischen Entladung angibt.

Fig. 7 zeigt vergrösserte Wellenformen einer Spannung 133, welche in der sättigbare Reaktanzspule 113 gemäss Fig. 6 gebildet wird und des Entladungsstroms 421 vor und nach dem Moment, wenn ihre elektrische Entladung erzeugt wird. Wird die elektrische Entladung erzeugt, fliesst ein Sättigungsstrom 130, der in Übereinstimmung mit dem Entladungsstrom I_s in die sättigbare Reaktanzspule 113 fliesst. In diesem Fall wird ein Strom vom etwa

1A während etwa 700 nsec aufrechterhalten, wie dies in der Zeitperiode 131 gezeigt ist, dann steigt der Entladungsstrom 421 in einer im Wesentlichen linearen Form an, wie dies in der Zeitperiode 132 gezeigt ist und der Gradient dieses Anstieges ist im Wesentlichen der gleiche wie derjenige im Fall, wo keine sättigbare Reaktanzspule 113 vorgesehen ist. Die an der sättigbaren Reaktanzspule 113 gebildete Spannung 133 wird, wie in Fig. 7 gezeigt, so erzeugt, dass das gleiche Ausmass der Spannung ebenfalls an der positiven Eingangsklemme des Komparators 490 erzeugt wird. Der Teil (c) in Fig. 7 zeigt ein Signal zur Andeutung der Erzeugung der elektrischen Entladung, erhalten durch Vergleich dieser Spannung mit der Referenzspannung 491. Die wichtigste Sache besteht darin, dass der Entladungsstrom 421 ein Sättigungsstrom 130 ist, sodass nur ein kleiner Anteil des Stroms darin während einem Moment fliesst und das Signal 492, das die Erzeugung einer elektrischen Entladung anzeigt, vor der Zunahme des Entladungsstroms 421 erhalten werden kann. D.h. als Steuereinheit für eine Funkerosionsmaschine können verschiedene Arten von Steuerungen zum Einsatz gelangen, unmitelbar vor der Zunahme des Entladungsstroms 421. Zusätzlich gibt es einige weitere ausgezeichnete Effekte, sodass die sättigbare Reaktanzspule 113 keinen Einfluss auf den Entladungsstrom 421 aufweist, nachdem das Signal 492 die Erzeugung einer elektrischen Entladung auslöst und ein kleiner Resonanzstrom gebildet wird, im Moment, wenn die elektrische Entladung erzeugt wird.

Fig. 8 zeigt vergrösserte Wellenformen der Entladungsspannung 133 und des Entladungsstroms 421 zwischen der Elektrode 5 und dem Werkstück 4 gemäss Fig. 6, vor und nach dem Moment, wenn die elektrische Entladung unterbrochen wird. Wenn das Schaltelement TR_2 gemäss Fig. 1 ausgeschaltet wird zum Zeitpunkt 433, nimmt der Entladungsstrom 421 mit einem Gradient ab, welcher durch jede Induktivität der Zuführungsleitungen 8a, 8b vorgegeben wird, ebenso durch die Spannung eines Konstantspannungskörpers B_{20} gemäss Fig. 1 und wird null zum Zeitpunkt 150. Zu dieser Zeit, wie bei 434 in Fig. 29 angezeigt, verhütet die sättigbare Reaktanzspule 113 eine Resonanz der statischen Kapazität in den Dioden D_{22} oder D_{20} , welche am Ausgang der Stromversorgung 7, wie in Fig. 1 dargestellt, vorgesehen sind, zu jeder Induktivität der Zuführungsleitungen 8A, 8B, da eine hohe Impedanz in den Zuführungsleitungen 8A, 8B gebildet wird, und ebenfalls so arbeitet, dass kein Umkehrstrom darin fliesst. D.h. in der sättigbaren Reaktanzspule wird eine Spannung in (b) gebildet zum Zeitpunkt, der mit 151 angegeben ist, was die Erzeugung eines Umkehrstromes verhütet, sodass nur ein aussergewöhnlich schwacher Umkehrstrom in (a) für eine Zeitdauer gebildet wird, welche mit 151 bezeichnet ist, und der Resonanzstrom 434 gemäss Fig. 29 darin nicht nachgewiesen werden kann. In der Spannung der sättigbaren Reaktanzspule in (b) wird eine Negativspannung für die Zeitdauer 151 ausgegeben. Ein Signal 162, welches den Stopp der elektrischen Entladung anzeigt, kann ausgegeben werden, indem diese Spannung an die

negative Eingangsklemme des Komparators 160 abgegeben wird und sie mit der Referenzspannung 161 verglichen wird, (c) in Fig. 8 zeigt diesen Ausgang. Es ist konventionell gedacht, dass die elektrische Entladung gestoppt wird, wenn eine spezifische Zeitperiode abgelaufen ist nach dem Zeitpunkt 433, wenn das Schaltelement ausgeschaltet wird, damit die Steuerung auf Basis der oben beschriebenen Idee durchgeführt werden kann, wenn jedoch nachgewiesen wird, wenn die elektrische Entladung unterbrochen ist, kann eine Zeitdauer, bis die nächste elektrische Entladung begonnen hat, genau nachgewiesen werden und aus diesem Grund kann eine solche Möglichkeit verhindert werden, dass eine elektrische Entladung während einer Fortsetzung der elektrischen Entladung beginnt, eliminiert werden und die Funkerosion kann mit hoher Präzision gesteuert werden. Es bestehen ebenfalls einige andere Effekte, wie dass der Zeitpunkt 152 zum Unterbruch des Stroms ungefähr der gleiche ist, wie derjenige im Fall, wo die sättigbare Reaktanzspule 113 nicht vorgesehen ist, dass eine Abnutzung der Elektrode auf Grund eines Umkehrstroms reduziert werden kann und dass die Resonanzspannung 432, wie in Fig. 29 mit unterdrücktem Rauschen nicht vorkommt, und mögliche Störungen auf Grund des Rauschens durch andere Steuermittel ebenfalls vermindert werden können.

Fig. 9 zeigt eine Wellenformsteuereinheit für eine Funkerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 9 sind elektrische Entladungserzeugungsdetektoren, die den sättigbaren Reaktanzspulen gemäss Fig. 6 verwenden, vorgesehen in den Zuführungsleitungen, welche die gleiche Stromversorgung 7 mit den drei Elektrodenstücken 5A, 5B, 5C ebenso wie mit den Werkstücken 4A, 4B, 4C verbinden. Obschon jede Arbeitsweise die gleiche ist wie diejenige in der Ausführungsform 2 gemäss Fig. 6, besteht der Unterschied, dass mehrere Elektroden und mehrere Werkstücke bei der Ausführungsform 3 vorgesehen sind. Wie in der Beschreibungseinleitung beschrieben, wird eine Funkerosion nur in irgendeiner der Elektroden erzeugt, sodass sich dann, wenn sich die Erzeugung der elektrischen Entladung bei den mehreren Elektroden nachweisen lässt, wichtige Signale zum Anzeigen eines Zustandes der Funkerosionsbearbeitung oder einer Zufuhrsgeschwindigkeit einer Elektrode oder dgl. erhalten lassen, die erforderlich sind, wenn die Funkerosionsmaschine gesteuert wird. Es war nicht möglich, die Erzeugung der elektrischen Entladung bei Elektroden in jedem Zeitpunkt der Erzeugung der elektrischen Entladung, bei dem Verfahren vom üblichen Typ zum Nachweisen der Erzeugung elektrischer Entladung durch den Nachweis einer Entladungsspannung nachzuweisen, und aus diesem Grund konnten mehrere Elektroden und Werkstücke nicht mit der gleichen Stromversorgung bearbeitet werden. Mit dem Verfahren gemäss dieser Ausführungsform können mehrere Elektroden und Werkstücke mit der gleichen Stromversorgung betrieben werden, sodass sich die Kosten der Stromversorgung reduziert lassen.

Fig. 10 zeigt eine Wellenformsteuerungseinheit

für eine Funkerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 4 der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 10 ist ein Detektor für eine Erzeugung einer elektrischen Entladung vorgesehen, in welchem eine sättigbare Reaktanzspule gemäss Fig. 6 verwendet wird in einer Zuführungsleitung einer sättigbaren Reaktanzspule 113 und eine Input-Klemme eines Komparators 490 ist direkt mit einer Zuführungsleitung davon verbunden. In Verbindung mit dem oben beschriebenen kann der gleiche Effekt wie in Ausführungsform 2 erhalten werden.

Fig. 11 zeigt eine Wellenformsteuerungseinheit für eine Funkerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 5 der vorliegenden Erfindung. In Fig. 11 ist ein Detektor für eine elektrische Entladungserzeugung vorgesehen, welcher die sättigbare Reaktanzspule gemäss Fig. 6 verwendet, an einer Zuführungsleitung, wobei eine getrennte Wicklung ihrer Zuführungsleitung mit einem Widerstand 115 ebenso mit einer Gleichstromversorgung 116 seriell mit der Wicklung rund um den Detektor verbunden ist und die Eingangsklemme des Komparators 490 direkt mit der Wicklung verbunden ist, sodass der Detektor entgegengesetzt zum Entladungsstrom angeregt wird. In Verbindung mit dem oben beschriebenen kann der gleiche Effekt erhalten werden, wie in Ausführungsform 2.

Fig. 12 zeigt eine Wellenformsteuereinheit für eine Funkerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 6 gemäss der vorliegenden Erfindung.

Fig. 12 ist eine Ansicht, welche die einfachste Konfiguration für die Erklärung der Arbeitsweise gemäss der vorliegenden Erfindung zeigt. Als sättigbare Reaktanzspule 120, zumindest als Teil davon, werden mehrere sättigbare Reaktanzspulen, jeweils mit einer unterschiedlichen magnetischen Pfadlänge verwendet, sowie eine sättigbare Reaktanzspule mit einer Form mit einer grösseren Breite im zentralen Abschnitt entlang der Axialrichtung und mit einer schlankeren Form bei der Position näher an dem Aussendurchmesser davon, mehrere sättigbare Reaktanzspulen jeweils mit einer unterschiedlichen Zahl von Wicklungen der Zuführungsleitung darum herum und dgl., und eine konstante Stromversorgung 121 für die Anregung der sättigbaren Reaktanzspule in einer im Vergleich zum Entladungsstrom entgegengesetzter Richtung ist an einer Zuführungsleitung vorgesehen. Die konstante Stromversorgung 121 kann einen Widerstand und eine Gleichstromversorgung enthalten. Mit einer solchen einfachen Konfiguration kann die zunehmende Kurve eines Entladungsstroms unmittelbar nach der Erzeugung einer elektrischen Entladung, wie in Kurve 421 in Fig. 3 gezeigt, gesteuert werden zu einer willkürlichen Kurve, in dem die sättigbaren Reaktanzspulen kombiniert werden. Wie oben beschrieben, können verschiedene spezifische Effekte erzielt werden.

Fig. 13 zeigt eine Wellenformsteuerungseinheit für eine Funkerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 7 der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 13 ist die konstante Stromversorgung 121 direkt mit der Zuführungsleitung der Bearbeitungsstromsteuereinheit verbunden für die Funkerosionsmaschine, welche die sättigbare Reaktanzspule

gemäss Fig. 12 verwendet, und es kann der gleiche Effekt erhalten werden wie in Ausführungsform 6.

Fig. 14 zeigt eine Wellenformsteuerungseinheit für eine Funkerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 8 der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 14 enthält die sättigbare Reaktanzspule 120 für die Bearbeitungsstromsteuereinheit für die Funkerosionsmaschine, welche die sättigbare Reaktanzspule gemäss Fig. 12 enthält, mehrere sättigbare Reaktanzspulen 120A, 120B, 120C, wobei jede eine unterschiedliche Anzahl von Wicklungen N des Leiters darum herum aufweist oder jeder eine unterschiedliche magnetische Pfadlänge L besitzt und die Wicklungen, die separat von der Zuführungsleitung 8A mit Widerständen 110A, 110B, 110C und Gleichstromversorgungen 140A, 140B, 140C seriell verbunden sind, in jedem der Reaktoren eingeführt sind, derart, dass die Reaktoren angeregt werden in entgegengesetzter Richtung jedes Entladungsstroms und der gleiche Effekt wie in Ausführungsform 6 erhalten werden kann.

Fig. 15 zeigt eine Wellenformsteuereinheit für eine elektrische Funkerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 9 der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 15 enthält die sättigbare Reaktanzspule 120 für die Bearbeitungsstromsteuereinheit für eine Funkerosionsmaschine, die eine sättigbare Reaktanzspule gemäss Fig. 12 enthält, mehrere sättigbare Reaktanzspulen 120D, 120E, 120F, jeweils mit einer unterschiedlichen mittleren magnetischen Pfadlänge L der Kerne oder jeweils mit einem unterschiedlichen Querschnitt S jedes Kerns, und eine Spule ist in die sättigbare Reaktanzspule eingefügt, die gegenüber der Zuführungsleitung 8A mit einem Widerstand 110 und einer Gleichstromversorgung 140 getrennt ist, die seriell mit der Spule verbunden ist, sodass die sättigbaren Reaktanzspulen in einer Richtung angeregt werden, die entgegengesetzt zu derjenigen des Entladungsstroms ist. Die tatsächlichen Komponenten, die verwendet werden, sind ein Widerstand 110 mit einem Widerstand von 500 Ω , einer Gleichstromversorgung 140 mit 87 V, vier Stücke von amorphen Kernen auf Kobalt-Basis für die sättigbare Reaktanzspule 120D, von welcher jede einen inneren Durchmesser von 2 mm aufweist, einen äusseren Durchmesser von 4 mm und eine Länge von 8 mm, drei Stücke von amorphen Kernen auf Kobalt-Basis für die sättigbare Reaktanzspule 120E, von welchen jeder einen inneren Durchmesser von 7 mm besitzt, einen äusseren Durchmesser von 10 mm und eine Länge von 4,5 mm und zwei Stücke von amorphen Kernen auf Kobalt-Basis für die sättigbare Reaktanzspule 120F, von welchem jeder einen inneren Durchmesser von 14 mm, einen äusseren Durchmesser von 21 mm und eine Länge von 4,5 mm besitzt und die Anstiegskurve der Entladungseinheit die gleiche ist wie diejenige, welche das Bezugszeichen 421 in Fig. 3 aufweist. In Ausführungsform 9 kann der gleiche Effekt wie in Ausführungsform 6 erhalten werden.

Fig. 16 zeigt eine Wellenformsteuerungseinheit für eine elektrische Funkerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 10 der vorliegenden Erfindung.

Als tatsächliches Beispiel gemäss Ausführungs-

beispiel 9 gemäss Fig. 15 ist die sättigbare Reaktanzspule 120D oder 120E mit einem kleinen inneren Durchmesser in einem schlanken Teil des Werkzeugs 260 für die Befestigung einer Elektrode 5 an ein Elektrodenzufuhrmittel 6 vorgesehen und die mechanische Festigkeit ist durch eine isolierende Stütze 261 aus Keramik, Glas oder Kunststoff oder dgl. vorgesehen und das Werkzeug 260 dringt in die sättigbare Reaktanzspule 120F ein mit einem grossen inneren Durchmesser, wobei der gleiche Effekt erzielt werden kann wie in Ausführungsform 6.

Fig. 17 zeigt einen tatsächlichen Zustand, in welchem jede der Komponenten gemäss Ausführungsform 10 am Elektrodenzufuhrmittel 6 befestigt ist. Mit Ausführungsform 10 kann ein Sättigungsstrom I_s und eine Stromzunahmekurve oder dgl. auf jede der Elektroden angepasst werden, sodass, wenn die Elektrode 5 zusammen mit dem Werkzeug 260 miteinander ausgetauscht wird, es möglich ist, eine Wellenformsteuerungseinheit zu erhalten für eine Funkenerosionsmaschine, welche an jede der Bearbeitungsbedingungen angepasst werden kann, nicht nur für eine kleine Elektrode, jedoch auch für eine grosse Elektrode.

Fig. 18 ist eine Ansicht, die eine Wellenformsteuerungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 6 zeigt, welche in einer Position nahe der Zuführungsleitung 8A zur Elektrode 5 vorgesehen ist und der gleiche Effekt erzielt werden kann, wie in Ausführungsform 6.

Fig. 19 ist eine Ansicht, die eine Wellenformsteuerungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 6 darstellt, welche in einer Position nahe dem Werkstück 4 auf der Zuführungsleitung 8B vorgesehen ist, und den gleichen Effekt ausübt wie derjenige von Ausführungsform 6.

Fig. 20 ist eine Ansicht, welche eine Wellenformsteuereinheit in einer Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 6 darstellt, eine davon, welche in einer Position nahe der Zuführungsleitung 8A zur Elektrode 5 vorgesehen ist, und die andere in einer Position nahe dem Werkstück 4 an der Zuführungsleitung 8B vorgesehen ist und der gleiche Effekt erhalten werden kann wie in Ausführungsform 6.

Fig. 21 ist eine Ansicht, die eine Wellenformsteuereinheit für eine Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 6 zeigt, welche in einer Position vorgesehen ist nahe der Stromversorgung 7 an der Zuführungsleitung 8A zur Elektrode 5 und der gleiche Effekt erhalten werden kann wie in Ausführungsform 6.

Fig. 22 zeigt eine Versorgungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine, wobei ein Koaxialkabel 36 für eine Zuführungsleitung gemäss Fig. 32 und den Angaben in der Beschreibungseinleitung verwendet wird, und sie zeigt ebenfalls eine Wellenformsteuereinheit für eine Funkenerosionsmaschine gemäss Ausführungsform 6, welche in einer Position nahe der Elektrode 5 vorgesehen ist, und den gleichen Effekt erhalten kann wie in Ausführungsform 6. Ebenso wird die Leistungsfähigkeit der Funkenerosionsmaschine in solcher Weise verbessert, dass die Wellenformsteuereinheit durch statische Kapazitäten 37 nicht beeinträchtigt wird, sogar

wenn das Koaxialkabel 36 verwendet wird und die Induktivität der Verdrachtung durch die Verwendung eines Koaxialkabels vermindert wird, was die Reaktion auf einen Bearbeitungsstrom schneller macht und eine erhöhte Bearbeitungsgeschwindigkeit erlaubt. Die Zufuhr des Stroms durch das Koaxialkabel 36 kann die Leistungsfähigkeit einer Stromversorgungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine verbessern, wobei Effekte auftreten wie eine verbesserte Bearbeitungsgeschwindigkeit, die Möglichkeit einer Mikrobearbeitung, einer Bearbeitung mit einem grossen Bearbeitungsstrom mit einer grossen Elektrode, dem Vermeiden eines Ausstrahlens von Rauschen an die Aussenseite, oder die Realisierung der zugeführten Energie von weit her, wobei die Bearbeitungsleistungsfähigkeit der Funkenerosionsmaschine dramatisch erhöht werden könne.

Fig. 23 zeigt eine Verbindung von mehreren Elektroden 5A, 5B, 5C und einem Werkstück 4 mit einer gemeinsamen Stromversorgung 7, gemäss den Angaben in der Beschreibungseinleitung. Es werden sättigbare Reaktanzspulen 112A, 112B, 112C an den Zuführungsleitungen zu den Elektroden 5A, 5B bzw. 5C vorgesehen, wobei Wicklungen, die verschieden von den Zuführungsleitungen sind, seriell miteinander verbunden sind, und ein Widerstand 110 und eine Gleichstromversorgung 140 seriell mit der Wicklung in solcherweise verbunden sind, dass die sättigbaren Reaktanzspulen 112A, 112B, 112C angeregt werden in einer Richtung entgegengesetzt zu derjenigen der Anregung auf Grund eines Entladungsstroms. Wenn die Verbindung wie oben beschrieben ausgeführt wird, in einem Fall, wo die elektrische Entladung in der Elektrode 5B erzeugt wird, wird eine elektrische Ladung in der statischen Kapazität zwischen der Elektrode 5A und dem Werkstück 4 akkumuliert, ebenso wie in der statischen Kapazität zwischen der Elektrode 5C und dem Werkstück 4 und für die Verhütung eines Stromes, der entgegengesetzt zum Entladungsstrom fliesst, dienen die sättigbaren Reaktanzspulen 112A, 112C, sodass nur ein sehr kleiner Strom in einen Punkt A fliesst, an welchem die elektrische Entladung erzeugt wird. Die Menge dieses Stroms ist ebenfalls gleich wie diejenige, welche oben beschrieben ist, sogar wenn eine grössere Anzahl Elektroden vorgesehen ist. Wie oben beschrieben, sogar wenn mehrere Elektroden mit der Stromversorgung verbunden sind und die Funkenerosion ausgeführt wird, fliesst darin eine kleine Menge eines Stromstosses 450, welcher in Fig. 31 dargestellt ist, welcher keine wesentliche Abnützung der Elektroden verursacht. D.h., die Bearbeitung kann durchgeführt werden, indem mehrere Elektroden miteinander durch eine einzige Stromversorgung 7 verbunden sind, was es möglich macht, dass eine Funkenerosionsbearbeitung in einem grossflächigen Bereich mit hoher Präzision und niederen Kosten möglich ist.

Fig. 24 zeigt eine Ausführungsform in einem Fall, wo mehrere Bearbeitungsgeräten vorgesehen sind, von welchen jedes ein Elektrodenzufuhrmittel 6 aufweist und ein Gefäss für Bearbeitungsflüssigkeit 1, welches hier nicht gezeigt ist, und ebenfalls die Verbindung von mehreren Elektroden 5A, 5B, 5C

und von mehreren Werkstücken 4A, 4B, 4C zur gemeinsamen Stromversorgung 7 gezeigt ist. Die sättigbaren Reaktanzspulen 112A, 112B, 112C sind auf Zuführungsleitungen zu den Elektroden 5A, 5B bzw. 5C vorgesehen, Wicklungen, separat von den Zuführungsleitungen, Widerstände 110A, 110B, 110C und Gleichstromversorgungen 140A, 140B, 140C sind seriell miteinander verbunden, wie aus der Figur ersichtlich, sodass jede der sättigbaren Reaktanzspule angeregt wird in einer Richtung entgegengesetzt zum Entladungsstrom. Wenn die Verbindung wie oben beschrieben ausgeführt wird, in einem Fall, wo eine Funkenentladung an der Elektrode 5B stattfindet, trotz einer elektrischen Ladung, die in einer statischen Kapazität zwischen der Elektrode 5A und dem Werkstück 4A ebenso wie in einer statischen Kapazität zwischen der Elektrode 5C und dem Werkstück 4C akkumuliert ist, wirken die sättigbaren Reaktanzspulen 112A, 112C zur Verhütung eines Stroms, welcher entgegengesetzt zum Entladungsstrom gerichtet ist, sodass nur eine kleine Strommenge an einen Punkt A für eine elektrische Entladung fließen kann. Eine Menge dieses Stroms ist ebenfalls gleich wie diejenige, welche oben beschrieben ist, wenn eine grössere Anzahl von Elektroden darin vorgesehen ist. Wie oben beschrieben, kann die Funkenerosion sogar durchgeführt werden, indem mehrere Elektroden mit der Stromversorgung verbunden werden, wobei nur eine kleine Menge eines Wellenstroms oder Stromstosses 450, wie in Fig. 31 gezeigt, darin fließt, was in bemerkenswerter Weise eine Abnutzung der Elektroden verhindert. D.h., die Bearbeitung kann durchgeführt werden, indem die Elektroden 5 in mehreren Bearbeitungsgeräten mit Werkstücken 4 verbunden werden, wobei nur eine Stromversorgung 7 vorhanden ist, sodass mehrere Werkstücke, jedes mit einer verschiedenen Form, in Konkurrenz miteinander mit der gleichen Stromversorgung 7 bearbeitet werden kann.

Fig. 25 zeigt eine Ausführungsform 18 der vorliegenden Erfindung. Eine serielle Anordnung der Widerstände 110A, 110B, 110C, 110D und Gleichstromversorgungen 140A, 140B, 140C, 140D ist mit Verdrahtungsleitungen verbunden, welche getrennt von den Zuführungsleitungen 8A, 8B vorgesehen sind, die jeweils durch die mehreren sättigbaren Reaktanzspulen 120A, 120B, 120C, 120D hindurchtreten oder um diese herum gewickelt sind, jede mit durchgeführten oder darum herum gewickelten Zuführungsleitungen 8A, 8B für die Zufuhr einer Bearbeitungsenergie von der Bearbeitungsstromversorgung 7 zu der Elektrode 5 und zum Werkstück 4, und die sättigbaren Reaktanzspulen weisen jeweils eine unterschiedliche magnetische Pfadlänge L oder eine unterschiedliche Anzahl von Wicklungen N eines Kerns so auf, dass jede der sättigbaren Reaktanzspulen 120A, 120B, 120C, 120D durch einen Strom angeregt wird, der umgekehrt zu einem Entladungsstrom ist, und eine Anstiegskurve eines Entladungsstroms kann auf eine Kurve angeglichen werden, die sich zur Funkenerosionbearbeitung eignet, indem eine Möglichkeit gegeben wird, dass jeder Widerstandswert der Widerstände 110A, 110B, 110C, 110D ebenso wie jede Spannung in den

Gleichstromversorgungen 140A, 140B, 140C, 140D geändert werden kann. Die sättigbare Reaktanzspule 120D ist derjenige mit der kürzesten magnetischen Pfadlänge L und sie bestimmt hauptsächlich den Sättigungsstrom I_s . Für die sättigbaren Reaktanzspulen 120A, 120B, 120C werden solche sättigbaren Reaktanzspulen eingesetzt, deren magnetische Pfadlänge L graduell in der oben genannten Reihenfolge grösser wird, und ebenso der Querschnitt S des Kerns graduell in der oben genannten Reihenfolge grösser wird, und ein Sättigungsstrom und eine Sättigungszeit werden gemäss einem Widerstandswert jedes der Widerstände, sowie einer Spannung jeder der Gleichstromversorgungen so angeglichen, dass sich ein Strom gemäss einer für die Bearbeitung geeigneten ansteigenden Kurve verändern lässt. Mit diesen Prozessschritten lässt sich eine beliebige zunehmende Kurve erhalten und zahlreiche Arten von ausgezeichneten Effekten, wie oben beschrieben, lassen sich erhalten.

Weiterhin sind Schalter 250A, 250B, 250C, 250D an bei den Enden der Zuführungsleitungen 8A, 8B hindurchtretend durch die sättigbaren Reaktanzspulen 120A, 120B, 120C und 120D vorgesehen, und jede sättigbare Reaktanzspule, die nicht benützt wird, kann kurzgeschlossen werden, sodass sich eine erforderliche Anstiegskurve erhalten lässt.

Angeschlossen an die Drahtlängen, jeweils bereitgestellt getrennt von den Zuführungsleitungen 8A, 8B hindurchtretend durch die sättigbaren Reaktanzspulen 120A, 120B, 120C, 120D, hindurchtretend hierdurch oder hierum gewickelt, sind jeweils Schalter 251A, 251B, 251C, 251D, und jede der sättigbaren Reaktanzspulen, die nicht benützt werden, kann kurz geschlossen werden, sodass sich eine erforderliche Anstiegskurve erhalten lässt.

Die vorliegende Erfindung ist wie oben beschrieben auf gebaut, was zu den nachfolgend beschriebenen Wirkungen führt.

Mit der vorliegenden Erfindung ist es möglich, eine Bearbeitungsstromsteuerungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine zu erhalten, in welcher die Erzeugung einer elektrischen Entladung nachgewiesen werden kann, sogar in einem Zustand einer sofortigen elektrischen Entladung, kann die Erzeugung einer elektrischen Ladung nachgewiesen werden, bevor ein Entladungsstrom zu fließen beginnt, die Abnutzung einer Elektrode kann reduziert werden und die Bearbeitungsgeschwindigkeit wird nicht reduziert.

Mit der vorliegenden Erfindung werden Geräusche oder dgl. auf Grund der Funkenerosion auf ein tiefes Niveau unterdrückt werden, ein genaues Signal, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung angibt, kann erhalten werden, der Nachweis kann mit hoher Präzision erzielt werden und eine einfache und kostengünstige Bearbeitungsstromsteuerungseinheit kann konfiguriert werden.

Die vorliegende Erfindung kann zur Verhinderung einer statischen Kapazität in den beiden Zuführungsleitungen und der Induktivität davon aus der Resonanz im Moment, in welchem eine elektrische Entladung erzeugt wird, wirken.

Mit der vorliegenden Erfindung lässt sich das Fließen eines Einschaltstromstosses vermeiden.

Mit der vorliegenden Erfindung wird die erforderliche Zeit für die Abschaltung eines Stromes nicht verzögert, die Abnützung einer Elektrode auf Grund eines Umkehrstromes kann reduziert werden und die Resonanzspannung kommt nicht vor, was bewirkt, dass Geräusche auf eine tiefe Stufe unterdrückt werden und irgendwelche Störungen auf Grund von Geräuschen, welche auf Steuergeräte abgegeben werden, ebenso vermindert werden können.

Mit der vorliegenden Erfindung ist der Entladungsstrom gleich dem Sättigungsstrom, sodass nur eine winzige Menge Strom während einem Moment fliesst und ein Signal, das die Erzeugung einer elektrischen Entladung anzeigt, vor der Zunahme des Entladungsstroms erhalten werden kann und aus diesem Grund verschiedene Steuerungen vorgesehen werden können, unmittelbar bevor ein Entladungsstrom zunimmt.

Mit der vorliegenden Erfindung übt eine sättigbare Reaktanzspule überhaupt keinen Einfluss auf den Entladungsstrom aus, nachdem ein Signal ausgegeben wurde, das die Erzeugung einer elektrischen Entladung anzeigt, und ein Resonanzstrom im Moment, wenn die elektrische Entladung stattfindet, kommt kaum vor.

Mit der vorliegenden Erfindung kann, wenn der Unterbruch der elektrischen Entladung nachgewiesen wurde, eine Zeitdauer bis zum Beginn der nächsten elektrischen Entladung genau erhalten werden, sodass eine Hochpräzisionsfunkenerosion gesteuert werden kann.

Mit der vorliegenden Erfindung können, wenn jede Erzeugung einer elektrischen Entladung in mehreren Elektroden nachgewiesen wird, wichtige Signale, welche den Status der Funkenerosion oder eine Zuführungsgeschwindigkeit einer Elektrode oder dgl., die alle erforderlich sind, wenn die Funkenerosionsmaschine gesteuert wird, und mehrere Elektroden und Werkstücke können mit der gleichen Stromversorgung bearbeitet werden, sodass die Kosten der Stromversorgung reduziert werden können.

Mit der vorliegenden Erfindung lässt sich die Zunahme einer Kurve eines Entladungsstroms unmittelbar nach dem Erzeugen einer elektrischen Entladung zu einer beliebigen Kurve durch Kombination sämtliche sättigbaren Reaktanzspulen mit einfachem Aufbau steuern.

Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Sättigungsstrom, ebenso wie eine Stromzunahmekurve oder dgl., auf jede Elektrode angepasst und die Elektroden zusammen mit einem Werkzeug werden miteinander ausgetauscht, sodass es möglich ist, eine Wellenformsteuerungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine zu erhalten, welche eine Anpassung aller Bearbeitungsbedingungen für verschiedene Elektrodentypen von den kleinsten bis zu den grössten erlaubt.

Mit der vorliegenden Erfindung kann ein Bearbeitungsstrom durch ein Koaxialkabel zugeführt werden und solche Effekte für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit einer Stromversorgungseinheit für eine Funkenerosionsmaschine können z.B. erreicht werden: Verbesserung der Bearbeitungsgeschwin-

digkeit, Möglichkeit einer Mikrobearbeitung, Bearbeitung mit starkem Strom mit einer grossen Elektrodenart, Verhinderung, dass Rauschen nach aussen ausgestrahlt wird oder Möglichkeit der Zuführung eines Stromes von einem fernen Hilfsaggregat, wobei die Leitungsfähigkeit der Bearbeitung dramatisch erhöht werden kann.

Mit der vorliegenden Erfindung kann die Bearbeitung durchgeführt werden, indem mehrere Elektroden miteinander verbunden werden mit einer einzigen Stromversorgung, was es ermöglicht, dass eine elektrische Funkenerosion auf einem grossflächigen Bereich mit hoher Präzision und mit tiefen Kosten durchgeführt werden kann. Mit der vorliegenden Erfindung kann die Bearbeitung durchgeführt werden, indem Elektroden in mehreren Bearbeitungsgeräten für eine Zusammenarbeit verbunden werden, wobei nur ein einzige Stromversorgung erforderlich ist, sodass mehrere Werkstücken mit einer unterschiedlichen Form gleichzeitig mit der gleichen Stromversorgung bearbeitet werden können.

Mit der vorliegenden Erfindung kann eine willkürliche Steigungskurve für einen Entladungsstrom erhalten werden, sodass ein Strom gemäss einer passenden zunehmenden Kurve an mehreren Elektroden oder Werkstücken angepasst werden kann und mit diesem Merkmal ausgezeichnete Effekte erzielt werden können, wie eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit und eine tiefe Abnützung der Elektrode oder dgl. erhalten wird.

Diese Anmeldung basiert auf der japanischen Patentanmeldung Nr. HEI 9-057 688, die im Japanischen Patentamt am 12. März 1997 eingereicht wurde, wobei der gesamte Inhalt durch diese Referenz in der vorliegenden Anmeldung umfasst werden soll.

Obschon die Erfindung unter Bezugnahme einer spezifischen Ausführungsform für eine vollständige und klare Offenbarung beschrieben worden ist, sollen die nachstehenden Ansprüche nicht darauf eingeschränkt werden, sondern sollen alle Modifikationen und alternativen Konstruktionen umfassen, die für den Fachmann aus diesen Unterlagen hervorgehen und welche unter die hier offenbarte Lehre fallen.

Patentansprüche

1. Funkenerosionsmaschine zum Erzeugen einer elektrischen Entladung in einem Raum zwischen einer oder mehreren Elektroden (5) und einem oder mehreren Werkstücken (4) zur Bearbeitung von einem oder mehreren Werkstücken (4), wobei mindestens eine sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113) in eine Zuführungsleitung (8A, 8B) eingefügt ist, für die Zufuhr einer Bearbeitungsenergie aus einer Bearbeitungsstromversorgung (7) zur einen oder den mehreren Elektroden (5), ebenso wie zum einen oder den mehreren Werkstücken (4) und die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) durch einen Strom angeregt wird, welcher entgegengesetzt zum Entladungsstrom ist.

2. Funkenerosionsmaschine gemäss Anspruch 1, welche eine Spannung nachweist, welche in einem elektrischen Draht erzeugt wird, welcher in die sät-

tigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) eindringt oder um diese gewickelt ist, um sie anzuregen und dass er die nachgewiesene Spannung als Signal zum Nachweis der Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen einer Elektrode (5) und einem Werkstück (4) ausgibt.

3. Funkerosionsmaschine gemäss Anspruch 1, welche eine Spannung nachweist, welche in einem elektrischen Draht gebildet wird, welche in die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) eindringt oder darum herum gewunden ist, um sie anzuregen und die nachgewiesene Spannung als Signal ausgibt, das den Unterbruch der elektrischen Entladung zwischen einer Elektrode (5) und einem Werkstück (4) anzeigt.

4. Funkerosionsmaschine gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, worin die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) mehrere sättigbare Reaktanzspulen umfasst, wobei jede eine unterschiedliche magnetische Pfadlänge aufweist.

5. Funkerosionsmaschine gemäss Anspruch 4, worin die zum Erzielen eines Signals zum Nachweis der Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen einer Elektrode (5) und einem Werkstück (4) vorgesehene sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) bei mehreren sättigbaren Reaktanzspulen jeweils mit einer unterschiedlichen magnetischen Pfadlänge, eine mit der kürzesten magnetischen Pfadlänge ist.

6. Funkerosionsmaschine gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, worin die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) eine Form aufweist, welche im zentralen Abschnitt in der axialen Richtung einen grossen Durchmesser aufweist und in der Position der beiden Enden eine Form mit einem kleinen Durchmesser besitzt.

7. Funkerosionsmaschine gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, worin die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) mehrere sättigbare Reaktanzspulen umfasst, wobei jede eine unterschiedliche Anzahl von Wicklungen der Zuführungsleitung darum herum aufweist.

8. Funkerosionsmaschine gemäss Anspruch 7, worin die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) vorgesehen ist, um ein Signal zu erhalten, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen einer Elektrode (5) und einem Werkstück (4) anzeigt, wobei von den mehreren sättigbaren Reaktanzspulen jede eine unterschiedliche Anzahl von Windungen der Zuführungsleitung darum herum aufweist, wobei eine die grösste Anzahl von Windungen der Zuführungsleitung besitzt.

9. Funkerosionsmaschine gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, worin die zum Erzielen eines Signals zum Nachweis der Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen einer Elektrode (5) und einem Werkstück (4) vorgesehene sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120), sich in einer Position in der Nähe der Elektrode (5) oder des Werkstücks (4) befindet, und eine weitere sättigbare Reaktanzspule sich in einer Position in der Nähe der Ausgangsseite der Bearbeitungsstromversorgung (7) befindet.

10. Funkerosionsmaschine gemäss Anspruch 1 für die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwi-

schenden mehreren Elektroden (5) und mehreren Werkstücken (4) zur Bearbeitung der mehreren Werkstücke (4), wobei eine sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) in jede der Zuführungsleitungen (8A, 8B) zum Zuführen einer Bearbeitungsenergie von der Bearbeitungsstromversorgung zu den Elektroden (5) und zu den Werkstücken (4) eingefügt ist, und die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) durch einen Strom angeregt wird, der dem Entladungsstrom entgegengesetzt ist.

11. Funkerosionsmaschine gemäss Anspruch 10, worin jede der zum Erzielen eines Signals zum Nachweis der Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen mehreren Elektroden (5) und mehreren Werkstücken (4) vorgesehenen sättigbaren Reaktanzspulen (111, 112, 113, 120), in jede der Zuführungsleitungen (8A, 8B) zum Leiten eines Bearbeitungsstroms von einer Bearbeitungsstromversorgung (7) zur Elektrode (5) und auch zum Werkstück (4) bestimmt sind, eingefügt ist, derart, dass jede sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) durch einen Strom angeregt werden kann, der dem Entladungsstrom entgegengesetzt ist, und eine Spannung nachweisen kann, die in elektrischen Drähten erzeugt wird, welche zu ihrer Anregung die sättigbare Reaktanzspulen (111, 112, 113, 120) durchdringen oder darum herum gewickelt sind, und die nachgewiesene Spannung als Signal, welches die Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen jeder der Elektroden (5) bzw. dem Werkstück (4) anzeigt, ausgegeben werden kann.

12. Funkerosionsmaschine gemäss einem der Ansprüche 1 bis 11, worin ein Mittel für die Anregung der sättigbaren Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) in einer seriellen Anordnung vorliegt, welche einen Widerstand (110) und eine Gleichstromversorgung (140) umfasst.

13. Funkerosionsmaschine gemäss einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) solche Dimensionen eines inneren Durchmessers aufweist, dass in diesem Abschnitt ein Werkzeuges (260) für das Anbringen einer Elektrode (5) an ein Elektrodenzufuhrmittel (6) angesetzt werden kann, und durch eine isolierende Stütze (261) gehalten wird.

14. Funkerosionsmaschine nach Anspruch 2, worin in einer sättigbaren Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) von einer Zuführungsleitung (8A, 8B) zum Zuführen einer Bearbeitungsenergie von einer Bearbeitungsstromversorgung (7) zu einer Elektrode (5) und zu einem Werkstück (4), die diese durchdringt oder hierum gewickelt ist, ein getrennt von der oben beschriebenen Zuführungsleitung (8A, 8B) vorgesehener elektrischer Draht die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) durchdringend oder hierum gewickelt, mit einer Kernleitung eines Koaxialkabels (36) sowie mit einer Abschirmung hiervon verbunden ist, eine Serienanordnung eines Widerstands (115) und einer Gleichstrom-Stromversorgung (116) mit dem anderen Ende des Koaxialkabels so verbunden ist, dass die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) durch einen Strom angeregt ist, der umgekehrt zu einem Entladungsstrom verläuft, und ein Signal zum Anzeigen einer

Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen der Elektrode (5) und dem Werkstück (4) durch Vergleich einer Spannung zwischen einer Kernleitung an dem anderen Ende des Koaxialkabels (36) und der Abschirmung mit einem festgelegten Wert

15. Funkenerosionsmaschine nach Anspruch 3, worin in eine sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) mit einer Zuführungsleitung (8A, 8B) zum Zuführen einer Bearbeitungsenergie von einer Bearbeitungsstromversorgung (7) zu einer Elektrode (5) und zu einem Werkstück (4), diese durchdringend oder hierum gewickelt, ein getrennt von der Zuführungsleitung (8A, 8B) vorgesehener elektrischer Draht, die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) durchdringend oder hierum gewickelt, mit einer Kernleitung und einer Abschirmung hiervon verbunden ist, eine Serienanordnung eines Widerstands (115) und einer Gleichstrom-Stromversorgung mit dem anderen Ende des Koaxialkabels so verbunden ist, dass die sättigbare Reaktanzspule (111, 112, 113, 120) durch einen Stromangeregt ist, der umgekehrt zu einem Entladungsstrom ist, und ein Signal zum Anzeigen des Stoppens einer elektrischen Entladung zwischen der Elektrode (5) und dem Werkstück (4) durch Vergleich einer Spannung zwischen der Kernleitung bei dem anderen Ende des Koaxialkabels (36) und der Abschirmung mit einem fest gelegten Wert erzielbar ist.

16. Funkenerosionsmaschine nach Anspruch 14 oder 15, worin der Widerstandswert eines Widerstands in einer Serienanordnung des Widerstands (115) mit einer Gleichstromversorgung (116) auf denselben Wert wie der Wellenwiderstand des Koaxialkabels (36) festgelegt ist.

17. Funkenerosionsmaschine nach Anspruch 11 worin eine Serienanordnung eines Widerstands (115) und einer Gleichstrom-Stromversorgung mit jedem der elektrischen Drähte verbunden ist, die getrennt von den Zuführungsleitungen (8A, 8B) vorgesehen sind und jede der mehreren sättigbaren Reaktanzspulen (111, 112, 113, 120) durchdringen oder hierum gewickelt sind, die jeweils eine unterschiedliche magnetische Pfadlänge aufweisen oder eine unterschiedliche Zahl von Wicklungen einer der Zuführungsleitungen (8A, 8B) zum Zuführen einer Bearbeitungsenergie von einer Bearbeitungsstromversorgung zu der Elektrode (5) und zu dem Werkstück (4), sodass jede der mehreren sättigbaren Reaktanzspulen (111, 112, 113, 120) durch einen Strom angeregt ist, der umgekehrt seinem Entladungsstrom ist und eine Anstiegskurve des Entladungsstroms an eine Kurve angeglichen ist, die sich für die Funkenerosionsbearbeitung eignet.

18. Funkenerosionsmaschine nach Anspruch 17, worin eine Anstiegskurve des Entladungsstroms an eine Kurve angeglichen ist, die sich für die Funkenerosionsbearbeitung eignet, durch Verändern des Widerstandswerts des Widerstands (115) oder der Spannung der Gleichstrom-Stromversorgung (116).

19. Funkenerosionsmaschine nach Anspruch 11, worin Schalter (250, 251) parallel zu elektrischen Drähten vorgesehen sind, die getrennt von den Zuführungsleitungen (8A, 8B) vorgesehen sind und die sättigbaren Reaktanzspulen (111, 112, 113, 120)

durchdringen oder hierum gewickelt sind, und dass die Anstiegskurve eines Entladungsstroms an eine Kurve angeglichen ist, die sich für die Funkenerosionsbearbeitung eignet, durch Verändern der Kombination der Anschalt- und Abschaltzustände der Schalter (250, 251).

20. Funkenerosionsmaschine nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass Schalter (250, 251) parallel zu den Zuführungsleitungen (8) vorgesehen sind, die mehreren sättigbaren Reaktanzspulen (111, 112, 113, 120) durchdringen oder hierum gewickelt sind, und die Anstiegskurve eines Entladungsstroms an eine Kurve angeglichen ist, die sich für die Funkenerosionsbearbeitung eignet, durch Ändern der Kombination der Anschalt- und Abschaltzustände der Schalter (250, 251).

FIG.1

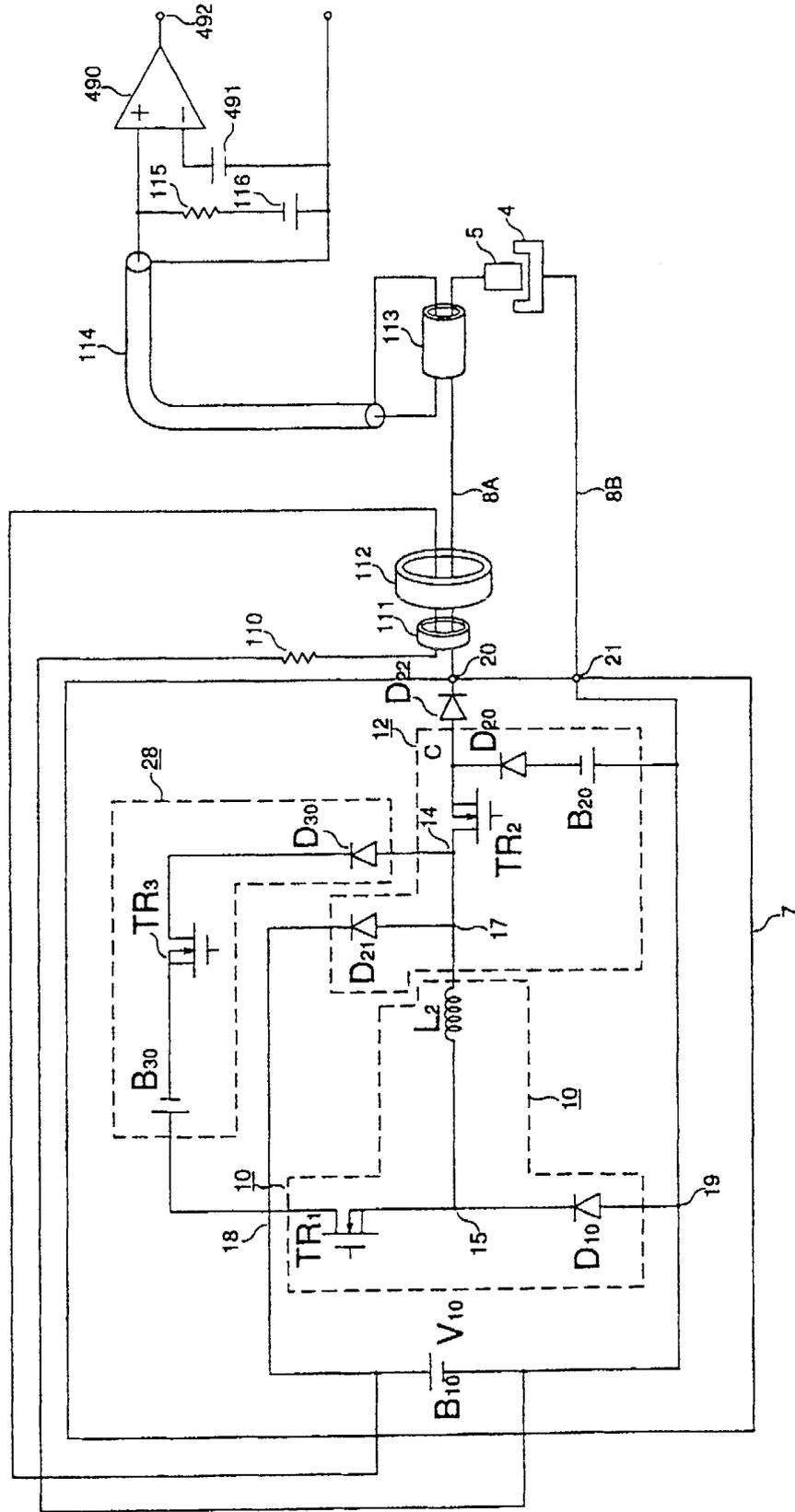


FIG.2

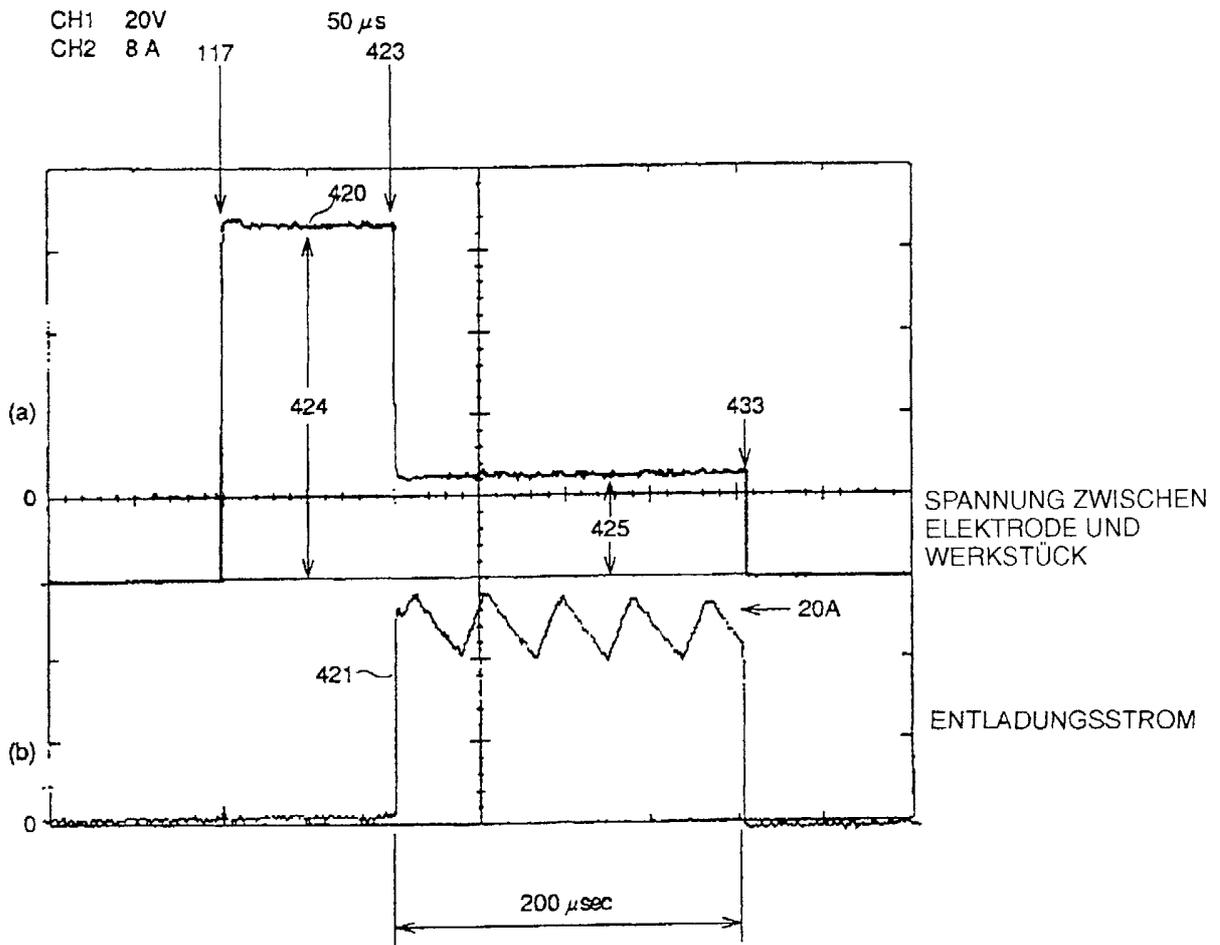


FIG.3

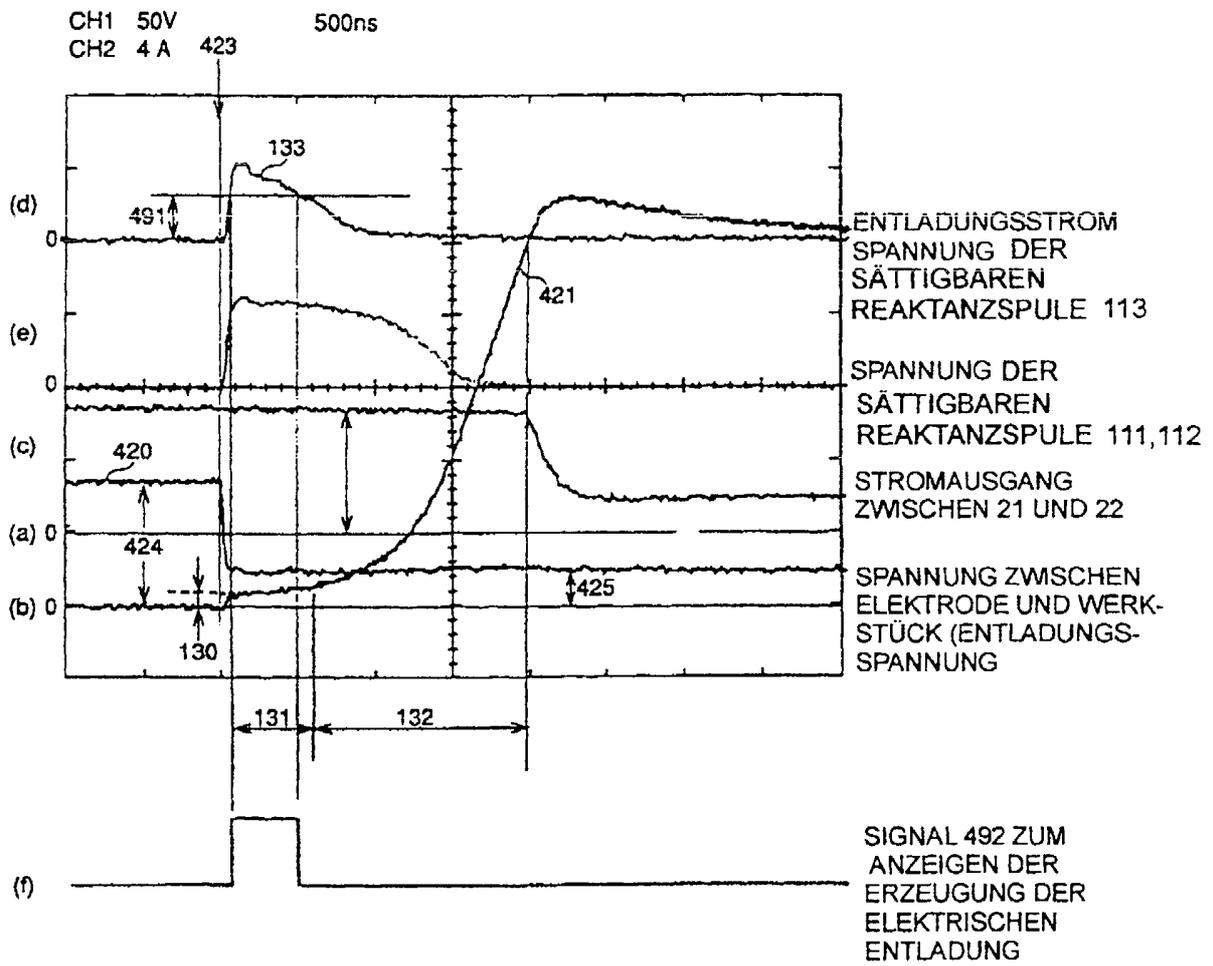


FIG.4

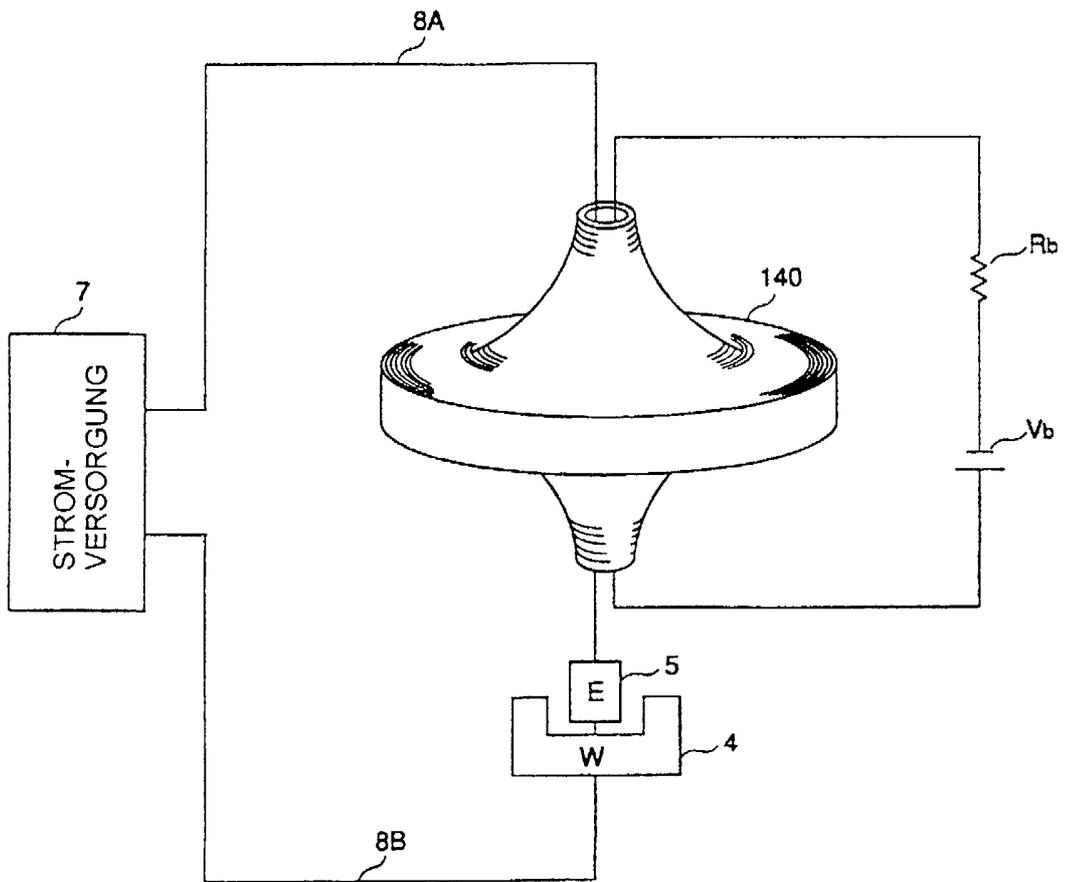


FIG.5

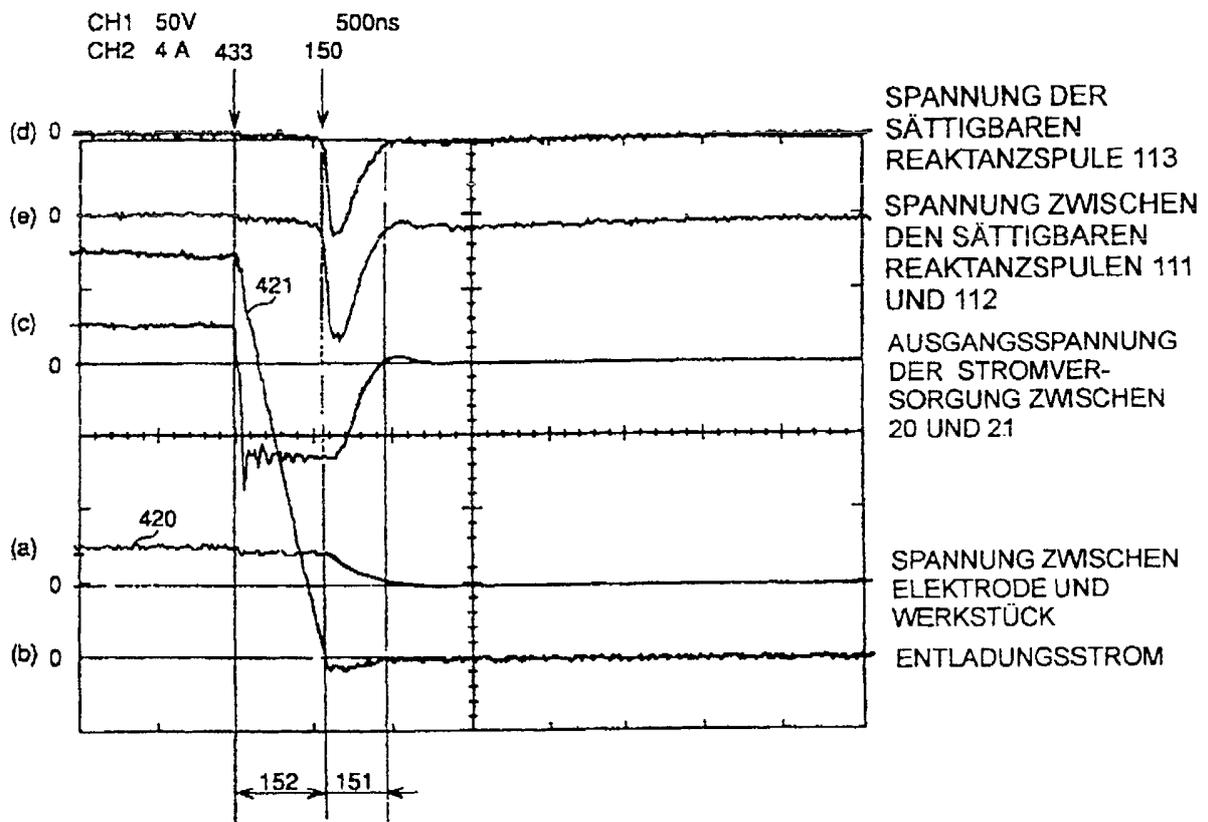


FIG.6

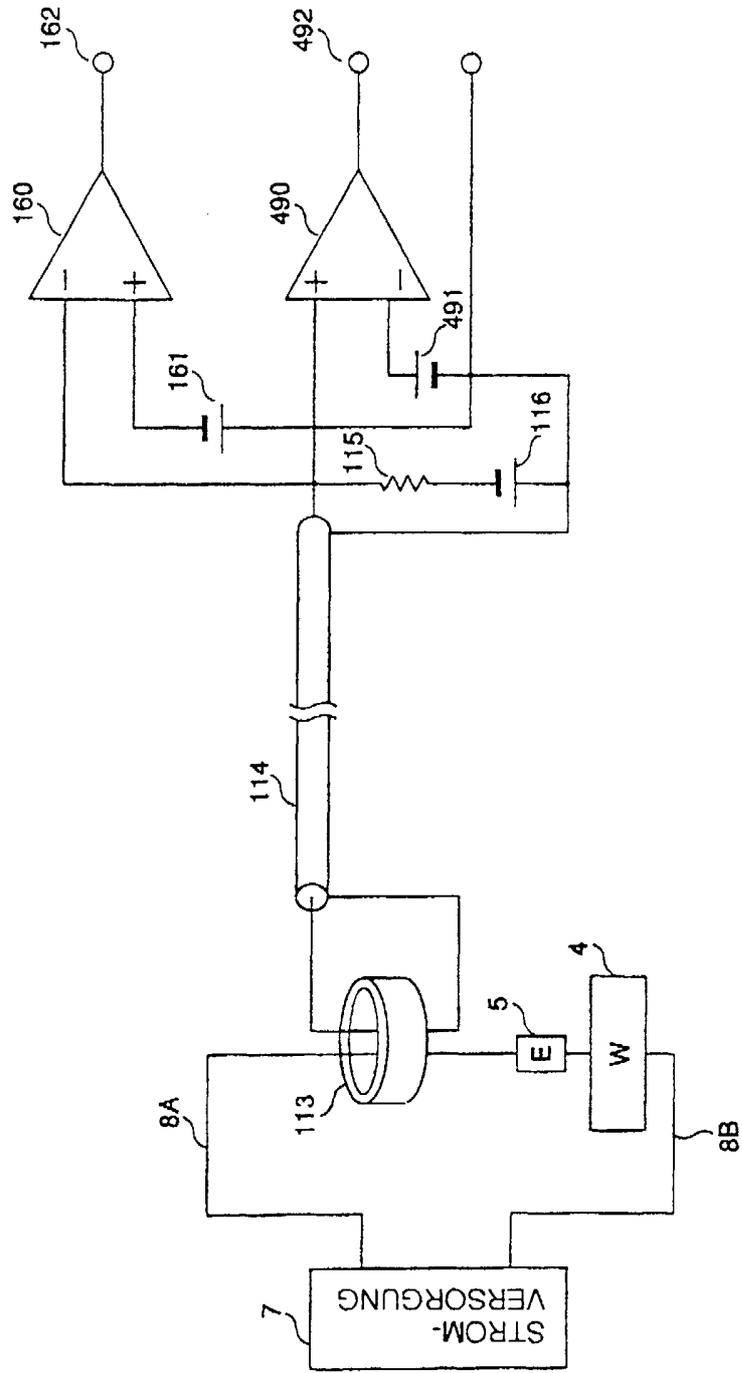


FIG.7

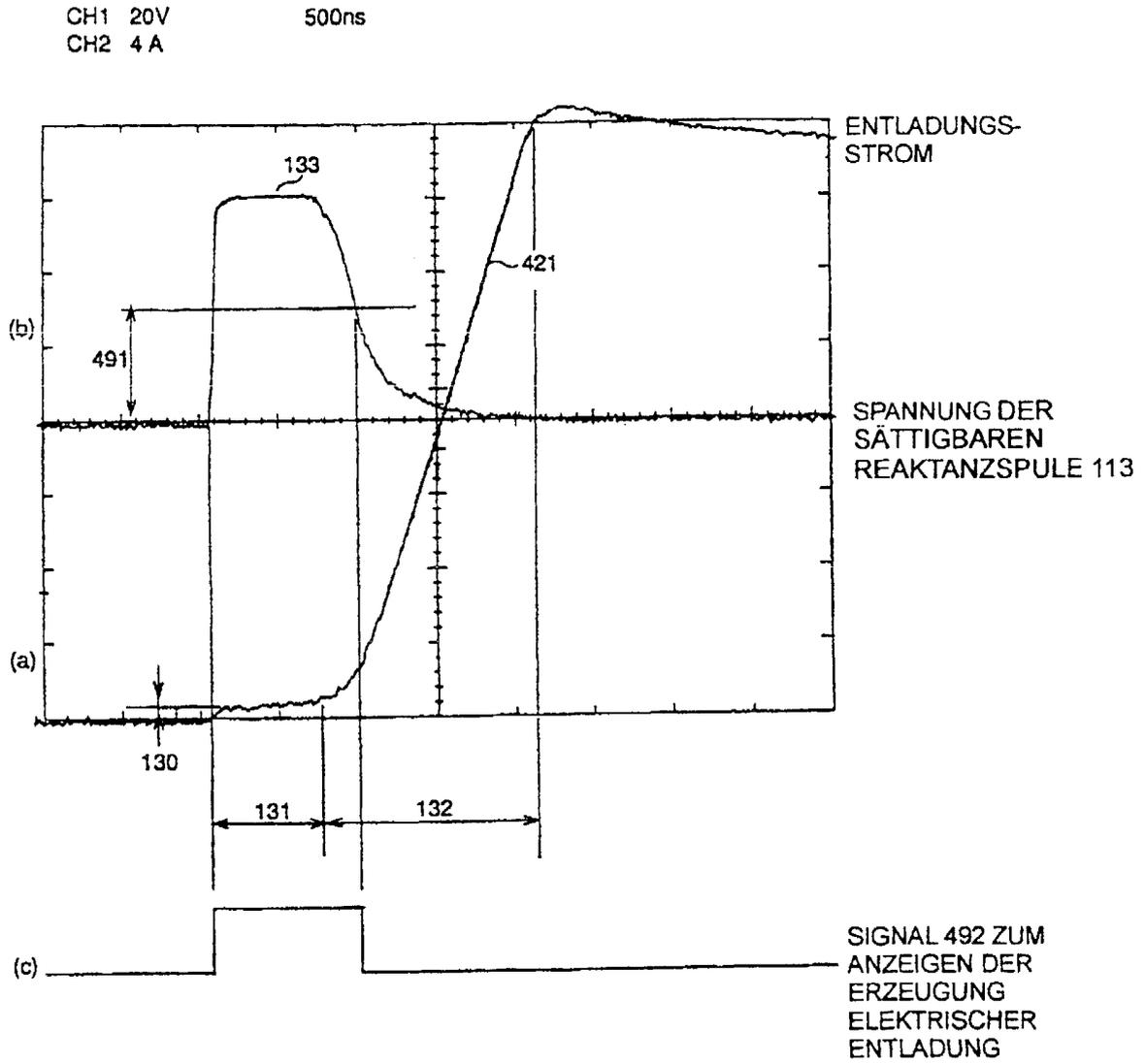


FIG.8

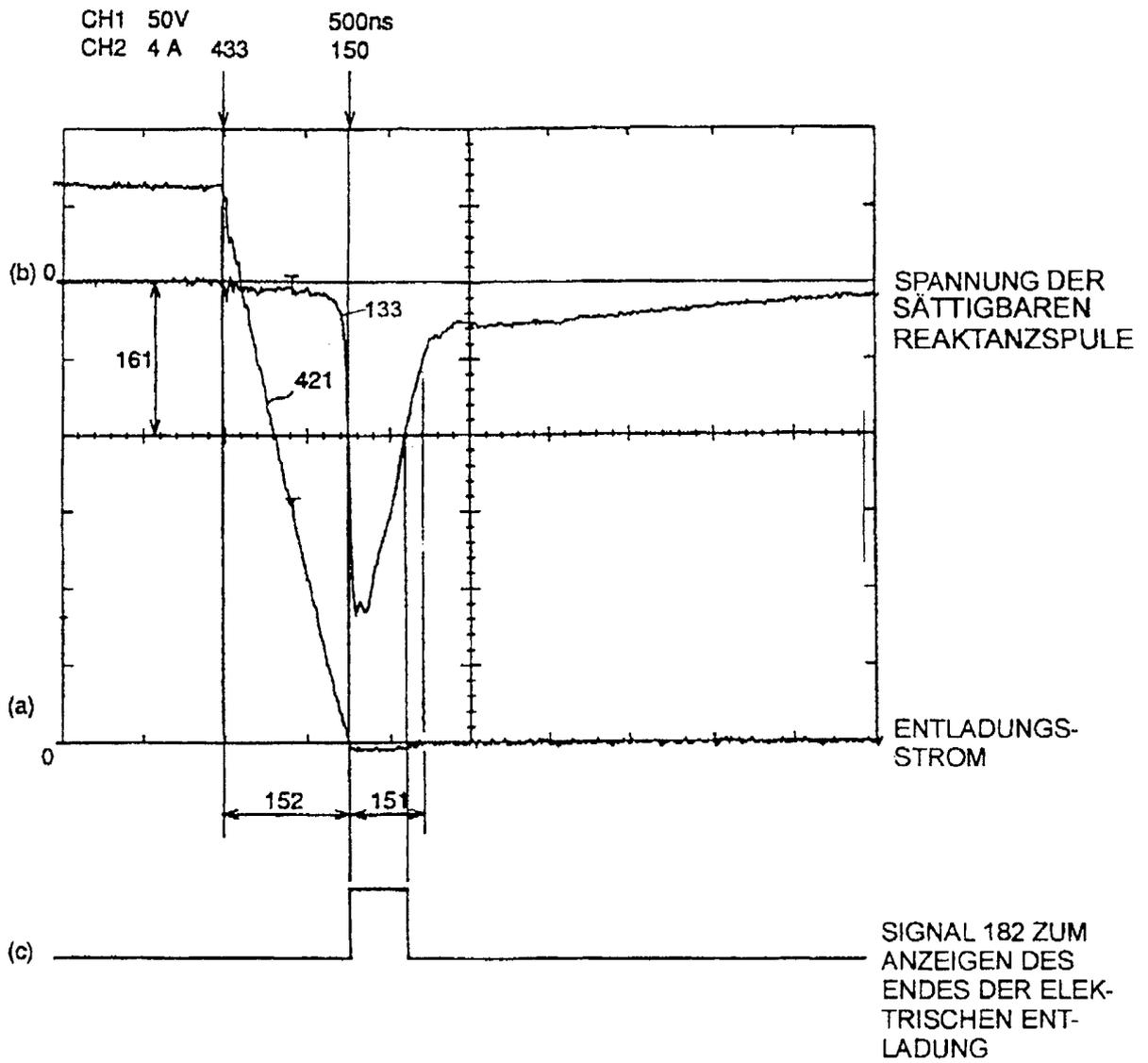


FIG.9

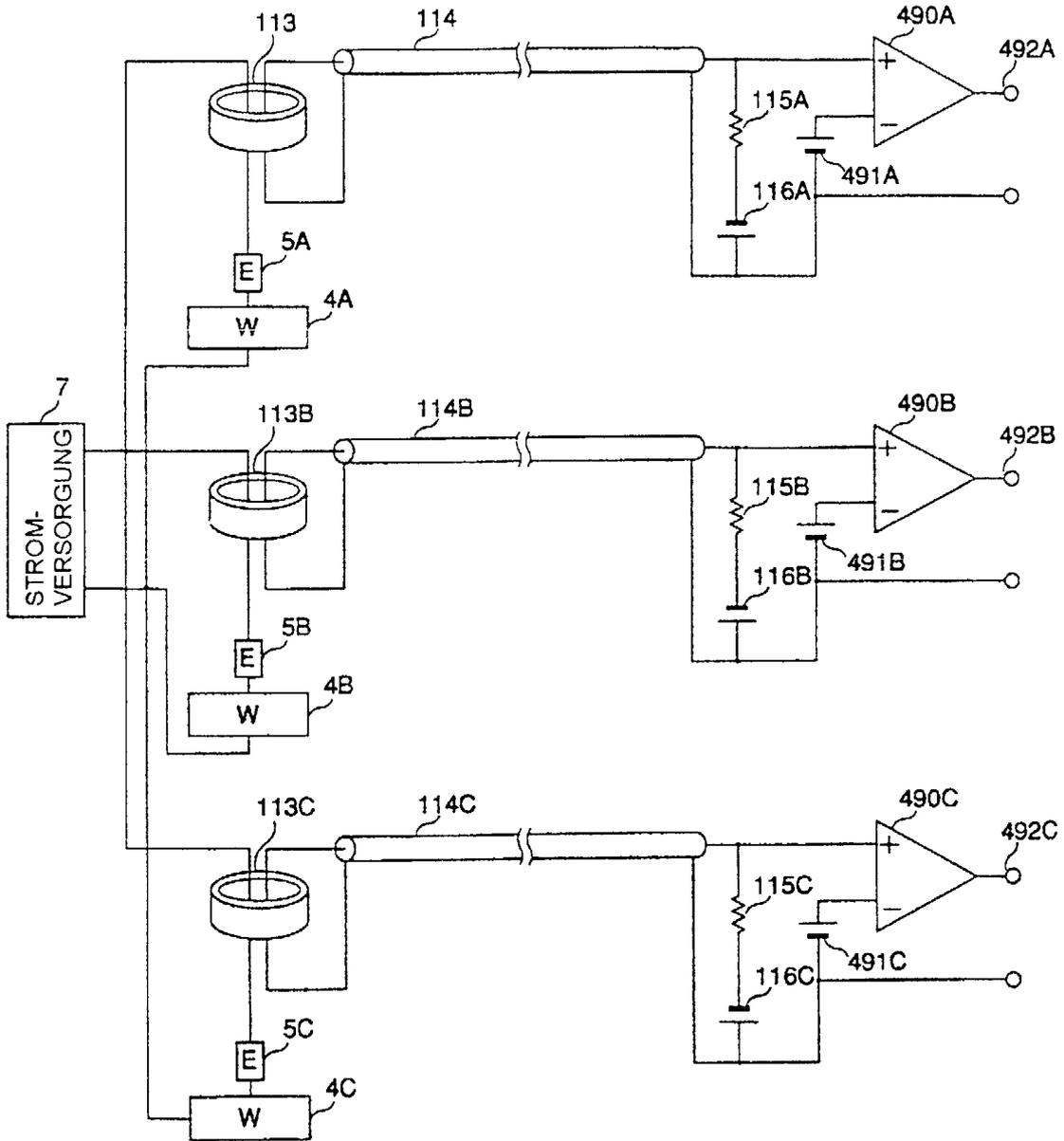


FIG.10

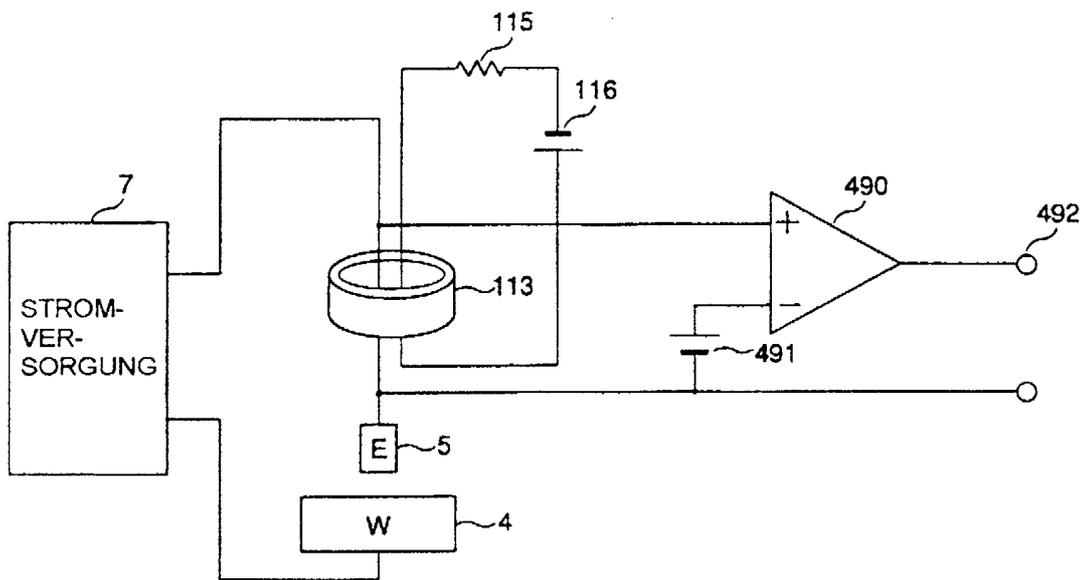


FIG.11

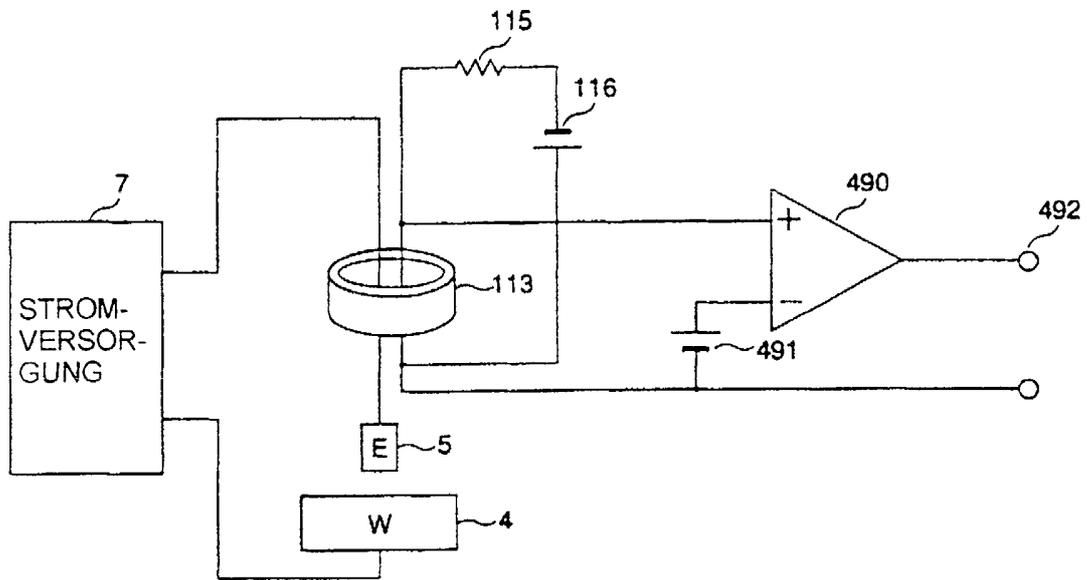


FIG.12

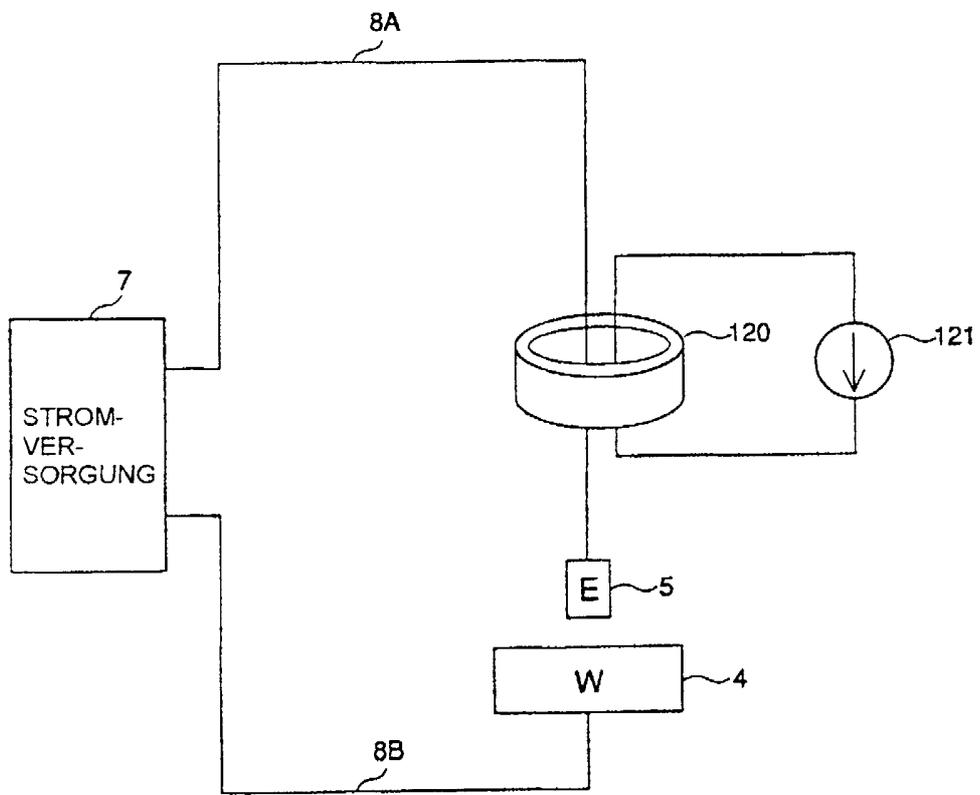


FIG.13

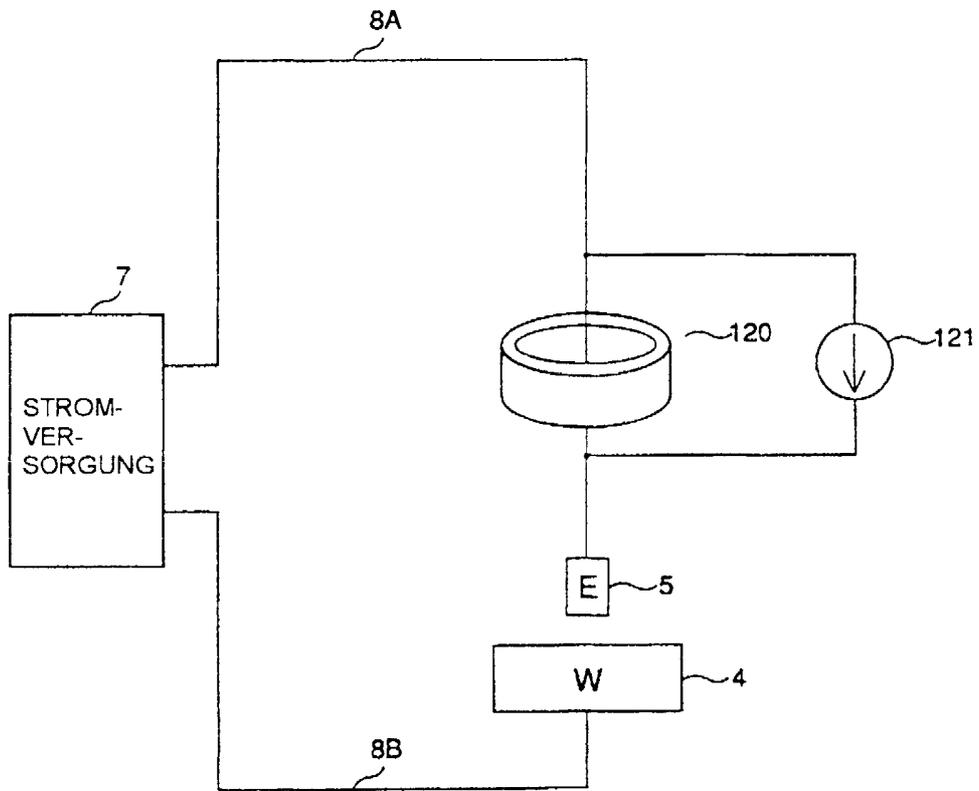


FIG.14

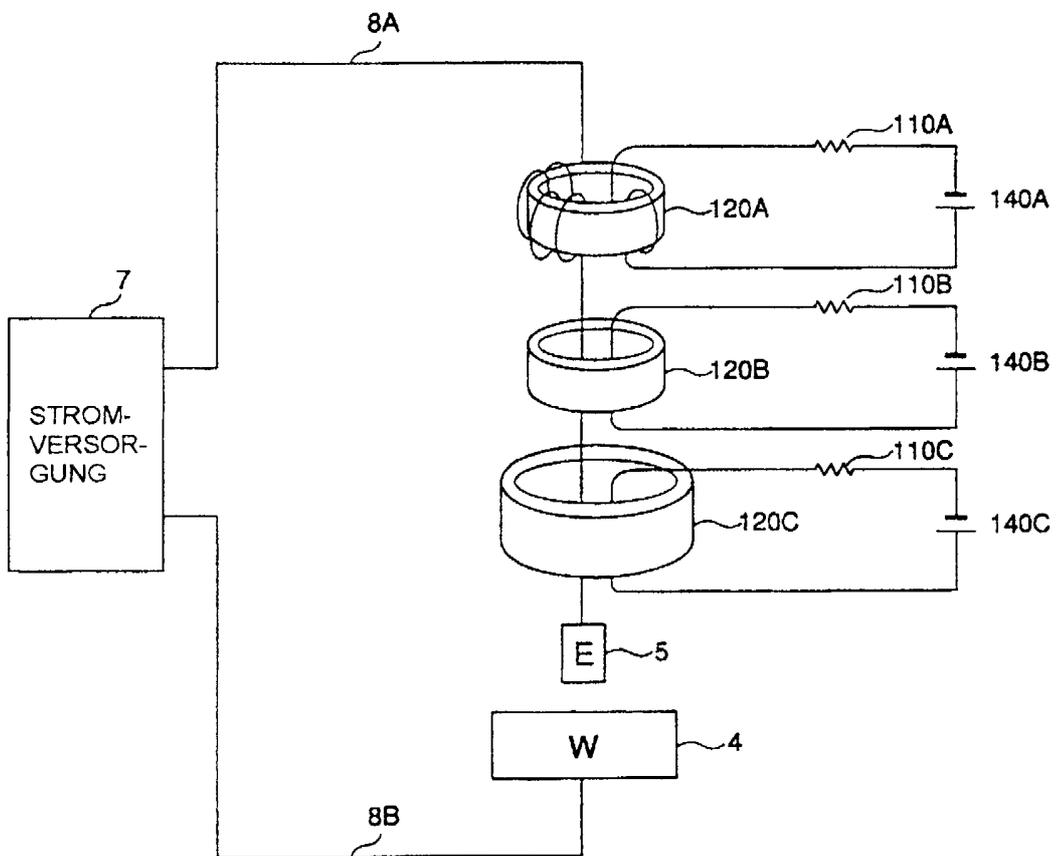


FIG.15

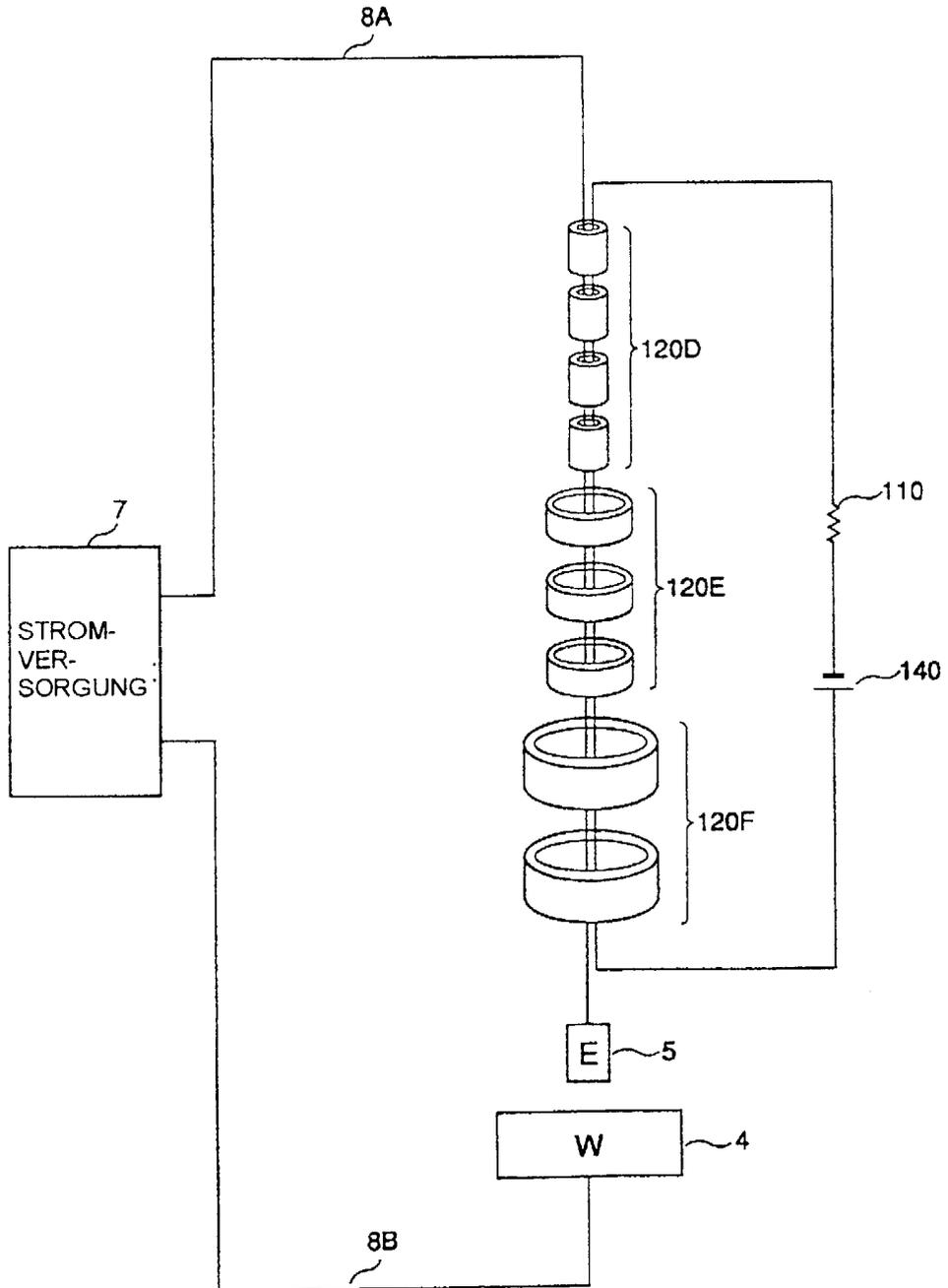


FIG.16

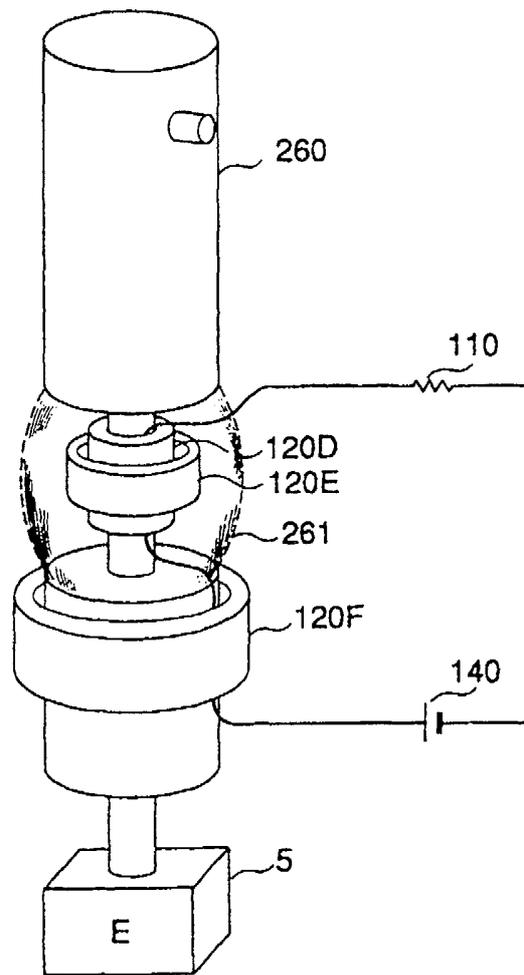


FIG.17

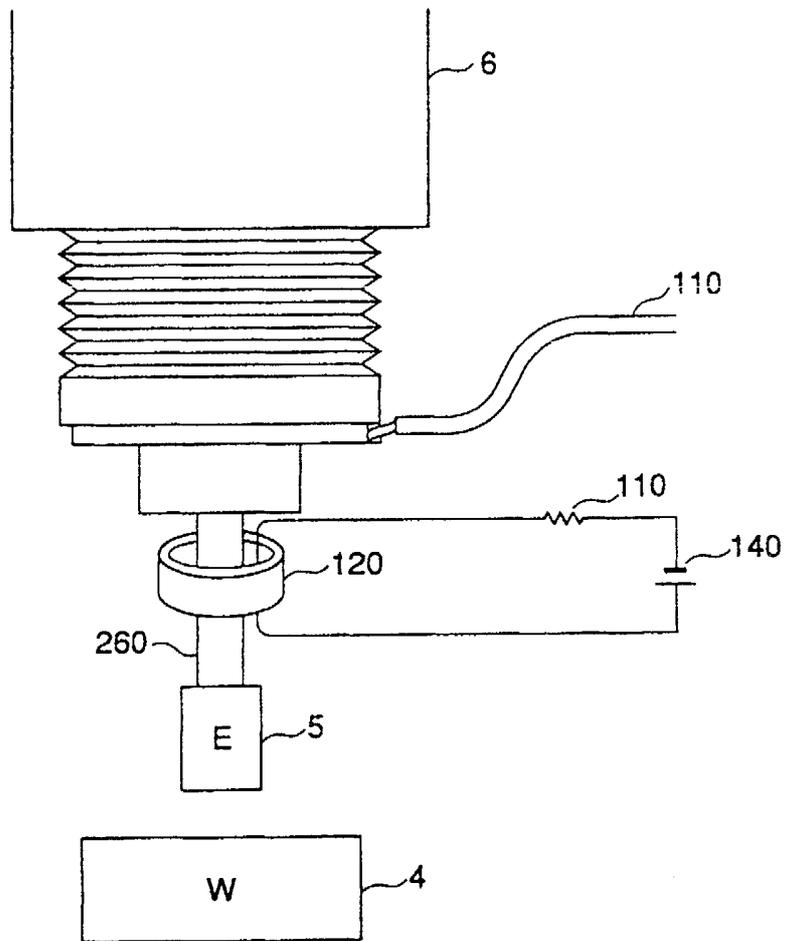


FIG.18

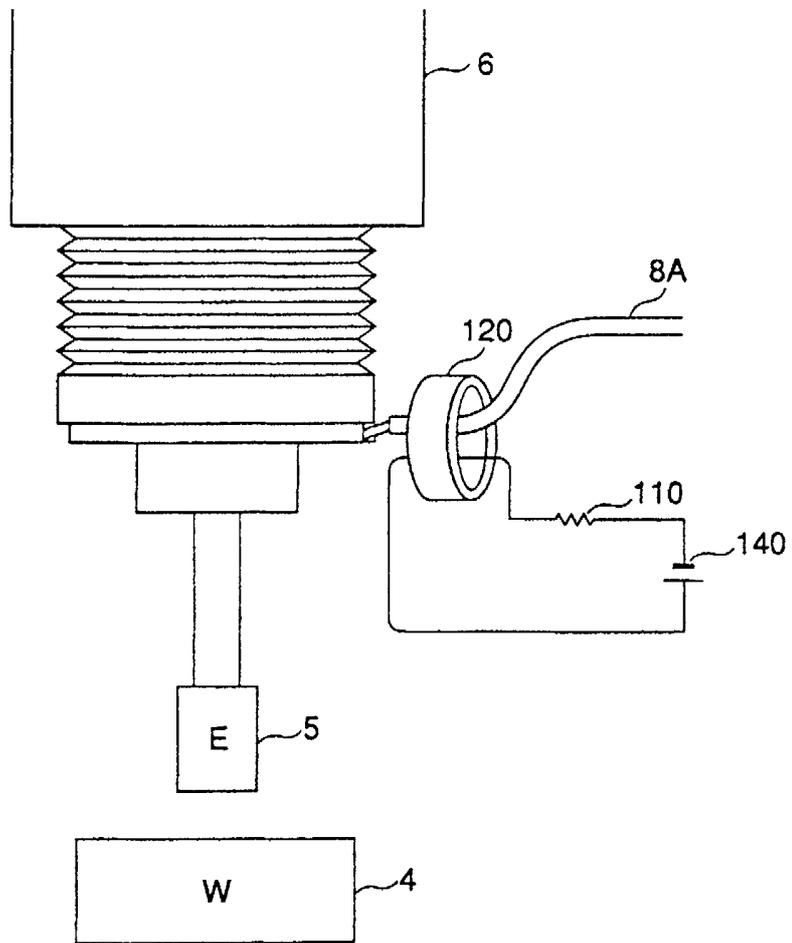


FIG.19

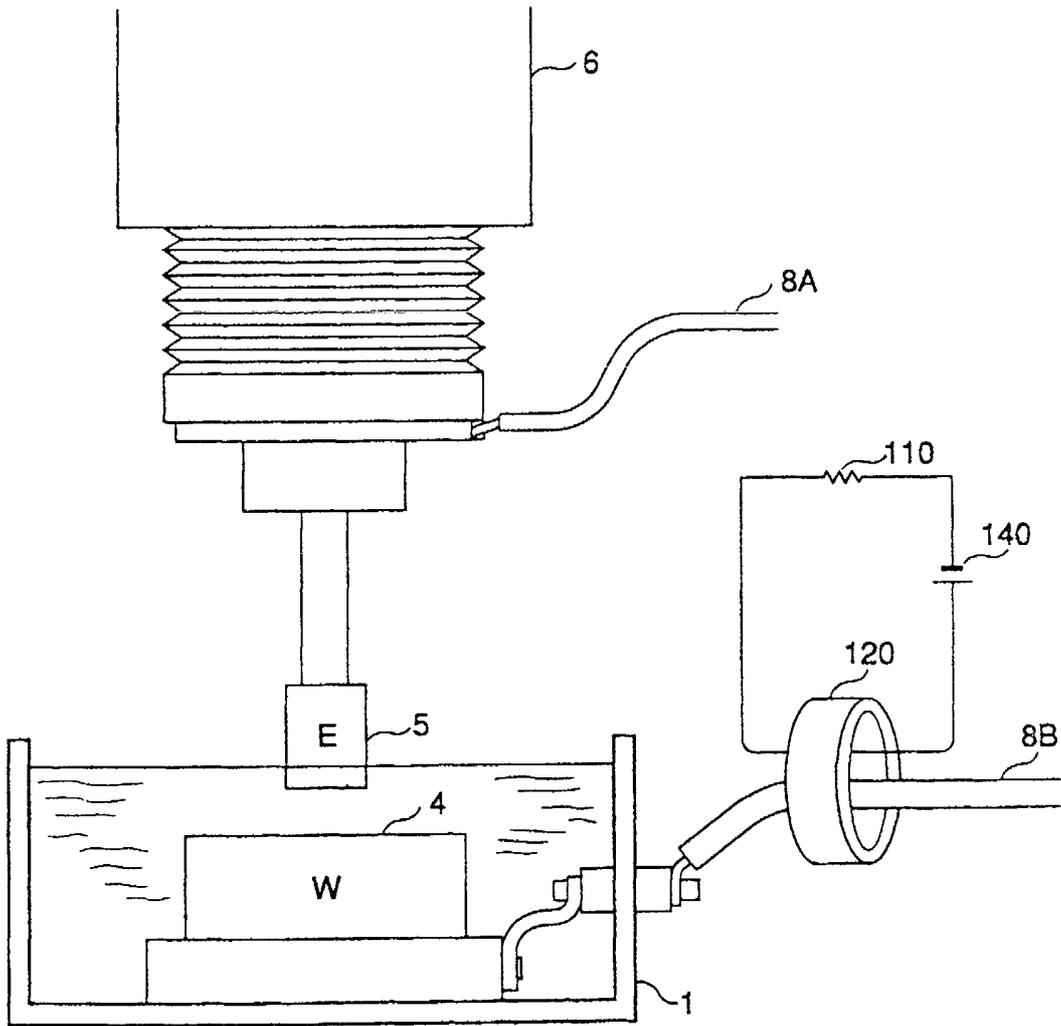


FIG.20

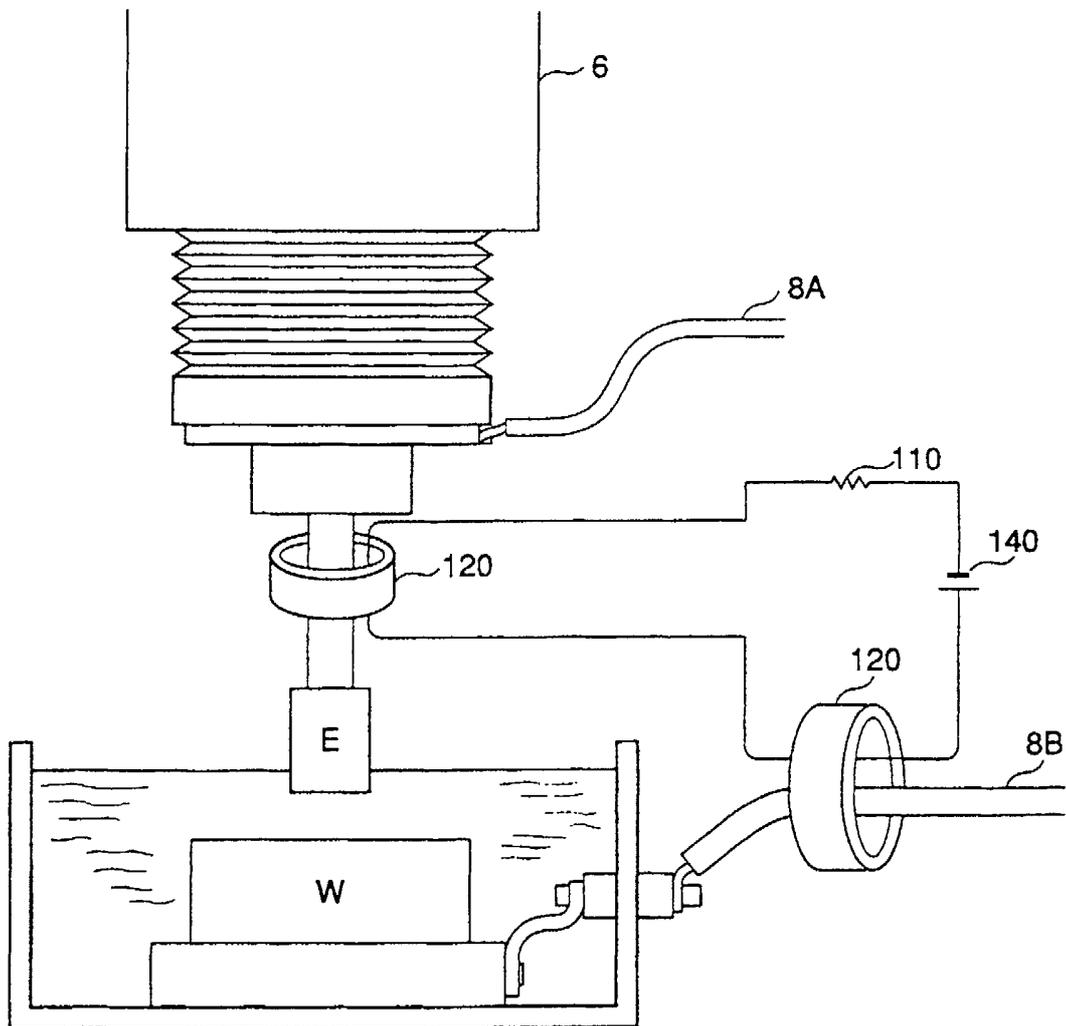


FIG.21

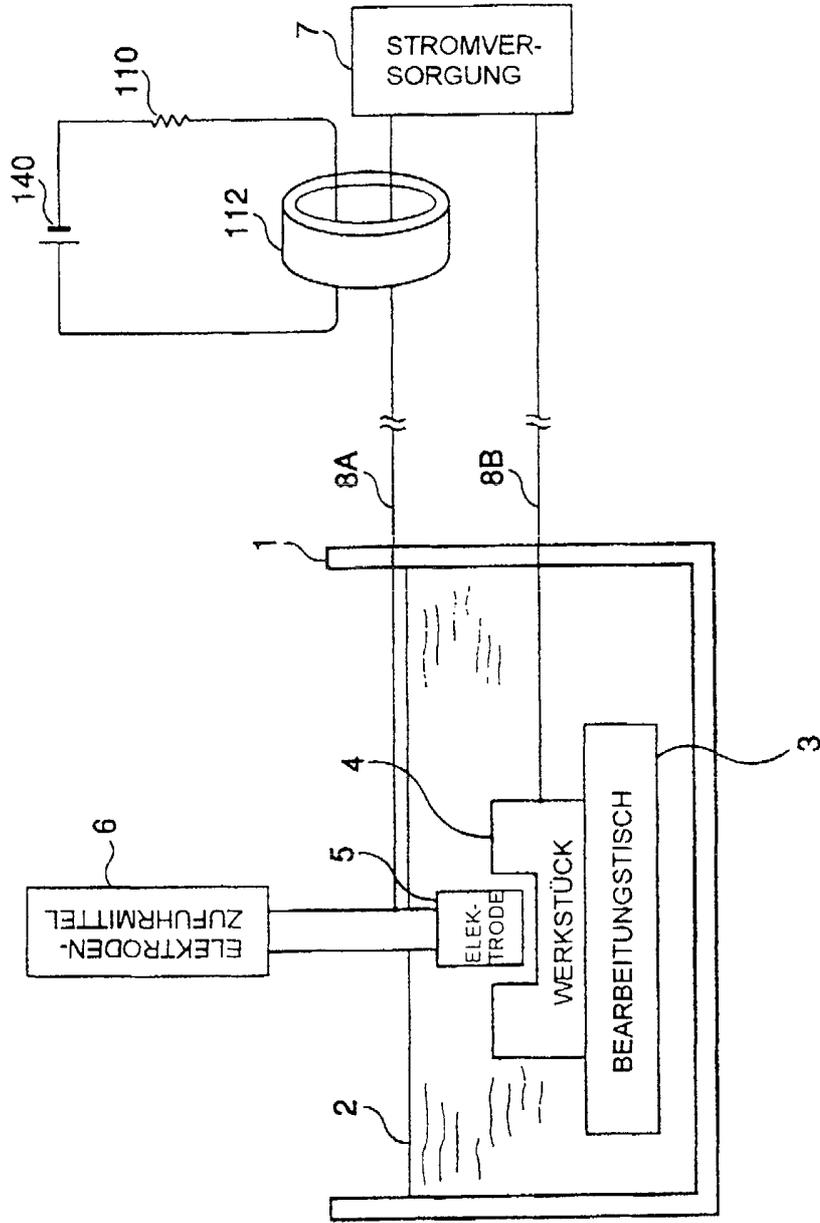


FIG.22

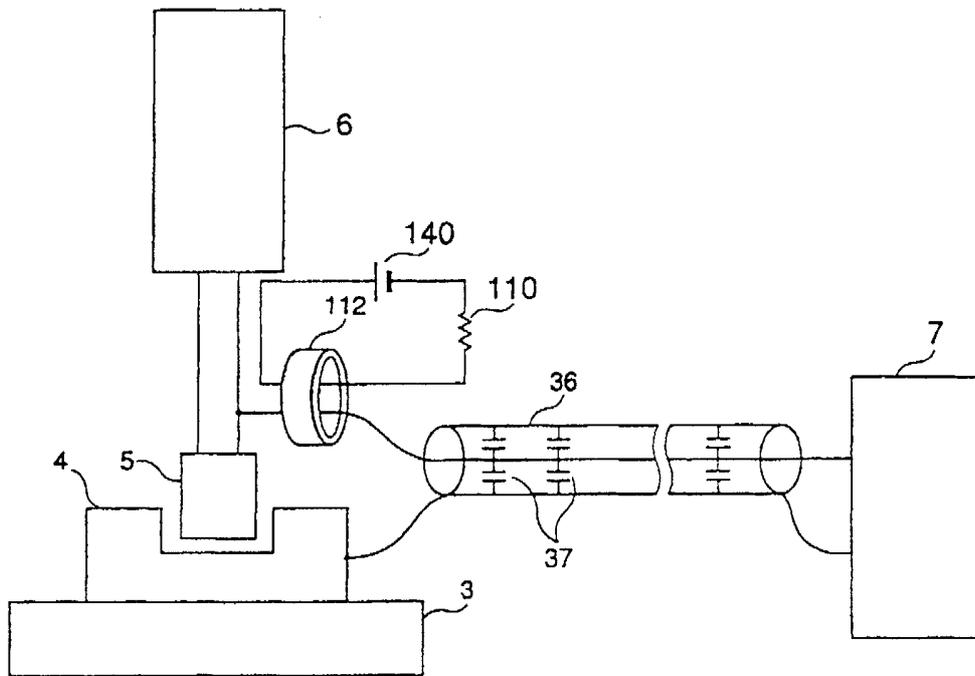


FIG.23

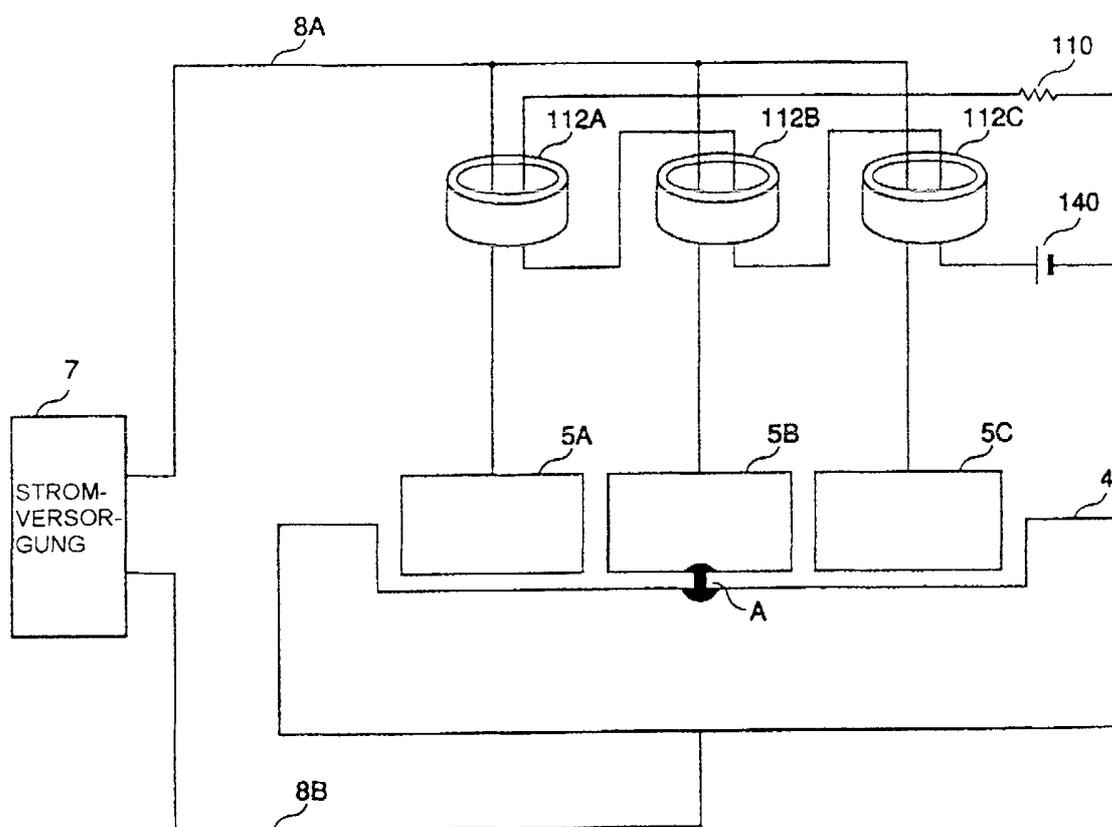


FIG.24

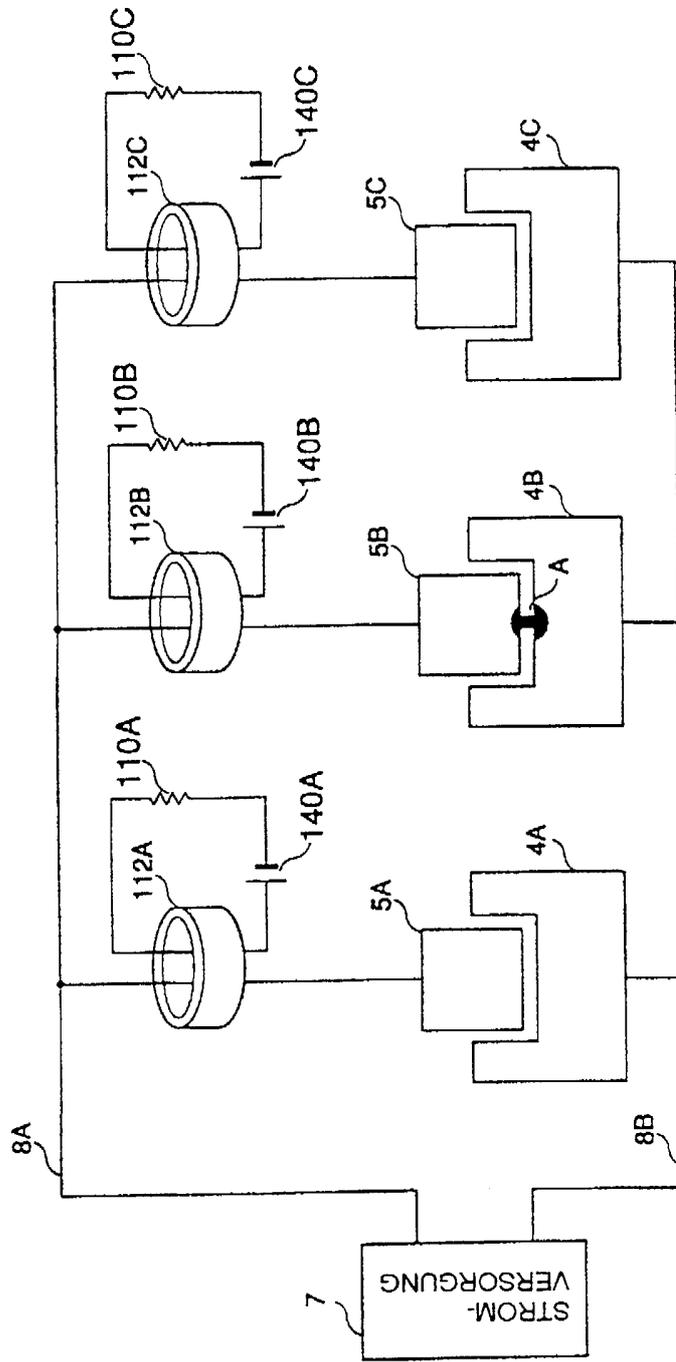


FIG.25

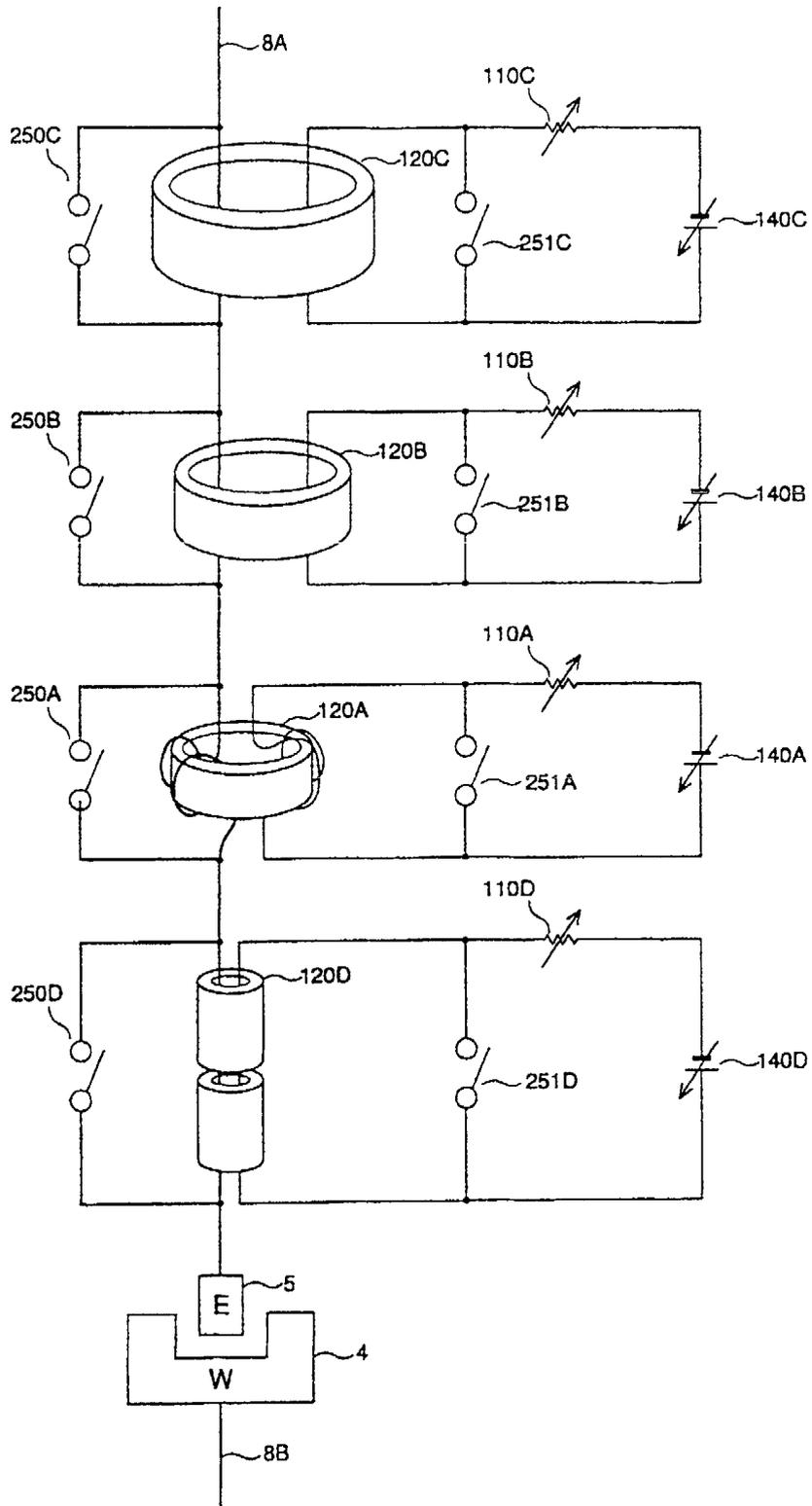


FIG.26

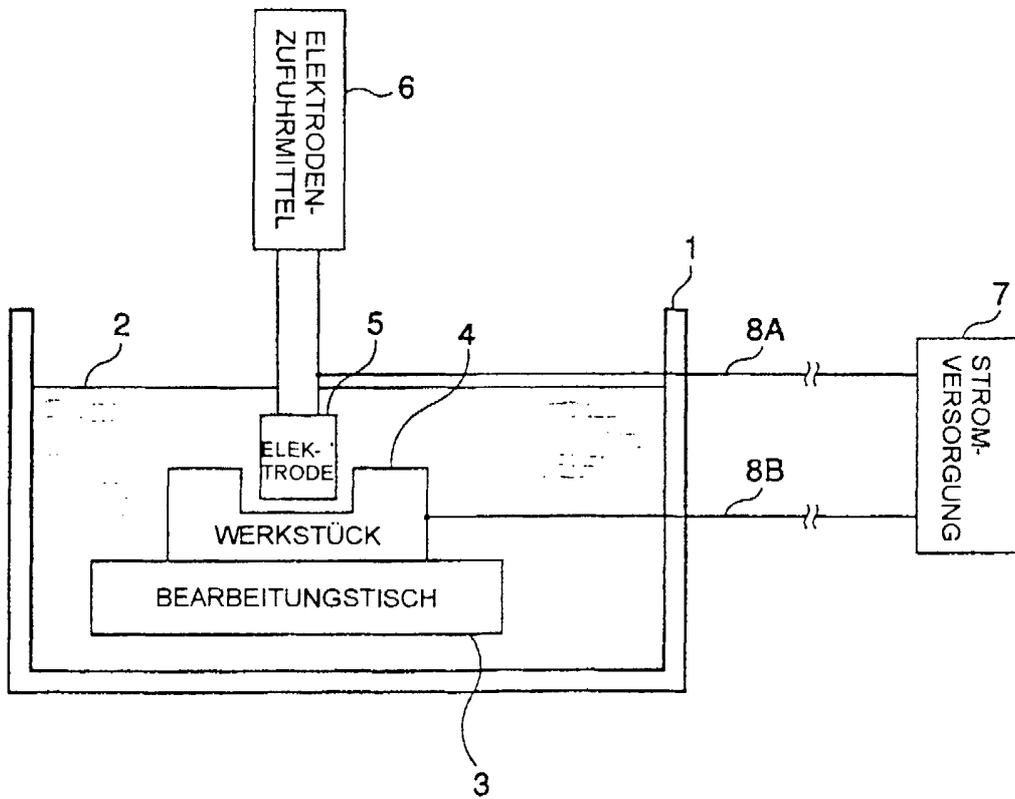


FIG.27

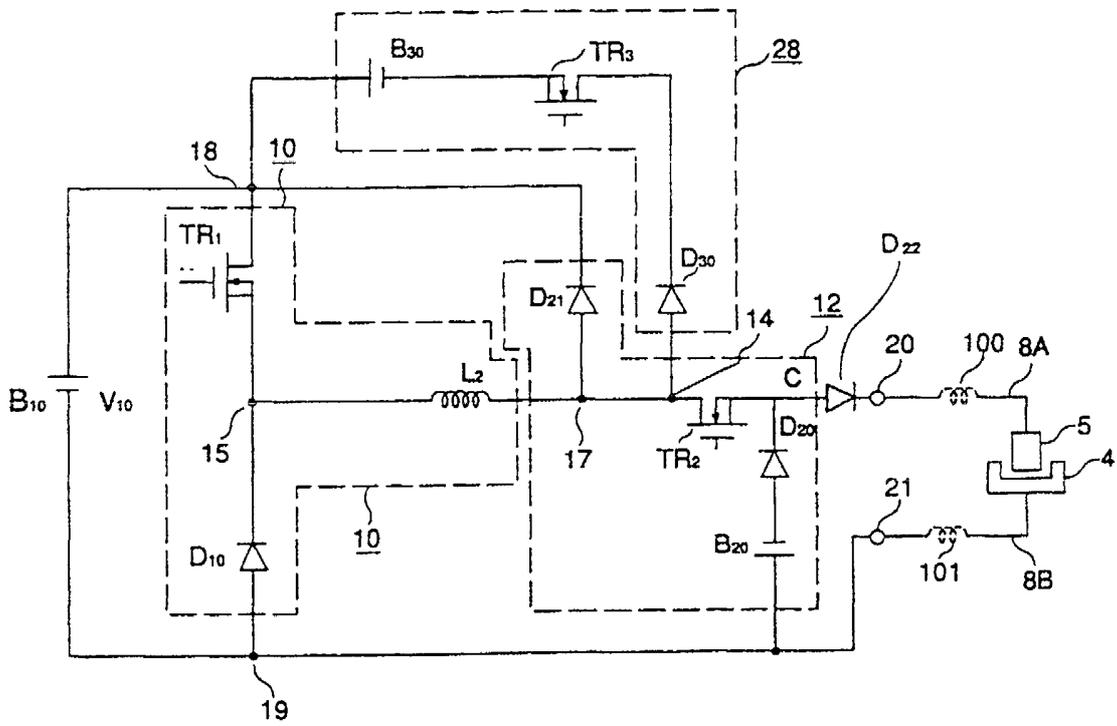


FIG.28

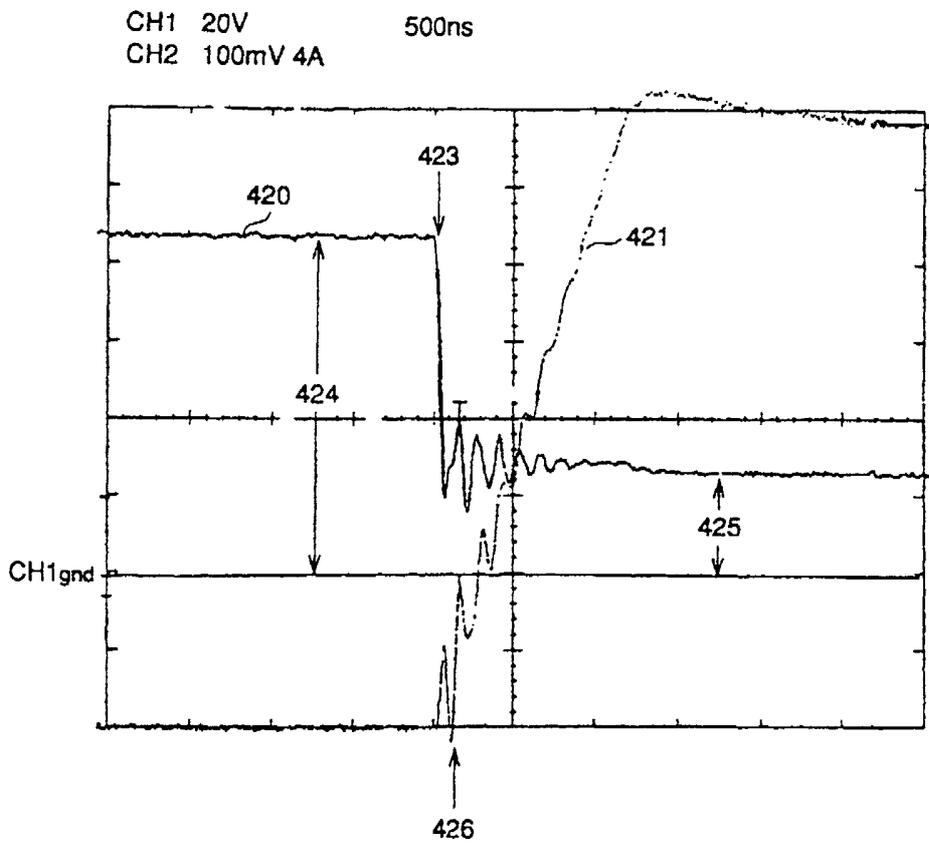


FIG.29

CH1 20V
CH2 4 A

500ns

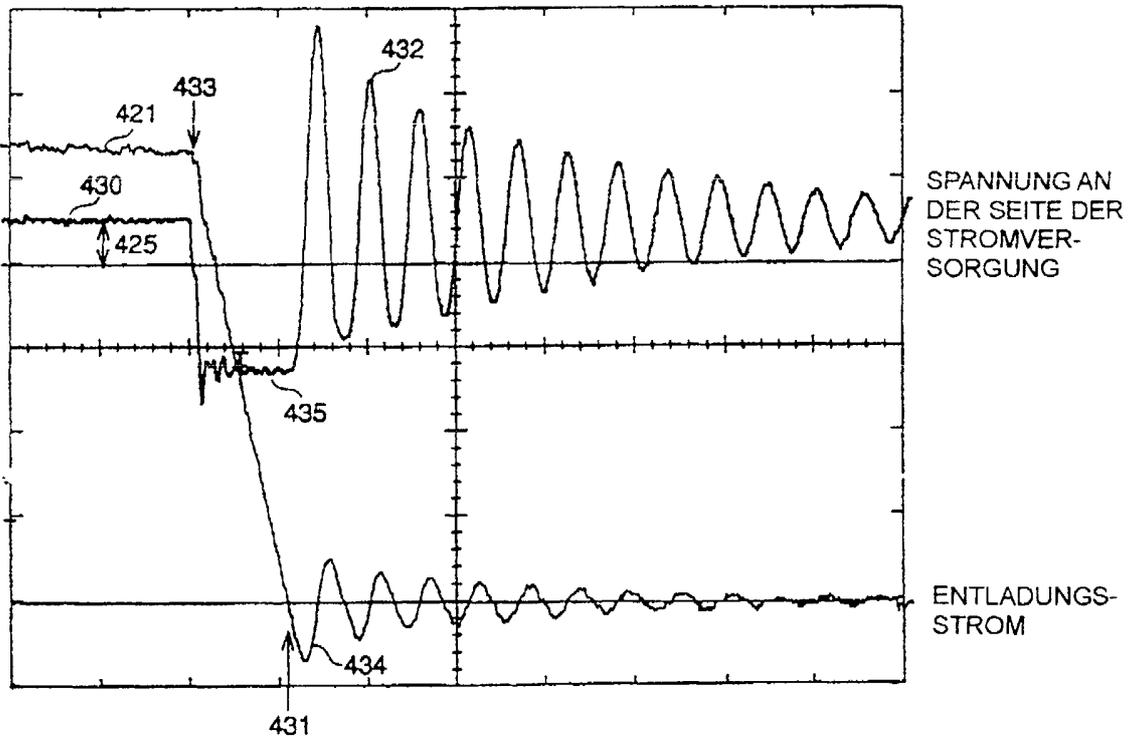


FIG.30

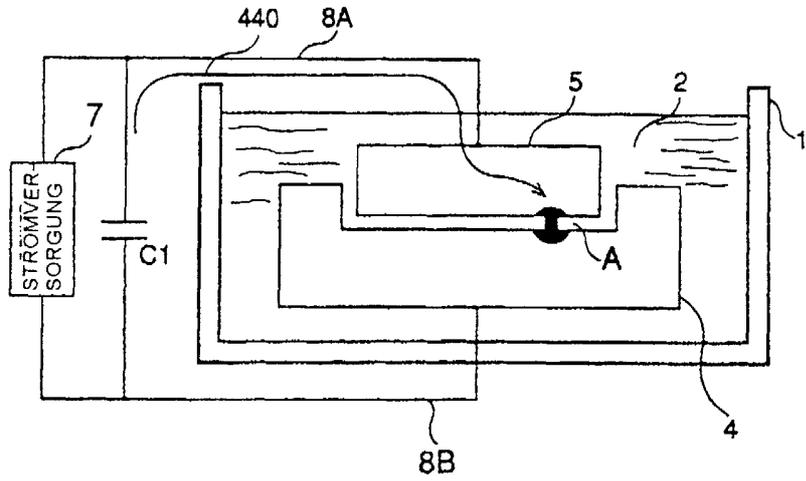


FIG.31A

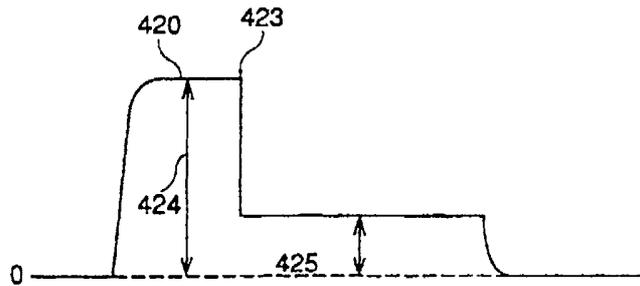


FIG.31B

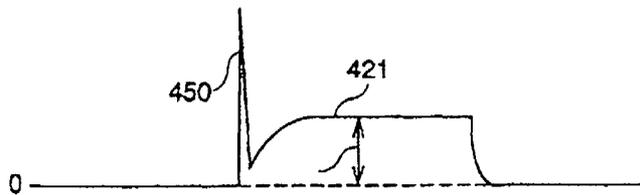


FIG.32

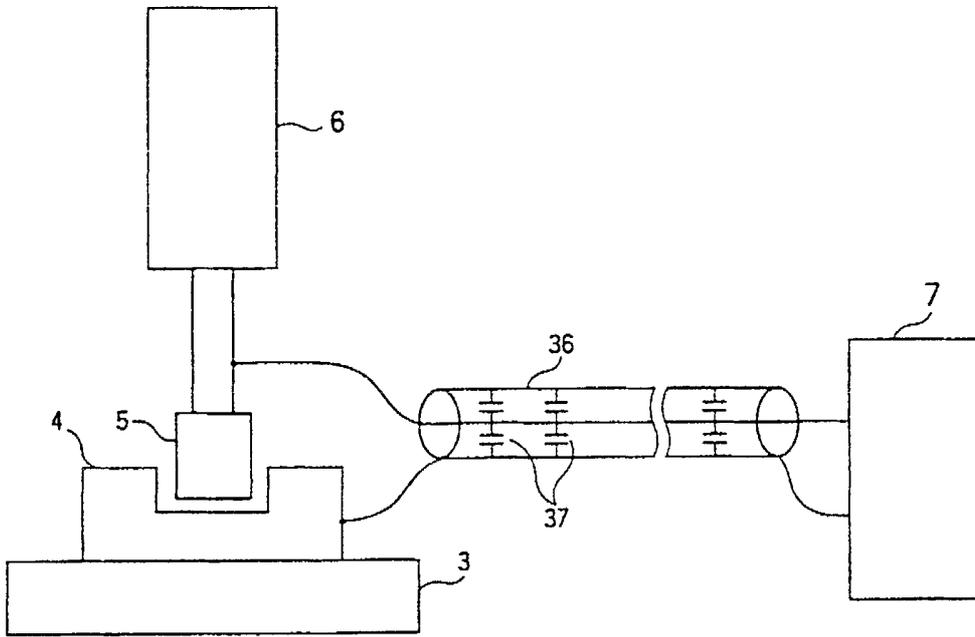


FIG.33

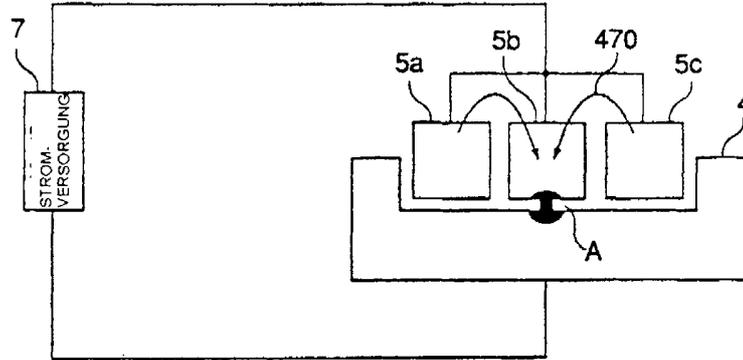


FIG.34

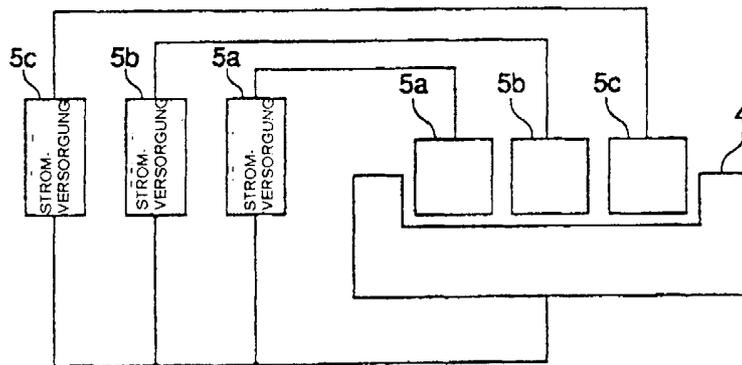


FIG.35

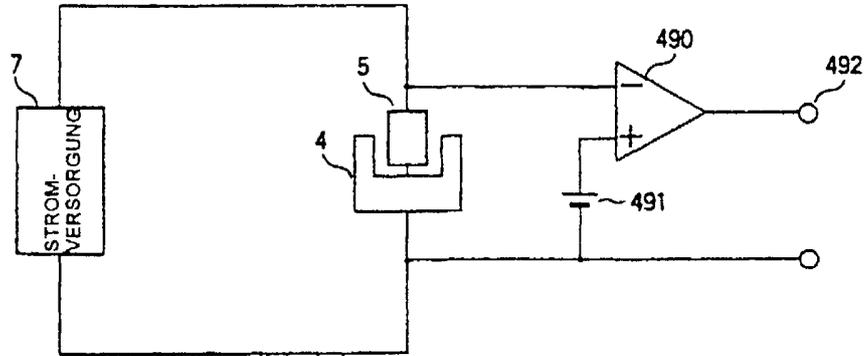


FIG.36A

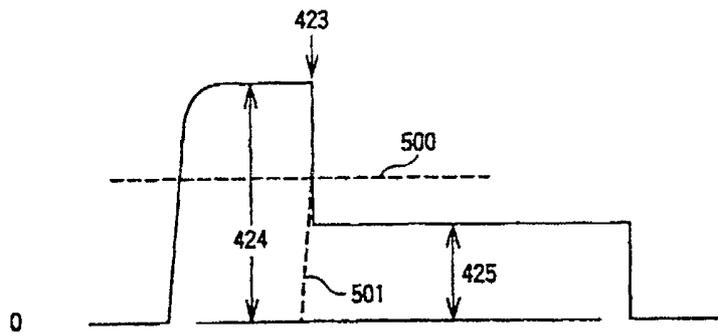


FIG.36B

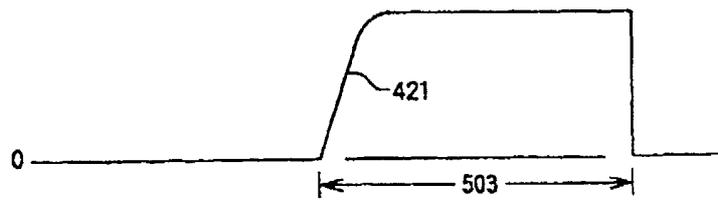


FIG.36C

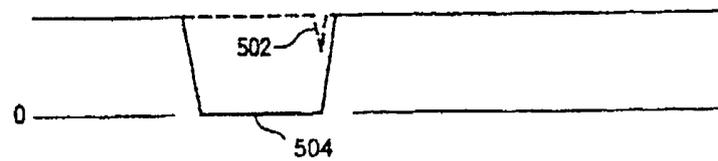


FIG.37

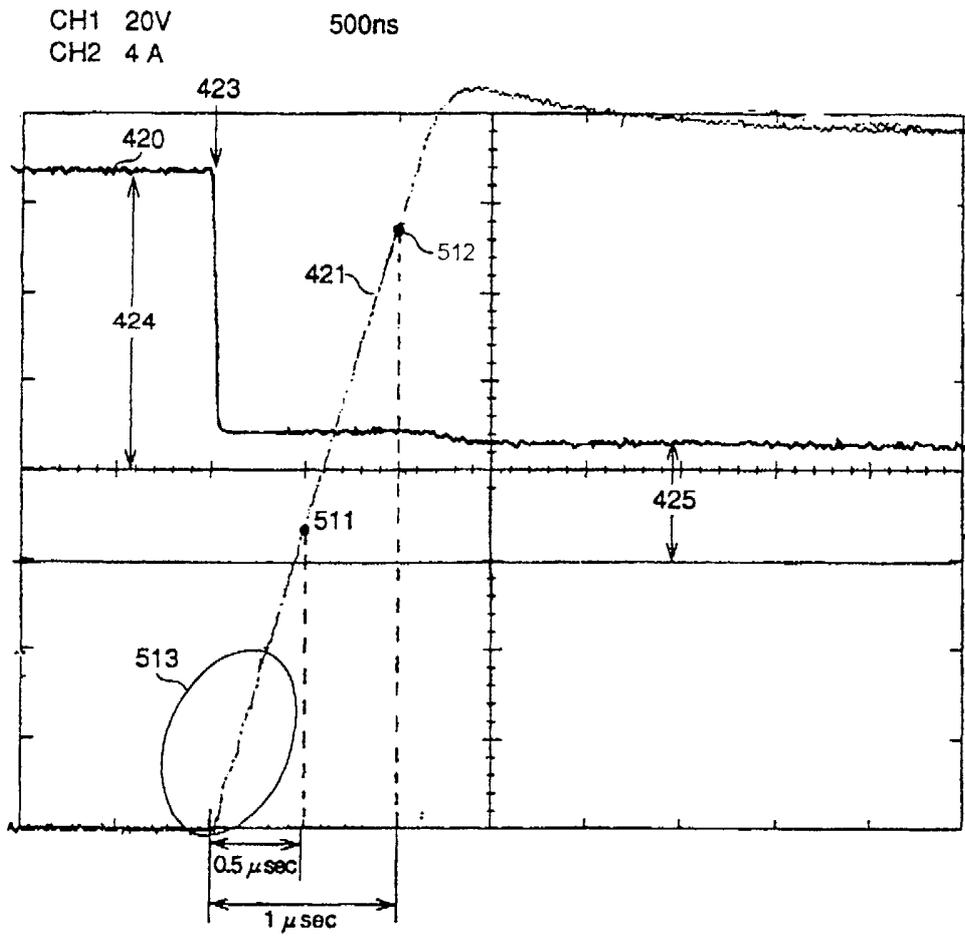
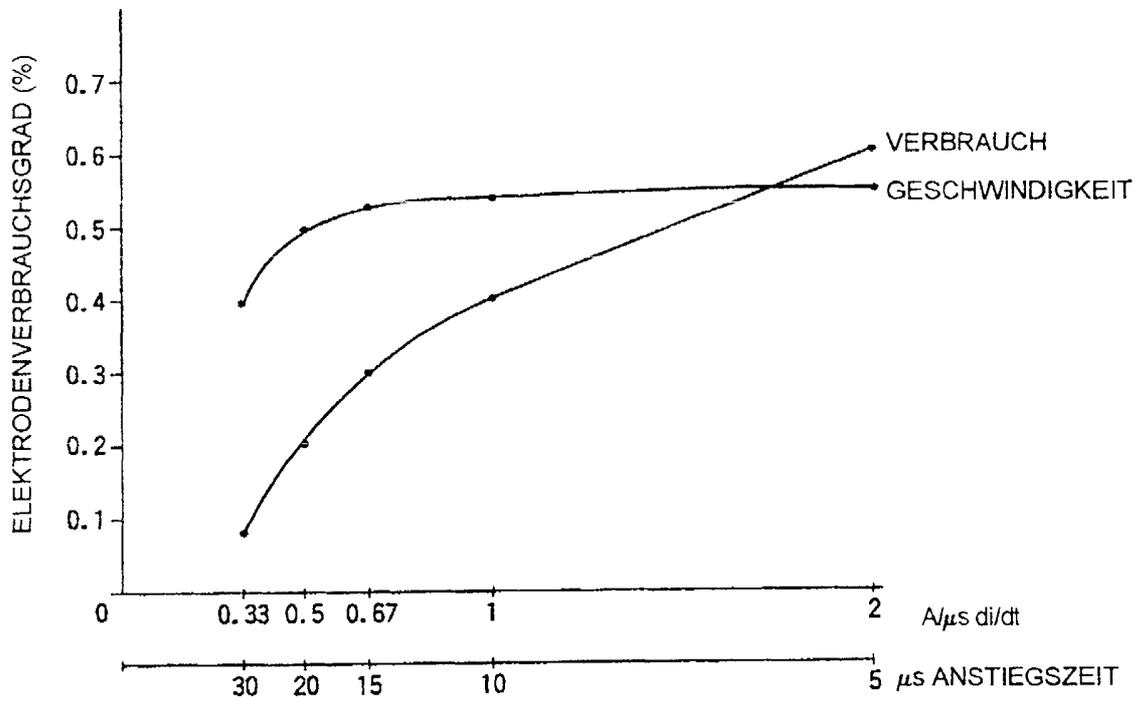


FIG.38



SIGNALFORM FÜR STEIGUNGSSTEUERUNG
 IHRE EIGENSCHAFTEN BEI EINER ANSTIEGSZEIT