



(19)



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 692 842 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: 02208/97

(62) Teilgesuch: 02096947

(22) Anmeldungsdatum: 30.06.1994

(30) Priorität: 30.06.1993 JP 5-162725

(24) Patent erteilt: 29.11.2002

(45) Patentschrift
veröffentlicht: 29.11.2002

(73) Inhaber:
MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA,
2-3, Marunouchi 2-chome Chiyoda-ku,
Tokyo 100 (JP)

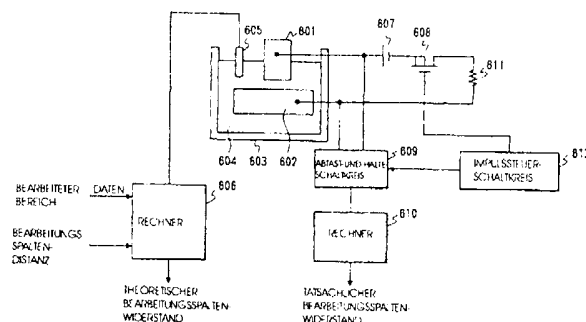
(72) Erfinder:
Goto, Akihiro, c/o Mitsubishi Denki K.K.,
Nagoya Seisakusho, 1-14, Yadaminami 5-chome,
Higashi-ku, Nagoya-shi, Aichi 461 (JP)
Mitsuyoshi Wada, Nagoya Seisakusho,
1-14, Yadaminami 5-chome, Higashi-ku,
J-Nagoya-shi, Aichi 461 (JP)
Ozaki, Yoshio, c/o Mitsubishi Denki K.K.,
Nagoya, Seisakusho, 1-14, Yadaminami 5-chome,
Higashi-ku, Nagoya-shi, Aichi 461 (JP)

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

(54) Funkenerosionsmaschine.

(57) Die Funkenerosionsmaschine dient der Anlegung einer gepulsten Spannung an eine Bearbeitungsspalte zwischen einer Elektrode (601) und einem entgegengesetzten Werkstück (602) in einem dielektrischen Fluidum (604). Das dielektrische Fluidum besteht aus Wasser und einer Substanz oder aus einem Öl. Für die Bearbeitung des Werkstückes dient die Energie, die durch eine Entladung in der Bearbeitungsspalte erzeugt wird. Die Funkenerosionsmaschine besitzt einen Teerablagerungsdetektor, welcher die Ablagerung von Teer zumindest an der Elektrode oder am Werkstück nachweist. Für den Nachweis dient die Differenz zwischen einer Maschinenspaltenimpedanz, welche aus dem Widerstand des dielektrischen Fluidums und einem Elektrodenbereich bestimmt wurde, und der tatsächlich gemessenen Bearbeitungsspaltenimpedanz.

Die Anwendung der beanspruchten Funkenerosionsmaschine unterdrückt die Teerablagerung im Bearbeitungsbereich und vermindert den Elektrodenkonsum.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Funkenerosionsmaschine für die Anlegung einer gepulsten Spannung an eine Bearbeitungsspalte zwischen einer Elektrode und einem entgegengesetzten Werkstück in einem dielektrischen Fluidum, hergestellt aus Wasser und einer Substanz, oder in Öl, um eine Entladung zu erzeugen, um das Werkstück mit der Energie der Entladung zu bearbeiten.

Da bisher für die Prägung durch Funkenerosionsmaschinen dielektrische Flüssigkeiten, die aus Wasser und einer Substanz oder Öl hergestellt sind, verwendet wurden, verursachte die Teer-Zersetzung der Substanz oder des Öls auf der bearbeiteten Oberfläche des Werkstückes eine Ablagerung, die besonders bei der Fertigstellung Probleme wegen unstabiler Bearbeitung, geringer Oberflächenrauheit der bearbeiteten Fläche usw. verursachte. Zur Lösung dieser Probleme wurde ein Verfahren mit temporärer Umpolung der Elektrode und des Werkstückes während dem Bearbeiten verwendet, gemäss der Offenbarung in den offen gelegten japanischen Patentpublikationen SHO 59-93 228, HEI3-196 916, HEI3-239 413, HEI4-101 722 usw. Ebenso ist ein Beispiel einer konventionellen Funkenerosionsmaschine, welche Impulse hoher Polaritäten verwendet, in der japanischen Patentpublikation HEI3-20 852 usw., beschrieben. Im Weiteren ist die Steuerung der Impulse beider Polaritäten bei der elektrischen Funkenerosion unter Verwendung von Impulsen beider Polaritäten in der offen gelegten japanischen Patentpublikation SHO61-50 714 beschrieben.

Die Verfahren, die in der japanischen offen gelegten Patentpublikation SHO59-93 228, HEI3-196 916 und HEI3-239 413 beschrieben sind, erlauben die Entfernung des aufgebauten Teers durch eine Entladung entgegengesetzter Polarität. Die Verfahren, welche jedoch in diesen Publikationen offenbart sind, worin Spannungen bei positiver Polarität (negative Elektrode, positives Werkstück) und entgegengesetzte Polarität (positive Elektrode, negatives Werkzeug) als klare Intervalle beurteilt werden, weisen jedoch insofern ein Problem auf, als dass die Bearbeitung bei positiver Polarität den Elektrodenkonsum im Allgemeinen erhöht und demzufolge bezüglich der Bearbeitungsgeschwindigkeit ein Problem besteht, da der Bearbeitungsstatus während einem Zeitintervall nach der Polaritätsumkehr wegen einem Unterschied im Bearbeitungsstatus zwischen den positiven und negativen Polaritäten aussergewöhnlich unstabil ist.

Das Verfahren in der offen gelegten japanischen Patentpublikation HEI4-101 722 ermöglicht das separate Setzen von Bearbeitungsparametern für die Bearbeitung mit positiver Polarität und die Bearbeitung mit entgegengesetzter Polarität, um den Elektrodenkonsum in einem gewissen Ausmass zu reduzieren, das Verfahren ist jedoch identisch mit demjenigen, welches in der japanischen offen gelegten Patentpublikation SHO59-93 228, HEI3-196 916 und HEI3-239 413 offenbart ist, worin ein Werkstück bei zwei Polaritäten bearbeitet wird, und den Elektrodenkonsum nicht wesentlich reduzieren kann. Auch

wenn Bearbeitungsbedingungen mit positiver Polarität vermindert werden, um den Elektrodenkonsum zu verringern, reduziert sich die Bearbeitungsgeschwindigkeit des Werkstückes während der Bearbeitung mit positiver Polarität unvermeidbar. Im Weiteren, insbesondere wenn ein Bearbeitungsstromwert vermindert wird (als eine der Bearbeitungsbedingungen, welche vermindert wird), besteht bei der Verwendung von dielektrischen Flüssigkeiten auf Wasserbasis die Gefahr, dass ein aussergewöhnlich unstabiler Zustand verursacht wird, welcher die Spannung nicht erhöht und keine richtige Entladung erzeugt.

Ein Beispiel der elektrischen Funkenerosionsmaschine, das Impulse beider Polaritäten zur Verhinderung der Zerstörung der Oberflächenrauheit wegen dem elektrolytischen Phänomen verwendet, ist in der offen gelegten japanischen Patentpublikation HEI3-208 520 offenbart. In einem Beispiel wird erkannt, dass ein Phänomen besteht, worin die Rauheit der bearbeiteten Oberfläche, wenn die Elektrode positiv mit Energie versorgt wird, 1,5- bis 2,0-mal rauer ist, als wenn die Elektrode mit negativer Energie versehen wird und die totale Rauheit der Oberfläche rauer wird, als dies der Fall ist, wenn die Elektrode mit positiver Energie versorgt wird. Um diese Probleme, welche nach wie vor bestehen, wenn Impulse beider Polaritäten verwendet werden, zu eliminieren, wird die Spannung der einen Polarität auf einen Wert gesetzt, bei welchem eine Entladung stattfindet, während die Spannung für die andere Polarität auf einen Wert gesetzt wird, bei welchem keine Entladung stattfindet. Um jedoch die Spannung der anderen Polarität auf einen Wert zu setzen, bei welchem keine Entladung stattfindet, derart, dass die mittlere Spannung zwischen den Elektroden auf 0 oder nahe 0 fällt, ist es erforderlich, die Zeitdauer, während welcher die Spannung der anderen Polarität an die Elektrode angelegt wird, zu erhöhen, d.h. die erforderliche Zeitdauer für die Anlegung der Spannung der anderen Polarität wird verlängert. Als Resultat entsteht ein Problem, da die Bearbeitungsgeschwindigkeit vermindert wird. Da die Funkenerosionsmaschine, welche in der offen gelegten japanischen Patentpublikation HEI3-208 520 offenbart ist, eine elektrolytische Wirkung vermeiden soll, wird der Verluststrom, welcher in der Bearbeitungsspalte durch das dielektrische Fluidum fliesst, im Schnitt nahezu 0. Dieses System ist jedoch für die Verhinderung einer Teerschicht nicht zweckmässig, da es ein Phänomen ist, welches durch abgelagerten Teer verursacht wird, welcher durch die Spannung der Elektrode des Werkstückes angezogen wird.

Im Weiteren beschreibt die offen gelegte japanische Patentpublikation SHO61-50 714 die Steuerung der Impulse beider Polaritäten bei der elektrolytischen Funkenerosionsbearbeitung, wobei Impulse beider Polaritäten verwendet werden. Dies ist ein Verfahren, um eine entgegengesetzt geladene Polaritätenspannung während sehr kurzer Zeit anzulegen, wenn eine Entladung nicht durch die Anlegung einer gepulsten Spannung bewirkt werden kann. Diese Publikation beschreibt ebenfalls ein Verfahren für die Erhöhung der Spannung und der

Zeit eines Impulses auf niederem Niveau der entgegengesetzten Polaritätsspannung, wenn die Entladung nicht stattfindet. Wenn jedoch nur während einer sehr kurzen Zeit ein Impuls angelegt wird, kann die mittlere Spannung nicht genügend abfallen und die mittlere Spannung von 18 V, welche durch diese Maschine erzeugt wird, hat nahezu keine Wirkung, um eine Teerschicht zu verhindern. Da diese Maschine ebenfalls eine elektrolytische Reaktion verhindern soll, ist der Verluststrom, welcher durch den Bearbeitungsspalt durch ein dielektrisches Fluidum fliesst, im Schnitt nahezu 0. Dieses System ist jedoch für die Verhütung einer Teerschicht nicht zweckmässig, da der geladene Teer durch die Spannung der Elektrode oder des Werkstückes angezogen wird. Auch ein Verfahren, umfassend eine Erhöhung der Spannung und der Zeit eines schwachen Impulses von entgegengesetzter Polaritätsspannung, die bei Nichtstattfinden einer Entladung angelegt wird, ist demzufolge bedeutungslos, da das Nichtvorkommen einer Entladung für die Stabilität und Instabilität eines Entladungszustandes total irrelevant ist. Da hauptsächlich wegen dem Abstand der Elektrode und des Werkstückes keine Entladung stattfindet, erzeugt der Nachweis des Entladungszustandes zur Steuerung der Bearbeitungsbedingungen keine Verbesserung der Bearbeitungseigenschaften.

Eine Funkenerosionsmaschine des Prägetyps verwendet im Allgemeinen Öl oder einer Mischung von Wasser und einer hochmolekularen Verbindung als dielektrisches Fluidum. Wenn dieses dielektrische Fluidum für die Funkenentladung verwendet wird, wird das Öl oder die Verbindung unter Bildung von Teer zersetzt. Dieser Teer, der aufgeladen ist, wird auf der Elektrode im dielektrischen Fluidum aus Öl oder auf dem Werkstück im dielektrischen Fluidum, das aus einer Mischung von Wasser und einer hochmolekularen Verbindung besteht, abgelagert, was zu Problemen wegen unstabiler Bearbeitung und geringer Rauheit der bearbeiteten Oberfläche führt. Um zu verhindern, dass sich aufgeladener Teer auf der Elektrode oder dem Werkstück ablagert, wurde das Werkstück bisher mit einer Spannung gegenseitiger Polarität bearbeitet. Dabei bestand jedoch das Problem der Bearbeitungsgeschwindigkeit und ebenfalls das Problem eines erhöhten Elektrodenkonsums, da Bedingungen eines niederen Elektrodenkonsums nicht verwendet werden können, wenn die Polarität für die Bearbeitung umgeschaltet wird. Gemäss üblicher Vorgehensweise waren keine Massnahmen vorgesehen für eine Nachweismethode, eine Steuerung der Bearbeitungsbedingungen usw., von unstabiler Bearbeitung, welche die Ursache der Teerablagerung war.

Forschungsarbeiten der Erfinder zeigten folgende drei Tatsachen auf. Erstens, die Steuerung der mittleren Spannung des Bearbeitungszwischenraumes auf nahezu 0 V ist wirksam, um den aufgeladenen Teer von der Ablagerung auf der Elektrode oder dem Werkstück zu bewahren. Zweitens, die Oberflächenqualität wird nicht nur durch die mittlere Spannung von 0 V verursacht, sondern ebenfalls durch Bewirkung einer schwachen Entladung bei

entgegengesetzter Polarität, d.h. bei positiver Polarität. Es soll angemerkt werden, dass ein Bearbeitungsstrom für die Bearbeitung bei einer positiven Polarität (negative Elektrode, positives Werkstück) wegen der hohen Elektrodenverbrauchsrate reduziert werden muss. Drittens ist die Bearbeitung einmal wegen dem auf der Elektrode oder dem Werkstück abgelagerten Teer unstabil geworden, führt die mittlere Spannung des Bearbeitungszwischenraums von 0 V die Bearbeitung innerhalb einer kurzen Zeit von wenigen Sekunden in einen stabilen Zustand zurück. Um die Bearbeitungsgeschwindigkeit zu erhöhen, ist es demzufolge wirksam, die Stoppzeit zu erhöhen, d.h. die Zeit, wenn eine positive Polaritätsspannung angelegt wird, um zu bewirken, dass die mittlere Spannung des Bearbeitungszwischenraums in die Nähe von 0 V führt, wenn nachgewiesen wird, dass sich die Unstabilität erhöht, wenn das Werkstück mit einem Leistungsfaktor der entgegengesetzten Polarität bearbeitet wird.

Es ist Ziel der vorliegenden Erfindung, eine elektrische Funkenerosionsmaschine zur Verfügung zu stellen, welche die Teerablagerung auf Basis der erwähnten, von den Erfindern aufgezeigten Tatsachen unterdrückt und welche ebenfalls den Elektrodenkonsum vermindern kann.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine elektrische Entladungsmaschinen zur Verfügung zu stellen, welche die Teerablagerung unterdrücken kann und welche ebenfalls die elektrolytische Korrosion eines Werkstückes vermeiden kann.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass eine Funkenerosionsmaschine zur Verfügung gestellt wird, welche die Teerablagerung auf Basis der von den Erfindern aufgezeigten Tatsachen vermeiden kann, und welche ebenfalls die Bearbeitung stabilisieren und die Reduktion der Bearbeitungsgeschwindigkeit unterdrücken kann.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass eine Funkenerosionsmaschine zur Verfügung gestellt wird, welche mit einem neuen Teerablagerungsdetektor ausgerüstet ist.

Die obigen Ziele werden durch die vorliegende Erfindung erreicht. Gegenstand der Erfindung ist die im Patentanspruch 1 definierte Funkenerosionsmaschine.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm, welches eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 2 ist ein Volt-Wellenformdiagramm, welches den Betrieb im Zusammenhang mit der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung beschreibt.

Fig. 3 ist ein Blockdiagramm, welches eine zweite bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 4 ist eine Blockdiagramm, welches eine dritte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 5 zeigt ein Diagramm, in welchem die Ionen-Bewegungsdistanz gegen die Polaritätsänderungsfrequenz aufgetragen wird, das für die Beschreibung des Betriebes im Zusammenhang mit einer

dritten Ausführungsform der Erfindung verwendet wird.

Fig. 6 ist ein Blockdiagramm, das eine vierte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung beschreibt.

Fig. 7 ist ein Blockdiagramm, das eine fünfte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 8 ist ein Spannungs-Wellenformdiagramm, das zur Beschreibung des Betriebs im Zusammenhang mit einer fünften bevorzugten Ausführungsform der Erfindung verwendet wird.

Fig. 9 ist ein Blockdiagramm, das eine sechste bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 10 ist ein Blockdiagramm, das eine siebente bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 11 ist ein Blockdiagramm, das eine achte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 12 ist ein Blockdiagramm, das eine neunte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 13 ist ein Spannungs-Wellenformdiagramm, welches für die Beschreibung des Betriebs verwendet wird, der im Zusammenhang mit der neunten bevorzugten Ausführungsform steht.

Fig. 14 ist ein Blockdiagramm, das eine zehnte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 15 ist ein Spannungs-Wellenformdiagramm, welches für die Beschreibung des Betriebes verwendet wird, der im Zusammenhang mit einer zehnten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung steht.

Fig. 16 ist ein Blockdiagramm, das eine elfte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 17 erläutert eine Spannungs-Wellenform und eine Elektrodenstellung, um den Betrieb zu beschreiben, welcher die elfte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft.

Fig. 18 erläutert eine Spannungs-Wellenform und eine Elektrodenstellung, um den Betrieb zu beschreiben, welcher mit einer zwölften Ausführungsform der Erfindung im Zusammenhang steht.

Fig. 19 ist ein Blockdiagramm, das eine dreizehnte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 20 erläutert eine Spannungs-Wellenform und eine Elektrodenstellung, um den Betrieb zu beschreiben, der im Zusammenhang mit einer dreizehnten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung steht.

Fig. 21 ist ein Blockdiagramm, das eine vierzehnte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert.

Fig. 22 ist eine Spannungs-Wellenform, welche verwendet wird, um den Betrieb zu beschreiben, der im Zusammenhang mit der vierzehnten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung steht.

Die nachstehenden Beispiele beschreiben bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung.

Beispiel 1

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm, das eine erste Ausführungsform der Erfindung zeigt. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Ausführungsform eine bevorzugte Ausführungsform ist, worin ein isolierendes dielektrisches Fluidum verwendet wird.

In Fig. 1 gibt das Bezugszeichen 401 eine Gleichstromversorgung an für die entgegengesetzte Polarität (ca. + 80 V), 402 gibt eine Gleichstromversorgung für eine positive Polarität (ca. - 80 V) an, 404 bedeutet eine Elektrode, 406 bezeichnet ein Werkstück, 407 gibt eine Schaltungsvorrichtung für entgegengesetzte Polarität an, 408 zeigt eine Schaltungsvorrichtung für eine positive Polarität, 409 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis, 410 bedeutet strombegrenzende Widerstände für entgegengesetzte Polarität und 411 zeigt einen auf eine Stromgrenze fixierten Widerstand für eine positive Polarität an, welcher einen hohen Wert von nicht weniger als 5 Ohm aufweist, bei welcher eine Entladung nicht stattfinden dürfte. 412 weist auf Widerstandswandlungsschalter für eine Stromgrenze entgegengesetzter Polarität hin und 413, 414, 415 und 416 stellen Dioden dar. Fig. 2 zeigt die Wellenform eines Bearbeitungsspaltes in der ersten Ausführungsform der Erfindung, worin die Polarität positiv definiert ist, wenn die Elektrode 405 positiv ist und das Werkstück 406 negativ ist. In dieser Zeichnung bezeichnen 201, 204 und 207 Perioden ohne Ladungen bei entgegengesetzter Polarität und 202, 205 und 208 stellen Entladungszeitperioden bei entgegengesetzter Polarität dar, welche eine vorgegebene Impulsbreite besitzen. 203, 206 und 209 stellen Stoppzeitperioden bei entgegengesetzter Polarität dar, bei welchen eine positive Polaritätsspannung angelegt ist. Die Anlegezeit der positiven Polaritätsspannung ist die Stoppzeit einer entgegengesetzten Polaritätsspannung. Um den Zeitpunkt zu bestimmen, wann die Spannung während der Stoppzeit anzulegen ist, kann ein Steuerverfahren für die positive Polaritätsspannung in jeder später beschriebenen Ausführungsform verwendet werden. In dieser Ausführungsform wird die positive Polaritätsspannung angelegt, um sicherzustellen, dass während der Stoppzeit der entgegengesetzten Polaritätsspannung die mittlere Spannung 0 V oder nahezu 0 V ist.

Es wird nun der Betrieb beschrieben. Beim Impulssteuerstromkreis 409 in Fig. 1 werden die Gate-sig-nale der Schaltmittel 407, 408 erzeugt. In einer Wellenform A in Fig. 2 sind die Zeitabläufe 201, 202, 204, 205, 207, 208 Zeitabläufe bei eingeschaltetem Schaltmittel 407 und die Zeitabläufe 203, 206, 209 sind Zeitabläufe bei eingeschaltetem Schaltmittel 408. Ein Stromwert entgegengesetzter Polarität kann durch Umschaltung zwischen den Widerständen 410 für die entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze mittels den Umschaltern 412, für die Widerstände für die entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze, wie in einer gewöhnlichen Funkenerosionsmaschine, geändert werden. Wenn ein im Wesentlichen isolierendes dielektrisches Fluidum, wie Öl, verwendet wird, wird der Widerstand des positiven Polaritätsstroms 411 auf einen grossen Wert

von nicht weniger als 5 Ohm festgelegt, wie oben beschrieben, um den Einfluss einer positiven Polaritätsentladung zu reduzieren und um eine gute Oberflächenqualität für das Werkstück zu bewirken, auf Grund einer schwachen Entladung bei einer positiven Polarität. Da das Isolierungsfluidum, das als dielektrisches Fluidum verwendet wird, keinen Reststrom durch die Anlegung einer Spannung über der Bearbeitungsspalte bewirkt, wenn nicht eine Entladung stattfindet, kann der Widerstand der positiven Polaritätsstromgrenze 411 auf einen grossen Wert festgelegt werden und braucht nicht umgeschaltet zu werden. Wenn allgemein eine Kupferelektrode oder eine Graphitelektrode zur Bearbeitung von Stahl verwendet wird, kann der Elektrodenkonsum bei entgegengesetzter Polarität vermindert werden und der Verbrauch wird bei einer positiven Polarität stattfinden. Demzufolge kann die Ablagerung von Teer auf der Elektrode oder dem Werkstück unterdrückt werden und die Abnahme der Metallabtragung mittels positiver Polaritätsentladung reduziert den Einfluss auf den Elektrodenkonsum und verleiht dem Werkstück eine gute Oberflächenqualität.

Beispiel 2

Fig. 3 ist ein Blockdiagramm, das eine zweite Ausführungsform der Erfindung zeigt. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Ausführungsform eine bevorzugte Ausführungsform ist, worin ein dielektrisches Fluidum, das aus Wasser und einer Verbindung hergestellt ist, verwendet wird. In Fig. 3 sind die nachstehend angeführten Merkmale gezeigt: 450 zeigt Widerstände für die Stromgrenze entgegengesetzter Polarität, 451 bedeutet Widerstände für die Stromgrenze positiver Polarität, 452 bedeutet Schalter für die Widerstände für die entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze, 453 bedeutet Umschalter für den Widerstand für die positive Polaritätsstromgrenze, 454 gibt ein Schaltsteuermittel an, welches bewirkt, dass die Umschalter 452 des Widerstandes der entgegengesetzten Polaritätsstromgrenze und die Schalter 453 des Widerstandes der positiven Polaritätsstromgrenze im Verbund arbeiten und dazwischen umgeschaltet werden kann, und 413 bis 416 bedeuten Dioden.

Es wird nun der Betrieb beschrieben. Die Umschalter 452 für die entgegengesetzte Polarität werden derart betrieben, um zwischen den Widerständen 450 für die entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze umzuschalten und im Zusammenhang mit diesem Schaltvorgang werden die Umschalter 453 für den Widerstand der positiven Polaritätsstromgrenze in solcher Weise betrieben, dass zwischen den Widerständen 451 für die positive Polaritätsstromgrenze umgeschaltet werden kann. Falls ein dielektrisches Fluidum, das aus Wasser und einer Verbindung hergestellt ist, verwendet wird, fliesst ein Reststrom in die Bearbeitungsspalte und verursacht einen Abfall der angelegten Spannung. Daher fällt, wenn der Widerstand des dielektrischen Fluidums tief ist oder wenn ein bearbeiteter Bereich gross ist, eine Leerlaufspannung ab und hebt eine vorgegebene Spannung nicht an. Wenn der Widerstand der positiven Polaritätsstromgrenze auf einen

grossen Wert festgelegt ist, wie in Beispiel 1, wird die Reduktion des Widerstandes eines dielektrischen Fluidums oder die Zunahme des bearbeiteten Bereichs die positive Polaritätsspannung erhöhen und die mittlere Spannung des Bearbeitungsspaltes kann nicht reduziert werden. Wenn jedoch der Widerstand der positiven Polaritätsstromgrenze abnimmt, entsteht das Problem eines erhöhten Elektrodenkonsums. Demzufolge müssen die Widerstände 451 der positiven Polaritätsstromgrenze in Verbindung mit den Widerständen der entgegengesetzten Polaritätsstromgrenze immer auf einen zweckmässigen Wert geändert werden. In einem bevorzugten Beispiel ist die Stromgrenzimpedanz der positiven Polarität etwa zweimal grösser als die entgegengesetzte Polarität.

Es wird darauf hingewiesen, dass ebenfalls in dieser Ausführungsform die mittlere Spannung vorzugsweise auf ungefähr 0 V angesteuert wird und eine schwache Entladung, die bei der Anwendung der positiven Polaritätsspannung bewirkt wird, dem Werkstück eine gute Oberflächenqualität verleiht.

Beispiel 3

Fig. 4 ist ein Blockdiagramm, das eine dritte Ausführungsform der Erfindung darstellt. In der Zeichnung sind die nachstehenden Merkmale dargestellt: 505 bedeutet eine Elektrode, 506 bedeutet ein Werkstück, 514 bezeichnet einen halbwellen-gerichteten Stromkreis, welcher eine Spannung über die Elektrode 505 und das Werkstück 506 anlegt, wenn die Elektrode 505 positiv ist, 515 bezeichnet ein Niederfrequenzfilter mit 10 kHz Grenzfrequenz, 516 bezeichnet einen PWM-Steuerstromkreis, 509 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis und 413 bis 416 bezeichnen Dioden.

Der Betrieb wird nun beschrieben. Im Stromkreis gemäss Fig. 4 werden die Entladungszeit und die Stoppzeit der entgegengesetzten Polaritätsspannung bei durch den Impulssteuerstromkreis 509 gesteuerten Intervallen periodisch wiederholt. Die Anlegungszeit, auf die der positiven Polaritätsseite angelegte Spannung bei der Stoppzeit der entgegengesetzten Polarität wird dann gesteuert, um die mittlere Spannung der Bearbeitungsspalte auf dem vorgegebenen Wert zu halten. Der Halbwellen-Gleichrichterstromkreis 514 holt eine Spannung auf die Seite der entgegengesetzten Polarität des Bearbeitungsspaltes, d.h. die Spannung zur Zeit, wenn die Elektrode positiv ist. Anschliessend passiert diese Spannung und wird durch das 10-kHz-Niederfrequenzfilter 515 geglättet, d.h. die Spannung wird mit Intervallen von 100 μ s geglättet. Die Spannung wird dann im PWM-Steuerstromkreis 516 verwendet, um die PWM-Steuerung auszuüben, und die positive Polaritätsspannung wird auf die Bearbeitungsspalte durch den Impulssteuerstromkreis 509 angelegt, sodass die mittlere Spannung im Bearbeitungsspalte den vorgegebenen Wert erreicht, z.B. 0 Volt.

Wenn eine Spannung an die Bearbeitungsspalte angelegt wird, verursacht eine positive Spannung mit grösserer Wahrscheinlichkeit eine elektrolytische Korrosion. Wenn eine Wechselstromspannung auf

die Bearbeitungsspalte angelegt wird, ändert die Wahrscheinlichkeit einer elektrolytischen Korrosion gemäss der Frequenz der Wechselspannung. Fig. 5 ist eine grafische Darstellung, welche eine Beziehung zwischen einer Wechselstromfrequenz und einer Ionenbewegungsstanz erläutert. Diese grafische Darstellung zeigt, dass eine Distanz, über welche sich Ionen bewegen können, während einer Zeitdauer, bis die Wechselspannungspolarität ändert, ungefähr einige mm bei einer Frequenz von 100 kHz beträgt und auf nicht mehr als 10 µm bei einer Frequenz von 10 kHz fällt. Die minimale Distanz der Bearbeitungsspalte bei der Funkenerosion beträgt mehrere 10 µm, und eine elektrolytische Korrosion kann bei einer Frequenz von 10 kHz oder höher verhindert werden. Um eine elektrolytische Korrosion zu verhindern, muss demzufolge die mittlere Spannung bei gegebenen Intervallen von nicht mehr als 100 µs gesteuert werden.

Für die Verhütung einer elektrolytischen Korrosion des Werkstückes 506 muss die mittlere Spannung somit 0 V oder höher sein, wenn die Elektrode 505 positiv ist.

Beispiel 4

Fig. 6 ist ein Anordnungsdiagramm, das eine vierte Ausführungsform der Erfindung darstellt. In der Zeichnung sind die nachstehenden Merkmale dargestellt: 601 stellt eine Elektrode dar, 602 bezeichnet ein Werkstück, 603 bezeichnet einen Bearbeitungspfad, 604 stellt ein dielektrisches Fluidum dar, 605 zeigt eine Vorrichtung für die Messung des Widerstandes eines dielektrischen Fluidums, 606 stellt einen Rechner dar, welcher den theoretischen Widerstand der Bearbeitungsspalte ausrechnet, von Daten, wie dem Resultat des Widerstandsmessgerätes 605, einem bearbeiteten Bereich und der Distanz der Bearbeitungsspalte, 607 stellt eine Gleichspannungsstromquelle dar, 608 bezeichnet eine Schaltvorrichtung für eine Gleichspannungsstromquelle, 609 zeigt einen Abtast- und Haltekreis an, 610 stellt einen Rechner dar, welcher den Widerstand der aktuellen Bearbeitungsspalte ausrechnet, aus dem Resultat des Abtast- und Haltekreises 609 und dem Spannungswert der Gleichstromspannungsquelle 607, 611 bezeichnet einen Widerstand, 612 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis, welcher die Betriebszeiten der Schaltvorrichtung 608 der Gleichspannungsquelle und des Abtast- und Haltekreises 609 bestimmt. Es wird darauf hingewiesen, dass der Rechner 606 und der Rechner 610 durch einen einzigen Rechner ersetzt werden können.

Nun wird der Betrieb beschrieben. Zuerst wird ein Verfahren zur Messung des Widerstandes der theoretischen Bearbeitungsspalte beschrieben. Der Widerstand des dielektrischen Fluidums 604 kann durch das Widerstandsmessgerät 605 bestimmt werden. Da die Distanz der Bearbeitungsspalte durch die Bearbeitungsbedingungen vorgegeben ist, kann der Widerstandswert der Bearbeitungsspalte gefunden werden durch den Ausdruck: (Widerstand des dielektrischen Fluidums) × (Distanz der Bearbeitungsspalte) / (bearbeiteten Bereich) wenn der be-

arbeitete Bereich und der Widerstand des dielektrischen Fluidums vorgegeben sind. In der Zwischenzeit wird der aktuell gemessene Wert des Widerstandes der Bearbeitungsspalte in folgender Weise gefunden: Eine Spannung wird auf die Bearbeitungsspalte mittels der Stromversorgung 607 angelegt und die Spannung der Bearbeitungsspalte wird gemessen. Die Zeitdauer des Anlegens der Spannung auf die Bearbeitungsspalte und die Zeitdauer der Spannungsmessung werden durch den Impulssteuerstromkreis 612 gemessen, die Bearbeitungsspaltenspannung bei der Anlegung der Spannung werden gemessen und durch den Abtast- und Haltekreis 605 gemessen und aufrechterhalten, und dieser Wert wird dem Rechner 610 zugeführt. Unter Annahme, dass die Spannung der Stromversorgung 607 E ist, der Widerstand des Widerstandes 611 R1 ist, der Widerstand der Bearbeitungsspalte R2 ist und der gemessene Wert des Abtast- und Haltekreises 609 V ist, gilt $V = E \times R2 / (R1 + R2)$ und demzufolge wird gefunden $R2 = R1 \times V / (E - V)$. Da der in der Bearbeitungsspalte abgelagerte Teer einen vom dielektrischen Fluidum verschiedenen Widerstandswert besitzt, kann beurteilt werden, ob er in der Bearbeitungsspalte abgelagert wurde, wenn sich die Differenz zwischen dem theoretischen Widerstand der Bearbeitungsspalte und dem tatsächlich gemessenen Widerstand der Bearbeitungsspalte erhöhte. Insbesondere kann beurteilt werden, ob sich Teer abgelagert hat, zur Zeit, wenn der gegenwärtig gemessene Widerstand 30 bis 50% oder weniger des theoretischen Widerstands beträgt.

Beispiel 5

Fig. 7 ist ein Blockdiagramm, das eine fünfte Ausführungsform der Erfindung zeigt. In der Zeichnung sind die nachstehenden Merkmale dargestellt: 701 bedeutet eine Gleichstromversorgung (ungefähr + 80 V) für entgegengesetzte Polarität (positive Elektrode, negatives Werkstück), 702 bedeutet eine Gleichstromversorgung (ungefähr - 80 V) für positive Polarität (negative Elektrode, positives Werkstück), 703 bedeutet einen Widerstand für eine entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze, 704 bezeichnet einen Widerstand für eine positive Polaritätsstromgrenze, 705 bezeichnet eine Elektrode, 706 bezeichnet ein Werkstück, 707 bedeutet ein Schaltmittel für entgegengesetzte Polarität, 708 bedeutet ein Schaltmittel für eine positive Polarität, 709 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis, 710 bedeutet einen Kurzschlussnachweisstromkreis, 711 bedeutet ein Kurzschlussimpuls-Verhältnis-Auswertungsgerät und 413 bis 416 bedeuten Dioden.

Nun wird der Betrieb unter Bezugnahme auf das Spannungswellenformdiagramm gemäss Fig. 8 beschrieben. In der Zeichnung bedeutet D eine Bearbeitungsspaltenspannungswellenform zur Zeit, wenn die Stoppzeit der entgegengesetzten Polaritätsspannung kurz ist und E bedeutet eine Bearbeitungsspaltenwellenform zur Zeit, wenn der Stopp länger ist als in D. 801, 804, 807, 810, 821, 824 und 827 bezeichnen Leerlaufspannungszeitperioden entgegengesetzter Polarität. Die Leerlaufspannungs-

zeit unterscheidet sich zwischen den Entladungsimpulsen und kann nicht auf einen fixen Wert gesteuert werden. 802, 805, 808, 811, 822, 825 und 828 bezeichnen Perioden der Entladungszeit entgegengesetzter Polarität, welche zweckmässig vorgegeben werden. 803, 806 und 809 bezeichnen Stoppzeitperioden, wenn die Stoppzeit der entgegengesetzten Polaritätsspannung kurz ist, während welcher Zeit die positive Polaritätsspannung angelegt wird. 823, 826 und 829 stellen Zeitperioden entgegengesetzter Polaritätshaltezeit dar, wenn der Stopp erhöht wird. Wenn Kurzschlussimpulse während der Bearbeitung nicht vorkommen und die Bearbeitung in stabiler Weise in D fortschreitet, wo die Stoppzeit der entgegengesetzten Polaritätsspannung kurz ist, ist es nutzlos zu sagen, dass die Bearbeitungsgeschwindigkeit höher ist in D als in E, wo der Stopp erhöht wurde, da die Anzahl der Entladungsimpulse in D grösser ist als in E, da die Stoppzeit kürzer ist. In D jedoch, wo die entgegengesetzte Polaritätsspannungsstoppzeit kurz ist, nimmt die Zeit ab, wenn die Spannung an die Seite der positiven Polarität angelegt ist, wobei die mittlere Spannung nicht reduziert werden kann. Wenn die mittlere Spannung hoch ist, lagert sich Teer graduell an der bearbeiteten Oberfläche ab, was einen Kurzschluss verursacht. Daher wird durch den Nachweis eines Kurzschlusses die Stoppzeit der entgegengesetzten Polaritätsspannung wie in E erhöht und die mittlere Spannung fällt auf 0 V oder nahe 0 V ab, wobei Teer im dielektrischen Fluidum schwimmt und zusammen mit dem Bearbeitungsfluidum, welches immer zugeführt wird, abtransportiert wird, sodass der Teer von der bearbeiteten Oberfläche entfernt werden kann, um die Bearbeitung wiederum zu stabilisieren. Während die Bearbeitung stabil ist, wird die Bearbeitung unter der Voraussetzung einer hohen Stoppzeit höher, jedoch wird unter dieser Bedingung Teer auf der bearbeiteten Oberfläche abgelagert und die Bearbeitung kann nach einer langen Bearbeitungszeit nicht fortgesetzt werden. Demzufolge wird, bevor die Maschine wie oben beschrieben angehalten wird, ein Kurzschluss nachgewiesen, als ankündigendes Phänomen, und der Teer wird entfernt, um eine Hochgeschwindigkeitsbearbeitung zu ermöglichen.

Zu diesem Zweck wird ein Kurzschluss in der Bearbeitungsspalte durch den Kurzschlussnachweisstromkreis 710 nachgewiesen und das Kurzschlussimpulsverhältnis wird durch das Kurzschlussimpuls-Verhältnis-Abschätzungsgerät 710 berechnet, wobei die Information über die Anzahl Impulse, welche vom Impulssteuerstromkreis abgegeben wird, und die Information über Kurzschlussimpulse vom Kurzschlussnachweisstromkreis 710 verwendet werden. Ist das Kurzschlussimpulsverhältnis über z.B. 10%, wird ein Signal an den Impulssteuerstromkreis 709 abgegeben, um die Stoppzeit der entgegengesetzten Polaritätsspannung zu erhöhen und um die Anwenzeit der positiven Polaritätsspannung zu erhöhen, wobei die mittlere Spannung auf 0 V oder nahezu 0 V abfällt.

Beispiel 6

Fig. 9 ist ein Blockdiagramm, das eine sechste Ausführungsform der Erfindung zeigt. Nachstehend wird auf die Merkmale der Zeichnung Bezug genommen: 901 zeigt eine Gleichstromversorgung (ungefähr +80 V) für entgegengesetzte Polarität (positive Elektrode, negatives Werkstück), 902 zeigt eine Gleichstromspannungsquelle (ungefähr -80 V) für die positive Polarität (negative Elektrode, positives Werkstück), 903 stellt einen Widerstand für eine entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze dar, 904 bezeichnet einen Widerstand für eine positive Polaritätsstromgrenze, 905 stellt eine Elektrode dar, 906 bezeichnet ein Werkstück, 907 gibt ein Schaltmittel für die entgegengesetzte Polarität an, 908 zeigt ein Schaltmittel für eine positive Polarität, 909 bezeichnet einen Impulskontrollstromkreis, 910 zeigt einen Zündausfallimpulsnachweis-Stromkreis, 912 zeigt eine zweite Gleichstromquelle, welche eine niedrigere Spannung aufweist als die erste Gleichstromquelle 911, 912 und 914 bezeichnen einen Komparator, 915 bezeichnet einen NOT-Stromkreis, 916 bezeichnet einen AND-Stromkreis und 913 bis 916 bezeichnen Dioden.

Der Betrieb wird nun beschrieben. Wenn die Bearbeitungsspalte mit Teer und/oder Schlamm gefärbt wird oder der Widerstand des dielektrischen Fluidums abfällt, gibt die Bearbeitungsspaltenspannung keinen Anlass, eine Spannung einzustellen. Im Allgemeinen wird bei der Funkenentladung das Vorkommen einer Entladung durch einen Abfall der Spannung in einer Bearbeitungsspalte nachgewiesen. Demzufolge kann ein Spannungsabfall auf Grund einer Verfärbung nicht vom Vorkommen einer Entladung unterschieden werden und eine Spannung wird gestoppt nach dem Festlegen der Impulsbreite. Dieses Phänomen wird nachstehend als Bildung eines «Fehlimpulses» bezeichnet. Wird in der Bearbeitungsspalte Teer abgelagert, findet ein Fehlimpulsphänomen statt. Im Allgemeinen beträgt der Schwellenspannungswert für den Nachweis des Vorkommens einer Entladung ungefähr 60 V und die Bearbeitungsspaltenspannung während der Entladung beträgt ungefähr 25 V. Wenn die Bearbeitungsspaltenspannung wegen einer Färbung der Bearbeitungsspalte unterhalb den Schwellenwert fällt, findet ein Fehlimpuls statt und die Spannung wird gleichzeitig auf 20 V oder entsprechend dem Grad der Färbung reduziert. Wenn die Bearbeitungsspalte in solcher Weise gefärbt wird, dass die Bearbeitungsspaltenspannung bis zur Entladungsspannung fällt, kann eine Entladung nicht von einem Fehlimpuls unterschieden werden. In einer Stufe vor dem genannten Zustand, d.h. beim Fehlimpulszustand bei der Spannung zwischen ungefähr 60 V und 30 V, kann der Fehlimpuls nachgewiesen werden. Während die Bearbeitung in stabiler Weise fortgesetzt wird, wird unter der Bedingung einer kurzen Stoppzeit die Bearbeitungsgeschwindigkeit höher, unter dieser Bedingung wird jedoch wahrscheinlich Teer auf der Bearbeitungsoberfläche abgelagert und die Bearbeitung kann nach einer langen Bearbeitungszeit nicht fortgesetzt werden. Demzufolge wird, bevor die Bearbeitung, wie oben

beschrieben, unterbrochen wird, ein Fehlimpuls als ankündigendes Phänomen festgestellt und der Teer wird entfernt, um das Hochgeschwindigkeitsbearbeiten zu ermöglichen.

Zu diesem Zweck wird der Fehlimpuls durch den Fehlimpulsnachweis-Stromkreis 910 nachgewiesen und die Stoppzeit der entgegengesetzten Polaritätsspannung und die Anlegezeit der positiven Polaritätsspannung werden durch den Impulssteuer-Stromkreis 909 erhöht, um die mittlere Spannung des Bearbeitungsspaltes auf 0 V oder nahezu 0 V zu reduzieren. Durch die Verminderung der mittleren Spannung schwimmt Teer im Bearbeitungsfluidum und fließt zusammen mit dem Bearbeitungsfluidum, welches laufend zugeführt wird, hinaus, so dass der Teer zur Stabilisierung der Bearbeitung entfernt werden kann.

Beispiel 7

Fig. 10 ist ein Blockdiagramm, das eine siebente Ausführungsform der Erfindung zeigt. In der Zeichnung werden nachstehend die einzelnen Merkmale angegeben: 1001 bedeutet eine Gleichstromversorgung (ungefähr + 80 V) für eine entgegengesetzte Polarität (positive Elektrode, negatives Werkstück), 1002 bezeichnet eine Gleichstromquelle (ungefähr - 80 V) für eine positive Polarität (negative Elektrode, positives Werkstück), 1003 stellt einen Widerstand für eine entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze dar, 1004 bezeichnet einen Widerstand für eine positive Polaritätsstromgrenze, 1005 stellt eine Elektrode dar, 1006 bezeichnet ein Werkstück, 1007 bezeichnet ein Schaltmittel für die entgegengesetzte Polarität, 1008 bezeichnet ein Schaltmittel für eine positive Polarität, 1009 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis, 1010 bedeutet ein Schaltmittel und 1011 zeigt eine Gleichstromversorgung für die Impedanzmessung der Bearbeitungsspalte, die derart verbunden ist, dass eine entgegengesetzte Polaritätsspannung an die Bearbeitungsspalte angelegt wird. 1012 bezeichnet einen Widerstand, 1013 zeigt einen Abtast- und Haltekreis, 1014 zeigt einen Rechner, welcher die Impedanz der Bearbeitungsspalte von einem Output des Abtast- und Haltekreises 1013 berechnet und ein Signal für den Impulssteuerstromkreis 1009 erzeugt, entsprechend dem Resultat der Berechnung, und 413 bis 416 stellen Dioden dar.

Nun wird der Betrieb beschrieben. Wenn die Bearbeitungsspalte durch Teer und/oder Schlamm gefärbt wird, oder wenn der Widerstand des dielektrischen Fluidums vermindert wird, vermindert sich die Impedanz der Bearbeitungsspalte. Wenn die Impedanz der Bearbeitungsspalte sinkt, findet wahrscheinlich eine Entladung nicht statt. Demzufolge muss die verminderte Impedanz nachgewiesen werden, um die Impedanz wieder herzustellen. Während der Stoppzeit des Impulses der entgegengesetzten Polarität wird das Schaltgerät 1010 für die Messung der Bearbeitungsspaltenimpedanz durch den Impulssteuerstromkreis 1009 eingeschaltet, statt das Schaltgerät der positiven Polarität, welches durch den Impulssteuerstromkreis 1009 eingeschaltet wird, und die Spannung an der Bearbei-

tungsspalte zu dieser Zeit (entgegengesetzte Polaritätsspannung, erzeugt durch die Schaltvorrichtung für die Impedanzmessung an der Bearbeitungsspalte) wird zur Probe in Betrieb genommen und durch den Abtast- und Haltekreis 1013 entsprechend dem Outputsignal des Abtast- und Haltekreises 1013 gesteuert, während das Schaltmittel 1010 durch den Impulssteuerstromkreis 1009 eingeschaltet bleibt. Dann wird der Ausdruck $V_g = rE/(r + R)$ (worin V_g die Tastspeicherspannung der Bearbeitungsspalte darstellt, r = die Bearbeitungsspaltenimpedanz, E = vorgegebener Spannungswert der Stromversorgung für die Messung Bearbeitungsspaltenimpedanz 1011, R = vorgegebener Widerstandswert des Widerstandes 1012) verwendet, um die Bearbeitungsspaltenimpedanz R mittels des Rechners 1014 zu berechnen, und wenn die Bearbeitungsspaltenimpedanz als Resultat unter einen vorbestimmten Wert fällt, wird ein Signal zum Impulssteuerstromkreis 1009 geleitet, um die Zunahme der Stoppzeit der entgegengesetzten Polaritätsspannung zu erhöhen und um die Anlegezeit der positiven Polaritätsspannung zu erhöhen, wobei eine Verminderung der Spannung an der Bearbeitungsspalte auf 0 V oder nahezu 0 V bewirkt wird. Durch die Reduktion der mittleren Spannung kann der Teer entfernt werden, um die Bearbeitungsimpedanz zu erhöhen.

Beispiel 8

Fig. 11 ist ein Blockdiagramm, das eine achte Ausführungsform der Erfindung darstellt. In der Zeichnung sind die nachstehend angegebenen Merkmale dargestellt: 1001 zeigt eine Gleichstromversorgung (ungefähr + 80 V) für eine entgegengesetzte Polarität (positive Elektrode, negatives Werkstück), 1002 zeigt eine Gleichstromversorgung (ungefähr - 80 V) für eine positive Polarität (negative Elektrode, positives Werkstück), 1003 zeigt einen Widerstand für eine entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze, 1004 bezeichnet einen Widerstand für eine positive Polaritätsstromgrenze, 1005 stellt eine Elektrode dar, 1006 bezeichnet ein Werkstück, 1007 gibt ein Schaltmittel für die entgegengesetzte Polarität an, 1008 bezeichnet ein Schaltmittel für die positive Polarität, 1009 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis, 1010 bezeichnet ein Bearbeitungsbad, 1012 bezeichnet einen Widerstandsmesser, 1013 bezeichnet einen Rechner, 1014 bezeichnet eine Gleichstromversorgung, 1015 bezeichnet einen Widerstand, 1016 stellt ein Schaltmittel dar, 1017 stellt einen Abtast- und Haltekreis dar und 413 bis 416 bedeuten Dioden.

Nun wird der Betrieb beschrieben. Wie in Beispiel 4 beschrieben, wird der in der Bearbeitungsspalte abgelagerte Teer durch den Rechner 1013 nachgewiesen, auf Grund einer Differenz zwischen dem theoretischen Bearbeitungsspaltenwiderstand und dem tatsächlich gemessenen Bearbeitungsspaltenwiderstand. Die Ablagerung von Teer in den Bearbeitungsspalten erschwert eine Entladung und destabilisiert den Bearbeitungsstatus. Der Teer muss somit entfernt werden, wenn seine Ablagerung nachgewiesen wird. Wenn eine Teerablagerung durch den Rechner 1013 nachgewiesen wird, wer-

den die Stoppzeit und die Anlegezeit der positiven Polaritätsspannung durch den Impulssteuerstromkreis 1109 erhöht, um die mittlere Spannung an der Bearbeitungsspalte auf 0 V oder nahezu 0 V zu vermindern. Durch Reduktion der mittleren Spannung kann der Teer entfernt werden.

Beispiel 9

Fig. 12 ist ein Blockdiagramm, das eine neunte Ausführungsform der Erfindung darstellt. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Ausführungsform eine Änderung der Ausführungsform gemäss Beispiel 7 betrifft.

In der Zeichnung haben die Merkmale die nachstehende Bedeutung: 1201 gibt eine Gleichstromversorgung (ungefähr + 80 V) für eine entgegengesetzte Polarität (positive Elektrode, negatives Werkstück) an, 1202 bezeichnet eine Gleichstromversorgung (ungefähr - 80 V) für eine positive Polarität (negative Elektrode, positives Werkstück), 1203 stellt einen Widerstand für eine entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze dar, 1204 bezeichnet einen Widerstand für eine positive Polaritätsstromgrenze, 1205 stellt eine Elektrode dar, 1206 bezeichnet ein Werkstück, 1207 gibt ein Schaltmittel für eine entgegengesetzte Polarität an, 1208 bezeichnet ein Schaltmittel für eine positive Polarität, 1209 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis und 1210 gibt eine Gleichstromversorgung an, für die Bearbeitungsspaltenimpedanzmessung, welche derart verbunden ist, dass eine positive Polaritätsspannung an die Bearbeitungsspalte angelegt wird. 1211 stellt einen Widerstand dar, 1212 bezeichnet ein Schaltmittel, 1214 bezeichnet einen Abtast- und Haltekreis, 1215 bezeichnet einen Rechner, 1216 stellt ein Probesignal dar, welches vom Impulssteuerstromkreis 1209 an den Abtast- und Haltekreis 1214 abgegeben wird, wenn das Schaltmittel 1208 eingeschaltet wird, 1217 gibt ein Anzeigegerät für die Bearbeitungsspaltenimpedanz an und 413 bis 416 stellen Dioden dar.

Nun wird der Betrieb beschrieben. An Stelle des Schaltmittels 1208 für die positive Polarität, das während der Stoppzeit des entgegengesetzten Polaritätsimpulses eingeschaltet ist, um eine negative Spannung zu erzeugen, wird das Schaltmittel 1212 bei vorbestimmten Impuls- und Zeitintervallen eingeschaltet. Es wird der Spannungswert zu dieser Zeit ermittelt und durch den Abtast- und Haltekreis 1214 zum Zeitpunkt des Outputs des ermittelten Signals 1216 festgehalten, wenn das Schaltmittel 1208 eingeschaltet ist. Die Bearbeitungsspaltenimpedanz wird von diesem gemessenen Spannungswert, der Spannung der Stromversorgung 1210 usw. berechnet (wie berechnet im Beispiel 7).

Fig. 13 zeigt eine Spannungswellenform einer Bearbeitungsspalte und das Sperrsignal 1216 zum Zeitpunkt der Messung der Impedanz an der Bearbeitungsspalte im Beispiel 9. In dieser Zeichnung werden folgende Merkmale dargestellt: F zeigt eine Interelektroden-Spannungswellenform und G ist ein Sperrsignal, 1301, 1302 und 1304 zeigen, dass eine normale positive Polaritätsspannung angelegt ist und 1303 zeigt, dass eine Impedanzmessspan-

nung angelegt ist. Die Gleichstromversorgung 1202 kann ebenfalls als Impedanzmessstromversorgung verwendet werden. Wenn jedoch eine Entladung in diesem Fall stattgefunden hat, unterscheidet sich jedoch der Impedanzwert stark vom aktuellen Wert. Um diesen Nachteil zu vermeiden, wird in dieser Ausführungsform die positive Polaritätsstromversorgung 1210 verwendet, deren Spannung gerade tief genug ist, damit eine Entladung bei positiver Polarität nicht vorkommt.

Beispiel 10

Fig. 14 ist ein Blockdiagramm, das eine zehnte Ausführungsform der Erfindung darstellt. In der Zeichnung sind die nachstehenden Merkmale dargestellt: 1501 bedeutet eine Gleichstromversorgung für eine entgegengesetzte Polarität (ungefähr + 80 V), 1502 bezeichnet eine Gleichstromversorgung für eine positive Polarität (ungefähr - 80 V), 1505 stellt eine Elektrode dar, 1506 bezeichnet ein Werkstück, 1507 bezieht sich auf ein Schaltmittel für eine entgegengesetzte Polarität, 1508 bezeichnet ein Schaltmittel für eine positive Polarität, 1509 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis, 1510 bezeichnet einen Widerstand für eine entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze, 1511 bezeichnet einen Widerstand für eine positive Polaritätsstromgrenze, 1520 bezeichnet einen Entladungsnachweisstromkreis und 413 bis 416 zeigen Dioden.

Der Betrieb wird nun gemäss Fig. 15 beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass Fig. 15 eine Bearbeitungsspalten-Wellenform im Beispiel 10 darstellt, zum Zeitpunkt wenn die Leerlaufzeit fortgesetzt wird. 1401, 1403, 1405 und 1407 zeigen Leerlaufzeitperioden, wenn eine Entladung für eine vorgegebene Zeitdauer nicht stattfindet, wenn eine Spannung an der Bearbeitungsspalte angelegt wird und 1402, 1404, 1406 und 1408 stellen Zeitperioden dar, bei welchen keine Entladung stattfindet, jedoch eine positive Polaritätsspannung angelegt wird, da die Leerlaufzeit die vorgegebene Zeit erreicht. 1409, 1412, bezeichnen Leerlaufzeitperioden, wenn eine Entladung stattfindet, bevor eine Leerlaufzeit eine vorgegebene Zeit erreicht hat. Ein langes Andauern der Leerlaufzeit vermeidet, dass die mittlere Spannung in der Bearbeitungsspalte reduziert wird, was zur Ablagerung von Teer und/oder Schlamm in der Bearbeitungsspalte führt. Das Beenden einer Leerlaufzeit nach einer gewissen Zeitdauer ermöglicht eine Verminderung der mittleren Spannung der Bearbeitungsspalte. Da ein langes Andauern der Leerlaufzeit darauf hindeutet, dass die Elektrode und das Werkstück voneinander entfernt sind, sollten sie derart gesteuert werden, dass sie sich gegeneinander bewegen.

Zu diesem Zweck werden das Schaltmittel 1507 der entgegengesetzten Polarität und das Schaltmittel 1508 der positiven Polarität durch einen Impulssteuerstromkreis 1509 angetrieben, um eine Spannung zwischen der Elektrode 1505 und dem Werkstück 1506 zu erzeugen und wenn die Polaritätsspannung an die Bearbeitungsspalte angelegt wird, wird durch den Entladungsnachweisstromkreis 1520 festgestellt, ob eine Entladung in der Bearbeitungs-

spalte stattgefunden hat. Falls keine Entladung während einer vorbestimmten Zeitdauer stattgefunden hat, wird der Aufbau einer entgegengesetzten Polaritätsspannung unterbrochen und eine positive Polaritätsspannung wird angelegt, damit die mittlere Spannung 0 V oder nahezu 0 V erreicht. Da dies angibt, dass die Elektrode 1505 und das Werkstück 1506 voneinander entfernt sind, wird eine Steuerung durch einen NC-Apparat so ausgeführt (nicht dargestellt), dass sich die Elektrode 1505 und das Werkstück 1506 gegeneinander bewegen.

Beispiel 11

Fig. 16 zeigt ein Blockdiagramm, das eine elfte Ausführungsform der Erfindung darstellt. In der Zeichnung sind die nachstehenden Merkmale angegeben: 1601 zeigt eine Gleichstromversorgung für eine entgegengesetzte Polarität (ungefähr + 80 V), 1608 bezeichnet eine Gleichstromversorgung für eine positive Polarität (ungefähr - 80 V), 1605 stellt eine Elektrode dar, 1606 bezeichnet ein Werkstück, 1607 zeigt ein Schaltmittel für eine entgegengesetzte Polarität, 1608 bezeichnet ein Schaltmittel für eine positive Polarität, 1609 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis, 1610 bezeichnet einen Widerstand für eine entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze, 1611 bezeichnet einen Widerstand für eine positive Polaritätsstromgrenze, 1620 stellt einen NC-Steuerapparat dar und 413 bis 416 stellen Dioden dar.

Fig. 17 zeigt eine Spannungswellenform im Zusammenhang mit der Ausführungsform gemäss Beispiel 11. In dieser Zeichnung bedeutet I eine Bearbeitungsspaltenspannungswellenform, J bedeutet eine Elektrodenstellung und 1530 bezeichnet einen Springbetrieb.

Der Betrieb wird nun beschrieben. Im Allgemeinen wird der Springbetrieb in einer Funkenerosionsmaschine, in welcher die Elektrode vom Werkstück wegbewegt wird, periodisch von einem NC-Steuerapparat bewirkt. Simultan mit dem Springbetrieb (nicht dargestellt) wird dem Impulssteuerstromkreis ein Springbetriebssignal zugeführt. Wie in Fig. 17 dargestellt, wird das positive Polaritätsschaltmittel 1608 während dem Sprung 1530 abgeschaltet, um eine positive Spannung an die Bearbeitungsspalte anzulegen, um die mittlere Spannung auf 0 V oder nahezu 0 V zu setzen.

Da diese Ausführungsform derart konstruiert ist, dass eine positive Polaritätsspannung an die Bearbeitungsspalte angelegt wird, um die mittlere Spannung während der Springoperation zu reduzieren, in welcher das für die Entfernung der Schnitzel in der Funkenerosionsmaschine erforderliche Bearbeiten nicht durchgeführt wird, wird das Hochgeschwindigkeitsbearbeiten möglich und gleichzeitig kann die Ablagerung von Teer auf dem Werkstück und der Elektrode unterdrückt werden.

Beispiel 12

Fig. 18 ist ein Spannungs-Wellenformdiagramm, das mit einer zwölften Ausführungsform der Erfindung im Zusammenhang steht. In dieser Zeichnung

bedeutet K eine Bearbeitungsspalten-Spannungswellenform, L eine Elektrodenposition und 1650 bezeichnet einen Sprungbetrieb. Es wird darauf hingewiesen, dass die Anordnung identisch ist zu derjenigen gemäss Fig. 16.

Wie in Fig. 18 dargestellt, entsprechend der elften Ausführungsform, wird eine entgegengesetzte Polaritätsspannung an die Bearbeitungsspalte angelegt, um das Werkstück zu bearbeiten, wobei eine positive Polaritätsspannung während dem Unterbruch der entgegengesetzten Polaritätsspannung angelegt wird, um die mittlere Spannung zu vermindern, und es wird ein Sprungsignal an den Impulssteuerstromkreis 1609 durch den NC-Steuerapparat 1620 übermittelt, während dem Elektroden-sprungbetrieb 1650, um eine Niederfrequenzspannung an die Bearbeitungsspalte anzulegen.

Das Anlegen einer Niederfrequenzspannung an die Bearbeitungsspalte während dem Sprung 1650 bewirkt eine Aggregatbildung der Schnitzel. Die Existenz von pulverförmigen Schnitzeln einer minimalen Grösse (d.h. etwa 10 μm) in der Bearbeitungsspalte bewirkt eine bearbeitete Oberfläche, die eine feinere Oberflächenrauheit aufweist.

Beispiel 13

Fig. 19 ist ein Anordnungsdiagramm, das eine dreizehnte Ausführungsform der Erfindung betrifft. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Ausführungsform eine weitere Modifikation der Ausführungsform gemäss Beispiel 11 darstellt. In dieser Zeichnung sind die nachstehenden Merkmale dargestellt: 1901 bedeutet eine Gleichstromversorgung für eine entgegengesetzte Polarität, 1902 bezeichnet eine Gleichstromversorgung für eine positive Polarität, 1905 bedeutet eine Elektrode, 1906 bedeutet ein Werkstück, 1907 steht für ein Schaltmittel für die entgegengesetzte Polarität, 1908 bezeichnet ein Schaltmittel für eine positive Polarität, 1909 bezeichnet einen Impulssteuerstromkreis, 1910 bezeichnet einen Widerstand für eine entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze, 1911 bezeichnet einen Widerstand für eine positive Polaritätsstromgrenze, 1920 bezeichnet einen NC-Steuerapparat, 1930 zeigt einen Umschalter für eine positive Polaritätsstromversorgung und 413 bis 416 sind Dioden.

Fig. 20 ist ein Spannungswellenform-Diagramm, das im Zusammenhang mit der Ausführungsform in Beispiel 13 steht. In dieser Zeichnung bedeutet N eine Bearbeitungsspalten-Wellenform zur Zeit, wenn die Bearbeitung durchgeführt wird, während der Zeitunterbrechung einer entgegengesetzten Polaritätsspannung, d.h. unter der Bedingung einer kurzen positiven Polaritätsspannungsanlegezeit, und N bedeutet eine Elektrodenstellung zu dieser Zeit. O bezeichnet eine Bearbeitungsspaltenwellenform zur Zeit, wenn die Bearbeitung unter der Bedingung von keinen längeren Unterbrechungszeiten als in M durchgeführt wird, und P stellt die Elektrodenstellung zu dieser Zeit dar. 1701, 1703, 1704 und 1705 geben die Bearbeitung an, und 1702 und 1705 bezeichnen den Springbetrieb.

Der Betrieb wird nun beschrieben. Wenn eine entgegengesetzte Polaritätsspannung-Stopzeit durch

den NC-Steuerapparat 1920 vorgegeben wird, wird ein Signal an den Umschalter der positiven Polaritätsstromversorgung 1930 abgegeben, um die Versorgung des positiven Polaritätsstroms entsprechend der Stoppzeit auszuwählen, und eine vorgeschriebene positive Spannung wird an die Maschinenspalte während den Springoperationen 1702, 1705, angelegt.

Es wird darauf hingewiesen, dass da die mittlere Spannung der Bearbeitungsspalte nicht vermindert werden kann, wenn die Bearbeitung unter der Bedingung von M durchgeführt wird, wobei ein Unterbruch unter dieser Bedingung so kurz ist, wie in Fig. 20 angegeben, und die Spannung während dem Sprung 1702 erhöht wird, um eine mittlere Spannung von 0 V oder nahezu 0 V zu erreichen und da die mittlere Spannung der Bearbeitungsspalte unter der Bedingung von O (unter welcher ein Unterbruch lang ist) reduziert werden kann, wobei die Spannung während dem Sprung 1705 reduziert wird, um eine mittlere Spannung von 0 V oder nahezu 0 V zu erreichen.

Beispiel 14

Fig. 21 ist ein Anordnungsdiagramm, das im Zusammenhang mit einer vierzehnten Ausführungsform der Erfindung steht. In dieser Zeichnung sind folgende Merkmale dargestellt: 2001 zeigt eine Gleichstromversorgung für eine entgegengesetzte Polarität, 2002 bezeichnet eine Gleichstromversorgung für eine positive Polarität, 2005 zeigt eine Elektrode, 2006 zeigt ein Werkstück, 2007 weist auf ein Schaltmittel für eine entgegengesetzte Polarität hin, 2008 deutet auf ein Schaltmittel für eine positive Polarität hin, 2009 bezeichnet einen Impulskontrollstromkreis, 2010 bedeutet einen Widerstand für eine entgegengesetzte Polaritätsstromgrenze, 2011 bezeichnet einen Widerstand für eine positive Polaritätsstromgrenze, 2014 bedeutet einen Halbwellengleichrichterstromkreis, 2015 gibt einen Tiefpassfilter an, 2016 bedeutet einen PWM-Steuerstromkreis, 2030 stellt einen Oszillator dar und 413 bis 416 bezeichnen Dioden.

Der Betrieb wird nun in Übereinstimmung mit Fig. 22 beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass Fig. 22 ein Spannungswellenform-Diagramm ist, das im Zusammenhang mit der Ausführungsform gemäss Beispiel 14 steht. Hier bedeutet Q eine Bearbeitungsspalten-Spannungswellenform einer Stromversorgung, welche eine positive Polaritätsspannung anlegt, während einer Anhaltezeit einer gepulsten Spannung mit entgegengesetzter Polarität, 1801 bedeutet die Anlegezeitperiode einer entgegengesetzten Polaritätsspannung und 1802 und 1803 bedeuten Anhaltezeitperioden einer entgegengesetzten Polaritätsspannung. Die positive Polaritätsspannung wird während der Periode 1802 angelegt und eine Spannung keiner Polarität wird während der Periode 1803 angelegt. Demzufolge wird die mittlere Spannung der Bearbeitungsspalte der Funkenerosionsmaschine auf 0 V gesteuert, durch die PWM-Steuerung, wie sie in Beispiel 3 beschrieben wird, der Output des Oszillators 2030 wird in einen Impulssteuerstromkreis 2009 eingege-

ben und der Impulssteuerstromkreis 2009 überträgt Steuersignale an das Schaltmittel 2007 für die entgegengesetzte Polarität und an das Schaltmittel 2008 für die positive Polarität, um eine Hochfrequenzspannung an die Bearbeitungsspalte anzulegen, wie in R gezeigt, während der Zeitperiode 1803, welche die entgegengesetzte Polaritätsspannungs-Stoppzeit ist, und der Zeitperiode, wenn die positive Polaritätsspannung nicht angelegt ist. Bevorzugt ist die Hochfrequenzspannung hoch genug, um eine Entladung zu verhindern. Die Anlegung der Hochfrequenzspannung während der Zeitperiode 1803, welche die entgegengesetzte Polaritätshaltezeit ist, und wenn die positive Polaritätsspannung nicht angelegt ist, wie oben beschrieben, rührt den Teer und den Schlamm in der Bearbeitungsspalte auf, wobei die Bearbeitung stabilisiert wird.

Beispiel 15

Es wird darauf hingewiesen, dass bei jeder der erwähnten Ausführungsformen, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13 und 14, der Widerstandswert des positiven Polaritätsspannungsstrom-Grenzwiderstandes korrekt ausgewählt werden kann, um eine schwache Entladung bei der Anwendung einer positiven Polaritätsspannung zu erzeugen, wobei ein Werkstück erhalten wird, das eine ausgezeichnete Oberflächenqualität aufweist. Ebenso können die genannten Ausführungsformen in zweckmässiger Weise unter Ausführung der vorliegenden Erfindung kombiniert werden.

Es wird ausdrücklich auf die gesamte Offenbarung der ausländischen Patentanmeldungen Bezug genommen, von welchen die Priorität in Anspruch genommen wurde.

Obschon die vorliegende Erfindung mittels Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf besondere Merkmale beschrieben wurde, soll darauf hingewiesen werden, dass die Offenbarung der bevorzugten Ausführungsform lediglich ein Beispiel ist und dass zahlreiche Änderungen in den Einzelheiten und der Anordnung der Komponenten durchgeführt werden können, ohne vom Erfindungsgedanken und vom Schutzbereich der vorliegenden Anmeldung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Funkenerosionsmaschine für die Anlegung einer gepulsten Spannung an eine Bearbeitungsspalte zwischen einer Elektrode und einem entgegengesetzten Werkstück in einem dielektrischen Fluidum, hergestellt aus Wasser und einer Substanz, oder in Öl, um eine Entladung zu erzeugen, um das Werkstück mit der Energie der Entladung zu bearbeiten, gekennzeichnet durch einen Teerablagerungsdetektor, welcher die Ablagerung von Teer zumindest an der Elektrode oder am Werkstück nachweist, auf Basis der Differenz zwischen einer Maschinenspaltenimpedanz, welche aus dem Widerstand des dielektrischen Fluidums und einem Elektrodenbereich gefunden wurde, und der tatsächlich gemessenen Bearbeitungsspaltenimpedanz.

2. Funkenerosionsmaschine gemäss Anspruch 1, gekennzeichnet durch

eine Bearbeitungsimpulssteuerapparatur für die Anlegung einer zweiten Polaritätsspannung bei der Stoppzeit einer ersten gepulsten Polaritätsspannung;

5

einen Kurzschlussimpuls-Nachweisstromkreis und ein Kurzschlussimpulsverhältnis-Beurteilungsgerät, um das Verhältnis der aufeinander folgenden Anzahl von Impulsen, die vom genannten Kurzschlussimpuls-Nachweisstromkreis als Kurzschluss nachgewiesen werden, zu beurteilen;

10

wobei die Stoppzeit des genannten ersten Polaritätsimpulses durch die Bearbeitungsimpulssteuerapparatur erhöht wird, wenn das Kurzschlussimpulsverhältnis-Beurteilungsgerät nachgewiesen hat, dass die Kurzschlussimpulse ein gesetztes Verhältnis überschreiten oder eine vorgegebene, aufeinander folgende Anzahl überschreiten.

15

3. Funkenerosionsmaschine gemäss Anspruch 1, gekennzeichnet durch

20

eine Bearbeitungsimpulssteuerapparatur für die Anlegung einer zweiten Polaritätsspannung bei der Stoppzeit einer ersten gepulsten Polaritätsspannung; und einen Fehlimpulsdetektor, für den Nachweis eines unerwünschten Spannungsabfalls an der Bearbeitungsspalte, wobei eine angelegte Spannung sich nicht erhöht und sich nicht auf eine Entladung bei einer ersten Polarität verschiebt;

25

die Stoppzeit des genannten ersten Polaritätsimpulses durch die Bearbeitungsimpulssteuerapparatur erhöht wird, wenn der genannte Fehlimpulsdetektor das Vorkommen eines unerwünschten Spannungsabfalles in der Maschinenspalte nachgewiesen hat.

30

35

40

45

50

55

60

65

12

FIG. 1

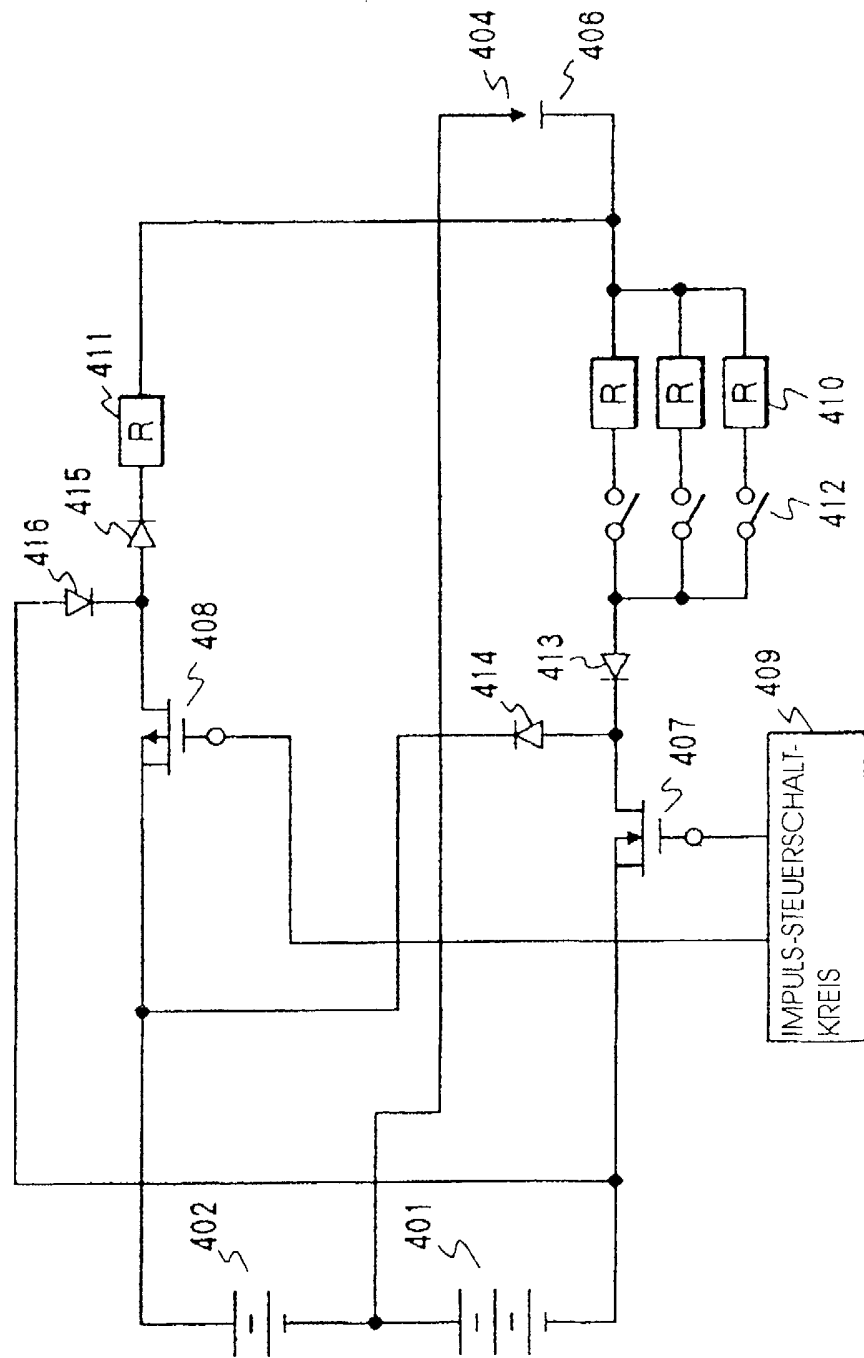


FIG. 2

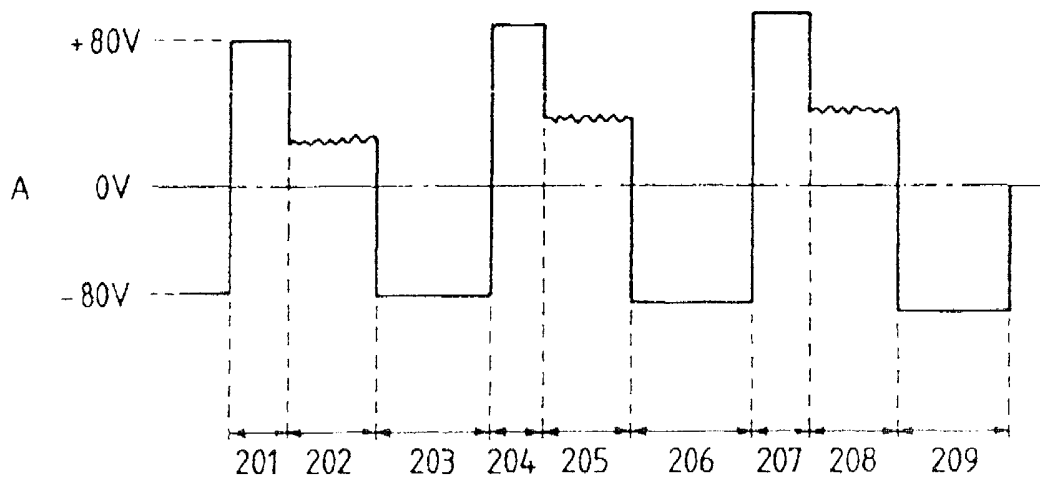


FIG. 5

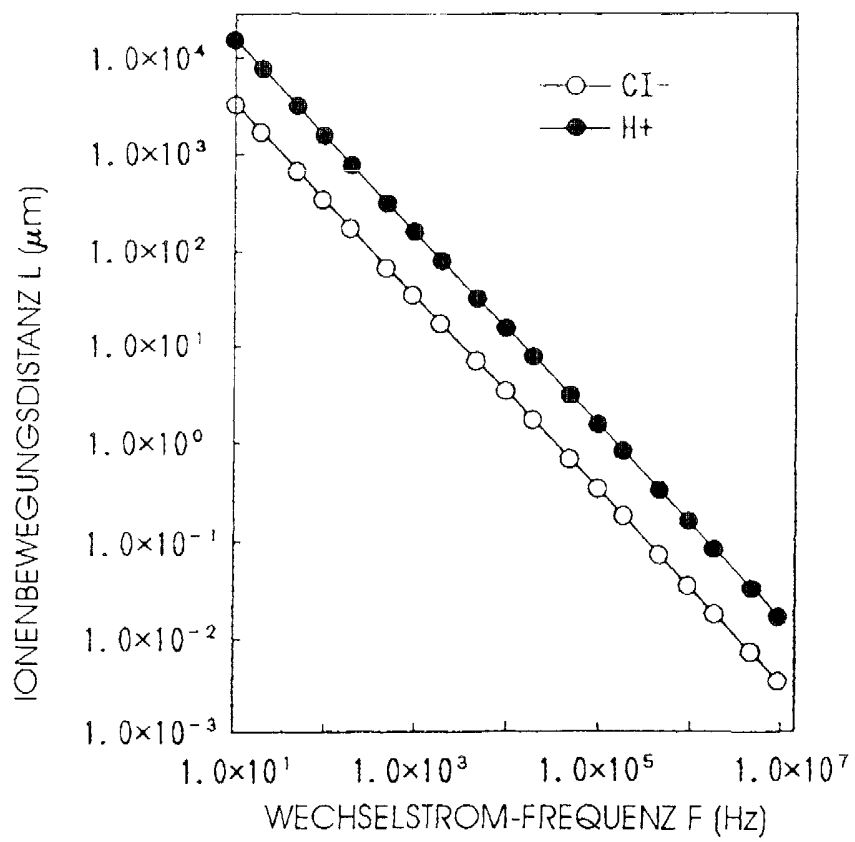


FIG. 3

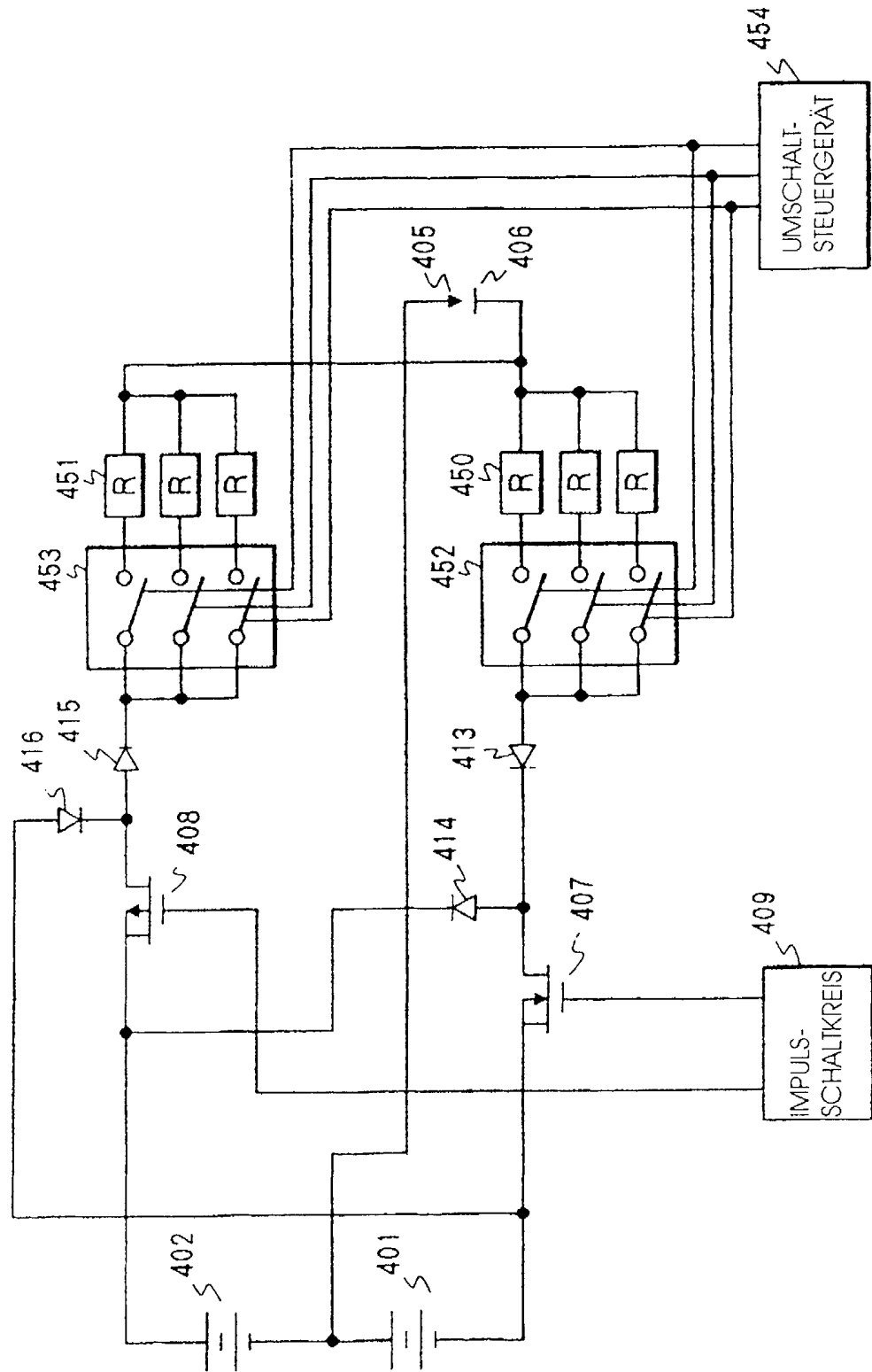


FIG. 4

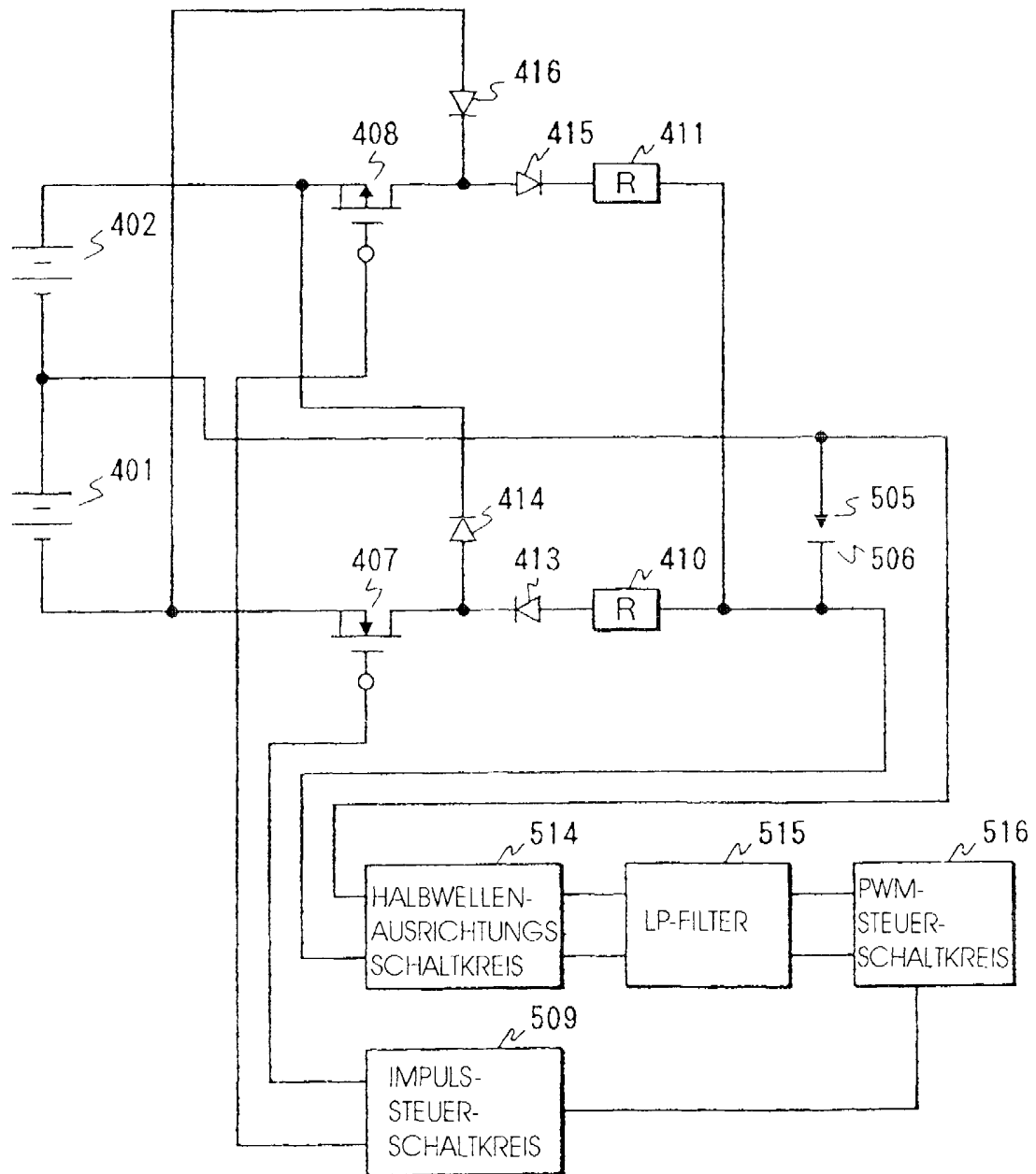


FIG. 6

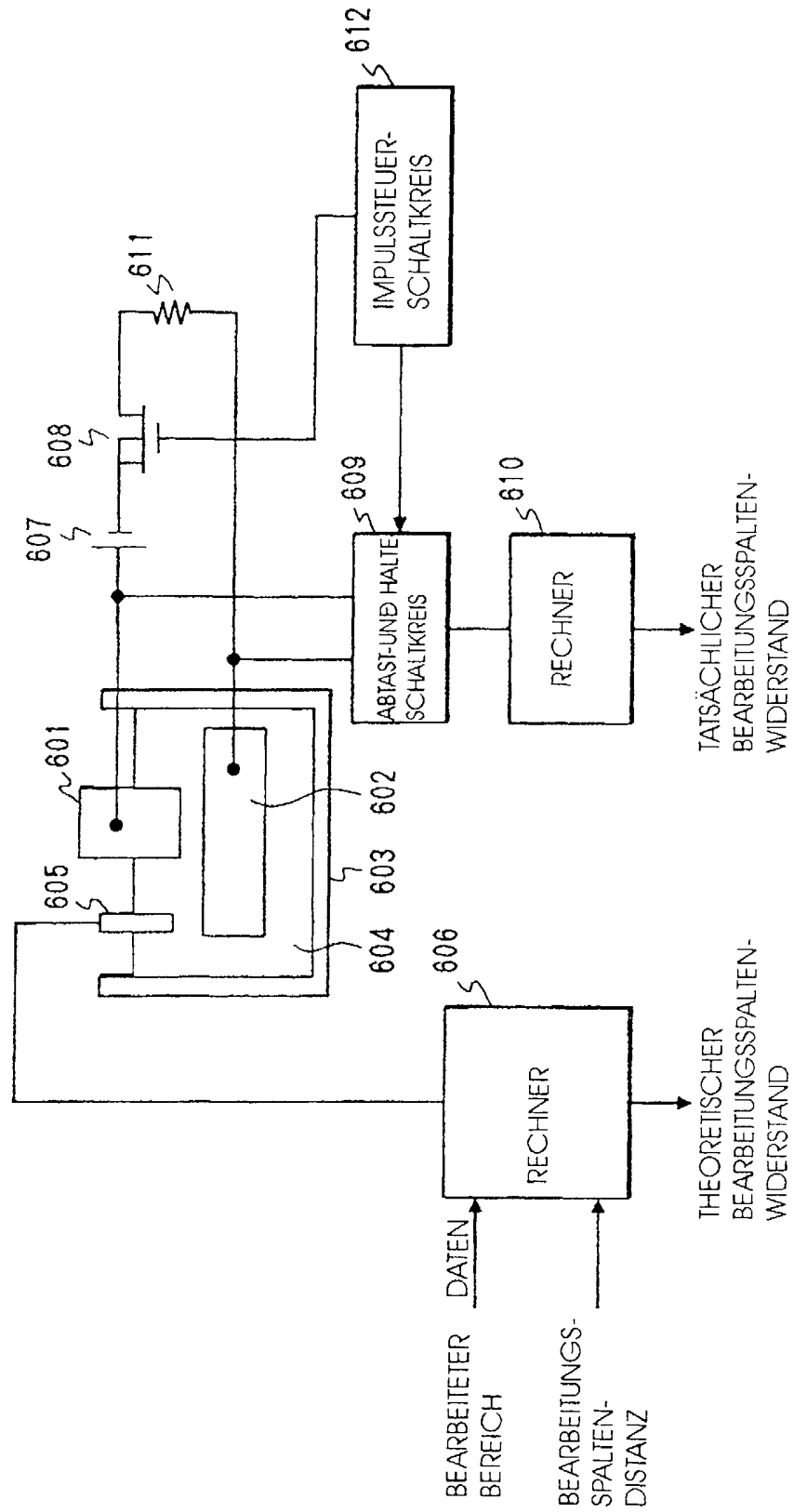


FIG. 7

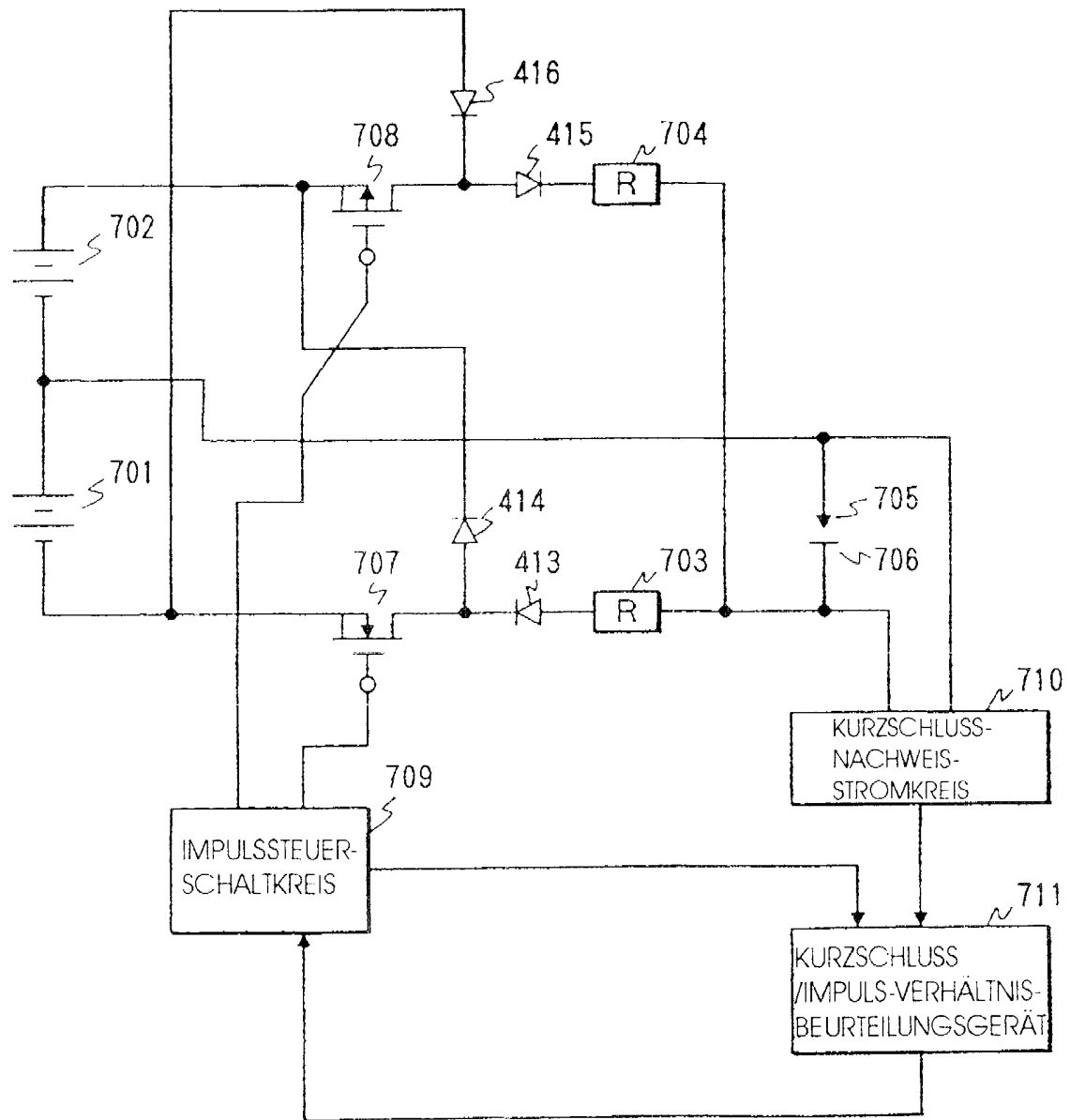


FIG. 8

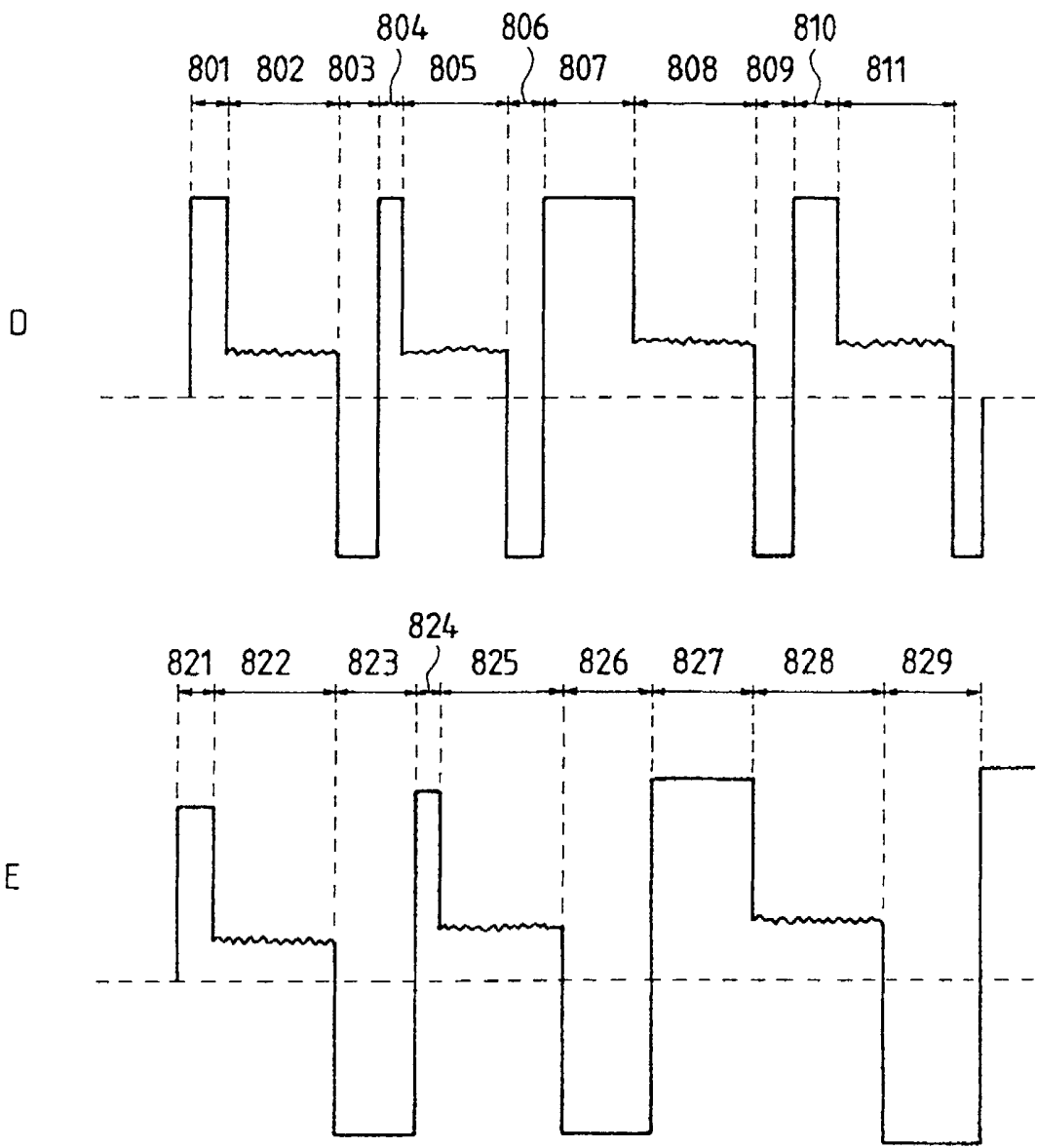


FIG. 9

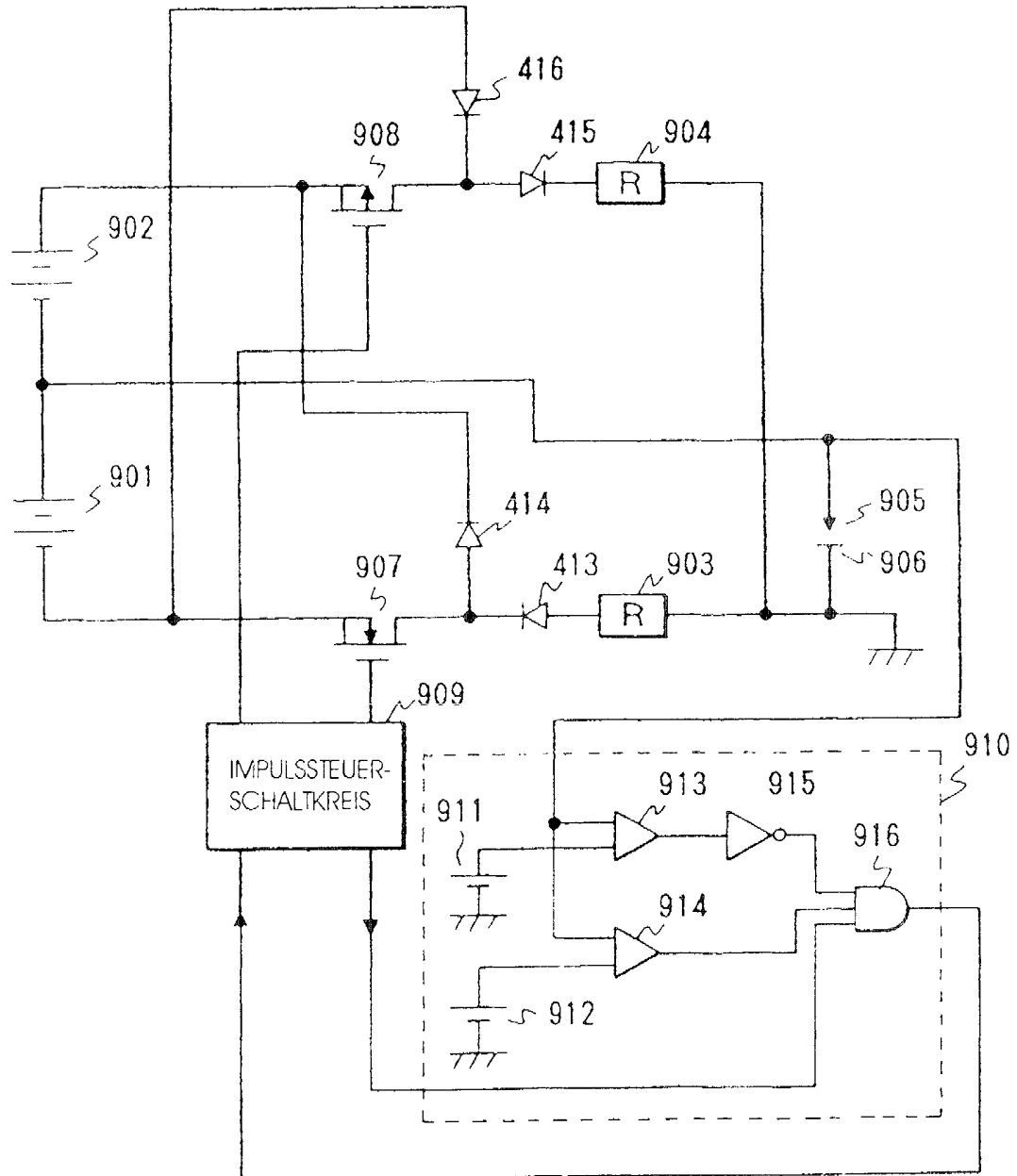


FIG. 10

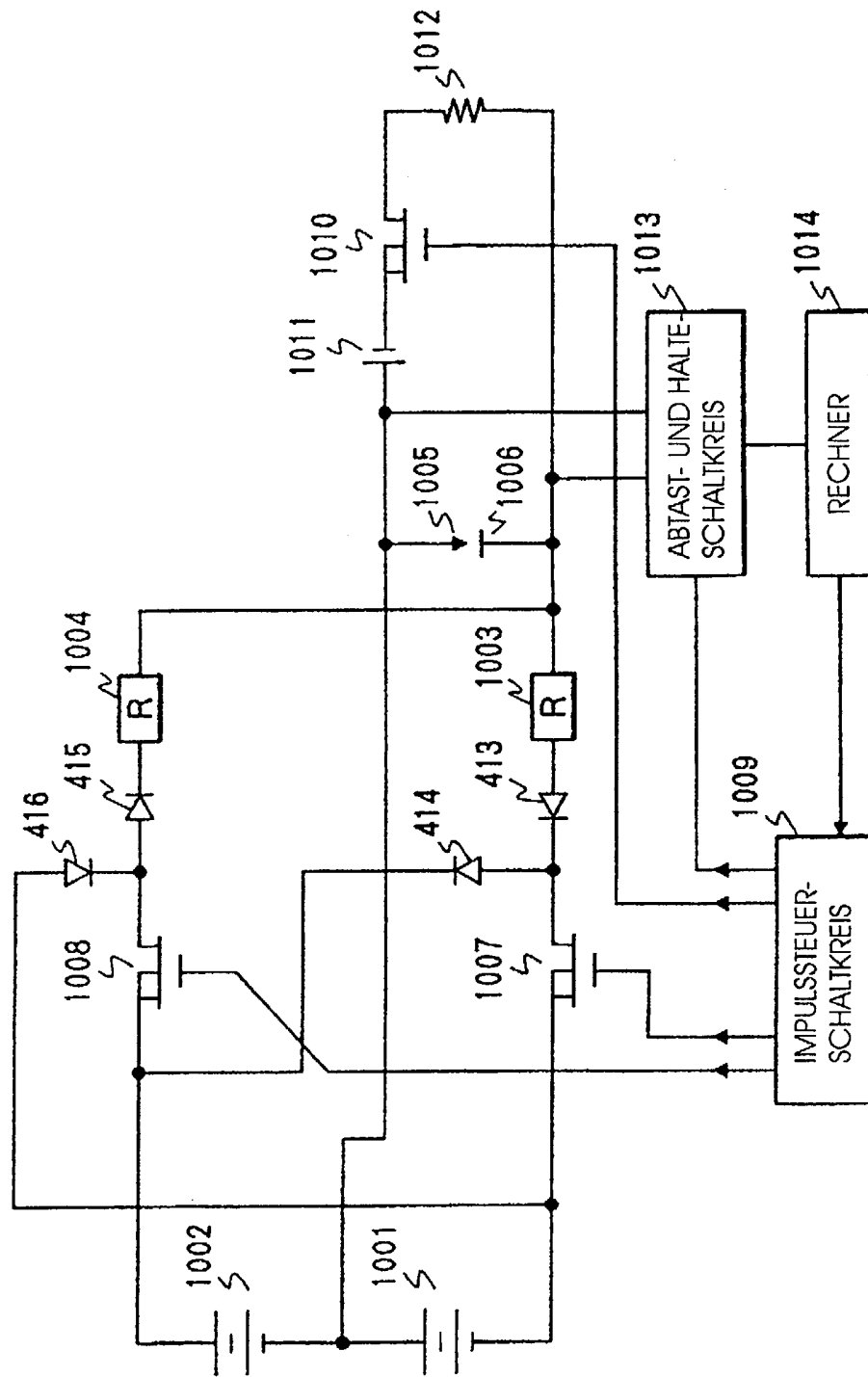


FIG. 11

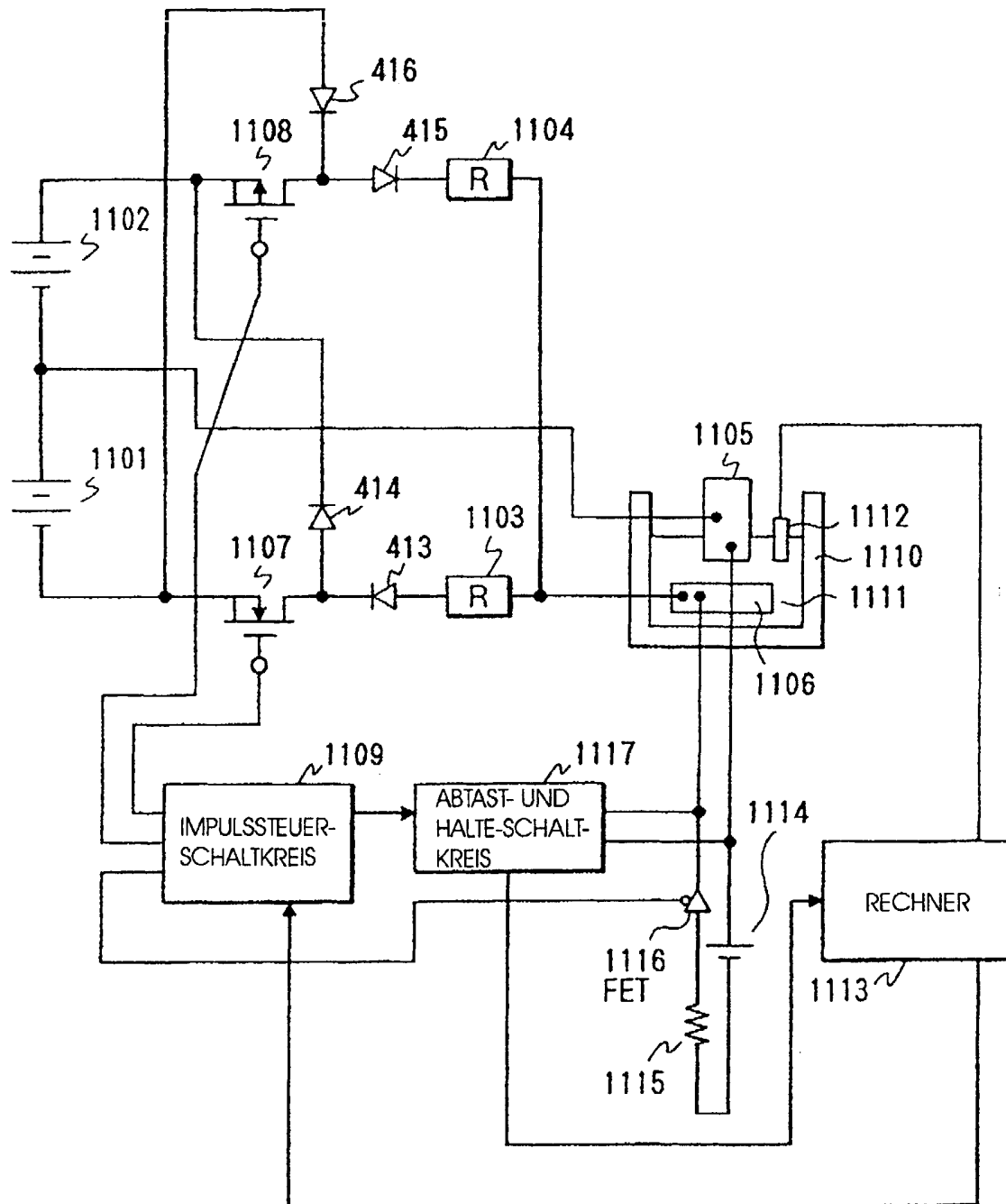


FIG. 12

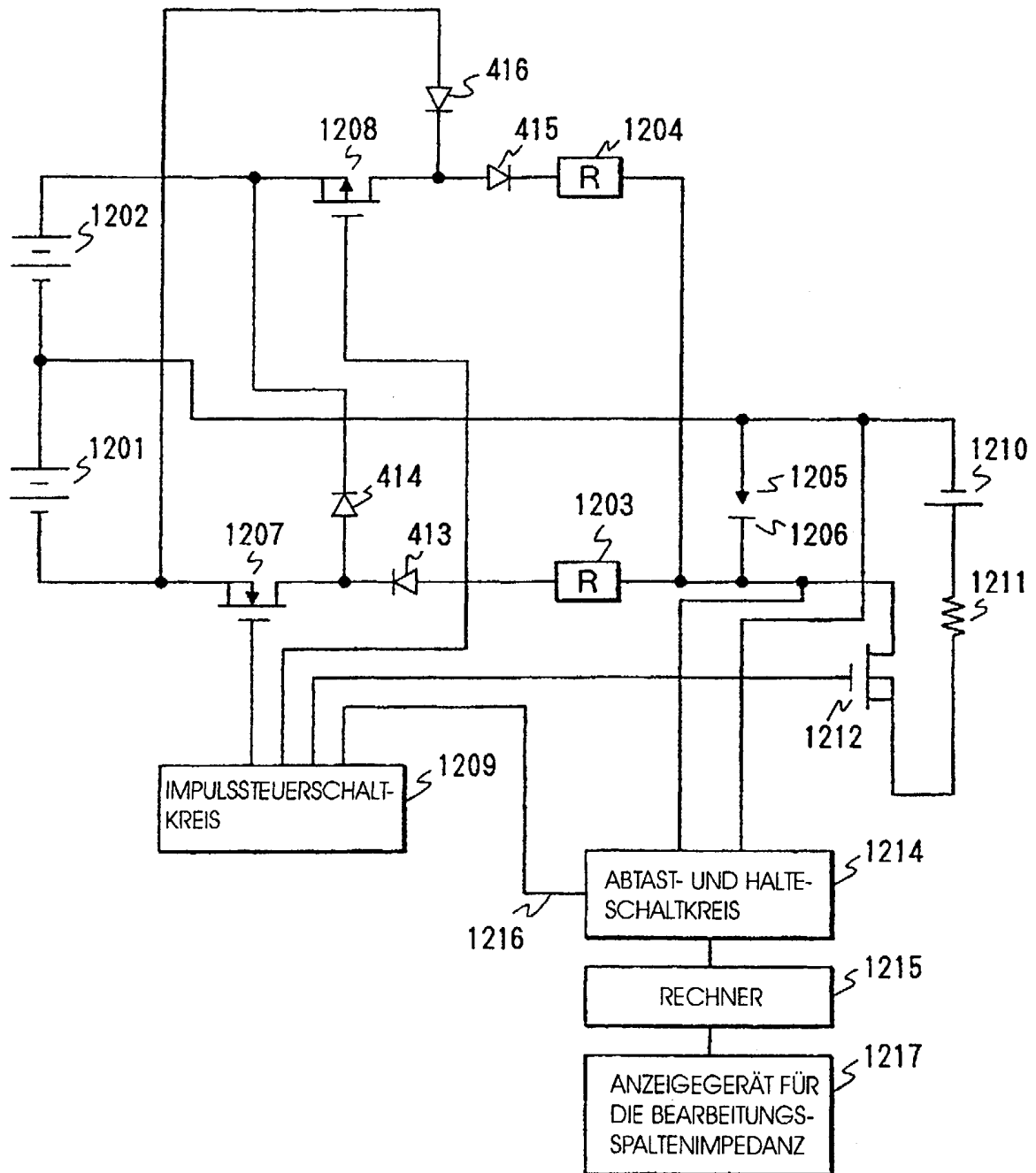


FIG. 13

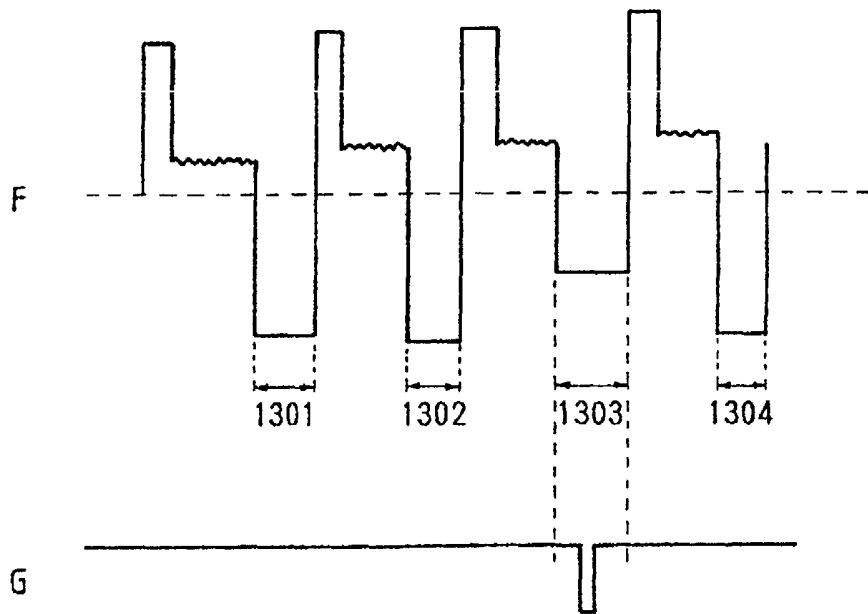


FIG. 14

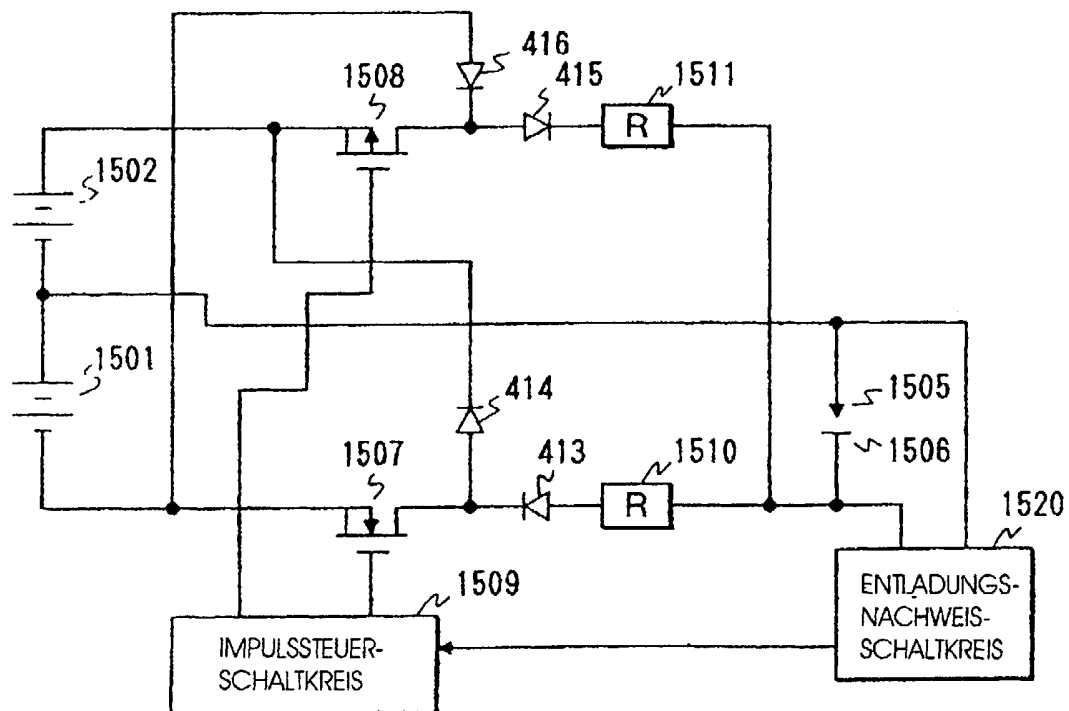


FIG. 15

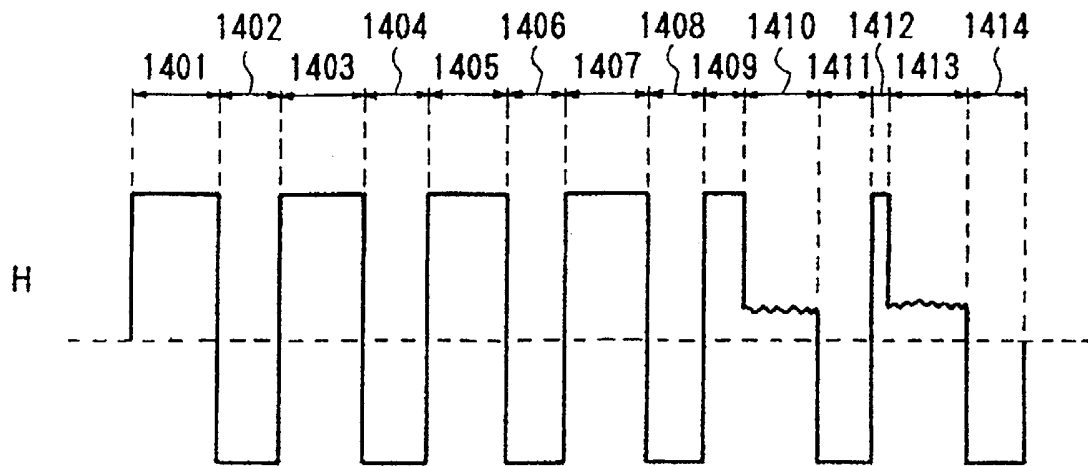


FIG. 16

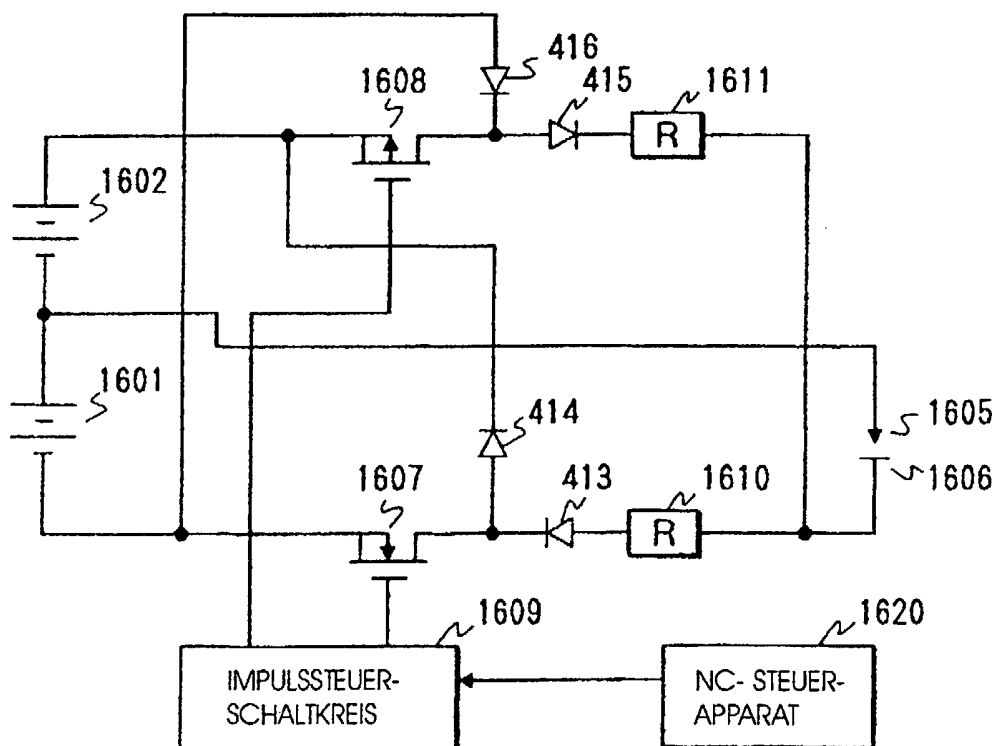


FIG. 17

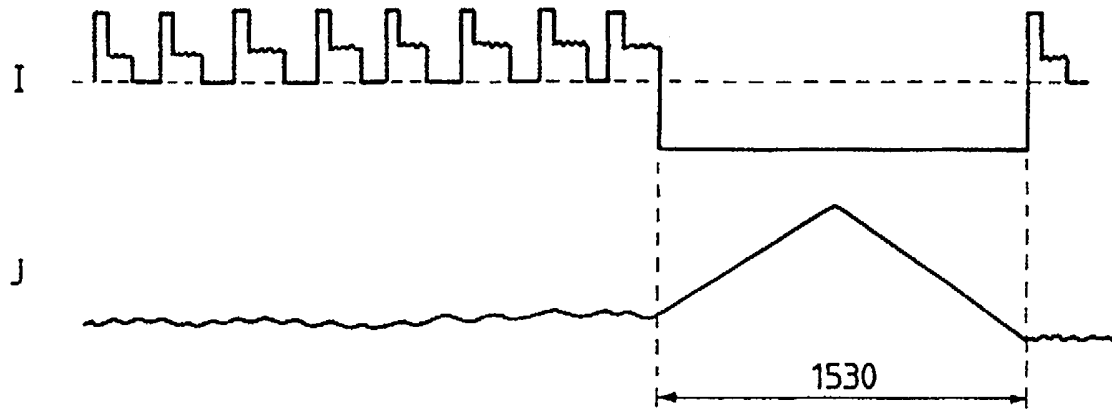


FIG. 18

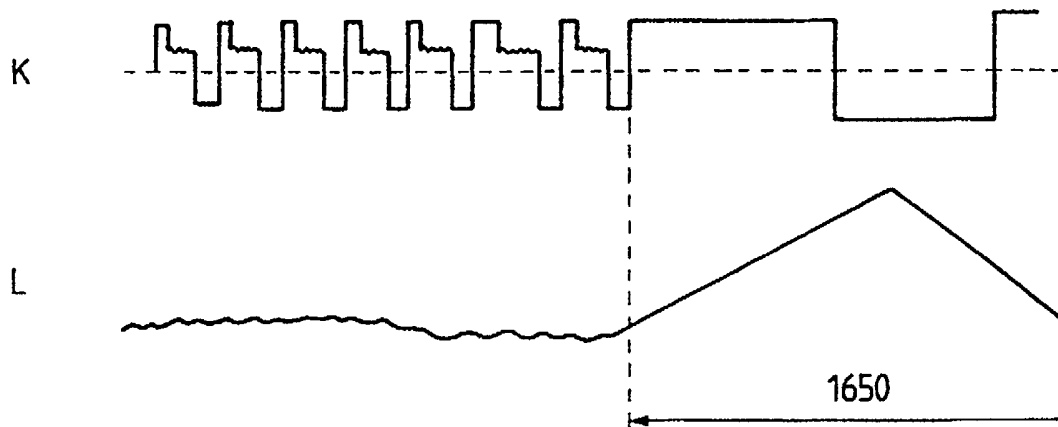


FIG. 20

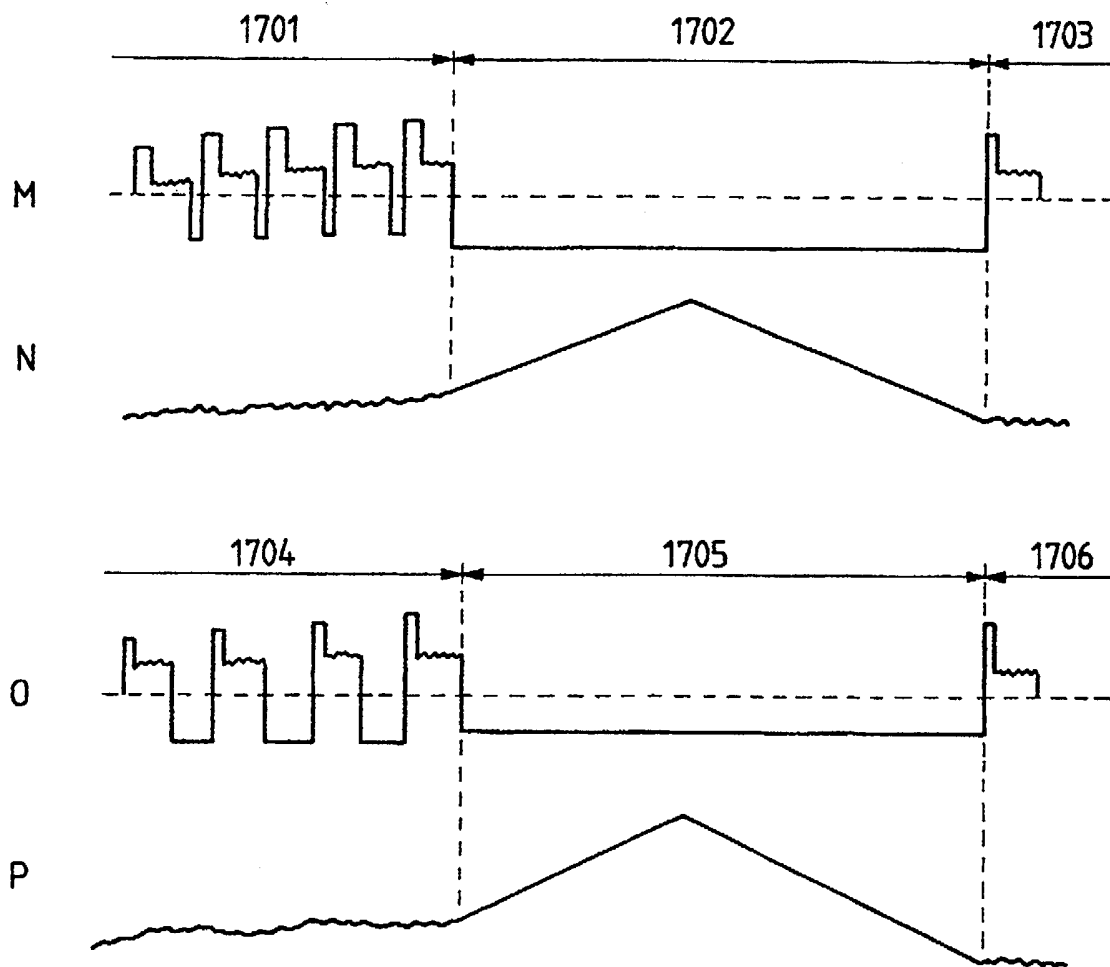


FIG. 21

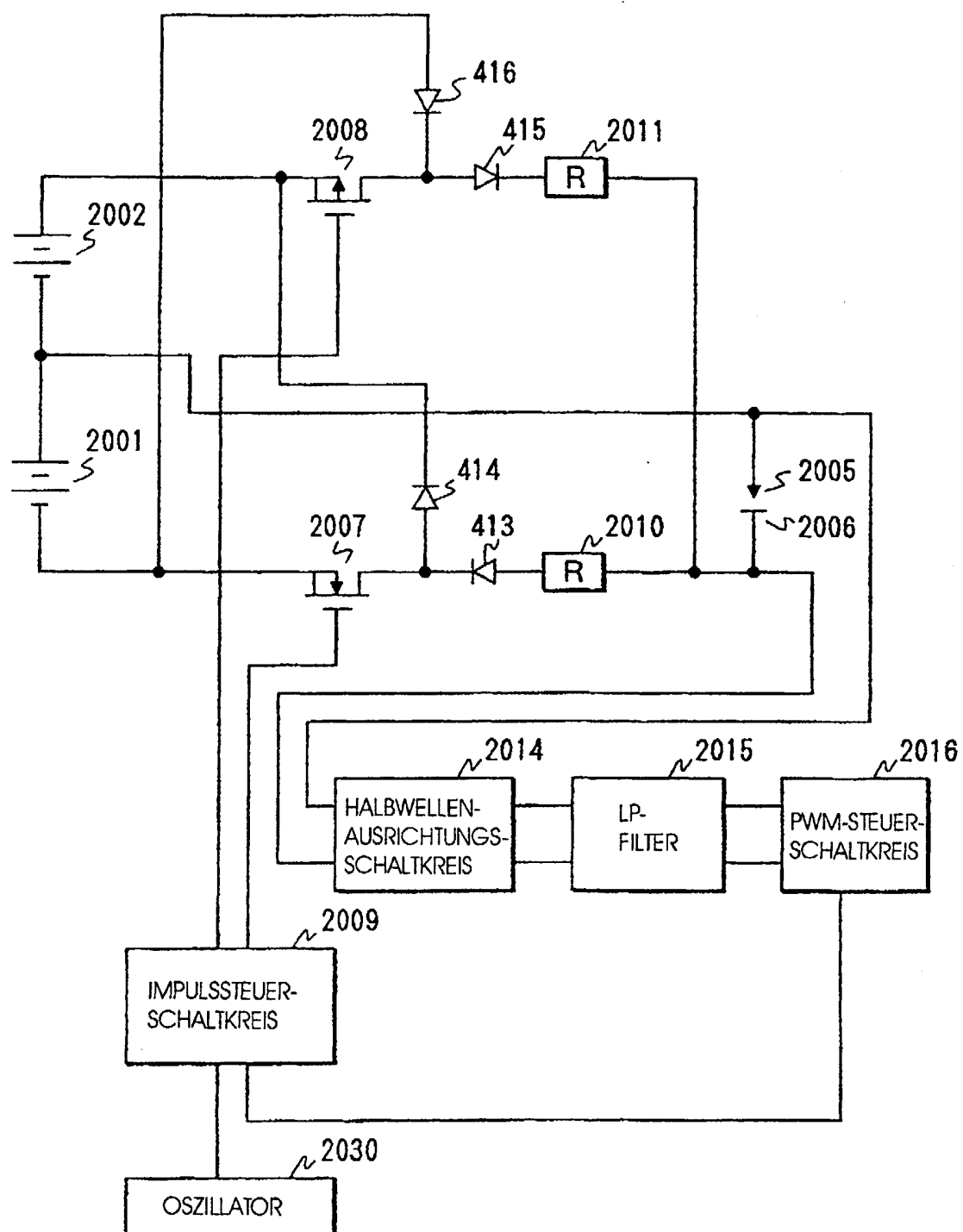


FIG. 22

