



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 690 754 A5

⑤1 Int. Cl.⁷: B 23 H 001/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

②① Gesuchsnummer: 03448/93

②② Anmeldungsdatum: 18.11.1993

③① Priorität: 18.11.1992 JP A4-308830
06.08.1993 JP A5-196401

②④ Patent erteilt: 15.01.2001

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.01.2001

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

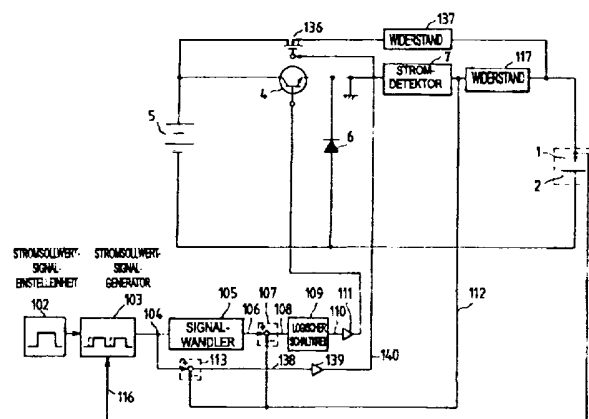
(72) Erfinder:
Taneda, Atsushi, Nagoya-shi/Aichi 461 (JP)
Ogawa, Hajime, Nagoya-shi/Aichi 461 (JP)
Uemoto, Kazuhiko, Nagoya-shi/Aichi 461 (JP)
Kinbara, Yoshihide, Nagoya-shi/Aichi 461 (JP)

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

⑤4 Energieversorgungsgerät für eine Funkenerosionsmaschine.

57 Das Energieversorgungsgerät für eine Funkenerosionsmaschine dient zum Zuführen einer impulsförmigen, elektrischen Leistung an einen Bearbeitungsspalt zwischen einer Elektrode (1) und einem Werkstück (2) und besitzt eine hohe Leistungsfähigkeit und eine kleine Wellenlänge.

Diese Energieversorgungsvorrichtung kann kostengünstig und mit reduzierten Abmessungen hergestellt werden. Es gelangt ein Leistungsschaltssystem mit mehreren Schalteinrichtungen zum Einsatz, um eine beliebige Wellenform zu erzeugen. Eine erste Schalteinrichtung wird in einem beliebigen Zyklus ein- oder ausgeschaltet. Sie wird von einer Stromführungsgröße gesteuert, entsprechend der Wellenform eines Stromimpulses, der an einen Bearbeitungsspalt geliefert wird. Dabei wird eine beliebige Form eines Stromimpulses an den Bearbeitungsspalt geliefert. Eine Stromkomponente, welche die beim Schalten im Zeitpunkt der Stromimpulslieferung erzeugte Stromwelligkeit kompensiert, wird dem Stromimpuls überlagert und dem Bearbeitungsspalt zugeführt.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Energieversorgungsgerät für eine Funkenerosionsmaschine zum Zuführen einer impulsförmigen, elektrischen Leistung an einen Bearbeitungsspalt zwischen einer Elektrode und einem Werkstück.

Eine Funkenerosionsmaschine führt einem Bearbeitungsspalt einen konstanten Entladungsstoss (Stromimpuls) zu, um ein Werkstück zu schmelzen und das geschmolzene Material von dort zu entfernen und das Werkstück durch die Energieentladung zu bearbeiten. Im Allgemeinen werden die folgenden vier herkömmlichen Stromversorgungsschaltungsanordnungen verwendet, um die Impulse mit konstantem Strom zuzuführen.

Eine bekannte Schaltungsanordnung für eine erste Stromversorgungsvorrichtung ist in Fig. 54 gezeigt. Diese Anordnung ist beispielsweise in der veröffentlichten japanischen Patentpublikation No. SHO62-27 928 als «Impulsgenerator zur Verwendung mit Funkenerosionsbearbeitungswerkzeug» offenbart.

In Fig. 54 bezeichnet das Bezugszeichen 1 eine Elektrode, 2 ein Werkstück, 3 eine Steuerschaltung für eine Schaltvorrichtung, 4 eine Schaltvorrichtung, 5 eine Stromversorgung zur Zuführung eines Bearbeitungsstromes, 6 eine Diode zum Verursachen, dass ein restlicher Strom fliesst, 7 einen Stromerfassungswiderstand, 8a und 8b eine Streuinduktivität der Verdrahtung, 9 einen Komparator, 10 einen Umhüllungssignalgenerator und 18 eine Servovorrichtung zur Durchführung der Servosteuerung der Elektrode 1.

Die Funktion dieser Schaltung wird nun beschrieben. Bevor eine Funkenerosion stattfindet, wird die Schaltvorrichtung 4 leitend und eine Bearbeitungsspannung wird an den Bearbeitungsspalt zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 durch die Stromversorgung 5 angelegt. Nach dem Start der Entladung wird ein Impulsbefehl 16, entsprechend einer Bearbeitungsstromwellenform, die dem Bearbeitungsspalt zugeführt wird, von einer Steuervorrichtung (in Fig. 54 nicht gezeigt) zum Umhüllungssignalgenerator 10 abgegeben. Der Impulsbefehl 16 wird durch den Umhüllungssignalgenerator 10 als Umhüllungssignale 13 und 14 abgegeben. Fig. 55 zeigt die Formen der Umhüllungssignale 13 und 14. Im Komparator 9 wird der im Bearbeitungsspalt fließende Strom durch den Stromerfassungswiderstand 7 erfasst, um einen vorliegenden Bearbeitungsstromwert 15 zu erhalten, wobei die Umhüllungssignale 13 und 14 mit dem vorliegenden Bearbeitungsstromwert 15 verglichen werden und ein Steuersignal 12 zur Steuerschaltung 3 abgegeben wird. Die Steuerschaltung 3 schaltet das Schaltelement 4 an/ab unter der Steuerung des Steuersignales 12, um den Bearbeitungsstrom innerhalb eines vorbestimmten Wertes zu steuern. Wenn der vorliegende Bearbeitungsstromwert 15 das Umhüllungssignal 13 überschreitet, wird die Schaltungsanordnung 4 abgeschaltet. Umgekehrt, wenn der vorliegende Bearbeitungsstromwert 15 unterhalb des Umhüllungssignales 14 fällt, wird die Schaltvorrichtung 4 angestellt. Der Bearbeitungsstrom wird im obigen Verfahren gesteuert.

Bei diesem Verfahren wird die Anstiegsgeschwindigkeit der Bearbeitungsstromwellenform durch den Stromerfassungswiderstand 7 bestimmt und die Grösse der Induktivitäten 8a, 8b einer Bearbeitungssstromzuführung, d.h. der Widerstand und die Induktivitäten werden als Lasten verwendet, um die Schaltsteuerung durchzuführen.

Eine zweite herkömmliche Schaltungsanordnung für eine Stromversorgungsvorrichtung ist in Fig. 58 gezeigt, welche beispielsweise in der japanischen Gebrauchsmusterveröffentlichung SHO57-33 949 als «Impulserzeugungsschaltung gesteuert zur Bildung durch intermittierende elektrische Entladungen» offenbart ist. Diese Stromversorgungsvorrichtung wurde für die Anstiegs- und Absinkgeschwindigkeiten des Bearbeitungsstromes verbessert im Vergleich zur ersten Stromversorgungsvorrichtung, um einen schnelleren Betrieb zu gewährleisten. In Fig. 58 bilden eine Hilfsstromversorgung 28, eine erste Schaltvorrichtung 4, ein Stromdetektor 24, ein Reaktor 22 sowie eine Diode 23 eine erste Hilfsschaltung. Eine Stromversorgung 5, die Hilfsstromversorgung 28, die erste Schaltvorrichtung 4, der Stromdetektor 24, der Reaktor 22, eine Elektrode 1, ein Werkstück 2 und eine zweite Schaltvorrichtung bilden eine Hauptschaltung.

Der Betrieb dieser Schaltung wird nun beschrieben. In der ersten Hilfsschaltung wird die Schaltvorrichtung 4 durch eine Steuerschaltung 27 getrieben, durch Steuerung des Erfassungssignals des Stromdetektors 24. Die Steuerschaltung 24 führt die Schaltsteuerung der Schaltvorrichtung 4 durch, damit der im Stromdetektor 24 fließende Strom konstant ist. In diesem Fall ermöglicht der in die Schaltung eingefügte Reaktor 22, dass der in der ersten Hilfsschaltung fließende Strom konstant gehalten werden kann.

Diese zweite Stromversorgungsvorrichtung ist mit einer zweiten Schaltungsanordnung 20 ausgerüstet, welche ausschliesslich verwendet wird, um den Entladungsimpuls an-/abzuschalten. Wenn der Entladungsimpuls abgeschaltet ist, fließt innerhalb eines vorbestimmten Bereiches ein Strom in der ersten Hilfsschaltung auf stationärer Basis und sobald die Entladung beginnt, wird der Bearbeitungsstrom von der ersten Hilfsschaltung zugeführt. Dies ermöglicht, dass der Strom extrem schnell ansteigt. Der Strom fließt während der Entladung in der Hauptschaltung, welche aus der Stromversorgung 5, der Hilfsstromversorgung 28, der ersten Schaltvorrichtung 4, dem Stromdetektor 24, dem Reaktor 22, der Elektrode 1, dem Werkstück 2 und der zweiten Schaltvorrichtung 20 besteht. Wenn die Entladung zu Ende ist, fließt der Strom, welcher im Reaktor 22 der Hauptschaltung geflossen ist, zur zweiten Diode 23 in der Hilfsschaltung, wobei der Strom des Bearbeitungsspaltess schnell unterbrochen wird.

Eine erste Diode 25 ist vorgesehen, um den Wirkungsgrad der Stromversorgung zu erhöhen, indem eine zweite Hilfsschaltung gebildet wird und bewirkt wird, dass der Strom, welcher im Reaktor 22 fließt, zur Stromversorgung 5 zurückfließt, wenn die erste Schaltvorrichtung 4 und die zweite Schaltvorrichtung 20 beide ausgeschaltet werden. Die zweite Hilfsschaltung wird durch die erste Diode 25, den

Stromdetektor 24, den Reaktor 22, die zweite Diode 23 und die Hauptstromversorgung 5 gebildet. Fig. 59 zeigt eine Bearbeitungsstromwellenform, welche durch die zweite Stromversorgungsvorrichtung erzeugt wird.

Es existiert eine dritte herkömmliche Schaltungsanordnung für eine Stromversorgungsvorrichtung, die in Fig. 60 gezeigt ist und die beispielsweise in der offengelegten japanischen Patentveröffentlichung Nr. HEI2-34 732 als «Steuerverfahren für die Funkenerosionsmaschinenstromversorgung» offenbart ist. In Fig. 60 bezeichnen 30a bis 30e Treibervorrichtungen, welche bewirken, dass die Schaltvorrichtungen 32a bis 32e leiten und eine logische Schaltung 35 bilden. 33a bis 33e stellen Begrenzungswiderstände dar, welche einen Bearbeitungsstrom steuern und welche individuell verschiedene Werte aufweisen. Zwischen einer Elektrode 1 und einem Werkstück 2 ist ein Detektor 36 zur Erfassung des Entladungsbegins angeordnet. Dieser Detektor 36 übermittelt ein Entladungserfassungssignal 37 zu der logischen Schaltung 35. Die logische Schaltung 35 wählt die Schaltvorrichtung 32a bis 32e, um unter der Steuerung des Ausgangssignals eines Oszillators 34 und des Entladungserfassungssignals 37 getrieben zu werden.

Der Betrieb dieser Schaltung wird nun beschrieben. In der Schaltung ist eine Stromversorgung 5 vorgesehen, zur Zuführung eines Stromes und eine parallele Verbindung von Schaltungen, die jede Serieverbindungen der Schaltvorrichtungen 32a bis 32e und die strombegrenzenden Widerstände 33a bis 33e umfasst, ist in Serie mit der Stromversorgung 5 geschaltet. Die Widerstandswerte der strombegrenzenden Widerstände 33a bis 33e, die verschieden voneinander sind, sind derart ausgelegt, dass sie eine Potenz von zwei sind, d.h. ein-, zwei-, viermal usw. Wenn eine rechteckige Quelle mit einem konstanten Stromwert und einer Dauer t_p , wie in Fig. 61 gezeigt, zugeführt wird, werden einige der Schaltvorrichtungen 32 durch ihre entsprechenden Treiberschaltungen 30 eingeschaltet und bewirken, dass ein Strom durch die entsprechenden strombegrenzenden Widerstände 33 fließt. Bei Beginn der Entladung wird ein Bearbeitungsstrom zum Bearbeitungsspalt durch ausgewählte Widerstände 33 zugeführt. Eine Differenzspannung zwischen der Ausgangsspannung der Hauptstromzuführung 5 und der Entladespannung, die am Bearbeitungsspalt zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 erzeugt wird, wird jedem strombegrenzenden Widerstand zugeführt und dabei wird der im strombegrenzenden Widerstand fließende Strom bestimmt. Da die Entladespannung im Allgemeinen einen konstanten Wert aufweist, wird der Bearbeitungsstrom ausschliesslich durch die Auswahl der strombegrenzenden Widerstände bestimmt.

Weiterhin kann, wie in Fig. 62 gezeigt, die Anstiegsgeschwindigkeit einer Stromwellenform gesteuert werden. Indem die Schaltvorrichtungen 32 kontinuierlich ein- und ausgeschaltet werden, nachdem der Entladestrom bis zu einem mit 48 in Fig. 62 bezeichneten Punkt angestiegen ist, kann der Strom weiter erhöht werden, doch kann er nur mit weiter reduzierter Neigung erhöht werden. Eine

solche absichtliche Steuerung der Entladestromwellenform wird oftmals durchgeführt, um eine feinere Steuerung des Bearbeitungsverfahrens zu erhalten.

Eine Schaltungsanordnung für eine vierte herkömmliche Stromversorgungsvorrichtung ist in Fig. 63 gezeigt, welche Vorrichtung beispielsweise in der US-Patentschrift Nr. 4 306 135 offenbart ist. In dieser Zeichnung bezeichnet das Bezugszeichen 49 einen festen strombegrenzenden Widerstand 50, einen Halbleiterverstärker, wie z. B. ein FET, 51 eine Schaltvorrichtung zum Ein- und Ausschalten des Halbleiterverstärkers 15, um einen Entladeimpuls an- und auszuschalten; 52 stellt ein digitales Signal dar, welches die Stromwellenform des Entladeimpulses spezifiziert, 53 einen Digital-Analog-Konverter, welcher das digitale Signal in ein analoges Signal umwandelt, 54 einen Verstärker zum Treiben des Verstärkers 50 und 55 einen Begrenzungswiderstand für den Verstärker 54.

Der Betrieb dieser Schaltung wird nun beschrieben. Für die Ein-Aus-Synchronisierung des Entladeimpulses wird vom Oszillator 21 ein Ausgangssignal erzeugt, um die Schaltvorrichtung 51 zu treiben. Der Strom, welcher zum Bearbeitungsspalt zwischen der Elektrode und dem Werkstück 2 zugeführt wird, nachdem die Entladung auftritt, wird durch die Widerstandswerte des festen Widerstandes 49 und des Halbleiterverstärkers 50 bestimmt. Wenn wie beispielsweise ein FET als Halbleiterverstärker 50 verwendet wird, kann er als variabler Widerstand betrieben werden.

Die Charakteristik des FET ist in Fig. 64 dargestellt. Wenn VGS beliebig bestimmt wird, wird ID konstant gehalten, wenn VDS leicht variiert. Der FET ist charakteristisch dafür, dass der Bearbeitungsstrom gesteuert wird, um konstant gehalten zu werden, unabhängig von einer kleinen Variation der Stromversorgungsspannung 5. Aus diesem Grund ist der Strom während der Entladung stabil und es ist unwahrscheinlich, dass eine sogenannte Impulsunterbrechung, d.h. eine Entladung, die halb im Impuls aufhört, auftritt, wobei eine extrem stabile Bearbeitung erzeugt werden kann.

Das Ändern eines Signals zum Gate G des FET 50 innerhalb eines einzelnen Impulses ermöglicht eine beliebige Wellenform und stellt einem Sollwert G eine Konstant-Stromcharakteristik zur Verfügung, was speziell stabile Bearbeitung garantiert.

Die herkömmliche Stromversorgung für Funkenerosion, die wie oben beschrieben konstruiert ist, weist die folgenden Nachteile auf.

Da mit dem «Impulsgenerator, der mit dem Funkenerosionswerkzeug verwendet wird», offenbart in der offengelegten japanischen Patentpublikation Nr. SHO62-27 928, versucht wird, den Bearbeitungsstromwert innerhalb des spezifizierten Bereichs in Schaltsteuerung wesentlich zu steuern, weist die Bearbeitungsstromwellenform 47 eine Welligkeit auf, wie in Fig. 55 gezeigt. Diese Welligkeit weist im Allgemeinen eine Breite von einigen Ampère auf. Beispiele von Bearbeitungsstromimpulsen, welche unter verschiedenen Bedingungen erzeugt werden, sind in den Fig. 56 und 57 dargestellt. Fig. 56 zeigt eine breite Bearbeitungsstromwert-Einstellung, d.h. eine Stromeinstellung für ein sogenanntes Schrup-

pen. In einer Stromwellenform 47b gemäss diesem Beispiel ist die Breite der Welligkeit (welche ungefähr dem Abstand zwischen den Sollwerten 13 und 14 entspricht) klein relativ zu einem Spitzenwert 13 des Bearbeitungsstrom-Sollwertes und bewirkt deshalb keine besonderen Fehler in der Bearbeitung. Wenn jedoch der Sollwert des Stromspitzenwertes reduziert wird, wie in Fig. 47 gezeigt, ist der untere Grenzwert 14 des Sollwertes nicht mehr signifikant und die ursprünglich rechteckig erwünschte Wellenform wird dreieckig, wie durch 47c angezeigt wird. Als Resultat davon kann der Impuls nicht für eine gewünschte Zeitperiode aufrecht erhalten werden und wird diskontinuierlich. Diese Wellenform kann nicht das gewünschte Bearbeitungsergebnis erzeugen.

Aufgrund der Welligkeit in der Stromwellenform ist die Stromwellenform, die durch Schaltsteuerung gesteuert werden soll, ungeeignet zur Steuerung einer Mikrostromwellenform, wie bei der Endbearbeitung und kann die gewünschte Bearbeitung nicht erzielen.

Auch die «Impulserzeugungsschaltung, gesteuert zur Gestaltung durch diskontinuierliche elektrische Entladungen», offenbart in der japanischen offengelegten Gebrauchsmusterpublikation Nr. SHO 57-33 949, ist entwickelt, um die Nachteile der Technik, offenbart in der japanischen offengelegten Patentpublikation SHO62-27 928, in gewissem Grade aufzuheben. Der Reaktor 22, der in die Schaltung gemäss Fig. 58 eingefügt ist, hält den Strom leichter konstant, wobei die Breite der Welligkeit der Stromwellenform beträchtlich kleiner sein kann als diejenige gemäss der Technik der Schaltung in Fig. 54. Im Allgemeinen ermöglicht die Einfügung eines Reaktors, dass der Strom leichter konstant gehalten werden kann, weist jedoch den Nachteil auf, dass steigende und fallende Geschwindigkeiten nicht vorgesehen werden können. In der Schaltung gemäss Fig. 58 wird die erste Hilfsschaltung jedoch verwendet, um den Spitzenstromwert im Voraus zu sichern, wobei nach dem Start des Entladeimpulses die zweite Schaltvorrichtung 20 verwendet wird, um zu bewirken, dass die Entladeschaltung leitet oder nicht leitet, wobei die Anstiegs- und Abfallgeschwindigkeiten verbessert werden. Die Hilfsstromversorgung 28 wird zu diesem Zweck verwendet.

Diese Hilfsstromversorgung 28 weist eine beträchtlich grössere Ausgangskapazität auf als die Stromversorgung 5, welche als Hauptstromversorgung dient, da sie eine kleinere Ausgangsspannung aufweisen kann, wobei jedoch ihr Ausgangsstrom im Wesentlichen gleich dem Bearbeitungsstrom sein muss. Ein anderer Nachteil dieser Technik ist die Schwierigkeit, die Schaltung zu niedrigen Kosten bereit zu stellen.

Im Weiteren hat die Technik, welche in der offengelegten japanischen Gebrauchsmusterpublikation Nr. SHO57-33 949 offenbart ist, einen Nachteil, dass es, verschieden von der Technik offenbart in der offengelegten japanischen Patentpublikation Nr. SHO62-27 928, schwierig ist, eine beliebige Entladeimpulswellenform zusammen mit der Steuerung der Anstiegs- und Abfallgeschwindigkeiten derselben zur Verfügung zu stellen und nur die Rechteck-

welle, wie in Fig. 59 gezeigt, kann zur Verfügung gestellt werden.

Ebenfalls ist die im «Steuerverfahren für die Funkenerosionsstromversorgung» in der japanischen offengelegten Patentpublikation Nr. HEI2-34 732 offenbarte Technik gebaut, um die Nachteile in der Technik, gemäss der japanischen offengelegten Patentpublikation Nr. SHO62-27 928 und der japanischen offengelegten Gebrauchsmusterpublikation Nr. SHO57-33 949, zu vermeiden.

Die in der japanischen offengelegten Patentpublikation Nr. HEI234 732 offenbarte Technik verwendet die Konstanzspannungsstromversorgung und den darin eingefügten Widerstand zur Steuerung des Bearbeitungsstromwertes, ohne dass der Funkenerosionsstrom durch Schaltsteuerung gesteuert wird.

Die vorgesehene Entladestromwellenform weist jedoch fast keine Stromwelligkeit auf, wie in Fig. 61 gezeigt, und das Ein-/Ausschalten der Widerstände 33a bis d in der Schaltung bei hoher Geschwindigkeit ermöglicht, dass die Anstiegsgeschwindigkeit 48 und die Stromwellenform beliebig eingestellt werden können, wie in Fig. 62 gezeigt.

Der Nachteil dieser Technik ist jedoch, dass der Strom nicht direkt gesteuert wird, sondern entsprechend dem Widerstandswert, welcher den Strom begrenzt, gesteuert wird, wobei der Entladungsstromwert entsprechend der Ausgangsspannung der Stromversorgung 5 variiert. In anderen Worten, wenn ein gegebener Stromwert eingestellt wurde, kann der gleiche Bearbeitungszustand nicht vorgesehen werden, wenn die Spannung der Stromversorgung variiert.

Im Weiteren ist es bekannt, dass der Entladungs-spalt zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 physikalisch als eine Konstanzspannungslast von etwa 25 V wirkt. Aus diesem Grunde wird die Differenzspannung zwischen der Ausgangsspannung der Stromversorgung 5 und dem 25 V-Spannungsabfall des Entladespaltes meistens an die strombegrenzenden Widerstände 33 angelegt und als thermische Energie verbraucht. Als Stromversorgung der Funkenerosionsmaschine kann diese Technik eine Reduktion des Stromversorgungswirkungsgrades nicht vermeiden, im Vergleich zu den Techniken, die in der japanischen offengelegten Patentpublikation Nr. SHO62-27 928 und der japanischen offengelegten Gebrauchsmusterpublikation Nr. SHO 57-33 949 offenbart sind. Dies hindert die Verkleinerung der Grösse der Stromversorgungsvorrichtung und macht es schwierig, die gleichen Funktionen bei niedrigen Kosten zu erfüllen. Wie oben beschrieben, weist die Vorrichtung in Information 3 den Nachteil auf, dass der Bearbeitungsstrom nicht leicht konstant gehalten wird, dass der Wirkungsgrad der Stromversorgung schlecht ist und dass dieser schlechte Wirkungsgrad der Stromversorgung eine grosse Ausdehnung und einen hohen Preis der Vorrichtung zur Folge hatte.

Im Weiteren wurden gemäss der Beschreibung der US-Patentschrift Nr. 4 306 135 einige Nachteile der Technik, die in der offengelegten japanischen Patentpublikation Nr. HEI2-34 732 offenbart sind, gelöst.

Die in der Beschreibung der US-Patentschrift Nr. 4 306 135 offenbarte Technik verwendet einen Halbleiterverstärker anstelle der Mehrzahl von strombegrenzenden Widerständen in der Technik, die in der offengelegten japanischen Patentpublikation Nr. HEI2-34 732 offenbart ist. Da der FET als Halbleiterverstärker in dieser herkömmlichen Art verwendet wird, ergibt sich die Konstantstrom-Charakteristik, wie in Fig. 64 gezeigt. D.h. ein konstanter Strom kann aufrecht erhalten und relativ zur Variation in der Ausgangsspannung der Stromversorgung 5 gesteuert werden, wobei die Konstantstromsteuerung auch während der Dauer des Entladeimpulses durchgeführt werden und eine extrem stabile Bearbeitung erzielt werden kann. Im Sinne, dass der Eingangsimpuls-Strom konstant gemacht werden kann, kann eine stabilere Bearbeitung erzielt werden im Vergleich zu den Schaltstromversorgungen in den Techniken, die in der offengelegten japanischen Patentpublikation Nr. SHO62-27 928 und der offengelegten japanischen Gebrauchsmusterpublikation Nr. SHO57-33949 offenbart sind. Da der Widerstandswert im Zeitpunkt, wo die Entladung beginnt, extrem klein ist im Vergleich zur offengelegten japanischen Patentpublikation Nr. HEI2-34 732, kann der Entladestrom schneller angehoben werden.

Die Differenzspannung zwischen der Ausgangsspannung der Stromversorgung 5 und der Bearbeitungsspannung wird jedoch vollständig an den Halbleiterverstärker 50 angelegt. Die durch den Halbleiterverstärker 50 verbrauchte thermische Energie ist gross. Im Vergleich zu gewöhnlichen elektrischen Teilen kann ein Halbleiter besonders leicht durch Hitze angegriffen werden, wobei die Wärme-Dissipation wichtig ist. Die Technik, die in der Beschreibung der US-Patentschrift Nr. 4 306 135 offenbart ist, erzeugt jedoch viel Hitze, da sie den Halbleiter nicht nur als Schaltvorrichtung, sondern auch als den variablen Widerstand in einem aktiven Bereich benützt, d.h., diese Technik erlaubt nicht, dass ein grosser Strom fliesst und es ist sehr schwierig, eine Schaltung zu entwickeln, mit welcher ein Funkenerosionsschuppen erzielt werden kann, welches einen Stromspitzenwert von einigen zehn Ampere oder höher erfordert.

Die Technik, die in der Beschreibung der US-Patentschrift Nr. 4 306 135 offenbart ist, weist den Nachteil auf, dass ein für Schuppenadäquater grosser Strom nicht gesteuert werden kann.

Es ist entsprechend eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, diese Nachteile zu vermeiden, indem eine Stromversorgung für eine Funkenerosionsmaschine geschaffen wird, welche eine geringe Welligkeit in einem Bearbeitungsstromimpuls aufweist, welche die leichte Bildung eines Mikrostromes bei der Endbearbeitung ermöglicht und infolge des extrem hohen Wirkungsgrades der Stromversorgung eine Stromversorgungsvorrichtung mit kleinen Abmessungen und geringen Kosten ermöglicht.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist das Energieversorgungsgerät für Funkenerosionsmaschinen gemäss der Definition im Anspruch 1.

Die Vorrichtung zur Steuerung der Stromversorgung für die Funkenerosionsmaschine gemäss der

Erfindung schaltet die Schaltvorrichtungen in einem beliebigen Zyklus an/ab, unter der Steuerung des Stromsollwertsignales entsprechend der Wellenform des Stromimpulses, der zum Bearbeitungsspalt zugeführt wird, wobei eine beliebige Form des Stromimpulses zum Bearbeitungsspalt zugeführt wird und die Stromkomponente zur Kompensation der Welligkeitskomponente, die durch das Schalten bei der Zuführzeit des Stromes erzeugt wird, der beliebigen Form des Stromes überlagert und zum Bearbeitungsspalt zugeführt wird.

Die zweite Bearbeitungsschaltung entsprechend der Erfindung überlagert den Strom äquivalent der Differenz zwischen dem Stromsollwertsignal und dem Strom von der ersten Bearbeitungsschaltung, d.h., die sogenannte Stromkomponente zur Kompensation der Welligkeitskomponente, welche durch die Schaltung der ersten Bearbeitungsschaltung gebildet wird, mit dem Strom von der ersten Bearbeitungsschaltung und führt den resultierenden Strom dem Bearbeitungsspalt zu.

Die erste Gleichstromquelle der Erfindung führt dem Bearbeitungsspalt den Strom zu, der auf dem Signal basiert, welches durch Subtraktion des vorbestimmten Wertes vom Stromsollwertsignal erhalten wird, und die zweite Gleichstromquelle überlagert den Strom entsprechend der Differenz zwischen dem Stromsollwertsignal und dem Strom von der ersten Gleichstromquelle mit dem Strom von der ersten Gleichstromquelle und führt den resultierenden Strom dem Bearbeitungsspalt zu.

Die erste Gleichstromquelle der Erfindung führt dem Bearbeitungsspalt den Strom zu, welcher auf dem Stromsollwertsignal basiert, und die zweite Stromquelle überlagert den Strom äquivalent der positiven Differenz zwischen dem Stromwert von der ersten Gleichstromquelle und dem Stromsollwertsignal mit dem Strom von der ersten Gleichstromquelle und führt den resultierenden Strom dem Bearbeitungsspalt zu.

Die dritte Stromquelle überlagert den Strom äquivalent der negativen Differenz zwischen dem Stromwert von der ersten Gleichstromquelle mit dem Stromsollwertsignal auf dem Strom von der ersten Gleichstromquelle und führt den resultierenden Strom dem Bearbeitungsspalt zu.

Die verwendete Stromversorgungssteuertechnik setzt den Ausgangsstrompegel und die Ausgangsstromwelligkeit des Konstantstromzuführabschnittes fest, definiert das Additionsresultat des fest gesetzten Ausgangsstrompegels und der Ausgangsstromwelligkeit als die Ausgangsstromführungsgrösse des Konstantstromzuführabschnittes, vergleicht die Ausgangsstromführungsgrösse mit dem Ausgangsstrom des Konstantstromzuführabschnittes und steuert die Schaltvorrichtung des Konstantstromzuführabschnittes entsprechend dem Resultat dieses Vergleiches.

Die Stromversorgungsvorrichtung entsprechend der Erfindung umfasst das Welligkeitsstromeinstellmittel, welches die Modulationsmittel umfasst zur Modulierung der Einstellsignalfrequenz des Welligkeitsstromeinstellwertes entsprechend des Einstellwertes des Ausgangsstrompegels-Einstellmittels, um die Einstellsignalfrequenz des Welligkeitsstromeinstellwertes zu reduzieren, wenn der Einstellpegel

des Ausgangsstrompegel-Einstellmittels hoch ist und um die Einstellsignalfrequenz des Welligkeitstromeinstellwertes zu erhöhen, wenn der Einstellpegel des Ausgangsstrompegels-Einstellmittels tief ist.

Die Stromversorgungsvorrichtung gemäss der Erfindung setzt den Ausgangsstrompegel und die Ausgangsstromwelligkeit des Konstantstromquellenbereichs, definiert das Additionsresultat des festgesetzten Ausgangsstrompegels und der Ausgangsstromwelligkeit als die Ausgangsstromführungsgrösse des Konstantstromquellenbereichs, vergleicht die Ausgangsstromführungsgrösse mit dem Ausgangsstrom des Konstantstromquellenbereichs und steuert die Schalteinrichtung des Konstantstromquellenbereichs entsprechend dem Resultat dieses Vergleichs. Das Gatemittel eliminiert Rauschen, welches vom EIN/AUS des ersten Schaltmittels im Konstantstromquellenbereich resultiert.

Die Stromversorgungsvorrichtung entsprechend der Erfindung setzt die Ausgangsstrompegel der Konstantstromquellenbereiche, die erste Ausgangsstromwelligkeit und die zweite Ausgangsstromwelligkeit 180° aus der Phase mit der ersten Ausgangsstromwelligkeit fest, definiert das Additionsresultat des gesetzten Ausgangsstrompegels und der ersten Ausgangsstromwelligkeit als erste Ausgangsstromführungsgrösse des ersten Konstantstromquellenbereichs, definiert das Additionsresultat des gesetzten Ausgangsstrompegels und der zweiten Ausgangsstromwelligkeit als die zweite Ausgangsstromführungsgrösse des zweiten Konstantstromquellenbereichs, vergleicht die erste Ausgangsstromführungsgrösse des ersten Konstantstromquellenbereichs und steuert die Schaltvorrichtung des ersten Konstantstromquellenbereichs entsprechend des Resultates dieses Vergleichs und vergleicht die zweite Ausgangsstromführungsgrösse mit dem Ausgangsstrom des zweiten Konstantstromquellenbereichs und steuert die Schaltvorrichtung des zweiten Konstantstromquellenbereichs entsprechend dem Resultat dieses Vergleichs.

Die Stromversorgungsvorrichtung entsprechend der Erfindung setzt den Ausgangsstrompegel und die Ausgangsstromwelligkeit des Konstantstromquellenbereichs fest, definiert das Additionsresultat des gesetzten Ausgangsstrompegels und der Ausgangsstromwelligkeit als die Ausgangsstromführungsgrösse des Konstantstromquellenbereichs, vergleicht die Ausgangsstromführungsgrösse mit dem Ausgangsstrom des Konstantstromquellenbereichs und gibt das Signal ab, welches die erste Schaltvorrichtung des Konstantstromquellenbereichs entsprechend dem Resultat dieses Vergleichs abschaltet, und weiter gibt das Zeitgebermittel das Signal aus, welches die erste Schaltvorrichtung des Konstantstromquellenbereichs einschaltet, wenn die vorbestimmte Zeitdauer verstreicht, nachdem das Vergleichsmittel das Signal ausgegeben hat, welches die erste Schaltvorrichtung des Konstantstromquellenbereichs abschaltet.

Das verwendete Steuerverfahren der Stromversorgung bewirkt, dass der Strom, welcher die Reduktion des Ausgangstromes, die im ausgeschalteten Zustand der ersten Schaltvorrichtung auftritt, un-

terdrückt, wenn der Strom zugeführt wird, um durch Addition zu vermeiden, damit der Strom unter gleichzeitiger Reduktion der Welligkeit abrupt reduziert wird.

Die Serieverbindung der zweiten Gleichstromversorgung, welche eine gleiche oder eine etwas kleinere Spannung als die Funkenerosionsspannung aufweist, die dritte Schaltvorrichtung und die Diode in der Stromversorgungsvorrichtung gemäss der Erfindung bewirken, dass der Strom, welcher die Reduktion des Ausgangstromes, die während der Ausschalzeit der ersten Schaltvorrichtung auftritt, verhindert, wenn der Strom zugeführt wird, um durch Addition zu vermeiden, dass der Strom unter gleichzeitiger Reduktion der Welligkeit abrupt reduziert wird.

In der Stromversorgungsvorrichtung gemäss der Erfindung steigt der Ausgangsstrom an/fällt der Ausgangsstrom ab zwischen dem Stromsollwert und dem Oberstromsollwert, wenn infolge eines Kurzschlusses oder Ähnlichem ein Oberstrom zwischen der Elektrode und dem Werkstück fliesst und dabei das Fliesen eines Kurzschlussstromes verhindert wird.

Das Stromversorgungssteuerverfahren entsprechend der Erfindung verhindert ein plötzliches Ansteigen des Stromes, wenn der Ausgangsstrom bei einem gegebenen Strompegel gesteuert wird, wobei die Welligkeit reduziert wird.

Die Serieverbindung der dritten Gleichstromversorgung ist befähigt, dem Bearbeitungsspalt eine Spannung zuzuführen, die höher ist als die elektrische Entladungsspannung und tiefer als die Spannung, die durch die erste Gleichstromversorgung geliefert wird, wobei die vierte Schaltvorrichtung und die Diode in der Stromversorgung gemäss der Erfindung verhindern, dass der Strom abrupt ansteigt, wenn der Ausgangsstrom bei einem gegebenen Strompegel gesteuert wird, wobei die Welligkeit reduziert wird.

Die Stromversorgungsvorrichtung gemäss der Erfindung verwendet die erste Schaltvorrichtung und die vierte Schaltvorrichtung zur Steuerung des Ausgangstromes und verwendet, nachdem der Ausgangsstrom den gegebenen Wert erreicht hat, die vierte Schaltvorrichtung zur Steuerung des Ausgangstromes, wobei die Stromsteuerung mit wenig Welligkeit durchgeführt wird.

Die Serieverbindung der vierten Gleichstromversorgung mit der Spannung, welche der Neigung der Anstiegsflanke des Stromes in der Stromversorgungsvorrichtung gemäss der Erfindung entspricht, reduziert Welligkeit, wenn der Ausgangsstrom erhöht wird, wobei die gewünschte Anstiegsflanke des Stromes erzielt wird. Die Stromversorgungsvorrichtung gemäss der Erfindung arbeitet, um die Welligkeit des Stromes vom Auftreten der elektrischen Entladung, bis dass der Strom den Sollwert erreicht, zu eliminieren.

Die Serieverbindung der fünften Gleichstromversorgung, mit welcher dem Bearbeitungsspalt eine Spannung zugeführt werden kann, welche höher ist als die Spannung, die durch die erste Gleichstromversorgung und die sechste Schaltvorrichtung in der Stromversorgungsvorrichtung gemäss der Erfindung

zugeführt wird, arbeitet, um die elektrische Entladung zuverlässig zu erzeugen.

Die Stromversorgungsvorrichtung gemäss der Erfindung schaltet die sechste Schaltvorrichtung unter Steuerung des Hochspannungsimpulssignales, wenn die elektrische Entladung verzögert wurde, damit die elektrische Entladung zuverlässig erzeugt wird.

Die Stromversorgungsvorrichtungen gemäss den verschiedenen Ausführungsbeispielen der Erfindung können Niederspannungsstromversorgungen als Gleichstromversorgungen verwenden, wie die erste Gleichstromversorgung die vierte Gleichstromversorgung etc., wobei die Stromversorgungen wirkungsvoll verwendet werden können.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen.

Fig. 1 zeigt ein Schaltungsdiagramm eines ersten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2(a) bis (d) zeigen Stromwellenformen gemäss dem ersten Ausführungsbeispiel.

Fig. 3 zeigt eine Stromwellenform gemäss dem ersten Ausführungsbeispiel.

Fig. 4(a) bis (e) sind Betriebszeittafeln, welche den Betrieb der Schaltung des ersten Ausführungsbeispiels erläutern.

Fig. 5 zeigt ein Stromwellenformdiagramm gemäss dem ersten Ausführungsbeispiel.

Fig. 6 zeigt ein Stromdiagramm, welches ein zweites Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 7 zeigt ein Schaltungsdiagramm, welches ein drittes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 8 zeigt ein Rechteckstromwellenformdiagramm gemäss dem dritten Ausführungsbeispiel.

Fig. 9 zeigt ein Dreieckstromwellenformdiagramm gemäss dem dritten Ausführungsbeispiel.

Fig. 10 zeigt ein Verdrahtungsschema gemäss einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 11 zeigt ein Rechteckstromwellenformdiagramm gemäss dem vierten Ausführungsbeispiel.

Fig. 12 zeigt ein Dreieckstromwellenformdiagramm gemäss dem vierten Ausführungsbeispiel.

Fig. 13 zeigt ein Dreieckstromwellenformdiagramm gemäss dem vierten Ausführungsbeispiel.

Fig. 14 zeigt ein Verdrahtungsschema eines fünften Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

Fig. 15 zeigt ein Verdrahtungsschema eines sechsten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

Fig. 16 zeigt ein Verdrahtungsschema eines siebenten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

Fig. 17 zeigt ein Stromwellenformdiagramm gemäss dem fünften Ausführungsbeispiel.

Fig. 18 zeigt ein Stromwellenformdiagramm gemäss dem sechsten Ausführungsbeispiel.

Fig. 19 zeigt ein Stromwellenformdiagramm gemäss dem siebenten Ausführungsbeispiel.

Fig. 20 zeigt ein Verdrahtungsschema gemäss einem achten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 21(a) bis (e) zeigen Wellenformdiagramme und Zeittafeln, welche verwendet werden, um den Betrieb des achten Ausführungsbeispiels zu beschreiben.

Fig. 22(a) bis (c) zeigen Wellenformdiagramme, welche verwendet werden, um die Modifikation des achten Ausführungsbeispiels zu beschreiben.

Fig. 23 zeigt ein Verdrahtungsschema zur Erläuterung eines neunten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

Fig. 24 zeigt ein V-f-Diagramm, welches verwendet wird, um den Betrieb des neunten Ausführungsbeispiels zu beschreiben.

Fig. 25(a) bis (d) zeigt Wellenformdiagramme und Zeittafeln, welche verwendet werden, um den Betrieb des neunten Ausführungsbeispiels zu beschreiben.

Fig. 26 zeigt ein Verdrahtungsschema gemäss einem zehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Fig. 27(a) bis (g) zeigen Wellenformdiagramme und Zeittafeln, welche verwendet werden, um den Betrieb des zehnten Ausführungsbeispiels zu beschreiben.

Fig. 28 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches ein elftes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 29(a) bis (d) zeigen Wellenformdiagramme, welche verwendet werden, um den Betrieb des elften Ausführungsbeispiels zu beschreiben.

Fig. 30(a) bis (c) zeigen Wellenformdiagramme, welche verwendet werden, um den Betrieb des elften Ausführungsbeispiels zu beschreiben.

Fig. 31 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches ein zwölftes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 32(a) bis (c) zeigen Wellenformdiagramme und eine Zeittafel, um den Betrieb des zwölften Ausführungsbeispiels zu beschreiben.

Fig. 33 zeigt ein Hauptverdrahtungsschema, welches ein dreizehntes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 34 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches eine Steuerschaltung gemäss dem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 35 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches ein Beispiel einer Zeitgeberschaltung gemäss dem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 36 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches ein alternatives Beispiel der Zeitgeberschaltung gemäss dem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 37 sind Zeittafeln, welche verwendet werden, um den Betrieb der Zeitgeberschaltung gemäss dem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zu beschreiben.

Fig. 38 zeigen Wellenformdiagramme und Zeittafeln, welche verwendet werden, um einen Hauptbetrieb gemäss dem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zu beschreiben.

Fig. 39 sind Wellenformdiagramme und Zeittafeln, welche verwendet werden, um den Betrieb zur Zeit eines Bearbeitungsspalt-Kurzschlusses gemäss

dem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zu beschreiben.

Fig. 40 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches ein alternatives Beispiel der Steuerschaltung gemäss dem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 41 zeigt Wellenformdiagramme, welche verwendet werden, um einen effektiven Betrieb gemäss dem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zu beschreiben.

Fig. 42 zeigt Wellenformdiagramme, welche verwendet werden, um einen effektiven Betrieb gemäss dem dreizehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zu beschreiben.

Fig. 43 zeigt ein Hauptverdrahtungsschema, welches ein vierzehntes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 44 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches eine Steuerschaltung gemäss dem vierzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 45 sind Wellenformdiagramme und Zeittafeln, welche verwendet werden, um ein Hauptbetriebsbeispiel gemäss dem vierzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zu beschreiben.

Fig. 46 ist ein Hauptverdrahtungsschema, welches ein fünfzehntes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 47 ist ein Verdrahtungsschema, welches eine Steuerschaltung gemäss dem fünfzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erläutert.

Fig. 48 zeigt Wellenformdiagramme und Zeittafeln, welche verwendet werden, um einen Hauptbetriebsbeispiel gemäss dem fünfzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zu erläutern.

Fig. 49 zeigt ein Hauptverdrahtungsschema zur Erläuterung eines sechzehnten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

Fig. 50 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches eine Steuerschaltung gemäss dem sechzehnten Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert.

Fig. 51 zeigt Wellenformdiagramme und Zeittafeln, welche verwendet werden, um den Hauptbetriebsbeispiel gemäss dem sechzehnten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zu beschreiben.

Fig. 52 zeigt ein Hauptverdrahtungsschema zur Erläuterung eines siebzehnten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

Fig. 53 zeigt ein Hauptverdrahtungsschema zur Erläuterung eines achtzehnten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

Fig. 54 zeigt ein Verdrahtungsschema zur Erläuterung eines ersten Beispiels gemäss dem Stand der Technik.

Fig. 55 zeigt ein Stromwellenformdiagramm, welches durch die Schaltung gemäss Fig. 54 erzeugt wird.

Fig. 56 zeigt ein Stromwellenformdiagramm, welches verwendet wird, um die Nachteile des ersten Beispiels des Standes der Technik zu beschreiben.

Fig. 57 zeigt ein Stromwellenformdiagramm, welches verwendet wird, um die Nachteile des ersten Beispiels des Standes der Technik zu beschreiben.

Fig. 58 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches

ein zweites Beispiel des Standes der Technik erläutert.

Fig. 59 zeigt ein Stromwellenformdiagramm, welches durch die Schaltung gemäss Fig. 58 erzeugt wird.

Fig. 60 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches ein drittes Beispiel des Standes der Technik erläutert.

Fig. 61 zeigt ein Stromwellenformdiagramm, welches durch die Schaltung gemäss Fig. 60 erzeugt wird.

Fig. 62 zeigt ein Stromwellenformdiagramm, welches durch die Schaltung gemäss Fig. 60 erzeugt wird.

Fig. 63 zeigt ein Verdrahtungsschema, welches ein viertes Beispiel des Standes der Technik erläutert.

Fig. 64 zeigt ein Stromdiagramm eines Halbleiterverstärkers, der in der Schaltung gemäss Fig. 63 verwendet wird.

Ein erstes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird nun anhand der Fig. 1 bis 5 beschrieben. Fig. 1 zeigt ein Verdrahtungsschema einer Stromversorgung für eine Funkenerosionsmaschine gemäss dem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In Fig. 1 bezeichnet das Bezugszeichen 1 eine Elektrode, 2 ein Werkstück, 4 eine erste Schaltvorrichtung 5, eine Stromversorgung, 6 eine Diode, welche bewirkt, dass ein Reststrom fliesst, 7 einen Stromdetektor, 100a bis 100c zweite Schaltvorrichtungen, 101a bis 101c strombegrenzende Widerstände, welche ein Widerstandsverhältnis gemäss der Potenz von zwei aufweisen, d.h. 1:2:4, 102 bezeichnet eine Stromsollwertsignal-Einstelleinheit, welche verwendet wird, um den Spitzenwert, die Dauer, die Stopp-Zeit, die Form etc. einer Stromwellenform zu einem Stromsollwert-Signalgenerator 103 einzustellen, 103 stellt einen Stromsollwertgenerator dar, welcher ein Stromsollwertsignal erzeugt, welches durch die Stromsollwertsignal-Einstelleinheit 102 eingestellt wird und 104 bezeichnet ein Ausgangssignal derselben.

105 bezeichnet einen Signalkonverter, welcher einen gegebenen Wert zum/vom Ausgang 104 addiert/subtrahiert oder den Ausgang mit einem gegebenen Betrag multipliziert, 106 bezeichnet ein Ausgangssignal desselben, 107 bezeichnet einen ersten Signaladdierer/-subtrahierer, welcher auf der Differenz zwischen dem Ausgangssignal 106 und dem vorliegenden Wert eines Detektionssignals 112, welches durch den Stromdetektor 7 erfasst wurde, arbeitet, 108 stellt ein Ausgangssignal desselben dar, 109 bezeichnet eine Logikschaltung, welche ein logisches Signal ausgibt zur Ein-/Aus-schaltung der ersten Schaltvorrichtung 4 unter Steuerung des Aussignals 108, 110 bezeichnet ein Ausgangssignal desselben und 111 bezeichnet einen Verstärker zum Treiben der ersten Schaltvorrichtung 4 unter der Steuerung des Ausgangssignales 110.

112 bezeichnet ein Erfassungssignal, welches den momentanen Wert eines Stromes repräsentiert, der durch den Stromdetektor 7 geliefert wird, 113 stellt einen zweiten Signaladdierer/-subtrahierer dar,

welcher auf einer Differenz zwischen einem Sollwert vom Stromsollwert-Signalgenerator 103 und dem momentanen Wert des Erfassungssignals 112 vom Stromdetektor 7 arbeitet, und 14 bezeichnet einen Analog-Digital-Konverter, welcher die Ausgangsgrösse des zweiten Signaladdierers/-subtrahierers 113 in ein Digitalsignal umwandelt, 115a bis 115c bezeichnen Verstärker, welche jedes Bit des Digitalsignales des Analog-Digital-Konverters 115 verstärken, um die Schaltvorrichtungen 100a bis 100c zu treiben, 116 stellt ein Bearbeitungsspaltspannungssignal zur Erfassung eines Entladungsbeginnes dar und 117 stellt einen Widerstand dar.

Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die Stromversorgung 5, die erste Schaltvorrichtung 4, der Stromdetektor 7, der Widerstand 117 und der Bearbeitungsspalt in Serie geschaltet, um eine erste Bearbeitungsschaltung zu bilden. Ebenfalls bilden eine Mehrzahl von Serieverbindungen der strombegrenzenden Widerstände 101a bis 101c und die zweiten Schaltvorrichtungen 100a bis 100c eine zweite Bearbeitungsschaltung, welche parallel mit der ersten Bearbeitungsschaltung verbunden ist, um dem Bearbeitungsspalt ein Strom zuzuführen, welcher dem Strom von der ersten Bearbeitungsschaltung überlagert ist. Im Weiteren bilden die logische Schaltung 109 und der Verstärker 111 eine erste Steuerschaltung und der Analog-Digital-Konverter 114 und die Verstärker 115a bis 115c bilden eine zweite Steuerschaltung.

Der Betrieb dieser Schaltung wird nun mit Bezug auf die Fig. 2(a)–(d) bis 5 beschrieben. Zuerst, vor dem Start der Maschine, stellt ein Operateur, welcher die elektrische Funkenerosionsmaschine bedient, die Formdauer, Anhaltezeit etc. einer Stromwellenform von der Einstelleinheit 102 zum Sollwert-Signalgenerator 103 ein. Diese Werte können durch ein Programm von einer NC-Steuervorrichtung oder Ähnlichem vorgegeben werden. Der Stromsollwert-Signalgenerator 103 erzeugt Signale, die für die Stromversorgungsvorrichtung bei der tatsächlichen Bearbeitung benötigt werden, z.B. die Zeitberechnung der Anwendung einer Spannung an dem Bearbeitungsspalt unter den Bedingungen der Einstelleinheit 102. In anderen Worten erzeugt der Stromsollwert-Signalgenerator 103 ein Stromsollwertsignal, welches Arbeitsvorgänge festsetzt, z.B. wird, wenn eine Entladung begonnen hat, eine Bearbeitungsstromwellenform ausgegeben, nachdem eine Spannung an den Bearbeitungsspalt angelegt worden ist, und erneut eine Spannung angelegt wird, wenn eine vorbestimmte Anhaltezeitperiode nach dem Ende einer Bearbeitungsstromwellenform vergangen ist.

Das Signal 104, welches vom Stromsollwert-Signalgenerator 103 abgegeben wird, wird in das Ausgangssignal 106 durch den Signalkonverter 105 umgewandelt. Das Ausgangssignal 106 wird umgewandelt, sodass es äquivalent im Pegel zum Ausgangssignal 104 oder etwas kleiner im Signalpegel ist. Auf eine Differenz zwischen diesem Ausgangssignal 106 und dem Signal 112, welche durch den Stromdetektor erfasst wird (Strom, der in der ersten Bearbeitungsschaltung fliesst), wirkt dann die erste Signaladditionsschaltung 107 und dient als Aus-

gangssignal 108. Das Ausgangssignal 108 wird weiter an die logische Schaltung 109 geleitet. Diese logische Schaltung 109 ist bestimmt, die Betriebszeitberechnung der ersten Schaltvorrichtung 4 unter Steuerung des Ausgangssignals 108 auszugeben, d.h. als Ausgangssignal 110 liefert die logische Schaltung 109 den Ausgang «1», um die erste Schaltvorrichtung 4 einzuschalten, wenn der durch den Stromdetektor 7 erfasste Stromwert kleiner ist als der durch das Signal 106 gegebene Sollwert, und liefert den Ausgang «0», um die erste Schaltvorrichtung 4 auszuschalten, wenn der durch den Stromdetektor 7 erfasste Stromwert grösser ist als der durch das Signal 106 gegebene Sollwert. Der Verstärker 111 treibt die erste Schaltvorrichtung 4 unter der Steuerung des Ausgangssignales 110.

Fig. 2(a) illustriert die obige Beschreibung im Format einer Betriebsstromwellenform. Eine Form, umschlossen durch 104a bis 104c, stellt den Sollwert der Stromwellenform dar, welche dem Ausgangssignal 104 in Fig. 1 entspricht. Wenn angenommen wird, dass der Signalkonverter 104 keine Signalumwandlung ausübt, passt das Ausgangssignal 106 zum Ausgangssignal 104. Wenn die erste Schaltvorrichtung 4 leitend ist, beginnt eine Entladung unter Entladungsstrom zu fliessen, wobei der von der ersten Schaltvorrichtung 4 zugeführte Strom ansteigt, wie durch 121 in Fig. 2(a) angezeigt.

Ein vorgewählter oberer Schwellenwert 118a existiert in der logischen Schaltung 109, deren Ausgang sich von «1» zu «0» verschiebt, um die erste Schaltvorrichtung 4 auszuschalten (Zeitberechnung 119 in Fig. 2(a)), wenn das Differenzsignal 108 auf «0» geschaltet wird, und deren Ausgang sich von «0» zu «1» verschiebt, um die erste Schaltvorrichtung 4 anzuschalten (Zeitberechnung 120 in Fig. 2(a)), wenn das Differenzsignal 108 einen tieferen Schwellenwert 118b erreicht. Der Strom, dessen Fliessen durch die erste Schaltvorrichtung 4 bewirkt wird, geht nach oben und unten zwischen 118a und 118b in Fig. 2(a). Eine Differenz zwischen 118a und 118b definiert einen Schwellenbereich. Wenn die Impulsdauer ändert, fällt der Strom gegen Null, wie durch 122 angezeigt ist. Wie oben beschrieben, ist die Stromwellenform, welche durch die erste Schaltvorrichtung 4 zugeführt wird, gewählt, wie durch 121, 119, 120, 122, etc. in Fig. 2(a) angezeigt wird. Dies ist eine Stromwelligkeit.

Um diese Stromwelligkeitskomponente zu kompensieren, sodass sie fast in das ursprüngliche Ausgangssignal 104 zurückgeführt wird, d.h. der Stromwellenformsollwert, ist das vorliegende Ausführungsbeispiel zusätzlich zur ersten Bearbeitungsschaltung, welche die erste Schaltvorrichtung 4 etc. umfasst, mit der zweiten Bearbeitungsschaltung versehen, welche aus den Serieverbindungen der zweiten Schaltvorrichtungen 100a bis 100c und den Widerständen 101a bis 101c besteht, parallel mit der ersten Bearbeitungsschaltung.

Ein Unterschied zwischen dem Ausgangssignal 104, als Stromsteuerwert wirkend, und dem Überwachungssignal 112 als vorliegender Stromwert wirkend, wegen der Stromwelligkeit oder einer Verzögerung im Ansteigen des Stromes von der ersten Schalteinrichtung 4 her, wird durch das zweite Ad-

dier-/Subtrahierglied 113 überwacht und an den Analog-Digital-Umwandler 114 übermittelt. Der Unterschied wird nämlich durch den Analog-Digital-Umwandler 114 in ein Digitalsignal umgewandelt. In der vorliegenden Ausführungsform sind die Widerstände 101a bis 101c so ausgelegt, dass sie ein Verhältnis von 1:2:4 haben. Daher sind die in den Widerständen 101a bis 101c fließenden Stromwerte entsprechend 4:2:1. Weil die Widerstandswerte der Widerstände 101a bis 101c, wie oben beschrieben, in der Zweierpotenz ausgelegt sind, können acht verschiedene Stromwerte eingestellt werden, abhängig von der Kombination der drei Ausgänge des Analog-Digital-Umwandlers 114, d.h. den Logiksignalen, gesendet zu den zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c. Durch Ändern dieser Kombination wird der Strom, äquivalent zum Unterschied zwischen dem Stromsteuerwert und dem vorliegenden Stromwert, durch die Widerstände 101a bis 101c geliefert.

Die Fig. 4a bis 4e zeigen die Zeitabläufe des oben genannten, worin Fig. 4a die Spannungswellenform des Bearbeitungsspaltes zeigt, Fig. 4b die Stromwellenform des Bearbeitungsspaltes zeigt, und der schraffierte Bereich 129 durch den Strom kompensiert wird, der durch den zweiten Bearbeitungskreislauf geliefert wird. Fig. 4c zeigt den Zeitablauf der ersten Schalteinrichtung 4 und Fig. 4d zeigt die Zeitabläufe der zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c. Fig. 4e zeigt das EIN-/AUS-Diagramm der zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c, welche ein-/ausgeschaltet werden unter der Kontrolle der Signale, ausgehend von den Logikschaltkreisen 115a bis 115c, worin «1» bedeutet, dass die Schalteinrichtung eingeschaltet und «0» bedeutet, dass die Schalteinrichtung ausgeschaltet ist.

Zuerst, in einem Status, in welchem die Spannung an den Bearbeitungsspalte vor dem Beginn der Entladung angelegt ist, sind die erste Schalteinrichtung 4 und die zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c alle eingeschaltet.

Wenn der Entladungsbeginn gemäss Fig. 4a bei 124 festgestellt wird, beginnt die Stromwellenform, wie in Fig. 4b dargestellt, anzusteigen. Zur selben Zeit wird der Strom, durch die Widerstände 101a bis 101c reduziert. Daher werden erforderlichenfalls die zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c ein-/ausgeschaltet (sodass die Stromkomponente, die gleich dem Unterschied zwischen dem Stromsteuerwert und dem vorliegenden Stromwert ist, wegen der Verzögerung im Anstieg des Stromes von der ersten Schalteinrichtung 4 kompensiert wird), z. B. um den Strom, der von den Widerständen 101a bis 101c geliefert wird, wie in Fig. 4e dargestellt, zu reduzieren. Wenn der Stromwert den Steuerwert fast erreicht hat, überschreitet der Strom von der ersten Schalteinrichtung 4 den oberen Schwellwert 118a, wodurch die erste Schalteinrichtung 4 ausgeschaltet wird (Zeitpunkt 131 in Fig. 4c). Dann beginnt der Strom von der ersten Schalteinrichtung 4 gegen den unteren Schwellwert 118b zu fallen.

Die hier erzeugte Stromwelligkeit wird durch das zweite Addier/Subtrahierglied 113 in Fig. 1 überwacht und die zweiten Schalteinrichtungen 100a bis

100c werden selektiv durch den Analog-Digital-Umwandler 114 eingeschaltet, was bewirkt, dass die Widerstände 101a bis 101c den Strom liefern, welcher die Stromwelligkeit kompensiert. Obwohl Fig. 4d ein Beispiel zeigt, in welchem nur die Schalteinrichtung 100a ein-/ausgeschaltet wird, um die Welligkeit zu kompensieren, ist es natürlich so, dass die anderen Widerstände ebenfalls ausgewählt werden, wenn die Welligkeit grösser ist.

Wenn eine zweite Schalteinrichtung und ein Widerstand, wobei der Widerstand einen Quotient des Widerstandswertes äquivalent zu 0, 5 von 101a bis 101c hat, vorgesehen sind, um eine kleinere Stromkompensation zu machen, wird die Stromkompensation durch eine Mehrzahl von Schalteinrichtungen durchgeführt und die Welligkeit wird weiter reduziert.

Stromwellenformen für kleine Stromsollwerte sind in den Fig. 2b bis 2d gezeigt. Während der Stromsollwert in Fig. 2b klein ist, ist der Vorgang identisch zu dem für einen grossen Stromwert gemäss Fig. 2a. Fig. 2c zeigt, dass der Stromsollwert kleiner und unter einem Schaltschwellenwertbereich ist. Die Schaltschwellenwerte sind mit 132a und 132b bezeichnet. Wenn der untere Schwellenwert, bezeichnet mit 132b, vom Stromspitzenwert schrittweise durch einen vorgegebenen Wert gesetzt worden ist, kann er kleiner sein als «0», wie durch die punktierte Linie in Fig. 2c gezeigt ist. In diesem Fall kann der untere Schwellenwert, welcher ursprünglich 132b ist, zur Kontrolle auf 132c gewechselt werden. Weil der Schwellenwertbereich zu diesem Zeitpunkt klein ist, ist die Schaltfrequenz der ersten Schalteinrichtung 4 höher, verglichen mit jener in den Fig. 2a und b. Wenn die Schaltfrequenz ansteigt, steigt der Schaltverlust im Falle von dem Halbleiterverstärker. Daher kann ein zuverlässigerer Schaltvorgang durchgeführt werden, indem die Einstellung, wie in Fig. 2d dargestellt, vorgenommen wird, statt dass durch wahlloses Absenken des Schwellenwertbereiches die Schaltfrequenz erhöht wird. Dies bedeutet, dass bei einer Einstellung des kleinen Stromes auf weniger als den Schaltschwellenwertbereich die erste Schalteinrichtung 4 abgeschaltet ist und der Strom nur vom zweiten Bearbeitungsstromkreis, gebildet durch die Serienverbindungen von den zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c und den Widerständen 101a bis 101c, zugeführt wird. Da der Stromsollwert zu dieser Zeit klein ist, wird eine Reduktion der Effizienz der Energieversorgung durch den Nichtgebrauch der Steuerung der Stromversorgungsschaltung, kein grosses Problem stellen.

Bezüglich der Einstellung des Schaltschwellenwertes gibt es ein anderes Problem. Fig. 3 zeigt, dass ein oberer Schaltschwellenwert 133b kleiner ist als ein Sollstromspitzenwert 134a. Die vorliegende Ausführungsform ist unter der Voraussetzung beschrieben worden, dass beide auf den gleichen Wert gesetzt sind. Der Koeffizient des Signalumwandlers 105 in Fig. 1 ist nämlich «1» und es findet keine Umwandlung statt.

Wenn der obere Schaltschwellenwert mit dem Spitzenwert des Stromsteuerwertes übereinstimmt, erfolgt eine Zeitverzögerung, bis eine Abnahme des

Stroms beginnt, weil die Schaltung tatsächlich ausgeführt wird, nachdem der Strom den oberen Schwellenwert übertroffen hat. Kurzum, der Schaltstrom über dem oberen Schwellenwert fliesst. Während die Abnahme des Schaltstromes unter dem Stromsteuerwert bei 134b durch den zweiten Bearbeitungskreis kompensiert wird, gebildet durch die serielle Verbindungen der zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c und den Widerständen 101a bis 101c, kann ein Überschuss nicht kompensiert werden. Deshalb gibt es eine Methode, womit der obere Schwellenwert kleiner gemacht wird als der Spitzenwert des Stromsteuerwertes, indem der Überschuss des Stromwertes wegen der Schaltverzögerung in Betracht gezogen wird. In Fig. 3 ist der Stromwert bei 134a höher als der obere Schwellenwert 133b. Falls jedoch der obere Schwellenwert 133b geringfügig kleiner als der Spitzenwert 104b des Steuerstromes ist, wird der Gesamtstromwert den Steuerstromwert nicht übertreffen.

Während in der obigen Beschreibung die rechteckige Welle als Wellenform des Steuerstromes verwendet worden ist, ist die Stromwellenform, welche in Funkenerosionsbearbeitungen angewendet wird, nicht auf rechteckige Wellen limitiert. Es ist bekannt, dass die Verwendung einer Art von dreieckiger Stromwellenform, welche eine beliebige Anhebgeschwindigkeit hat, wie in Fig. 5 dargestellt ist, die Abnutzung der Elektrode sehr gut unterdrückt. Die vorliegende Ausführungsform erlaubt solch eine Stromwellenform mit solch einer beliebigen Form, die leicht erzeugt werden kann. Da eine hohe Energiezuführungseffizienz eine Selbstverständlichkeit ist, ist es leicht, die Grösse und den Preis der Stromversorgungseinheit zu reduzieren, und zusätzlich kann eine genaue effektive Wellenform für eine gewünschte Wellenform vorgesehen sein. In Fig. 5 sind die Schaltschwellenwerte 135a und 135b vorgegeben worden, um eine gewünschte Wellenform 135a zu erreichen. Der obere Schwellenwert 135a ist nämlich auf die Wellenform abgestimmt und der untere Schwellenwert 135b ist ein durch einen gegebenen Wert kleinerer Wert als der obere Schwellenwert 135a. Somit kann die Wellenform, anders als die rechteckige Welle, leicht verwendet werden.

Wie oben beschrieben ist, verwendet das Stromliefergerät für die Funkenerosionsmaschine, bezogen auf die erste Ausführungsform, ein Energieliefergerät des Schalttyps mit hoher Energielieferungseffizienz, was ein leichteres und preisgünstigeres Energieversorgungsgerät ermöglicht. Auch der Zusatz eines Schaltkreises vom Widerstandstyp zur Kompensation der Stromwelligkeit zusätzlich zum Schalten der Energieversorgung eliminiert die Stromwelligkeit und erreicht eine stabile Bearbeitung, selbst bei einem kleinen Strom.

Eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun mit Bezug auf die Fig. 6 beschrieben. In dieser Ausführung wird der zweite Bearbeitungsschaltkreis, gebildet durch die Mehrzahl von seriellen Verbindungen von den zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c und die Widerstände 101a bis 101c, die zur Stromkompensation in der ersten Ausführungsform verwendet werden, ersetzt durch einen zweiten Bearbeitungsschaltkreis, gebil-

det durch eine serielle Verbindung von einem Feldeffekttransistor (FET) 136 und einem Widerstand 137. Wie in Verbindung mit den Fig. 63 und 64 beschrieben, welche die konventionelle Art zeigen, kann der FET 136 als variabler Widerstand durch Enden des Steuerweges betrieben werden. Während die zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c nur für die Verwendung der Schaltung in der ersten Ausführungsform verwendet wurden, erlaubt die analoge Steuerung daher, die drei zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c und die drei Widerstände 101a bis 101c, dargestellt in der ersten Ausführungsform, durch einen FET 136 und einen Grenzwiderstand 137, wie in Fig. 6 dargestellt, zu ersetzen. Die andere Anordnung ist identisch mit derjenigen der ersten Ausführungsform. Während der FET 136 unter der Kontrolle eines analogen Spannungssignales gesteuert wird, ist der in der ersten Ausführungsform verlangte Analog-Digital-Umwandler 114 nicht erforderlich. Nachdem das Ausgangssignal des zweiten Subtrahierers 113 durch den Verstärker 139 verstärkt wird, kann die Öffnung des FET 136 direkt gesteuert werden. Die Anzahl von Teilen kann nämlich reduziert werden und gleichzeitig kann die Stromkompensierung gemacht werden, ohne dass das Analogsignal in ein Digitalsignal umgewandelt wird. Dies bedeutet, dass ein sogenannter Stromkompensationsmangel hinsichtlich eines Quantisierungsfehlers, wie in Fig. 4 dargestellt, in der ersten Ausführung nicht auftritt. Eine ungenügende Stromkomponente kann bis zum Äussersten kompensiert werden. Zusätzlich zu der Schaltsteuersektion, welche die erste Schalteinrichtung 4 (erster Bearbeitungsschaltkreis) umfasst, erlaubt die Konstantstromeigenschaft des FET 136 auch die Schaltkreiskompensation (zweiter Bearbeitungsschaltkreis), um einen konstanten Strom zu erreichen. Daher kann der Strom, der zum Bearbeitungsschalt geführt wird, konstant gemacht werden, wodurch die Bearbeitung stabilisiert und eine ganz ausgezeichnete Bearbeitungscharakteristik garantiert wird.

Die Konstant-Stromeigenschaft des FET 136 kann die Stromreaktionsgeschwindigkeit, verglichen mit der Methode, die mit den Widerständen in der ersten Ausführungsform verwendet werden, erhöhen, wodurch ein Bearbeitungsenergieliefergerät zur Verfügung gestellt wird, mit welchem sowohl die Genauigkeit wie auch die Stromwelligkeit bezüglich des Wellenformsteuerwertes verbessert werden.

Wenn der FET 136 verwendet wird, sind die Einstellzeit der Schalteinrichtung 4 und die relevanten oberen und unteren Schwellenwerte wie in der ersten Ausführungsform beschrieben. Bei Verwendung der Schaltenergielieferungseinheit mit hoher Energielieferungswirksamkeit, wie oben beschrieben, kann das Stromliefergerät für die Funkenerosionsmaschine hinsichtlich der zweiten Ausführungsform leicht kleiner und preisgünstiger hergestellt werden. Auch der Zusatz des Halbleiterverstärkerschaltkreises, welcher die Stromwelligkeit kompensiert und im Stromversorgungsgerät vorgesehen ist, erlaubt es, die Anzahl von Teilen klein zu halten, die Stromwelligkeit zu eliminieren und einen stabilen Strom zu liefern, selbst im Fall eines kleinen Stromes. Auch die

Stromanstiegsgeschwindigkeit ist extrem hoch. Deshalb kann eine stabile Bearbeitung für irgend einen Stromwert erreicht werden. Eine dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 7 bis 9 beschrieben. In dieser Ausführungsform umfasst ein erster Bearbeitungsschaltkreis einen elektrischen Energiespeicherstromkreis, gebildet durch Serienverbindung der Energieliefereinheit 5 und der Hilfsenergieliefereinheit 28 zur Lieferung von Bearbeitungsenergie und der ersten Schalteinrichtung 4, den Stromdetektor 7, der Drosselspule 22 und der ersten Diode 23 für intermittierende Zulieferung und Speicherung elektrischer Energie vom Energieliefergerät 5, einer dritten Schalteinrichtung 20, verbunden zur Belieferung des Bearbeitungsspalt mit einem Leistungsstrom vom Energiespeicherstromkreis zur Lieferung des genannten Leistungsstromes zum Bearbeitungsspalt in einer Impulsform, und einer zweiten Diode 6, verbunden mit dem genannten Energiespeicherstromkreis zur Rückführung eines Reststromes, der im Bearbeitungsspalt erzeugt wird, wenn die dritte Schalteinrichtung 20 ausgeschaltet ist.

Wie in der ersten Ausführungsform bildet die Mehrzahl von Serienverbindungen der Strombegrenzungswiderstände 101a bis 101c und der zweiten Schalteinrichtungen 100a bis 100c einen zweiten Bearbeitungsstromkreis. Dieser zweite Bearbeitungsstromkreis ist parallel zum ersten Bearbeitungsstromkreis geschaltet, um einen Strom an den Bearbeitungsspalt zu liefern, der den Strom des ersten Bearbeitungsstromkreises überlagert.

Unabhängig davon, ob ein Strom im ersten Bearbeitungsspalt fließt oder nicht, fließt immer ein Strom im Energiespeicherstromkreis und der Strom wird ein-/ausgeschaltet durch die dritte Schalteinrichtung 20. Daher reduziert die Verwendung der Drosselspule 22 die Zeiten hinsichtlich des EIN und AUS des Stromes, d.h., die Anstiegszeit und die Abfallzeit des Stromes im Bearbeitungsspalt. Diese Ansteig- und Abfallgeschwindigkeiten können jene des Schaltenergieliefergerätes übertreffen, wie in der ersten und zweiten Ausführungsform gezeigt, welche die Drosselspule 22 nicht verwenden, wodurch ferner die Bearbeitung stabilisiert wird.

In Fig. 7 bezeichnet 29 einen Kondensator und 141 einen Verstärker zur Überwachung des vorliegenden Wertes des Stromes, der in der Drosselspule fließt. 142 bezeichnet eine dritte Addier-/Subtrahiereinheit, welcher auf einer Differenz zwischen dem Stromwert des elektrischen Energiespeicherstromkreises und dem Stromsteuerwert 104 arbeitet, und 143 bezeichnet einen Logikstromkreis, welcher ein Zeitsignal ausgibt zur Schaltung der dritten Schalteinrichtung 20 auf EIN/AUS als Reaktion zum Ausgangszeichen des Ausgangssignales 104. Die andere Anordnung ist gleich derjenigen des ersten Ausführungsbeispiels und wird hier nicht beschrieben. Ferner werden in Fig. 7 die Schalteinrichtungen 4, 20 und 100a bis 100c, welche durch Schaltsymbole dargestellt sind, mehr allgemein beschrieben und sind absolut identisch zu den Schalteinrichtungen, die vorgängig in Fig. 6 gezeigt sind.

Fig. 8 zeigt die zeitliche Beziehung zwischen der

dritten Schalteinrichtung 20 und der Stromwellenform, wenn die vorliegende Ausführung verwendet wird, um eine rechteckige Welle zu bilden. In der vorliegenden Ausführungsform werden die oberen und unteren Schwellenwerte 145a, 145b zur Schaltung auch während der Stillstandszeit gesetzt, um einen zirkulierenden Strom 146 innerhalb eines gegebenen Bereiches zu halten. Dies hat den Vorteil, dass, wenn ein nächster Impuls nach der Stillstandszeit auftritt, die Stromwellenform bis zum Steuerwert mit einer extrem hohen Geschwindigkeit angehoben werden kann.

Fig. 9 ist eine Zeittafel einer Welle, die anders ist als eine rechteckförmige Welle, beispielsweise eine Art dreieckförmige Welle. Um den Stromanstieg absichtlich so festzulegen, dass er in dieser Wellenform langsam ist, ist der zirkulierende Strom 146 höher als der Stromsteuerwert in der Anfangsanstiegsphase 147 der Stromwellenform. Deshalb ist in der Anfangsphase die Schalteinrichtung ausgeschaltet, wie durch 144 bezeichnet ist, sodass der Strom nicht vom geschlossenen Stromkreis zum Bearbeitungsspalt geführt wird. Die gewünschte Wellenform kann durch Zuführung des erforderlichen Stromes für die Anfangsstufe der Stromwellenform vom Widerstandsstromkreis erzeugt werden. Dies könnte, nur durch den konventionellen Schaltstromkreis und durch geschlossene Stromkreissysteme, nicht vollständig erreicht werden.

Bei der Verwendung der Schaltenergieliefereinheit mit dem Schaltkreis zur Zirkulation des Überstromes zur Energieliefereinheit, wie oben beschrieben, ist das Energieliefergerät für die Funkenerosionsmaschine gemäss der dritten Ausführungsform extrem hoch im Energielieferwirkungsgrad und kann die Grösse und den Preis des Energieliefergerätes leicht reduzieren. Auch der Zusatz des Widerstandsstromkreises, welcher die Stromwelligkeit kompensiert, welche zu der Schaltenergieliefereinheit gehört, erlaubt die Eliminierung einer Stromwelligkeit und eine stabile Bearbeitung, die selbst für einen kleinen Strom ausgeführt wird. Ferner gewährleistet der Zusatz des geschlossenen Stromkreises eine genaue Steuerung der Bearbeitungsstromimpulsweite, wodurch eine stabile und hochreproduzierbare Bearbeitung erreichbar ist.

Eine vierte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 10 bis 13 beschrieben. In Fig. 10 umfasst ein erster Bearbeitungsstromkreis einen elektrischen Energiespeicherstromkreis, gebildet durch die Verbindung in Serie der Energieliefereinheit 5, der Hilfsenergieliefereinheit 28 zur Zuführung der Bearbeitungsenergie und die erste Schalteinrichtung 4, den Stromdetektor 7, die Drosselspule 22, die dritte Schalteinrichtung 20 und die erste Diode 23 für ein periodisches Zuführen und zur Speicherung elektrischer Energie von der Energieliefereinheit 5, und die zweite Diode 6 so verbunden ist, um dem genannten Energiespeicherstromkreis einen Reststrom zurückzuführen, erzeugt im Bearbeitungsspalt, wenn die dritte Schalteinrichtung 20 ausgeschaltet ist. Die dritte Schalteinrichtung 20 ist geschaltet, um den Bearbeitungsspalt mit einem Ausgangsstrom vom genannten elektrischen Energiespeicherstromkreis

zu beliefern und liefert den genannten Ausgangsstrom in einer Impulsform an den Bearbeitungsspalt. Wie in der zweiten Ausführungsform bildet eine serielle Verbindung eines FET 136 und eines Widerstands 137 einen zweiten Bearbeitungsstromkreis. Dieser zweite Bearbeitungsstromkreis ist parallel geschaltet mit dem ersten Bearbeitungsstromkreis, um an den Bearbeitungsspalt einen Strom zu liefern, der dem Strom vom ersten Bearbeitungsstromkreis überlagert ist.

In der Ausführungsform gemäss Fig. 10 hat der elektrische Energiespeicherstromkreis keine Hilfsstromlieferereinheit 28, welche für die dritte Ausführungsform, dargestellt in Fig. 7, erforderlich war. Da der Stromanstieg des FET-Stromkreises jedoch mit einer genügend hohen Geschwindigkeit gemacht werden kann, muss die Zirkulation nicht kontinuierlich gemacht werden. Mit Hilfe der Hochgeschwindigkeitsdurchführung durch den FET erlaubt die Weglassung der geschlossenen Hilfsenergielieferereinheit 28 die weitere Reduktion der Grösse und des Preises der Energielieferereinheit.

Fig. 11 zeigt die Wirkung im Schaltkreis der vorliegenden Ausführungsform. Da die Steuerstromwellenform rechteckig ist, fällt der Wert des Stromes im geschlossenen Stromkreis graduell, wie durch 150 bezeichnet, weil die Hilfsenergielieferereinheit 28 zur Lieferung von Energie während der Stillstandszeit nicht existiert. Jedoch der Rest des Stromes im geschlossenen Stromkreis und der hohe Geschwindigkeitsbetrieb des FET bewirken genügend hohe Anstiegs- und Abfallgeschwindigkeiten des Stromes. In Fig. 11 bezeichnet 148a einen oberen Schwellenwert und 148b einen unteren Schwellenwert.

Fig. 12 zeigt die auftretende Wirkung, wenn eine Art von dreieckförmiger Welle als Steuerstrom gegeben wird. Während der Strom im geschlossenen Stromkreis während der Stoppzeit fällt, wie durch 153 bezeichnet, wird ein genügender Strom geliefert, weil der ansteigende Stromwert des nächsten Impulses klein ist. In Fig. 12 bezeichnet 151a einen oberen Schwellenwert und 151b einen unteren Schwellenwert.

Fig. 13 zeigt, dass der Strom im geschlossenen Stromkreis höher ist als der ansteigende Stromwert des Impulses. In diesem Fall liefert der FET-Stromkreis den Strom, bis ein Wert 156 des Stromes im geschlossenen Stromkreis einen Steuerstromwert 155 übertrifft. Während der Strom, der durch den FET geliefert wird, gross ist, ist die Zeit so kurz, dass die Einrichtungstemperatur nicht so stark ansteigt, dass ein Problem im Betrieb des Halbleiters entsteht. Wie in der zweiten Ausführungsform in Fig. 6 dargestellt ist, gibt es, da der FET die Wärmemenge, die direkt mit dem Widerstand eingeführt wird, teilt, keine Schwierigkeiten in der Wärmeleitung, um die Temperatur der FET-Einrichtung vor dem Anstieg zu schützen. In diesem Fall wird die Wärmeenergie, die durch den FET verbraucht wird, im ganzen Stromkreis minimiert und die Stromkreisanordnung wird vereinfacht, um eine schnelle Reaktion und eine Zuführung des Stromes als Antwort auf eine beliebige Wellenformsteuerung zu erlauben. Der Stromkreis, welcher seinerseits als Stromkreis mit konstantem Strom ausgelegt ist, ge-

währleistet eine extrem stabile Bearbeitung, selbst wenn ein Mikrostrom geliefert wird. In Fig. 13 bezeichnet 154a einen oberen Schwellenwert und 154b einen unteren Schwellenwert.

Durch Verwendung einer Schaltenergielieferereinheit und dem Stromkreis für den überschüssigen Strom im geschlossenen Stromkreis zur Energielieferereinheit, wie oben beschrieben, verfügt das Energieliefergerät für die Funkenerosionsbearbeitung, gemäss der vierten Ausführungsform, über eine extrem hohe Energielieferwirkung, wodurch Grösse und Preis der Energielieferereinheit leicht reduziert werden können. Auch das Hinzufügen des Halbleiterverstärkungsstromkreises, welcher die Stromwelligkeit neben der Schaltenergielieferereinheit reduzieren wird, erlaubt es, die Stromwelligkeit zu eliminieren und eine stabile Bearbeitung durchzuführen, selbst im Fall, wo ein kleiner Strom vorhanden ist. Ferner erlaubt der Halbleiterverstärkerstromkreis eine Stromanstiegsgeschwindigkeit, die genügend hoch ist, ohne dass die Hilfsenergielieferereinheit im geschlossenen Stromkreis verwendet wird, und die Anzahl Teile im Stromkreis reduzierbar sind, wodurch der Stromkreis kostengünstig angeordnet werden kann. Ferner gewährleistet die Zugabe des geschlossenen Stromkreises eine genaue Steuerung der Bearbeitungsstromimpulsweite, wodurch eine stabile und hoch reproduzierbare Bearbeitung erreicht wird.

Eine fünfte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun mit Bezugnahme auf die Fig. 14 bis 17 beschrieben. In Fig. 14 ist der Bearbeitungsstromkreis durch eine erste Stromquelle 157 und eine zweite Stromquelle 158 aufgebaut. Die erste Stromquelle 157 hat eine höhere Energielieferwirkung als die zweite Stromquelle 158 und die zweite Stromquelle 158 hat eine höhere Reaktion als die erste Stromquelle 157. Um die beste Verwendung der Ausführungen der beiden Stromquellen zu erreichen und zur Wiedergutmachung deren Nachteile, sind die zum Bearbeitungsspalt zugeführten Ströme in der vorliegenden Ausführungsform gegenseitig überlagert.

In Fig. 14 bezeichnet 102 einen Stromwellenformsteuerwert, 161 ein diesen repräsentierendes Signal, 162 bezeichnet einen Einstellstromkreis, 174 stellt einen Differenzstromkreis dar, welcher den Wert von $\delta 1$ vom Steuerwertsignal 161 subtrahiert und das Resultat der Subtraktion als neues Steuerwertsignal 163 definiert, 190 bezeichnet ein erstes Signaladdier/subtrahierglied, welches auf einer Differenz zwischen dem Steuerwertsignal 163 und einem Signal 164 arbeitet, welches einen Strom bezeichnet, der durch den Stromdetektor 160 festgestellt wird und von der ersten Stromquelle 157 zum Bearbeitungsspalt geliefert wird, 165 bezeichnet davon ein Ausgangssignal, 166 bezeichnet einen ersten Steuerstromkreis, der ein Signal 167 unter der Steuerung des genannten Signals 165 ausgibt, um die erste Stromquelle 157 zu steuern, 171 bezeichnet ein zweites Signaladdier/subtrahierglied, welches auf einer Differenz zwischen dem Steuerwertsignal 161 und dem genannten Signal 164 arbeitet, 168 bezeichnet ein Ausgangssignal davon, 169 bezeichnet einen zweiten Steuerstromkreis, welcher

ein Signal 170 unter der Steuerung des genannten Signals 168 zur Steuerung der zweiten Stromquelle 158 ausgibt und 161 bezeichnet eine Schalteinrichtung, durch welche die erste Stromquelle 157 die Ein/Ausschaltung des Stromes steuert, geliefert durch die zweite Stromquelle 158 zu vorbestimmten Zeiten.

Der Betrieb der vorliegenden Ausführungsform wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 14 und 17 beschrieben. Das Signal 161 nämlich, das den Stromwellenformsteuerwert darstellt, wird als Referenz verwendet und dieser Referenzwert wird in zwei aufgeteilt, welche dann den entsprechenden Stromquellen 157, 158 als Steuerwerte gegeben werden. Zu diesem Zeitpunkt wird der neue Steuerwert 163, gefunden durch Veranlassung des Subtraktionsstromkreises 174 zur Subtraktion des Wertes von $\delta 1$, gegeben durch den Einstellstromkreis 162, vom Referenzsignal 161 zur ersten Stromquelle 157 als Steuerwert geliefert. Eine Differenz zwischen dem Referenzstromwellenformsteuersignal 161 und dem Stromwert, geliefert durch die erste Stromquelle 157, d.h., eine Komponente, die ungenügend für die Referenzstromwellenform ist, wird ferner als Steuerwert zu der zweiten Stromquelle 158 geliefert. Dies bewirkt, dass der ungenügende Stromwert der ersten Stromquelle 157 zum Bearbeitungsspalt durch die zweite Stromquelle 158 mit hoher Reaktionszeit geliefert wird, wodurch ein stabiler Strom zum Bearbeitungsspalt geliefert wird, um eine stabile Bearbeitung zu erreichen.

Das Resultat des Subtrahierens des Wertes von $\delta 1$ vom Referenzsteuerwert durch den Subtraktionsstromkreis 174 wurde als Steuerwert zu der ersten Stromquelle 157 definiert, um den Mangel an Strom auf ein gewisses Ausmass zu bringen. Wenn es keinen ungenügenden Strom zur Kompensation durch die zweite Stromquelle 158 gibt und der Stromwert der ersten Stromquelle 157 höher als der Steuerwert der Referenzstromwellenform ist, kann eine Kompensation durch die zweite Stromquelle 158 mit schneller Reaktion nicht gemacht werden. D.h., die Stromreaktion zum Bearbeitungsspalt ist langsam, woraus eine instabile Bearbeitung resultiert.

Eine sechste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun mit Bezugnahme auf die Fig. 15 und 18 beschrieben. In Fig. 15 besteht der Bearbeitungsstromkreis aus der ersten Stromquelle 157 und der zweiten Stromquelle 158, wie in der fünften Ausführungsform. Die erste Stromquelle 157 hat eine höhere Energieliefereffizienz als die zweite Stromquelle 158 und die zweite Stromquelle 158 hat eine bessere Reaktion als die erste Stromquelle 157. Um die beste Verwendung der Eigenschaften der beiden Stromquellen zu erhalten, und zur Vermeidung der Nachteile davon, werden die beiden Ströme, die an den Bearbeitungsspalt geliefert werden, in der vorliegenden Ausführungsform einander überlagert. In Fig. 15 bezeichnet 172 einen Einstellstromkreis und 173 bezeichnet einen Multiplikator, welcher das Steuerwertsignal 161 mit einem Wert «k» grösser als «0» und nicht kleiner als «1» multipliziert und das Resultat der Multiplizierung als neues Steuerwertsignal 163 definiert. Die andere An-

ordnung ist identisch mit derjenigen der fünften Ausführungsform und wird hier nicht beschrieben.

Die Funktion der vorliegenden Ausführungsform wird nun mit Bezugnahme auf die Fig. 15 und 18 beschrieben. Der ursprüngliche Stromwellenformsteuerwert 102 und das Signal 161, das diesen repräsentiert, werden als Referenz verwendet und dieser Referenzwert wird in zwei Teile geteilt, welche den entsprechenden Stromquellen 157 und 158 als Steuerwerte gegeben werden. Zu dieser Zeit wird das Resultat, das durch den Multiplikator 173 durch Multiplizierung des Referenzsignals 161 mit dem konstanten Wert «k», der grösser als «0» und nicht grösser als «1» ist, gefunden wurde, wird an die erste Stromquelle 157 als Steuerwert geliefert. Ferner wird eine Differenz zwischen dem Referenzstromwellenformsteuersignal 161 und dem Stromwert, der durch die erste Stromquelle 157 geliefert wird, d.h. eine Komponente, die ungenügend für die Referenzstromwellenform ist, als Steuerwert an die zweite Stromquelle 158 geliefert. Dies hat zur Folge, dass der ungenügende Stromwert zum Bearbeitungsspalt von der ersten Stromquelle 157 durch die zweite Stromquelle 158 mit hoher Reaktionsgeschwindigkeit geliefert wird, wodurch ein stabiler Strom in den Bearbeitungsspalt geliefert wird, um eine stabile Bearbeitung zu erreichen.

Das Resultat der Multiplizierung des Referenzsteuerwertes durch den Wert «k» höher als «0» und nicht höher als «1» durch Mittel des Multiplikators 173 wurde als Steuerwert für die erste Stromquelle 157 definiert, um den Mangel an Strom in einem gewissen Ausmass zu halten. Wenn es keinen ungenügenden Strom zur Kompensation durch die zweite Stromquelle 158 gibt, und der Stromwert der ersten Stromquelle oberhalb des Steuerwertes der Referenzstromwellenform ist, kann eine Kompensation durch die zweite Stromquelle 158 mit hoher Reaktion nicht gemacht werden, d.h., dass die Stromreaktion auf den Bearbeitungsspalt klein ist, was eine instabile Bearbeitung zur Folge hat. Wenn die Referenzstromwellenform 102 geformt ist, um die Stromwertmitte zu ändern, hat ferner die Multiplikation der Konstanten zur Folge, dass der Referenzwert geteilt wird, entsprechend zu dem dann wirkenden Stromsteuerwert, wobei die vorzügliche Stromlieferwirksamkeit der ersten Stromquelle 157 auf das Maximum ausgestellt werden kann. Durch Kombinierung der Energielieferereinheit, welche das Stromsteuersystem mit hoher Energielieferwirksamkeit hat und der Energielieferereinheit, welche das Stromsteuersystem mit hoher Reaktion hat, wie oben beschrieben, erreicht das Stromliefergerät für die Funkenerosionsmaschine, versehen mit der fünften und der sechsten Ausführungsform, eine Stromlieferung, welche eine hohe Stromlieferwirksamkeit und Reaktion hat und die keine Stromwelligkeit erzeugt usw., wodurch eine stabile Bearbeitung mit einer kompakten, billigen Stromlieferereinheit erreicht wird.

Eine siebente Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 16 und 19 beschrieben. In Fig. 16 besteht der Bearbeitungsstromkreis aus der ersten Stromquelle 157, der zweiten Stromquelle 158 und einer dritten

Stromquelle 175. Insbesondere die dritte Stromquelle 175 ist angeschlossen, um einen Strom in umgekehrter Richtung zur ersten Stromquelle 157 und der zweiten Stromquelle 158 relativ zum Bearbeitungsspalt zu liefern. Die erste Stromquelle 157 weist eine höhere Stromlieferwirksamkeit als die zweite Stromquelle 158 und die dritte Stromquelle 175 auf und die zweite Stromquelle 158 und die dritte Stromquelle 175 haben eine höhere Reaktion als die erste Stromquelle 157.

Um die besten Eigenschaften der beiden Typen von Stromquellen zu verwenden und um die Nachteile davon zu vermeiden, werden die Ströme, die an den Bearbeitungsspalt geliefert werden, einander überlagert und auch negativ überlagert, um eine Übermasskomponente in der vorliegenden Ausführungsform zu reduzieren. In Fig. 16 bezeichnet 177 ein erstes Signaladdier-/subtrahierglied, welches eine Differenz zwischen dem Steuerwertsignal 161 und dem Signal 164 bewirkt und ausgibt, welches einen Strom repräsentiert, der durch den Stromdetektor 160 überwacht wird und von der ersten Stromquelle 157 an den Bearbeitungsspalt geliefert wird. 166 bezeichnet einen ersten Steuerstromkreis, welcher das Signal 167 unter der Steuerung des Ausgangssignals des genannten ersten Signaladdier-/subtrahiergliedes 166 ausgibt zur Steuerung der ersten Stromquelle 157, 178 bezeichnet ein zweites Signaladdier-/subtrahierglied, welches auf einer Differenz zwischen dem Steuerwertsignal 161 und dem genannten Signal 164 arbeitet; 179 bezeichnet ein Ausgangssignal davon und 180 bezeichnet einen zweiten Steuerstromkreis, welcher Signale 170 und 176 unter der Steuerung des genannten Signals 179 ausgibt zur Steuerung der zweiten und dritten Stromquelle 158, 175.

Der Betrieb der vorliegenden Ausführungsform wird nun mit Bezugnahme auf Fig. 19 beschrieben. Der Referenzstromwellenformsteuerwert 102 wirkt auch als Stromsteuerwert auf die erste Stromquelle 157. Im Falle der Schaltenenergielieferung, wie in Fig. 16 gezeigt, hat die Stromwelle, welche an den Bearbeitungsspalt durch die erste Stromquelle 157 geliefert wird, eine Form, die durch 167a, 167b bezeichnet ist, wie in Fig. 19 dargestellt.

Sie ist nämlich unterschiedlich zur Referenzstromwellenform 102. Daher wird eine ungenügende Komponente 170 an die zweite Stromquelle 158 geliefert, weil der Steuerwert und die Übermasskomponente 176 zu der dritten Stromquelle 175 als Steuerwert geliefert werden. Während die dritte Stromquelle 175 entgegengesetzt zu der Stromlieferrichtung der ersten und zweiten Stromquellen 157, 158 ist, können die Differenz zwischen dem Steuerwert und dem vorliegenden Stromwert, der aus irgend einem Grund in der ersten Stromquelle 157 erzeugt wird, durch die zweiten und dritten Stromquellen 158, 175 kompensiert werden. Die durch diese Energiezuliefereinheiten erfolgte Kompensierung, welche eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit hat, verbessert die Anstieg- und Abfallgeschwindigkeiten des Stromes, der zum Bearbeitungsspalt geliefert wird, und hält die Stromlieferung extrem konstant, wodurch die Bearbeitung stabilisiert und eine schnelle Bearbeitung erreicht wird.

Durch Kombination der Stromlieferereinheit, die ein Stromsteuersystem mit hoher Energielieferwirksamkeit hat und den zwei Stromlieferereinheiten, die ein Stromsteuersystem haben, welches eine hohe Reaktion hat, wie oben beschrieben worden ist, erreicht das Energieliefergerät für die Funkenerosionsmaschine, ausgestattet gemäss der siebenten Ausführungsform, eine Stromlieferereinheit, welche eine hohe Stromlieferwirksamkeit und Reaktion aufweist, und die keine Stromwelligkeit erzeugt usw. und erreicht eine Stromlieferereinheit, die einfach ist im Steuern des Stromkreissystems, wobei eine stabile Bearbeitung mit einem kompakten, billigen Stromliefergerät erreicht wird.

Eine achte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun mit Bezugnahme auf die Fig. 20 bis 22 beschrieben. In Fig. 20 ist eine konstante Stromliefersektion 200 aufgebaut durch eine erste Schalteinrichtung 201, eine erste Diode 204 und eine Drosselspule 203 ist verbunden mit einer Stromlieferereinheit E0 zur Lieferung einer Gleichstromspannung, welche einen Strom ausgibt an einen Ausgangsstromein-/ausschaltbereich 210. Der Konstantstromlieferbereich 200 umfasst einen Zerkacker für einen Stromabfall, bestehend aus der ersten Stromschalteinrichtung 201, der ersten Diode 204 und der Drosselspule 203, und eine zweite Diode 202 ist zwischen deren Ausgang und Eingang geschaltet. Sie ist auch mit einem Stromüberwacher 205 versehen, welcher den Strom der Drosselspule 203 überwacht. Der Ausgangsstrom Ein-/Ausschaltbereich 210 umfasst einen Seriestromkreis einer zweiten Schalteinrichtung 211, einer dritten Diode 212 und eine Spannungsquelle 213 sowie eine vierte Diode 214. Der Ausgang des Ausgangsstromein-/ausschaltbereiches 210 liefert Bearbeitungsenergie zu der Elektrode 1 und dem Werkstück 2, die im Dielektrikum vorgesehen sind, zur Ausführung der Funkenerosionsbearbeitung.

Dieses Gerät besitzt auch einen Komparator 232, welcher ein Signal 209 einer Welligkeit eines Stromeinstellbereiches 250 zu einem Signal 208 eines Ausgangsstromsteuerbereiches 230 addiert, um das resultierende Additionsresultat 216 mit dem Signal des Stromüberwachers 205 zu vergleichen, welcher den Strom der Drosselspule 203 im konstanten Stromlieferbereich 200 überwacht. Ferner hat dieses Gerät einen Ansteuerstromkreis 206, welcher die erste Schalteinrichtung 201 steuert, um den Ausgangsstrom des Konstantstromlieferbereiches 200 auf einem vorbestimmten Stromwert zu halten und der auch einen Ansteuerstromkreis 215 hat, welcher die zweite Schalteinrichtung 211 ein- und ausschaltet, um das Signal eines Entladungssteuerbereiches 240 ein- und auszuschalten, wodurch der Ausgangsstromein-/ausschaltbereich 210 gesteuert wird.

Fig. 21(a) zeigt das Signal des Entladungssteuerbereiches 240. Ein Impulssignal 260 schaltet die Schalteinrichtung 211 des Ausgangsstromein-/ausschaltbereiches 210, um eine Null-Lastspannung 261 zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2, wie in Fig. 21(b) dargestellt ist, anzubringen. Wenn danach eine Entladung zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 auftritt, wechselt die

Null-Lastspannung in eine Entladungsspannung, wie durch 262 angegeben ist.

Wenn die Entladung auftritt, fliesst ein Strom von der Energieliefereinheit E0 zu der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 durch die erste Schalteinrichtung 201 der Drosselspule 203, der zweiten Schalteinrichtung 211 und der vierten Diode 214. Das Signal 208 in Fig. 21(c) bezeichnet das Signal vom Ausgangsstromhöhenstellbereich 230, welcher in Synchronisation mit dem Entladungsstart ausgegeben wird. 209 in Fig. 21(b) bezeichnet das Signal der Stromwelligkeitseinstellmittel 250, welches auch von dem Stromwelligkeitseinstellmittel 250 in Synchronisation mit dem Entladungsstart ausgegeben wird. Ferner bezeichnet 216 in Fig. 21(e) ein Signal, das durch Addition des Signals 208 des Ausgangsstromhöhenstellbereiches 230 und dem Signal 209 des Stromwelligkeitseinstellstromkreises 250 erhalten wird (nachfolgend bezeichnet als zusätzliches Signal).

Wenn die Entladung gestartet wird, steigt der Ausgangsstrom des konstanten Stromlieferbereiches 200 zur Zeitkonstanten der Induktion der Drosselspule 203 im Stromkreis an und der Überwachungswert des Ausgangsstromes ist als Signal 207 bezeichnet. Das zusätzliche Signal 216 und der Stromüberwachungswert 207 werden fortlaufend verglichen. Wenn das Überwachungssignal 207 unter das zusätzliche Signal 216 abfällt, gibt der Komparator 232 ein Signal aus, welches die erste Schalteinrichtung 201 eingeschaltet hält. Wenn das Überwachungssignal 207 über das zusätzliche Signal 216 ansteigt, gibt der Komparator 232 ein Signal ab, welches die erste Schalteinrichtung 201 ausgeschaltet hält.

Die Einzelheiten der Konstantstromsteuerung werden nachfolgend beschrieben. Fig. 22(a) zeigt eine ausgedehnte Ansicht einer Wellenform 263 in Fig. 21(e). Wenn der Stromwert kleiner ist als das zusätzliche Signal 216 bleibt die Wellenform ansteigend, wie durch 264 bezeichnet, und der Stromüberwachungswert 207 wächst entsprechend der Zeitkonstanten der Induktion an. Das zusätzliche Signal 216 wird wechselnd gehalten, beginnend mit dem Entladungsstart. Wenn die Wellenform des zusätzlichen Signales 216 während des Anstieges gekreuzt wird, wie durch 265 bezeichnet ist, fällt der Stromüberwachungswert 207 unter das zusätzliche Signal 216 und wird ausgeschaltet. Daher wird ein wiederholtes Schalten in der Nähe des Stromüberwachungswertes 207 erzwungen und wird schliesslich in einem Stromwelligkeitstellspitzenwert 266 gehalten. Die dreiecksförmige Welle, welche als Oszillationssignal für den Stromwelligkeitstellwert 209 in der Beschreibung der vorliegenden Ausführungsform verwendet wurde, kann auch eine rechteckförmige Welle 267 oder eine Sinuswelle 268 sein, wie in Fig. 22(b) oder 22(c) dargestellt, um denselben Effekt zu erzeugen.

Eine neunte Ausführungsform wird nun mit Bezugnahme auf die Fig. 23 bis 26 beschrieben. Das Stromwelligkeitstellmittel 270 in Fig. 23 hat einen Spannungsfrequenzumwandler, welcher das Signal des Stromsteuerbereiches 230 in eine Frequenz umwandelt (nachfolgend als Vf-Umwandlung be-

zeichnet), ist für den Eingang des Signales 208 des Stromstellbereiches 230 zum Vf-Umwandler und für den Eingang eines Signales, resultierend aus der Addition des Vf-umgewandelten Signales 209 und des Stromstellwertes 208 zum Umwandler 232 gestaltet und ist auch zum Wechsel der Frequenz des Übertragungssignales 209 als Reaktion des Signals 208 des Stromstellbereiches 230 gebaut. Die andere Anordnung ist identisch mit derjenigen des achten Ausführungsbeispiels und wird hier nicht beschrieben.

Fig. 24 zeigt ein Beispiel der Charakteristik der Vf-Umwandlung. Das Signal 208 des Stromstellbereiches 230 und die Frequenz des Übertragungssignales 209 sind meist umgekehrt proportional zueinander. Die Frequenz des Stromes ist höher eingestellt, während die Höhe des Signales 208 tiefer ist und die Welligkeit ist so eingestellt, dass sie maximal ist, wenn die Höhe des Signales 208 ein Maximum hat. Während es eine Begrenzung auf der Frequenzreaktion der ersten Schalteinrichtung 201 gibt, wenn die Höhe des Signales 280 auf ein gewisses Mass abfällt, wird ein maximaler Frequenzwert f_{max} eingestellt, um die Frequenz vom Ansteigen zu schützen, falls die Höhe des Signals 208 einen vorbestimmten Wert erreicht oder darunterfällt. Umgekehrt ist ein Minimalfrequenzwert f_{min} eingestellt, um zu vermeiden, dass die Frequenz einen vorbestimmten Wert erreicht oder übersteigt.

Fig. 25(a) zeigt den zusätzlichen Strom 210 und das Stromüberwachungssignal 207 zum Zeitpunkt, wenn die Stromspitze hoch ist. Das zusätzliche Signal 210 hat eine tiefe Frequenz wegen der hohen Spitze und deshalb ist ein Schaltzyklus 271 der ersten Schalteinrichtung 201 lang, wie in Fig. 25b gezeigt ist, welches die Einschaltzeit und die Ausschaltzeit dementsprechend vergrössert, wodurch eine Welligkeit 11 vergrössert wird. Fig. 25(c) zeigt den zusätzlichen Strom 216 und das Stromüberwachungssignal 207 zu einem Zeitpunkt, wenn die Stromspitze tief ist. Wenn die Stromspitze tief ist, ist die Frequenz des zusätzlichen Signales 216 hoch, der Schaltzyklus 271 der ersten Schalteinrichtung 201 ist kurz, wie in Fig. 25(d) gezeigt, und deshalb wird die Einschaltzeit und die Ausschaltzeit reduziert, wo durch eine Welligkeit 12 vergrössert wird. Durch Frequenzmodulation des zusätzlichen Signales bezüglich des Spitzenstromes, wie oben beschrieben, kann die Welligkeit reduziert werden, wodurch schliesslich eine einheitliche Bearbeitungsgenauigkeit erhalten wird.

Eine zehnte Ausführungsform wird nun mit Bezugnahme auf die Fig. 26 und 27 beschrieben. In Fig. 26 haben die Stromwelligkeitseinstellmittel 270 Mittel für die Ausgabe eines Synchronisationssignals 273. Dieses Synchronisationssignal 273 und ein Ausgangssignal 272 eines Komparators 232 werden einem Gate eingegeben, um die erste Schalteinrichtung 201 durch Mittel eines Ausganges 281 des genannten Gates zu betreiben. Das Gate umfasst einen ersten NAND-Stromkreis 276, welcher das Synchronisationssignal 273, ausgegeben von den Stromwelligkeitseinstellmitteln 270, und das Ausgangssignal 272 des Komparators 272 empfängt, einen zweiten NAND-Stromkreis 277, welcher

das Synchronisationssignal 273 und das Ausgangssignal 272 über Inverter 285 empfängt, und einen RS-Flip-Flop 278, welcher einen Ausgang 279 des ersten NAND-Stromkreises 276 bei seinem Reset-Terminal empfängt, und einen Ausgang 280 des zweiten NAND-Stromkreises 277 an seinem Set-Terminal empfängt. Die andere Anordnung ist identisch mit derjenigen der neunten Ausführungsform und wird hier nicht beschrieben.

Die Fig. 27(a) bis (g) zeigen eine Zeittafel, die zu der zehnten Ausführungsform gehört und die Funktion wird mit Bezug auf diese Zeittafel beschrieben. Fig. 27(a) zeigt ein rechteckwelliges Synchronisationssignal 273 von den Stromwelligkeiteinstellmitteln 270, Fig. 27(b) zeigt ein Signal 209 von den Stromwelligkeiteinstellmitteln 270, Fig. 27(c) zeigt das Überwachungssignal 207 und das zusätzliche Signal 216 der Stromwellenform und Fig. 27(d) zeigt das Ausgangssignal 272 des Komparators 232. In der Zwischenzeit, wenn der Stromüberwachungswert 207 das zusätzliche Signal 216 übersteigt, wird der Ausgang des Komparators heruntergeschaltet, um die erste Schalteinrichtung 201 auszuschalten. Jedoch tritt zur Zeit einer Normalschaltung ein Rauschen 274 auf, wie in Fig. 27(c) dargestellt ist.

Deshalb, wie in Fig. 27(d) gezeigt, vergleicht der Komparator 232 immer den Stromüberwachungswert 207 und das zusätzliche Signal 216 und vergleicht das Rauschen 274 und das zusätzliche Signal 216, und ein Ein-/Aus-Wiederholteil 275 erscheint im Ausgangssignal 272 des Komparators 232 wegen des Einflusses des Rauschens 274, was zu einer fehlerhaften Funktion führt. Aus diesem Grund, wie in den Fig. 27(e) und 27(f) gezeigt, werden das Ausgangssignal 272 des Komparators 232 und das rechteckige Wellensynchronisationssignal 273 der Stromwelligkeiteinstellmittel 270 zu dem ersten NAND-Stromkreis 276, dem Inverter 285 und dem zweiten NAND-Stromkreis 277 eingegeben, und die Ausgangssignale 279, 280 des ersten und zweiten NAND-Stromkreises 276, 277 werden dem Flip-Flop 278 eingegeben, um den Flip-Flop 278 nur einmal zu schalten, relativ zu der Höhe und Tiefe der rechteckförmigen Welle, wobei ein Schaltsignal 281, wie in Fig. 27(g) gezeigt ist, vorgesehen sein kann, um eine instabile Funktion im Rauschbereich 274 zu eliminieren. Dadurch kann ein präziser Schaltvorgang durchgeführt werden, wenn das Rauschen 274 in den Eingang des Komparators 232 hineingeht.

Eine elfte Ausführungsform wird nun mit Bezugnahme auf die Fig. 28 bis 30 beschrieben. Die Anordnung eines ersten Stromkreises 290 und dasjenige eines zweiten Stromkreises 291 sind identisch mit dem Stromkreis, der in der achten Ausführungsform beschrieben wurde, und werden hier nicht ausführlich beschrieben. In Fig. 28 sind der erste Stromkreis 290 und der zweite Stromkreis 291 parallel mit dem Bearbeitungsspalt verbunden und sind mit Überwachungsmitteln 205 ausgestattet, welche den Ausgangsstrom des ersten Konstantstromlieferbereiches 200 überwachen und mit Überwachungsmitteln 305, welche den Ausgangsstrom eines zweiten Konstantstromlieferbereiches 300 überwachen. Der Ausgang des Ausgangsstromhö-

hereinstellmittels 230, welches die Ausgangsströme der ersten und zweiten Konstantstromlieferbereiche steuert, wird zu dem Signal der ersten Stromwelligkeiteinstellmittel 250 addiert (nachfolgend als erstes zusätzliches Signal 251 benannt), welches die Welligkeit des Stromes des Ausgangsstromes des ersten Konstantstromlieferbereiches 200 steuert, und durch den ersten Komparator 232 mit dem Ausgang der Überwachungsmittel 205 (nachfolgend als erstes Überwachungssignal 253 benannt) verglichen wird, welcher den Ausgangsstrom des genannten ersten Konstantstromlieferbereiches 200 überwacht.

Der Ausgang der Überwachungsmittel 305, welche den Ausgangsstrom des zweiten Konstantstromlieferbereiches 300 überwachen, ist ein zweites Überwachungssignal 353. Ein erster Stromwelligkeiteinstellausgang 250, welcher die Stromwelligkeit des Ausgangsstromes des ersten Konstantstromlieferbereiches 200 steuert, wird durch Umkehrmittel 354 umgekehrt. Der Stellwert der Umkehrmittel 354 ist ein Wert 180° aus der Phase. Der Stellwert 208 der genannten ersten/zweiten Ausgangsstromhöhenstellmittel wird zum Umkehrsignal addiert und produziert ein zweites Additionssignal 355. Das Additionssignal 355 und der Überwachungswert 353 der zweiten Überwachungsmittel werden durch einen zweiten Komparator 332 verglichen.

Der Betrieb wird nun mit Bezugnahme auf eine Zeittafel in den Fig. 29(a) bis (d) beschrieben. Fig. 29(a) zeigt ein EIN-Signal für die zweite Schalteinrichtung 215 des ersten Konstantstrom-Stromkreises 200 und eine zweite Schalteinrichtung 315 des zweiten Konstantstrom-Stromkreises 300, welcher eingeschaltet wird unter der Kontrolle eines Steuerwertes 360 des Entladungssteuerbereiches 240. Fig. 29(b) zeigt das Ausgangssignal 208, welches von den Ausgangsstromhöhenstellmitteln 230 in Synchronisation mit dem Entladungsstart ausgegeben wird. Zu dieser Zeit wird das Ausgangsstromhöhenersignal 208 auf ungefähr die Hälfte eines Wertes eines gewünschten Ausgangswertes eingestellt. Fig. 29(c) zeigt das Überwachungssignal 352 des ersten Konstantstromlieferbereiches und das erste Additionssignal 351. Das erste Ausgangssignal 352 und das erste Additionssignal 351 werden durch den ersten Komparator 232 verglichen. Wenn das Überwachungssignal 352 des ersten Konstantstromlieferbereiches 200 tiefer ist als das erste Additionssignal 351, wird die erste Schalteinrichtung 201 durch den Gateantriebsstromkreis 206 eingeschaltet. Umgekehrt wird, wenn das erste Ausgangssignal 352 höher ist als das erste Additionssignal 351, die erste Schalteinrichtung 201 durch den Gateantriebsstromkreis 206 ausgeschaltet.

Fig. 29(d) zeigt das zweite Ausgangssignal 353 und das zweite Additionssignal 355. Das zweite Ausgangssignal 353 und das zweite Additionssignal 355 werden durch den zweiten Komparator 332 verglichen. Wenn das zweite Ausgangsüberwachungssignal 353 tiefer ist als das zweite Additionssignal 355, wird die erste Schalteinrichtung 301 der zweiten Konstantstromlieferbereiches 300 durch einen Gateantriebsstromkreis 306 eingeschaltet. Im Gegensatz dazu wird, wenn das zweite Ausgangs-

signal 353 höher ist als das zweite Additionssignal 355, die erste Schalteinrichtung 301 durch den Gateantriebsstromkreis 306 ausgeschaltet.

Fig. 30(a) zeigt einen Ausgangsstrom 362 des ersten Stromkreises und Fig. 30(b) zeigt einen Ausgangsstrom 363 des zweiten Stromkreises. Um ein Fließen der Ausgangsströme dieser Stromkreise zu bewirken, werden die Ausgänge der Konstantstromlieferbereiche durch ihre entsprechenden zweiten Schalteinrichtungen 211, 311 in Übereinstimmung mit der gewünschten Impulsbreite, bestimmt durch einen Ausgang 360 des Entladungssteuerbereiches 250, zum Spalt gegeben, gebildet zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2. Während die Welligkeit des Ausgangs 352 des konstanten Stromlieferbereiches 200 im ersten Stromkreis 290 durch das Additionssignal 351 bestimmt ist, hat der Ausgangsstrom 362 des ersten Stromkreises eine Welligkeitsbreite von I_1 . Während der Ausgang 353 des Konstantstromlieferbereiches im zweiten Stromkreis 291 auch durch das zweite Additionssignal 255 gesteuert wird, welches um 180° von der Phase des Additionssignal 351, das die Welligkeit des Konstantstromlieferbereiches 200 im ersten Stromkreis 290 steuert, verschoben ist, ist die Welligkeit des Ausgangsstromes 363 des zweiten Stromkreises 291, die in den Bearbeitungsspalt fließt, um 180° ausserhalb der Phase der Welligkeit des Ausgangsstromes 362 des ersten Stromkreises.

Zu dieser Zeit besitzt die Welligkeit ΔI_1 des Anfangsstromes 363 die gleiche Breite wie die Welligkeit ΔI_1 des ersten Ausgangsstromes. Demzufolge ist, wie in Fig. 30(c) dargestellt, der Bearbeitungslückenstrom 361, der in der Bearbeitungslücke fließt, ein Strom, welcher aus der Addition der Ausgangsströme 362 und 363 resultiert und dazu dient, die Welligkeiten der Ausgangsströme 362 und 363 gegenseitig auszugleichen und eine Welligkeit ΔI_3 erhält in unvergleichlicher Weise einen sehr kleinen Wert. Das Stromkreissystem stellt einen Strom mit niedriger Welligkeit zur Verfügung und gibt einen Entladungsstrom ab, welcher nahezu eine Form aufweist, die sehr nahe der vorgegebenen Steuerspannung liegt.

Es wird nun eine zwölfte Ausführungsform gemäss Fig. 31 und 32(a)-(c) beschrieben. In Fig. 31 gibt 400 einen Zeitgeber an, welcher ein Signal 401 erzeugt, wie in Fig. 32(b) angegeben. Die andere Anordnung ist im Wesentlichen mit derjenigen der achten Ausführungsform identisch, mit der Ausnahme, dass das Mittel 250 zur Festlegung des Welligkeitsstroms nicht existiert und demzufolge hier nicht beschrieben ist.

Der Betrieb der vorliegenden Ausführungsform wird nun gemäss den Zeitdiagrammen in Fig. 32(a)-(c) beschrieben. In Fig. 32(a) gibt 208 das Signal des Stromausgleichsabschnittes 320 an, was einen Output darstellt, der mit dem Entladungsstart synchronisiert ist. 401 in Fig. 32(b) bezeichnet den Output des Zeitgebers 400.

Wenn die Entladung beginnt, wird der Ausgangsstrom des konstanten Stromversorgungsabschnittes 200 mit der Zeitkonstante der Induktivität des Reaktors 203 im Stromkreis erhöht. Wenn das Nachweissignal 207 über das Signal 208 steigt, gibt

der Komparator 232 ein Signal aus, welches das erste Schaltmittel 201 schaltet. Wenn eine vorgegebene Zeitperiode danach abgelaufen ist, gibt der Zeitgeber 400 ein Signal aus, das das erste Schaltgerät 201 schaltet. Dann steigt das Nachweissignal 207 über das Signal 208 und der Komparator 232 gibt das Signal aus, welches das erste Schaltmittel 201 ausschaltet. Als Resultat erhält man einen Stromnachweiswert, wie er durch das Signal 207 in Fig. 32(c) dargestellt ist.

Wenn der Induktivitätswert des Reaktors 203 und die Ein/Aus-Zeit des Zeitgebers 400 gut ausgewählt sind, stellt dieses Stromkreissystem ebenfalls einen Strom mit niedriger Welligkeit zur Verfügung und gibt einen Entladungsstrom ab, der praktisch dem Niveau der Steuerspannung entspricht.

Eine dreizehnte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann nun mittels der Fig. 33 bis 42 beschrieben werden. Fig. 33 ist ein Hauptstromkreisdiagramm, welches die dreizehnte Ausführungsform betrifft, worin E1 ein erstes Direktstromversorgungsmittel und 201 ein erstes Schaltmittel darstellt, welches durch den Gate-Ansteuerungsstromkreis 206 ein/ausgeschaltet wird. Der Reaktor 203 ist zwischen dem ersten Schaltmittel 201 und dem zweiten Schaltmittel 211 verbunden und die Elektrode 1 und das Werkstück 2 sind mit dem zweiten Schaltmittel 211 und der ersten Direktstromversorgung E1 verbunden. Die erste Diode 202 ist verbunden mit dem Verbindungspunkt des ersten Schaltmittels 201 und dem Reaktor 203 und der ersten Direktstromversorgung E1, und die zweite Diode 204 ist verbunden mit dem Verbindungspunkt der ersten Stromversorgung E1 und dem ersten Schaltmittel 201 und dem Verbindungspunkt des Reaktors 203 und dem zweiten Schaltmittel 211 in einer Richtung, in welcher der Strom zur ersten Direktstromversorgung E1 führt.

Eine serielle Verbindung der dritten Diode 212 und der Direktstromversorgung 213 ist mit der Elektrode 1 auf der Seite des zweiten Schaltmittels 211 und der Seite mit der negativen Spannung der ersten Direktstromversorgung E1 verbunden. Der Stromdetektor 205 ist so verbunden, dass er den Stromfluss im Reaktor 203 nachweisen kann. Eine serielle Verbindung der zweiten Direktstromversorgung E2 besitzt eine Spannung, die fähig ist, den Bearbeitungsspalt mit einer Spannung zu versorgen, die im Wesentlichen gleich oder kleiner ist als eine elektrische Entladungsspannung, ein drittes Schaltmittel 501 und eine Diode 502 sind parallel mit der genannten ersten Diode 202 verbunden. Dieses dritte Schaltmittel 501 wird durch einen Gatekreis 503 ein-/ausgeschaltet.

Es wird darauf hingewiesen, dass in dieser Ausführungsform das erste Schaltmittel 201, die erste Diode 202 und der Reaktor 203 den Abschnitt 200 für die Versorgung mit einem konstanten Strom bilden und der Ausgangsspannung Ein-/Aus-Abschnitt 210 aus einem zweiten Schaltmittel 211 und einem seriellen Stromkreis der dritten Diode 212 und dem Direktstromkreis 213 besteht.

Fig. 34 zeigt einen Steuerstromkreis mit den Gate-Ansteuerungsstromkreisen 503, 206, 215, dargestellt in Fig. 33, worin ein erster Komparator 504

einen Stromsteuerwert S1 mit einem Stromnachweiswert I1 des Stromdetektors 205 vergleicht und ein Signal zum Inputterminal des Zeitgeberstromkreises 512 ausgibt. Ein zweiter Komparator 505 vergleicht einen Überstromwert 507, welcher durch die Verbindung einer Direktspannung 506 in Serie mit einem Stromsteuerwert S1 mit einem Stromnachweiswert I1 des Stromdetektors 205 vergleicht und ein Signal ausgibt, um den Terminal R eines ersten Flip-Flop 508 zurückzusetzen. Das Ausgangssignal des genannten ersten Komparators 504 wird durch einen Inverter 509 invertiert und das Resultat der Inversion wird zum Einstellterminal S des ersten Flip-Flop 508 geführt.

In der Zwischenzeit schaltet ein elektrisches Entladungssignal H1 von einem NC-Apparat das zweite Schaltmittel 211 EIN/AUS, unter Kontrolle des Gate-Stromkreises 215. Ebenfalls wird die AND-Bedingung des elektrischen Entladungssignales H1, das Ausgangssignal des Zeitgeberstromkreises 512 und das Ausgangssignal des ersten Flip-Flop 508 durch einen AND-Stromkreis ausgewertet, um das erste Schaltmittel 201, gesteuert vom Gate-Stromkreis 206, auszuschalten. Ebenso wird die AND-Bedingung des elektrischen Entladungssignales H1 und des Ausgangssignals des ersten Flip-Flop 508 durch den AND-Stromkreis 510 ausgewertet, um ein drittes Schaltmittel 501 ein-/auszuschalten, unter Kontrolle des Gate-Ansteuerungsstromkreises 503.

Fig. 35 und 36 zeigen spezifische Beispiele eines Zeitgeberstromkreises 512 in Fig. 34. Im Beispiel des Zeitgeberstromkreises 512 in Fig. 35 ist der erste Komparator 504 mit dem Input-Terminal IN verbunden. Ein MOSFET 512A schliesst/öffnet einen Kondensator 512C mit einem zeitkonstanten Stromkreis, welcher aus einem Widerstand 512B und einem Kondensator 512C zusammengesetzt ist. In Fig. 37, worin ein Inputsignal (a) und ein Ausgangssignal (b) gezeigt sind, wird, wenn die Ausgabe des ersten Komparators 504 auf einen Punkt 600 beim Eingang (a) hochgeschaltet wird, das MOSFET 512A eingeschaltet, um den Kondensator 512C zu schliessen, wobei die Ausgabe (b) hinuntergeschaltet wird.

Ebenfalls, wenn die Ausgabe (b) des ersten Komparators 504 auf einen Punkt 601 des Input (a) tief geschaltet wird, schaltet das MOSFET 512A aus, um den Kondensator 512C zu öffnen, wobei der Output (b) die Schwellenspannung des Puffers 512D überschreitet und auf einen Punkt 602 hochschaltet, nach einer gewissen Zeitdauer 603, durch den zeitkonstanten Stromkreis, der aus einem Widerstand 512B und einem Kondensator 512C besteht. D.h., der Output OUT wird tiefgeschaltet, wenn der Output des ersten Komparators 504 hochgeschaltet wird und der Output OUT wird hochgeschaltet nach einer gewissen Zeitdauer, nachdem der Output des ersten Komparators tiefgeschaltet ist. Der Zeitgeberstromkreis 512 arbeitet wie oben beschrieben. Im Beispiel des Zeitgeberstromkreises 512 in Fig. 36, der als logischer Stromkreis eines monostabilen Multivibrators 512E und eines Flip-Flop 512F zusammengesetzt ist, wird der Betrieb des Outputes OUT hochgeschaltet, nachdem die Zeiteinstellung des monostabilen

Vibrators 512E identisch mit derjenigen in Fig. 37 ist.

Die Zeitdiagramme und Wellenformdiagramme, die in Fig. 38 dargestellt sind, zeigen den Betrieb dieser dreizehnten Ausführungsform. In Fig. 38 zeigt (a) ein elektrisches Entladungssignal H1, (b) eine Ausgangswellenform, (c) zeigt die Wellenform des Stromsteuerwertes S1, der von einem Steuerapparat (nicht dargestellt) der elektrischen Entladungsmaschine ausgegeben wird, (d) zeigt eine Ausgangswellenform, (e) zeigt den EIN-/AUS-Status des ersten Schaltmittels 201, (f) zeigt den EIN-/AUS-Status des dritten Schaltmittels 501, (g) zeigt den Stromdurchgangstatus der Diode 202, (h) zeigt den Stromdurchgangstatus der Diode 502, (i) zeigt den Ausgangsstatus des ersten Komparators 504, (k) zeigt den Ausgangsstatus des Zeitgeberstromkreises 512, (l) zeigt den Ausgangsstatus des ersten Flip-Flop 508 und (m) zeigt den Ausgangsstatus des zweiten Komparators 505.

Wenn das elektrische Entladungssignal H1 bei einem Punkt 700 in Wellenform (a) eingeschaltet ist, wird das zweite Schaltmittel 211 durch den Gate-Stromkreis 215 eingeschaltet. Da das erste Schaltmittel 201 in Fig. 33 gleichzeitig wie in (e) eingeschaltet wird, wird die Spannung des ersten Direktstromversorgungsgerätes E1 zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 wie in (b) dargestellt angelegt. Der Spalt zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 wird mit dem dielektrischen Fluidum gefüllt, wie mit Öl oder Wasser, und wird extrem präzise durch einen Servomechanismus, einen numerischen Steuerapparat, usw. (nicht dargestellt) gesteuert. Wenn ein dielektrischer Zusammenbruch in dieser aussergewöhnlich kleinen Spalte stattfindet, wird eine elektrische Entladung zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 gebildet. Dies ist durch 701 in der Wellenform (a) angegeben und die Ausgangsspannung in (b) wirkt als elektrische Entladungsspannung 702. Diese elektrische Entladungsspannung ist zwischen 25 und 30 Volt nahezu konstant. Sobald die elektrische Entladung stattfindet, beginnt der Strom zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 zu fließen. Der Strom, welcher durch 703 (d) angegeben wird, fließt durch die erste Direktstromversorgung E1, das erste Schaltmittel 201, den Reaktor 203 und das zweite Schaltmittel 211 und steigt schnell an, da die Spannung der ersten Direktstromversorgung E1 ungefähr 80 Volt höher ist als die elektrische Entladungsspannung 702.

Hat der Ausgangsstrom, d.h. der Strom des Reaktors 203, den Stromsteuerwert S1 erreicht, wird der Ausgang des ersten Komparators 504 auf einen Punkt 704, wie in (i) dargestellt, hochgeschaltet. Demzufolge wird der Output des Zeitgeberstromkreises 512, der in (k) dargestellt ist, tiefgeschaltet, und das erste Schaltmittel 201 wird, wie in (e) dargestellt, ausgeschaltet. Wird der Output des ersten Komparators 504 hochgeschaltet, wird der Output des Zeitgeberstromkreises 512 nur während einer vorgegebenen Zeitdauer tiefgeschaltet, angegeben durch 705 (k), und dann hochgeschaltet, wobei das erste Schaltmittel 201 wiederum eingeschaltet wird.

Während dieser vorgegebenen Zeit des Zeitge-

berstromkreises 512, d.h. der Periode 705, wenn das erste Schaltmittel 201 ausgeschaltet wird, wird eine Spannung vom zweiten Direktstromversorgungsgerät E2 zwischen die Elektrode 1 und dem Werkstück 2 angelegt, durch ein drittes Schaltmittel 501, welches schon eingeschaltet ist, die Diode 502 und den Reaktor 203. Da die zweite Direktstromversorgung E2 auf eine Spannung eingestellt ist, die gleich oder leicht kleiner ist als die elektrische Entladungsspannung 702, wird der Ausgangstrom wie in 707 in (d) angegeben, leicht reduziert. Dies wegen der leichten Variation des Stromes aufgrund der Reduktion der terminalen Spannung des Reaktors 203. Dies wird wiederholt, um zu bewirken, dass die Ausgangsspannung dem Wert der Steuerungsspannung S1, wie in (d) dargestellt, folgt.

Wenn der Stromsteuerwert S1 einen gewissen Wert erreicht, wie bei 703 in (c) dargestellt, vermindert sich der Ausgangsstrom schwach, wie durch 709 in (d) angegeben, erhöht sich jedoch schnell wie angegeben bei 710 in (d). Da die Zeit der Abnahme bei 709 die Einstellzeit des Zeitgeberstromkreises 512 gemäss 707 darstellt, fällt die Schaltfrequenz des ersten Schaltmittels 201 nicht unterhalb die Periodenzeit von 709, wenn 710 sich der Null nähert. Da der Strom, der durch 709 dargestellt ist, langsam abnimmt, werden die Welligkeiten des Ausgangsstromes klein. Demzufolge kann durch Verbindung der zweiten Direktstromverbindung E2, währenddem das erste Schaltmittel 201 während einer gewissen Zeitdauer ausgeschaltet ist, ein Stromversorgungsapparat für eine elektrische Entladungsmaschine angeordnet werden, welche eine Ausgangswellenform aufweist, die niedere Welligkeiten besitzt.

Fig. 39 stellt ein Wellenformdiagramm und ein Zeitdiagramm dar, welche verwendet werden, um den Betrieb zu beschreiben, wenn ein Kurzschluss zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 während der Bildung einer Funkenentladung stattfindet. Wenn am Punkt 711 ein Kurzschluss stattfindet, wenn der elektrische Entladungsstrom wie in Fig. 38 dargestellt fliesst, fällt die Ausgangsspannung (b) unterhalb die Spannung des zweiten Direktversorgungsgerätes E2, wobei der Ausgangsstrom in (d) wie durch 712 angegeben, zunimmt. Wenn dieser Strom, welcher ebenfalls den Strom des Reaktors 203 darstellt, gegen den Überstromnachweiswert 507 strebt und diesen erreicht, welcher durch 713 in (d) dargestellt ist, wird der Ausgang des zweiten Komparators 505, welcher den Stromnachweiswert 11 des Stromdetektors 505 mit dem Überstromsteuerwert 507 vergleicht, welcher von der Addition der Spannung einer Direktspannungsversorgung 506 zum Steuerstromwert S1 stammt, hochgeschaltet.

Demzufolge wird der Output Q des ersten Flip-Flop 508 tiefgeschaltet und das dritte Schaltmittel 501 wird ausgeschaltet durch den AND-Stromkreis 510. Es ist zu beachten, dass zu dieser Zeit das erste Schaltmittel 201 schon ausgeschaltet ist. Demzufolge wird der Ausgangsstrom durch die zweite Diode 202, den Reaktor 203 und das zweite Schaltmittel 201 geleitet und vermindert, wie in 714 angegeben. Wenn der Ausgangsstrom weiter ab-

nimmt auf den Stromschaltwert S1, wird der Ausgang des ersten Komparators 504 tief geschaltet in (i) auf einen Punkt 715, wobei das durch den Inverter 509 invertierte Signal den Flip-Flop 508 derart setzt, dass der Ausgang Q hochgeschaltet wird. Damit wird das dritte Schaltmittel 501 eingeschaltet, um den Ausgangsstrom zu erhöhen. Demzufolge wird, wenn ein Kurzschluss zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 stattfindet, der Ausgangsstrom zwischen dem Stromsteuerwert S1 und dem Überstromsteuerwert 507 erhöht und vermindert, und nicht so schnell ansteigt wie der Kurzschlussstromkreis, wobei verhindert wird, dass die Elektrode 1 oder das Werkstück 2 durch einen hohen Stromwert beschädigt wird.

Wenn der Kurzschlusszustand aus irgendwelchen Gründen überwunden wird, kehrt die Ausgangsspannung auf den elektrischen Entladungsstrom beim Punkt 716 zurück, wie durch 717 in (b) angegeben. Demzufolge nimmt der Ausgangsstrom in (d) scharf ab, und wenn er bis zum Stromsteuerwert S1, welcher durch 718 angegeben ist, abnimmt, wird der Ausgang des ersten Komparators 504 tiefgeschaltet und der erste Flip-Flop 508 wird durch den Inverter 509 gesetzt, wobei sein Ausgang Q hochgeschaltet wird, das dritte Schaltmittel 501 eingeschaltet wird und der Ausgangsstrom, wie durch 719 angegeben, schwach abnimmt. Der Zeitgeberstromkreis gibt ein schwaches Signal ab, nachdem der Output des ersten Komparators 504 tiefgeschaltet ist und zu seinem normalen Betrieb zurückkehrt.

Fig. 40 zeigt eine Modifikation des Steuerstromkreises für die Gate-Ansteuerungsstromkreise 206, 215, 503, die in Fig. 34 dargestellt sind, und erläutert ein Verfahren der Zugabe der Direktspannung 506 des Stromkreises in Fig. 34 zum Stromsteuerwert S1 mittels des Additors 513, um den Überstromsteuerwert 507 zu finden. Diese Modifikation kann einen Betrieb durchführen, welcher mit demjenigen des Stromkreises 34 identisch ist.

Fig. 41 gibt ein Wellenformdiagramm wieder, worin die aktuellen Ausgangsströme gemessen wurden, wenn der Spitzenwert des Stromsteuerwertes S1, im Apparat, welche die dreizehnte Ausführungsform darstellt, 35 A ist. (a) zeigt die Änderungen der Steuerstromwerte S1, deren Spitzenwert 35 A ist. (b) zeigt eine Wellenform zu der Zeit, wenn die Spannung der ersten Direktstromversorgung E1 80 V ist und die Spannung der zweiten Direktstromversorgung E2 0 V ist, (c) zeigt eine Wellenform zum Zeitpunkt, wenn die Spannung der ersten Direktstromversorgung E1 80 V ist und die Spannung der zweiten Direktstromversorgung E2 15 V ist und (d) zeigt eine Wellenform zum Zeitpunkt, wenn die Spannung der ersten Direktstromversorgung E1 80 V ist und die Spannung der zweiten Direktstromversorgung E2 30 V ist. Diese Diagramme zeigen an, dass, wenn Welligkeiten 604 von nahezu 16 A vorhanden sind, wenn die Spannung der zweiten Direktstromversorgung 0 ist, d.h. bei einem konventionellen Apparat, wo die zweite Direktstromversorgung E2 abwesend war, die Welligkeiten extrem kleiner sind als in (c), wo die Welligkeiten 605 7 A sind, wenn die Spannung der zweiten Direktstromversorgung E2 15 V ist und, wie in (d), wo die Wel-

ligkeiten 606 2 A sind, wenn die Spannung der zweiten Stromversorgung E2 30 V ist.

In Fig. 42 sind ebenfalls Wellenformdiagramme dargestellt, worin die aktuellen Ausgangsströme gemessen werden, wenn der Spitzenwert des Stromsteuerwertes S1 10 A ist, im Apparat, welcher die dreizehnte Ausführungsform darstellt. (a) zeigt die Änderungen beim Steuerstromwert S1, dessen Spitzenwert CA ist. (b) zeigt eine Wellenform zum Zeitpunkt, wenn die erste Direktstromversorgung E1 eine Spannung von 80 V abgibt und die zweite Direktstromversorgung E2 eine Spannung von 0 V abgibt, (c) zeigt eine Wellenform zum Zeitpunkt, wenn die erste Direktstromversorgung E1 eine Spannung von 80 V abgibt und die zweite Direktstromversorgung E2 eine Spannung von 15 V abgibt und (d) zeigt eine Wellenform zum Zeitpunkt, wenn die erste Direktstromversorgung E1 eine Spannung von 80 V abgibt und die zweite Direktstromversorgung E2 eine Spannung von 30 V abgibt. Diese Diagramme zeigen, dass dort Welligkeiten 604 von nahezu 10 A vorhanden waren, wenn die Spannung der zweiten Stromversorgung E2 0 war, waren die Welligkeiten in extremer Weise kleiner als in (c), wo die Welligkeiten 605 5 A sind, wenn die Spannung der zweiten Direktstromversorgung E2 15 V ist und in (d), wo die Welligkeiten 606 nahezu schwinden, wenn die Spannung der zweiten Direktstromversorgung E2 von 30 V annimmt.

Insbesondere in (b), wo der Ausgangsstromwert 0 ist, findet auf einer Führungskante 607 des Stromes die elektrische Funkenentladungsbearbeitung statt, mit einer solchen Wellenform, welche die gebildete elektrische Entladung stoppt, was die Stromwellenform des Steuerwertes (a) von seiner Ausgabe behindert. Mittlerweile, wenn die zweite Direktstromversorgung E2 30 V ist, kann eine Stromwellenform gebildet werden, die ähnlich derjenigen des Steuerwertes ist, wie es in 608 angegeben ist und die Welligkeiten sind nahezu null, wie dies durch 606 gezeigt ist. Während 30 V für die zweite Direktstromversorgung E2 ausgewählt wurde, sind ein drittes Schaltmittel 501, die Diode 502, der Direktstromwiderstandswert des Reaktors 203 und die EIN-Spannung des zweiten Schaltmittels 211 vorhanden und demzufolge wird eine Spannung, welche einen Wert besitzt, die durch Subtraktion der genannten EIN-Spannung von den 30 V der zweiten Direktstromversorgung E2 erhalten wurde, die resultierende Direktstromspannungsquelle sein, welche bewirkt, dass der Strom zur Spannung über der Elektrode und dem Werkstück 2 fließt. D.h., dass das vorausgesagte Ziel erreicht werden kann, wenn die Spannung, welche auf dem Bearbeitungsspalt angelegt wird, durch die zweite Direktstromversorgung E2, etwa 1 bis 2 V grösser ist als die elektrische Entladungsspannung.

Eine 14. Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf Fig. 43 bis 45 beschrieben. Fig. 43 ist das Hauptstromdiagramm, welches die vierzehnte Ausführungsform betrifft, wobei E1 eine erste Direktstromversorgung angibt, 201 ein erstes Schaltmittel bedeutet, welches durch den Gate-Ansteuerungsstromkreis 206

ein/ausgeschaltet wird. Der Reaktor 203 ist zwischen dem ersten Schaltmittel 201 und dem zweiten Schaltmittel 211 verbunden und die Elektrode 1 und das Werkstück 2 sind mit dem zweiten Schaltmittel 211 und der ersten Direktstromenergieversorgung E1 verbunden. Die erste Diode 202 ist zwischen dem Verbindungspunkt des ersten Schaltmittels 201 und dem Reaktor 203 und der ersten Direktstromversorgung E1 verbunden und die zweite Diode ist zwischen dem Verbindungspunkt der ersten Direktstromkraftversorgung E1 und dem ersten Schaltmittel 201 und dem Verbindungspunkt des Reaktors 203 und dem zweiten Schaltmittel 211 in einer Richtung verbunden, in welcher der Strom zur ersten Direktstromversorgung E1 fließt.

Eine serielle Verbindung der dritten Diode 212 und der Direktstromversorgung 213 wird zwischen der Elektrodenseite des zweiten Schaltmittels 211 und der negativen Spannungsseite der ersten Direktstromversorgung E1 verbunden. Der Stromdetektor 205 ist derart verbunden, um den in den Reaktor 203 fließenden Strom nachzuweisen. Eine serielle Verbindung der zweiten Direktstromversorgung E2, die eine Spannung besitzt, die fähig ist, den Bearbeitungsspalt mit einer Spannung zu versorgen, die im Wesentlichen gleich oder kleiner ist als die elektrische Entladungsspannung, das dritte Schaltmittel 501 und die Diode 502 ist parallel mit der genannten ersten Diode 202 verbunden. Dieses dritte Schaltmittel 501 wird durch den Gate-Ansteuerungsstromkreis 503 ein-/ausgeschaltet. Eine serielle Verbindung einer dritten Direktstromversorgung E2, die eine Spannung aufweist, die fähig ist, die Bearbeitungsspalte mit einer Spannung zu versorgen, welche höher ist als die elektrische Entladungsspannung und kleiner ist als die Spannung, welche durch die genannte erste Direktstromversorgung abgegeben wird, ein viertes Schaltmittel 514 und eine Diode 515 sind parallel mit der genannten ersten Diode 502 verbunden. Dieses vierte Schaltmittel 514 wird ein-/ausgeschaltet durch einen Gate-Ansteuerungsstromkreis 516.

Fig. 44 zeigt einen Steuerstromkreis, die Gate-Steuerungsstromkreise 503, 516, 206, 215 gemäß Fig. 43 wo der erste Komparator 504 den Stromsteuerwert S1 mit dem Steuernachweiswert I1 des Stromdetektors 205 vergleicht und ein Signal zum Terminal-Input des Zeitgeberstromkreises 512 ausgibt. Der zweite Komparator 505 vergleicht den Überstromsteuerwert 507, der durch die serielle Verbindung der Direktstromsteuerspannung 506 mit dem Stromsteuerwert S1 abgegeben wird, mit dem Stromnachweiswert I1 des Stromdetektors 205 und gibt ein Signal an den Reset-Terminal R des ersten Flip-Flop 508 ab. Das Ausgangssignal des genannten ersten Komparators 504 wird durch den Inverter 509 invertiert und das Resultat der Inversion wird mit dem Set-Terminal S des ersten Flip-Flop 508 verbunden.

In der Zwischenzeit schaltet das elektrische Entladungssignal H1 des zweiten Schaltmittels 201 unter Kontrolle des Gate Betriebskreises 215 ein/aus. Die AND-Bedingung eines Stromverstärkungssignals H2, der Ausgang des Zeitgeberstromkreises 512 und des elektrischen Entladungssignals H1

wird durch einen AND-Stromkreis 509 ausgewertet um das erste Schaltmittel 201 unter Steuerung des Gate-Ansteuerungsstromkreises 206 ein-/auszuschalten. Die AND-Bedingung des Outputs eines OR-Kreises 507, welcher die OR-Bedingung des Stromverstärkungssignals H2 abgibt, und der Output des Zeitgeberstromkreises 512, das elektrische Entladungssignal H1 und der Output des ersten Flip-Flop 508 werden durch einen AND-Stromkreis 518 ausgewertet, um das vierte Schaltmittel 514 unter Steuerung des Gate-Ansteuerungsstromkreises 516 ein-/auszuschalten. Auch die AND-Bedingung des elektrischen Entladungssignals H1 und der Output des ersten Flip-Flop 508 werden durch den AND-Stromkreis 510 verwendet, um das dritte Schaltmittel 501, unter Kontrolle des Gate-Ansteuerungsstromkreises 503, ein-/auszuschalten.

Die Zeit- und Wellenformdiagramme, die in Fig. 45 dargestellt sind, zeigen den Betrieb dieser vierzehnten Ausführungsform. In Fig. 45 zeigt (a) das elektrische Entladungssignal H1, zeigt (b) die Ausgangsspannungswellenform, zeigt (c) die Wellenform des Stromsteuerwertes S1, der vom Steuergerät (nicht dargestellt) der elektrischen Entladungsmaschine ausgeht, zeigt (d) die Ausgangsstromwellenform, zeigt (e) den Ein-/Ausstatus des ersten Schaltmittels 201, zeigt (f) den Ein-/Ausstatus des dritten Schaltmittels 501, zeigt (g) den Stromdurchgangstatus der Diode 202, zeigt (h) den Stromdurchgangstatus der Diode 502, zeigt (i) den Ausgangsstatus des ersten Komparators 504, zeigt (j) das Ausgangsverstärkungssignal H2, zeigt (k) den Ausgangsstatus des Zeitgeberstromkreises 512, zeigt (m) den Ein-/Ausstatus des vierten Schaltmittels 514 und (o) zeigt den Stromdurchgangstatus der Diode 515.

Wenn das elektrische Entladungssignal H1 beim Punkt 700 in Fig. 45(a) eingeschaltet wird, wird das zweite Schaltmittel 211 durch den Gate-Ansteuerungsstromkreis 215 eingeschaltet. Der Strom zwischen Signal H2 wird ebenfalls am Punkt 700 eingeschaltet. Da das erste Schaltmittel 201 in Fig. 43 zu diesem Zeitpunkt ausgeschaltet ist, wie in (e) dargestellt, wird die Spannung der ersten Direktstromversorgung E1 zwischen Elektrode 1 und dem Werkstück 2 als Nicht-Ladungsspannung angelegt, wie in (b) dargestellt. Die Spalte zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 wird mit dem dielektrischen Fluidum, wie Öl oder Wasser gefüllt, und wird aussergewöhnlich präzise durch einen Servomechanismus, einen numerischen Steuerapparat usw. (nicht dargestellt) gesteuert. Der dielektrische Zusammenbruch erfolgt in dieser aussergewöhnlich kleinen Spalte, wobei eine elektrische Entladung zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 gebildet wird. Dies wird durch 701 in Fig. 45(a) dargestellt, und die Ausgangsspannung (b) dient als elektrische Entladungsspannung 702. Diese elektrische Entladungsspannung ist nahezu zwischen 25 bis 30 V konstant. Sobald die elektrische Ladung stattfindet, beginnt der Strom zwischen Elektrode 1 und Werkstück 2 zu fliessen. Der Strom, der durch 701 in (d) angegeben ist, fliesst durch die erste Direktstromversorgung E1, das erste Schaltmittel 201, den Reaktor 203 und

das zweite Schaltmittel 211 und erhöht sich schnell, da die erste Direktstromversorgung E1 von ungefähr 80 V höher ist als die elektrische Entladungsspannung 702.

Wenn der Ausgangsstrom, d.h. der Strom des Reaktors 203, den Stromsteuerwert S1 erreicht hat, wird der Ausgang des ersten Komparators 504 auf einen Punkt 704, wie in (i) dargestellt, hochgeschaltet. Demzufolge wird die Ausgabe des Zeitgeberstromkreises 512, dargestellt in (k), tiefgeschaltet und das erste Schaltmittel 201 wird, wie in (e) dargestellt, ausgeschaltet. Wenn die Ausgabe des ersten Komparators 504 tiefgeschaltet ist, wird der Zeitgeberstromkreis 512 nur während vorbestimmter Zeitdauer, wie durch 705 in (k) dargestellt, tiefgeschaltet und wird dann hochgeschaltet, wobei das erste Schaltmittel 201 wiederum eingeschaltet wird.

Während dieser vorgegebenen Zeit des Zeitgeberstromkreises 512, d.h. dieser Periode 705, wenn das erste Schaltmittel 201 ausgeschaltet wird, ist das vierte Schaltmittel 514, das in Fig. 45 (n) dargestellt ist, schon eingeschaltet, wobei der Strom, welcher von der dritten Direktstromversorgung E3 zwischen Elektrode 1 und dem Werkstück 2 durch das dritte Schaltmittel 514, welches schon eingeschaltet wird, die Diode 515, den Reaktor 203 und das zweite Schaltmittel 211 fliesst. Da die dritte Direktstromversorgung E3 eine Spannung erhält, die um keine Werte höher ist als die elektrische Entladungsspannung 702, wird der Ausgangsstrom, wie durch 707 in (d) angegeben, leicht erhöht. Dies findet wegen der leichten Zunahme des Stromes statt, da die terminale Spannung des Reaktors 203 leicht höher ist. Dies wird wiederholt, um zu verursachen, dass der Ausgangsstrom dem Stromsteuerwert S1, wie in (d) dargestellt, folgt.

Wenn das Stromverstärkungssignal H2 in (j) bei einem Punkt 720 in (c) von Fig. 45, wo der Stromsteuerwert S1, welcher anstieg, einen gewissen Wert erreicht, tiefgeschaltet wird, vermindert sich der Anfangsstrom langsam wie durch 709 angegeben, da das dritte Schaltmittel 501 eingeschaltet ist, da aber die dritte Direktstromversorgung E3 verbunden ist, während das vierte Schaltmittel 514 eingeschaltet ist, erhöht sich der Ausgangsstrom ebenfalls langsam, wie durch 721 angegeben. Da die Abschwächungszeit zu diesem Zeitpunkt gemäss 709 die Basiszeit des Zeitgeberstromkreises 512 darstellt, wie bei 707, und der Strom schwach erhöht wird, wobei die Schaltfrequenz etwa zweimal so gross ist, wie die Periode bei 709. Die Welligkeit des Ausgangsstroms ist schmal und die Schaltfrequenz ist tief. Demzufolge kann ein Stromversorgungsapparat für eine elektrische Entladungsmaschine angeordnet werden, welche eine Ausgangsstromwellenform aufweist, welche eine schwache Welligkeit besitzt, wenn der Induktivitätswert des Reaktors 203 klein ist. Insbesondere wenn das Stromverstärkungssignal H2 eingeschaltet wird, um den Stromsteuerwert zu erhöhen, wird durch die dritte Direktstromversorgung E3 ein Strom ausgegeben, um die Stromerhöhung beizubehalten, wenn das erste Schaltmittel 201 ausgeschaltet wird, wobei ein Stromversorgungsapparat für eine elektrische Entladungsmaschine gebildet wird, die eine

Ausgangswellenform besitzt, die eine schwache Welligkeit aufweist.

Eine fünfzehnte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 46 bis 48 beschrieben. Fig. 46 ist ein Hauptstromdiagramm, welches die fünfzehnte Ausführungsform betrifft, wobei E1 eine erste Direktstromversorgung bedeutet, 201 ein erstes Schaltmittel darstellt, welches ein-/ausgeschaltet wird durch den Gate-Versorgungsstromkreis 206. Der Reaktor 203 ist zwischen dem ersten Schaltmittel 201 und dem zweiten Schaltmittel 211 verbunden und die Elektrode 1 und das Werkstück 2 sind mit einem zweiten Schaltmittel 211 und der ersten Direktstromversorgung verbunden. Die erste Diode 202 ist mit dem Verbindungspunkt eines ersten Schaltmittels 201 und dem Reaktor 203 und der ersten Direktstromversorgung E1 verbunden und die zweite Diode 204 ist zwischen dem Verbindungspunkt der ersten Direktstromversorgung E1 und dem ersten Schaltmittel 201 und dem Verbindungspunkt des Reaktors 203 und dem zweiten Schaltmittel 211 in einer Richtung verbunden, worin der Strom zur ersten Direktstromversorgung E1 fliesst.

Eine serielle Verbindung der ersten Diode 212 und der Direktstromversorgung wird zwischen der Elektrode 1 auf der Seite des zweiten Schaltmittels 211 und der Seite mit negativer Spannung der ersten Direktstromversorgung E1 verbunden. Der Stromdetektor 205 wird verbunden, um den Strom nachzuweisen, welcher in den Reaktor 203 fliesst. Eine serielle Verbindung einer zweiten Direktstromversorgung E1, welche eine Spannung aufweist, welche fähig ist, den Bearbeitungsspalt mit einer Spannung zu versorgen, die im Wesentlichen gleich oder kleiner ist als die elektrische Entladungsspannung, wird mit dem dritten Schaltmittel 501 und der Diode 502 parallel mit der genannten ersten Diode 202 verbunden. Dieses dritte Schaltmittel 501 wird durch den Gate-Ansteuerungsstromkreis 503 ein-/ausgeschaltet. Eine serielle Verbindung einer variablen vierten Direktstromversorgung E1, eines fünften Schaltmittels 521 und einer Diode 522 wird parallel mit der genannten ersten Diode 202 verbunden. Dieses fünfte Schaltmittel 521 wird durch einen Gate-Ansteuerungsstromkreis 520 ein-/ausgeschaltet.

Fig. 47 zeigt einen Steuerstromkreis der Gate-Ansteuerungsstromkreise 503, 520, 206, 215, dargestellt in Fig. 46, wobei der erste Komparator 504 den Steuerstromwert S1 und den Stromnachweiswert I1 des Stromdetektors 205 vergleicht und ein Signal auf den Eingangsterminal des Zeitgeberstromkreises 512 ausgibt. Der zweite Komparator 505 vergleicht den Überstromsteuerwert 507, welcher durch die Verbindung der Direktspannung 506 in Serie mit dem Stromsteuerwert S1 erhalten wird, mit dem Stromnachweiswert I1 des Stromdetektors 205 und gibt ein Signal ab, um den Terminal R des ersten Flip-Flop 508 zurückzustellen. Das Ausgangssignal des ersten Komparators 504 wird durch einen Inverter 509 invertiert und das Resultat der Inversion wird zur Einstellung des Terminals S des ersten FlipFlop 508 verwendet.

In der Zwischenzeit schaltet das elektrische Ent-

ladungssignal H1 das zweite Schaltmittel 211 EIN/AUS unter der Steuerung des Gate-Ansteuerungsstromkreises 215. Die AND-Bedingung eines Nichtladungsspannungssignales H3 und des elektrischen Entladungssignales H1 wird durch einen AND-Stromkreis 514 verwendet, um das erste Schaltmittel 201 ein-/auszuschalten unter Steuerung des Gate-Ansteuerungsstromkreises 206. Die AND-Bedingung der Ausgabe des Zeitgeberstromkreises 512, das elektrische Entladungssignal H1 und die Ausgabe des ersten Flip-Flop 508 werden durch einen AND-Stromkreis 523 verarbeitet, um das fünfte Schaltmittel 521 ein-/auszuschalten, unter Steuerung des Gate-Ansteuerungsstromkreises 520. Ebenso wird die AND-Bedingung des elektrischen Entladungssignales H1 und der Ausgabe des ersten Flip-Flop 508 durch den AND-Stromkreis 510 verwendet, um das dritte Schaltmittel 501 unter Kontrolle des Gate-Betriebsstromkreises 503 ein-/auszuschalten.

Zeittabellen und Wellenformdiagramme, die in der Fig. 48 gezeigt sind, zeigen den Betrieb dieser fünfzehnten Ausführungsform. In der Fig. 48 zeigt (a) das elektrische Entladesignal H1, (b) die Wellenform der Ausgangsspannung, (c) die Wellenform des Stromführungswertes S1, ausgegeben von einem Steuergerät (nicht gezeigt) der Funkenerosionsmaschine, (d) die Wellenform des Ausgangsstromes, (e) zeigt den Ein-/Ausstatus der ersten Schalteinrichtung 201, (f) zeigt den Ein-/Ausstatus der dritten Schalteinrichtung 501, (g) zeigt den Stromdurchgangstatus der Diode 202, (h) den Stromdurchgangstatus der Diode 502, (i) den Ausgangsstatus des ersten Komparators 504, (j) zeigt das unbelastete Spannungssignal H3, (k) zeigt den Ausgangsstatus des Zeitkreises 512, (n) zeigt den Ein-/Ausstatus der fünften Schalteinrichtung 521 und (o) den Stromdurchgangstatus der Diode 522.

Wenn das elektrische Entladesignal H1 bei einem Punkt 700 in der Fig. 48(a) eingeschaltet wird, dann wird die zweite Schalteinrichtung 211 durch den Tortreiberstromkreis 215 eingeschaltet. Das nicht belastete Spannungssignal H3 wird ebenfalls beim Punkt 700 eingeschaltet. Seitdem die erste Schalteinrichtung 201 in der Fig. 46 zu diesem Zeitpunkt, wie in (e) gezeigt, eingeschaltet ist, ist die Spannung der ersten Gleichstromenergieversorgungseinheit E1 zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 als eine unbelastete Spannung angelegt, wie in (b) gezeigt. Der Stromführungswert S1 in der vorliegenden Ausführung kann eine Wellenform aufweisen, welche nur den Spitzenwert des elektrischen Entladestromes gemäss (c) betätigt.

Der Spalt zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 ist mit der dielektrischen Flüssigkeit, wie Öl oder Wasser, gefüllt, und ist durch einen Servomechanismus durch ein numerisch gesteuertes Gerät etc. (nicht gezeigt) extrem präzise gesteuert. Wenn ein dielektrischer Durchschlag am extrem kleinen Spalt auftritt, wird eine elektrische Entladung zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 erzeugt. Dies ist in der Fig. 48 durch das Bezugszeichen 701 angegeben, wobei die Ausgangsspannung (b) als die elektrische Entladespannung 702 agiert. Diese elektrische Entladespannung ist zwi-

schen 25 und 30 Volt annähernd konstant. Sobald die elektrische Entladung auftritt, beginnt der Strom zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 zu fließen und das nicht belastete Spannungssignal H3 wird, wie in (j) gezeigt, tief geschaltet. Dadurch wird die erste Schalteinrichtung 201, wie in (e) gezeigt, ausgeschaltet.

Da der Ausgangsstrom, wie durch das Bezugszeichen 722 in (d) angegeben, durch die vierte Gleichstromenergieversorgungseinheit E4 fliesst, liegen die fünfte Schalteinrichtung 521, die Drossel 203 und die zweite Schalteinrichtung 211 sowie die vierte Gleichstromenergieversorgungseinheit E4 an der voreingestellten Spannung (ungefähr 25 bis 100 Volt), wobei der Ausgangsstrom an der Anstiegsflanke des Ausgangsstromes, die durch das Bezugszeichen 722 (d) angegeben ist, zunimmt, was durch eine Differenzialspannung zwischen der Spannung der vierten Gleichstromenergieversorgungseinheit E4 und der Spannung über der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 sowie dem Induktionswert der Drossel 203 bestimmt wird. Beim Bezugszeichen 723 in (d), welches angibt, dass die Spannung der vierten Gleichstromenergieversorgungseinheit E4 zugenommen hat, bewirkt das Ändern der Spannung der vierten Gleichstromenergieversorgungseinheit E4, eine gewünschte Neigung der Anstiegsflanke des Ausgangsstromes. Da die Anstiegsflanke des Ausgangsstromes keine Welligkeit hat, braucht ein glatter Niederpegelausgangsstrom nicht auf Null gesetzt zu werden, um stabile Funkenerosionsverhältnisse zu gewährleisten.

Später, wenn der Ausgangsstrom, beispielsweise der Strom in der Drosselspule 203, den Wert der Stromführungsgrösse S1 erreicht hat, wird der Ausgang des ersten Komparators 504 bei einem Punkt 724, wie in (i) gezeigt, hochgeschaltet. Dementsprechend wird der Ausgang des Zeitkreises 512, gezeigt in (k), tiefgeschaltet und die fünfte Schalteinrichtung 521 wird, wie in (n) gezeigt, ausgeschaltet. Wenn der Ausgang des ersten Komparators 504 tiefgeschaltet wird, wird der Ausgang des Zeitkreises 512 nur für eine voreingestellte Zeitdauer, wie dies durch 705 in (k) angegeben ist, tiefgeschaltet.

Während dieser voreingestellten Zeit des Zeitkreises 512, beispielsweise dem Zeitintervall 705, wenn die fünfte Schalteinrichtung 521 ausgeschaltet ist, die dritte Schalteinrichtung 501 gemäss (f) schon eingeschaltet ist, wird der Strom von der zweiten Gleichstromenergieversorgungseinheit durch die dritte Schalteinrichtung 501, die Diode 502 und die Drosselspule 203 an den Spalt zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 geliefert. Da die Spannung der zweiten Gleichstromenergieversorgungseinheit E2 leicht tiefer als die elektrische Entladespannung 702 eingestellt wird, nimmt der Ausgangsstrom, wie durch 727 in (d) gezeigt, langsam ab. Dann wird der Ausgang des Zeitkreises 512 beim Punkt 726 hochgeschaltet, wobei die fünfte Schalteinrichtung 521 zum Erhöhen des Stromes ebenfalls eingeschaltet wird. Dies wird wiederholt, um den Ausgangsstrom zu veranlassen, dem Stromführungsgrösse S1, wie in (d) gezeigt, zu folgen.

Gemäss dieser fünfzehnten Ausführungsform nimmt der Ausgangsstrom mit einer gewissen Nei-

gung, wie durch 722 und 723 zu, wobei während der Zunahme des Stromes keine Welligkeit erzeugt wird, und die fünfte Schalteinrichtung 521 während dieser Zeitdauer eingeschaltet bleibt, weil kein Schalten erforderlich ist. Nachdem der Wert der Führungsgrösse erreicht worden ist, nimmt der Ausgangsstrom, wie durch 727 angegeben, langsam ab, wobei die Abnahmezeit, die durch 727 gekennzeichnet ist, der gesetzten Zeit des Zeitkreises 512, gekennzeichnet durch 705, entspricht und wobei die Schaltfrequenz ungefähr der Zeitdauer von 705 entspricht und die Welligkeit des Ausgangsstromes klein und die Schaltfrequenz tief ist. Dadurch kann ein Energieversorgungsgerät für eine Funkenerosionsmaschine festgelegt werden, welches einen Ausgangsstromwellenform mit wenigen Wellen liefert, wenn der Induktionswert der Drosselspule 203 klein ist.

Eine sechzehnte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun mit Bezugnahme auf die Fig. 49 bis 51 beschrieben. Die Fig. 49 ist ein Schaltplan eines Hauptstromkreises, der die sechzehnte Ausführungsform betrifft, wobei eine Serieschaltung von einer fünften Gleichstromenergieversorgungseinheit E5, einer sechsten Schalteinrichtung 526 und einem Widerstand 529 zum Bearbeitungsspalt, gebildet durch die Elektrode 1 und das Werkstück 2 gemäss der dreizehnten Ausführungsform, parallel geschaltet ist. Die zweite Schalteinrichtung 211 umfasst eine Diode 527, um einen inversen Stromfluss zu verhindern. Die fünfte Gleichstromenergieversorgungseinheit E5 sollte eine Spannung haben, die befähigt ist, den Bearbeitungsspalt mit einer höheren Spannung als derjenigen der ersten Gleichstromenergieversorgungseinheit zu beliefern. Es sei vermerkt, dass das Bezugszeichen 525 einen Gate-Antriebsstromkreis für die Schalteinrichtung 526 kennzeichnet.

Die Figur 50 zeigt einen Steuerstromkreis, der Gatetreiberstromkreise 503, 206, 215 und 525, die in der Fig. 49 gezeigt sind, umfasst, wobei der UND-Zustand eines Hochspannungsimpulssignales H4 und des elektrischen Entladesignales H1 durch ein UND-Gate 528 ausgelesen wird, um die sechste Steuereinrichtung 526 unter der Kontrolle des Gatetreiberstromkreises 525 im Steuerstromkreis, der in der Fig. 34 mit der dreizehnten Ausführungsform gezeigt ist, ein- und auszuschalten. Es sei vermerkt, dass die übrige Anordnung identisch mit derjenigen des Steuerstromkreises, die in der Fig. 34 mit der dreizehnten Ausführungsform gezeigt ist, und hier nicht beschrieben wird.

Die Zeittabellen und Wellenformdiagramme, die in der Fig. 51 gezeigt sind, zeigen den Betrieb dieser sechzehnten Ausführungsform. In der Fig. 51 zeigt (a) das elektrische Entladesignal H1, (b) die Ausgangsspannung, (d) den Ausgangsstrom, (e) den Ein-/Ausstatus der ersten Schalteinrichtung 201, (f) das Hochspannungsimpulssignal und (g) den Ein-/Ausstatus der sechsten Schalteinrichtung 526. Wenn das elektrische Entladesignal H1 zu einem Zeitpunkt 700 in der Fig. 51 (a) eingeschaltet wird, wird die Schalteinrichtung 211 durch den Gatetreiberstromkreis 215 eingeschaltet. Da die Schalteinrichtung 201 in der Fig. 49 zu diesem Zeit-

punkt, wie in (e) gezeigt, eingeschaltet ist, wird die Spannung der ersten Gleichstromenergieversorgungseinheit E1 an den Spalt zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2, wie durch das Bezugszeichen 728 in (b) gekennzeichnet, als unbelastete Spannung angelegt.

Der Spalt zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 ist mit einer dielektrischen Flüssigkeit, wie Öl oder Wasser, gefüllt und ist durch einen Servomechanismus durch ein numerisch gesteuertes Gerät etc. (nicht gezeigt) sehr präzise gesteuert. Wenn ein dielektrischer Durchbruch bei diesem sehr kleinen Spalt auftritt, wird eine elektrische Entladung zwischen der Elektrode 1 und dem Werkstück 2 erzeugt. Selten setzt die elektrische Entladung nicht ohne Weiteres ein, was in einem instabilen Funkenerosionszustand resultiert.

Um dies zu verhindern, wenn die elektrische Entladung nicht innerhalb der Zeit 729, nachdem das elektrische Entladesignal H1 eingeschaltet worden ist, auftritt, wird mit dem Hochspannungsimpulssignal H4, wie in (f) zu einem Zeitpunkt 730 vorgesehen, die sechste Schalteinrichtung 526 in (g) eingeschaltet und dabei die Spannung der fünften Gleichstromenergieversorgungseinheit E5 ausgegeben. Diese Spannung ist durch das Bezugszeichen 731 in (b) gekennzeichnet. Die Spannung der fünften Gleichstromenergieversorgungseinheit E5 liegt zwischen 100 und 300 Volt.

Wenn die elektrische Ladung erzeugt wird, wird der Hochspannungsimpuls H4 zu einem Zeitpunkt 701 tiefgeschaltet, um die sechste Schalteinrichtung 526 auszuschalten, wobei die Spannung der ersten Gleichstromenergieversorgungseinheit E1 durch die erste Schalteinrichtung 201, welche bereits eingeschaltet ist, zwischen die Elektrode 1 und das Werkstück 2 geschaltet wird, und der Ausgangsstrom zunimmt. Im Moment, wo diese elektrische Entladung auftritt, fließt ein Strom im Widerstand 529, aber der Widerstand 529 verbraucht praktisch keine Leistung, weil die sechste Schalteinrichtung 526 sofort ausschaltet. Da die Spannung von 150 bis 350 Volt dieser Gleichstromenergieversorgungseinheit E5 höher ist als diejenige der ersten Gleichstromenergieversorgungseinheit von 80 Volt, erfolgt die elektrische Entladung zuverlässig. Es sei vermerkt, dass die anderen Operationen identisch zu denjenigen in der dreizehnten Ausführungsform sind und demzufolge hier nicht mehr beschrieben sind.

Während die vorliegende sechzehnte Ausführungsform, unter Verwendung des Gerätes, worin die Serieschaltung der fünften Gleichstromenergieversorgungseinheit E5 der sechsten Schalteinrichtung 526 und des Widerstandes 529 mit dem Bearbeitungsspalt, gebildet durch die Elektrode 1 und durch das Werkstück 2 in der dreizehnten Ausführungsform parallel geschaltet ist, beschrieben worden ist, könnte die Serieschaltung der fünften Gleichstromenergieversorgung E5 der sechsten Schalteinrichtung 526 und des Widerstandes 529 ebenfalls mit dem Bearbeitungsspalt, gebildet durch die Elektrode 1 und das Werkstück 2, der vierzehnten oder fünfzehnten Ausführungsform parallel geschaltet werden, um die gleichen Wirkungen zu erzielen. In diesem Fall ist es unnötig zu erwähnen,

dass die fünfte Gleichstromenergieversorgungseinheit E5 eine Spannung aufweist, die höher ist als diejenige der anderen Gleichstromenergieversorgungseinheiten E1, E2, E3, E4.

Eine siebzehnte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 52 beschrieben. Fig. 52 ist ein Schema des Hauptstromkreises, welches sich auf die siebzehnte Ausführungsform bezieht, wobei die zweite Gleichstromenergieversorgungseinheit E2, eine sechste Gleichstromenergieversorgungseinheit E6, eine siebente Gleichstromenergieversorgungseinheit E7 und eine achte Gleichstromenergieversorgungseinheit E8 in Serie geschaltet sind, wobei ein Ende der Serieschaltung der dritten Schalteinrichtung 501 und der Diode 502 mit dem Verbindungspunkt der zweiten Gleichstromenergieversorgungseinheit E2 und der sechsten Gleichstromenergieversorgungseinheit E6 verbunden ist und der andere Punkt dieser Serieschaltung mit dem Verbindungspunkt der Drosselspule 203 und der Diode 202 verbunden ist. Ein Ende der Serieschaltung der vierten Schalteinrichtung 514 und der Diode 515 ist mit dem Verbindungspunkt der sechsten Gleichstromenergieversorgungseinheit E6 und der siebenten Gleichstromenergieversorgungseinheit E7 verbunden und das andere Ende dieser Serieschaltung ist an den Verbindungspunkt der Drosselspule 203 und der Diode 202 geschaltet. Ein Ende der ersten Schalteinrichtung 201 ist an den Verbindungspunkt der siebenten Gleichstromenergieversorgungseinheit E7 und der achten Gleichstromenergieversorgungseinheit E8 geschaltet und das andere Ende dieser Serieschaltung ist mit dem Verbindungspunkt der Drosselspule 203 und der Diode 202 verbunden. Im Weiteren ist ein Ende der Serieschaltung der sechsten Schalteinrichtung 526 und des Widerstandes 529 mit einem Ende der achten Gleichstromenergieversorgungseinheit E8 verbunden und das andere Ende der Serieschaltung ist an die Elektrode 1 (oder an das Werkstück 2) geschaltet. Es sei bemerkt, dass das Bezugszeichen 527 in der Fig. 52 eine Diode bezeichnet.

Entsprechend der dreizehnten, der vierzehnten und der fünfzehnten Ausführungsform, wo für die Beziehung der Spannungen der ersten, zweiten, dritten und fünften Gleichstromenergieversorgungseinheiten E1, E2, E3, E5 zu der elektrischen Entladespannung gilt: $E5 > E1 > E3 \geq \text{elektrische Entladespannung} \geq E2$, kann die Spannung der sechsten Gleichstromenergieversorgungseinheit E6 definiert werden als $E3 - E2$, diejenige der siebenten Gleichstromenergieversorgungseinheit E7 als $E1 - E6 - E2$ und diejenige der achten Gleichstromenergieversorgungseinheit E8 als $E5 - E7 - E6 - E2 = E5 - E1$. Insbesondere sind die Gleichspannungen von E2, E6, E7 und E8 ungefähr 20 bis 30 Volt bzw. 5 bis 15 Volt bzw. 40 bis 60 Volt und bzw. 70 bis 230 Volt, wobei die verwendeten Gleichstromenergieversorgungseinheiten kleine Spannungen haben und wirksam verwendet werden können.

Wenn gewünscht wird, den Betrieb der dreizehnten Ausführungsform mit der vorliegenden Ausführungsform durchzuführen, können die vierte Schalteinrichtung 514 und die sechste Schalteinrichtung 526

ausgeschaltet und die erste Schalteinrichtung 201 und die dritte Schalteinrichtung 501, wie in der dreizehnten Ausführungsform, gesteuert ein- und ausgeschaltet werden. Wenn gewünscht wird, den Betrieb der vierzehnten Ausführungsform auszuführen, kann die sechste Schalteinrichtung 526 ausgeschaltet werden und die erste Schalteinrichtung 201, die dritte Schalteinrichtung 501 und die vierte Schalteinrichtung 514 können, wie in der vierzehnten Ausführungsform, gesteuert ein- und ausgeschaltet werden. Im Weiteren, wenn gewünscht wird, den Betrieb der sechzehnten Ausführung auszuführen, kann die vierte Schalteinrichtung 514 ausgeschaltet werden und die erste Schalteinrichtung 201, die dritte Schalteinrichtung 501 und die sechste Schalteinrichtung 526 können, wie in der sechzehnten Ausführungsform, gesteuert ein- und ausgeschaltet werden. Da die Details dieser Betriebsverhältnisse in der bereits gegebenen Betriebserklärung leicht zu verstehen sind, werden sie hier nicht beschrieben.

Eine achtzehnte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 53 beschrieben. Die Fig. 53 ist ein Schema eines Hauptstromkreises, welches sich auf die achtzehnte Ausführungsform bezieht, wobei diese Ausführungsform eine Kombination der vierzehnten Ausführungsform und der sechzehnten Ausführungsform ist. Der Seriestromkreis ist nämlich der dritten Gleichstromenergieversorgungseinheit E3, der vierten Schalteinrichtung 514 und der Diode 515 in der vierzehnten Ausführungsform parallel geschaltet mit der ersten Diode 202 in der sechzehnten Ausführungsform.

Ihre Funktionsweise ist in der bereits gegebenen Betriebserklärung leicht zu verstehen und demzufolge hier nicht beschrieben.

Die verwendeten Transistoren sowie die Schalteinrichtungen in der dreizehnten bis zur achtzehnten Ausführungsform können irgendwelche Einrichtungen sein, die elektrisch ein- und ausgeschaltet werden können, und können durch solche Schalteinrichtungen wie MOSFETs, IGBTs und SITs ersetzt werden, wobei die Wirkungen erhalten bleiben.

Die Komparatoren, Zeitstromkreise, Flip-Flops, Führungsgrößen, UND-Gates und Inverter, die in den Steuerstromkreisen der achten bis siebzehnten Ausführungsform auf analoger Basis angeordnet sind, können durch digitale Signalprozessoren, Mikroprozessoren etc., welche auf einer digitalen Basis arbeiten, ersetzt werden, wobei auch hier die Wirkungen erhalten bleiben.

Es ist ersichtlich, dass die vorliegende Erfindung, wie vorgängig beschrieben, eine Energieversorgungseinheit hervorbringt, welche eine hohe Leistungsfähigkeit aufweist, welche einen gewünschten elektrischen Entladestrom erzeugt, welche eine hohe Ansprechgeschwindigkeit aufweist und welche extrem wenig Stromwelligkeiten vorsieht. Mit der vorliegenden Erfindung wird eine kompakte kostengünstige Energieversorgungseinheit zur Verfügung gestellt, welche eine stabile Bearbeitung gewährleistet.

Es wird ausdrücklich auf den gesamten Inhalt der ausländischen Patentanmeldungen Bezug genom-

men, für welche die Priorität der vorliegenden Anmeldung beansprucht worden ist.

Obschon die vorliegende Erfindung durch bevorzugte Ausführungsformen mit einem gewissen Grad von Besonderheiten erläutert worden ist, sollen die bevorzugten Ausführungsformen lediglich als Beispiele verstanden werden. Es können zahlreiche Modifikationen von Einzelheiten und Kombinationen von Komponenten vorgenommen werden, ohne dass vom Geist und Ausmass der vorliegenden Erfindung gemäss der Definition im Anspruchsteil abgewichen wird.

Patentansprüche

1. Energieversorgungsgerät für eine Funkenerosionsmaschine zum Zuführen einer impulsförmigen, elektrischen Leistung an einen Bearbeitungsspalt zwischen einer Elektrode (1) und einem Werkstück (2), enthaltend:

– einen ersten Versorgungsstromkreis für die Erzeugung eines ersten Stromes am Bearbeitungsspalt, umfassend ein erstes steuerbares Stromversorgungsgerät (4, 157) und ein Stromnachweismittel (7, 160) zum Messen der Klemmenspannung des ersten Energieversorgungsgerätes;

– einen ersten Steuerstromkreis (109; 190, 166) für die Steuerung des ersten steuerbaren Stromversorgungsgerätes (4, 157) auf Basis des durch das Stromnachweismittel (7, 160) gemessenen Stroms und eines gewünschten Stromwertes (104, 106; 163, 161); und

– mindestens einen zweiten Versorgungsstromkreis parallel zum ersten Versorgungsstromkreis für die Überlagerung des Outputs des zweiten Stromversorgungsgerätes mit demjenigen des ersten Stromversorgungsgerätes, wobei jedes der weiteren Stromversorgungsgeräte ein steuerbares Stromversorgungsgerät (100a, 100b, 100c; 158) umfasst; gekennzeichnet durch

– ein Mittel (102, 103) für die Einstellung des gewünschten Stromwertes (104, 106; 163, 161) gemäss der Signalförmigkeit eines Stromimpulses zur Abgabe an den Bearbeitungsspalt;

– einen zweiten Steuerstromkreis (113, 114, 115a, 115b, 115c) für die Steuerung der Stromversorgungsgeräte (100a, 100b, 100c; 158) welche im zweiten Versorgungsstromkreis enthalten sind auf Basis des durch das Stromnachweismittel (7, 160) gemessenen Stroms und des gewünschten Wertes (104, 106, 163, 161);

– ein erstes Signaladditions-/Substraktionsmittel (107, 190), das im ersten Steuerstromkreis (107, 109; 190, 166) vorgesehen ist für die Bildung einer Differenz zwischen dem durch das Stromnachweismittel (7, 160) gemessenen Stroms und des gewünschten Wertes (106); und

– ein zweites Signaladditions-/Substraktionsmittel (113, 171), welches im zweiten Steuerstromkreis (113, 114, 115a, 115b, 115c) vorgesehen ist für die Bildung einer Differenz zwischen dem durch das Stromnachweismittel (7, 160) gemessenen Strom und dem gewünschten Wert (104, 161).

2. Energieversorgungsgerät gemäss Anspruch 1, gekennzeichnet durch den ersten und zweiten Ver-

sorgungsstromkreis, die je steuerbare Schaltmittel (4, 100a, 100b, 100c) enthalten für die Unterbrechung des durch eine Stromversorgung (5) an den Bearbeitungsspalt abgegebenen Stroms.

3. Energieversorgungsgerät gemäss Anspruch 2, gekennzeichnet durch einen elektrischen Energieakkumulationsschaltkreis, welcher sich im ersten Versorgungsstromkreis befindet, enthaltend

– eine Drosselspule (22) welche zwischen dem Stromversorgungsmittel (7) und dem Output des ersten Versorgungsstromkreises angeordnet ist, ebenso wie eine Diode (23), welche zwischen dem Ende der Drosselspule (27) nahe am Bearbeitungsspalt und der Stromversorgung (5) verbunden ist, wobei die Energie von der Stromversorgung (5) gesammelt wird, um diskontinuierlich an den Bearbeitungsspalt abgegeben zu werden; und

– ein weiteres Schaltmittel (20), welches zwischen der Drosselspule (22) und dem Output des ersten Versorgungsstromkreises verbunden ist für die Versorgung des Bearbeitungsspalt mit einem Ausgangsstrom aus dem elektrischen Energieakkumulationsschaltkreis, wobei ein impulsförmiger Ausgangsstrom an den Bearbeitungsspalt abgegeben wird.

4. Energieversorgungsgerät gemäss Anspruch 1, gekennzeichnet durch

– einen ersten Stromversorgungsstromkreis enthaltend eine erste steuerbare Stromversorgung (157) als Stromversorgungsgerät;

– ein zweiter Stromversorgungsstromkreis, der eine zweite steuerbare Stromversorgung (158) als Stromversorgungsgerät enthält, wobei die zweite Stromversorgung (158) eine höhere Ausgangsstromreaktionsgeschwindigkeit aufweist als die erste Stromquelle (157).

5. Energieversorgungsgerät gemäss Anspruch 4, gekennzeichnet durch

– eine dritte Stromversorgung (175), welche parallel zur ersten Stromversorgung (157) angeordnet ist, und welche einen Strom in entgegengesetzter Richtung zur Stromversorgungsrichtung der zweiten Stromversorgung (158) abgeben kann, und welche eine höhere Ausgangsstromreaktionsgeschwindigkeit aufweist als die erste Stromversorgung (157).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

27

FIG. 1

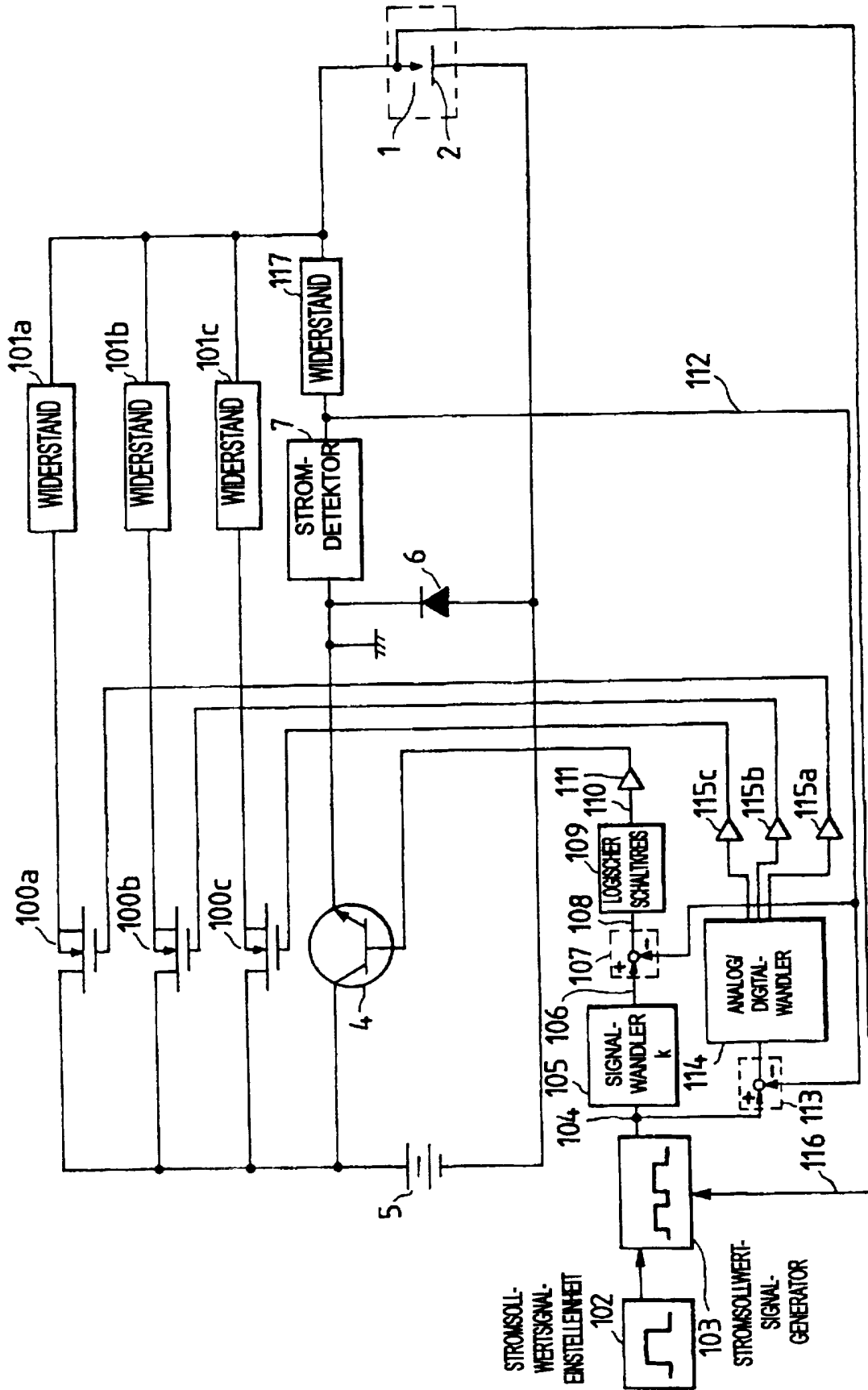


FIG. 2(a)

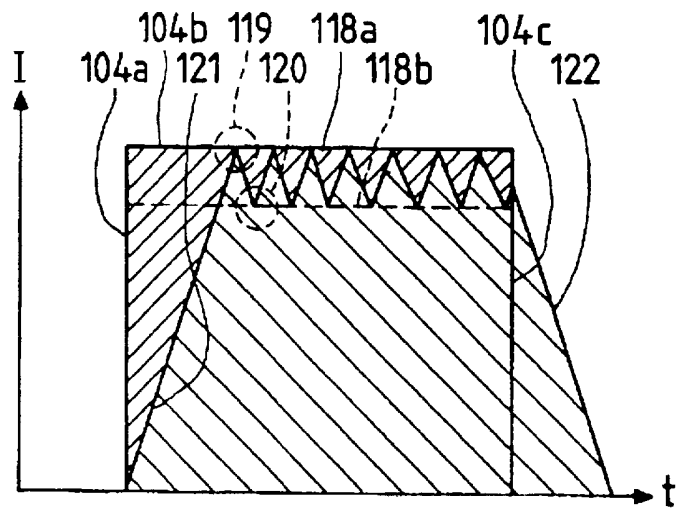


FIG. 2(b)

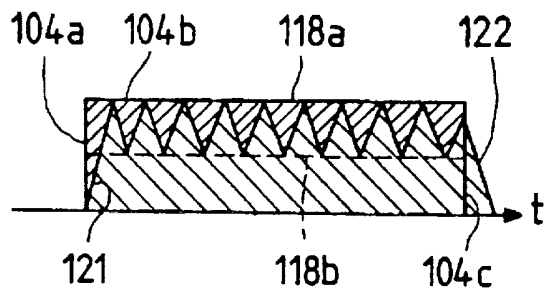


FIG. 2(c)

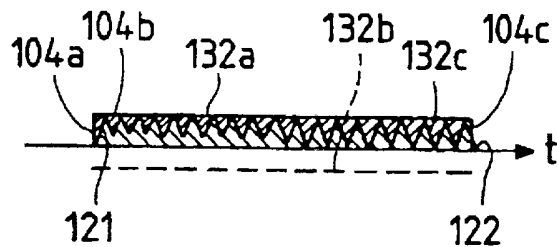


FIG. 2(d)

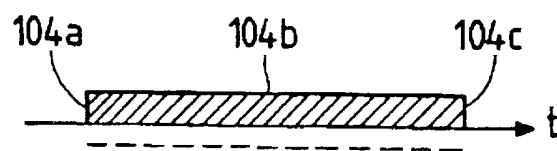
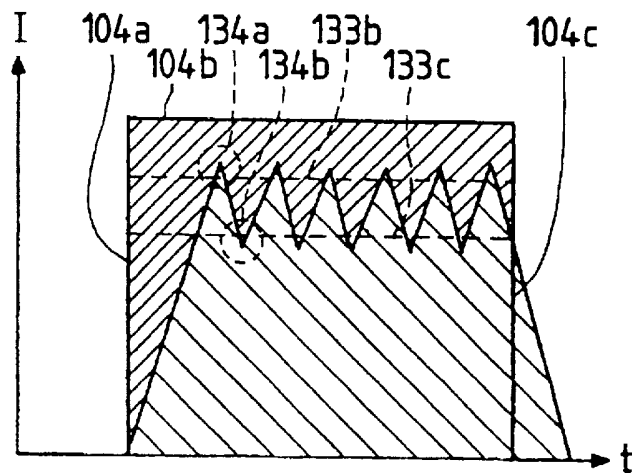


FIG. 3



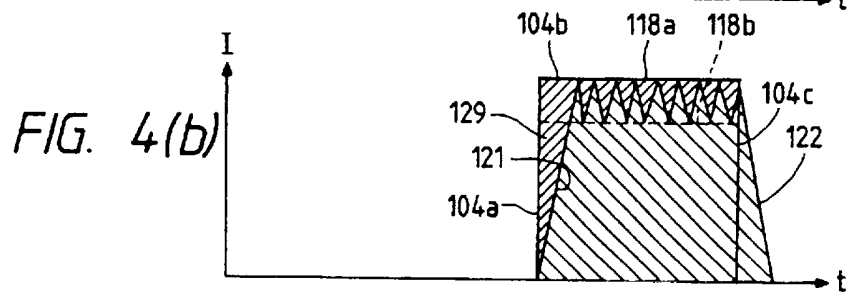
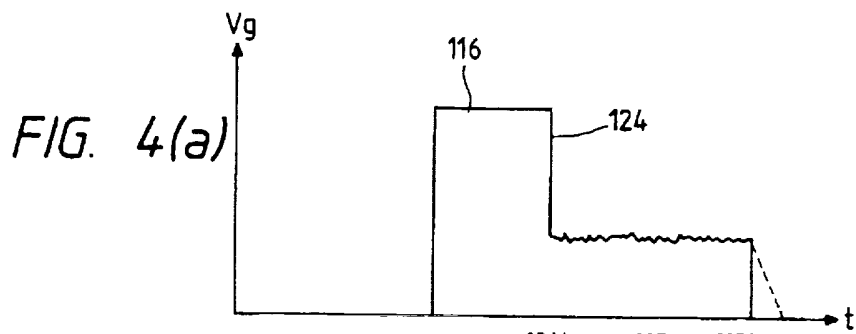
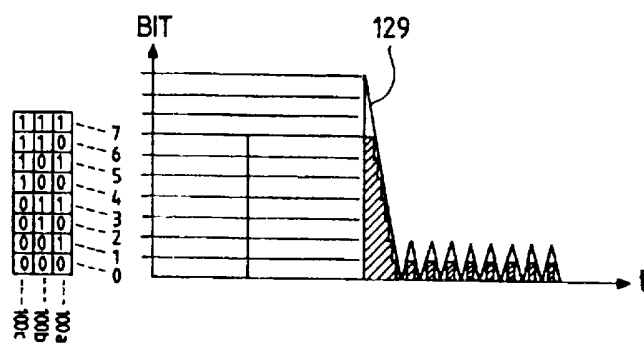


FIG. 4(e) FIG. 4(d)



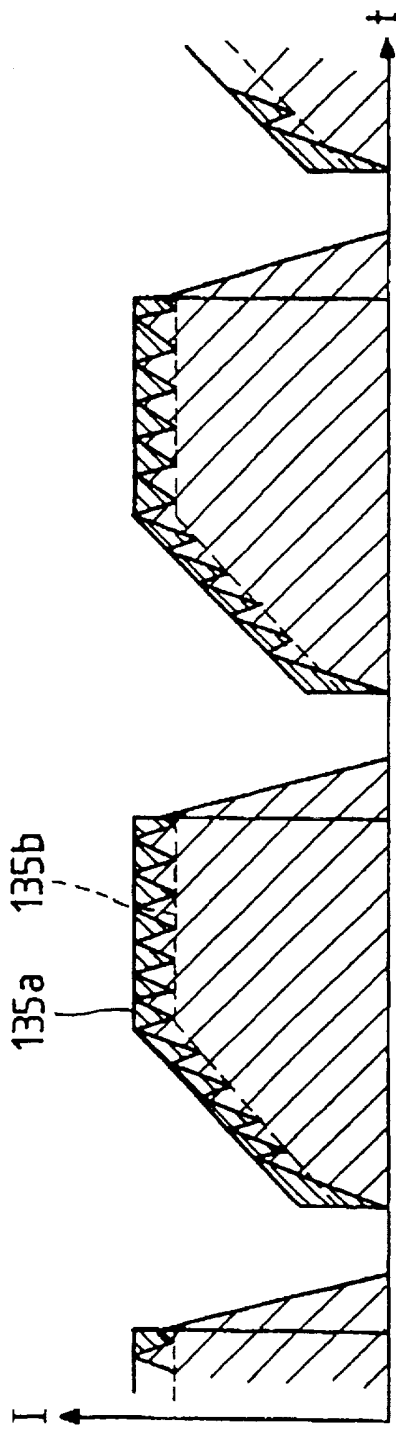


FIG. 5

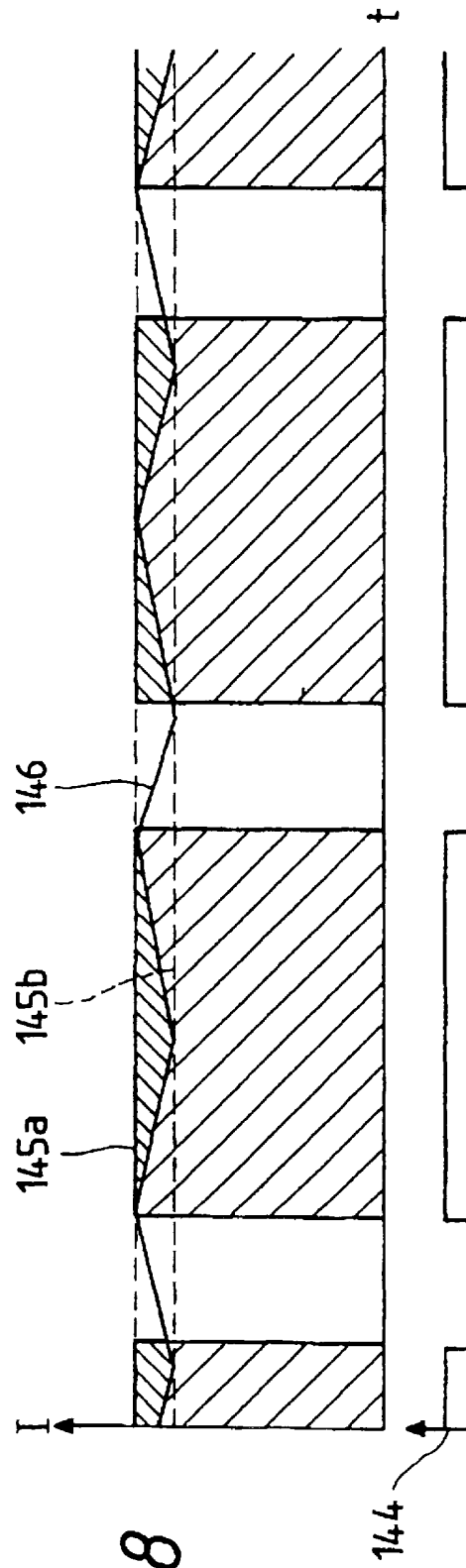


FIG. 8

FIG. 6

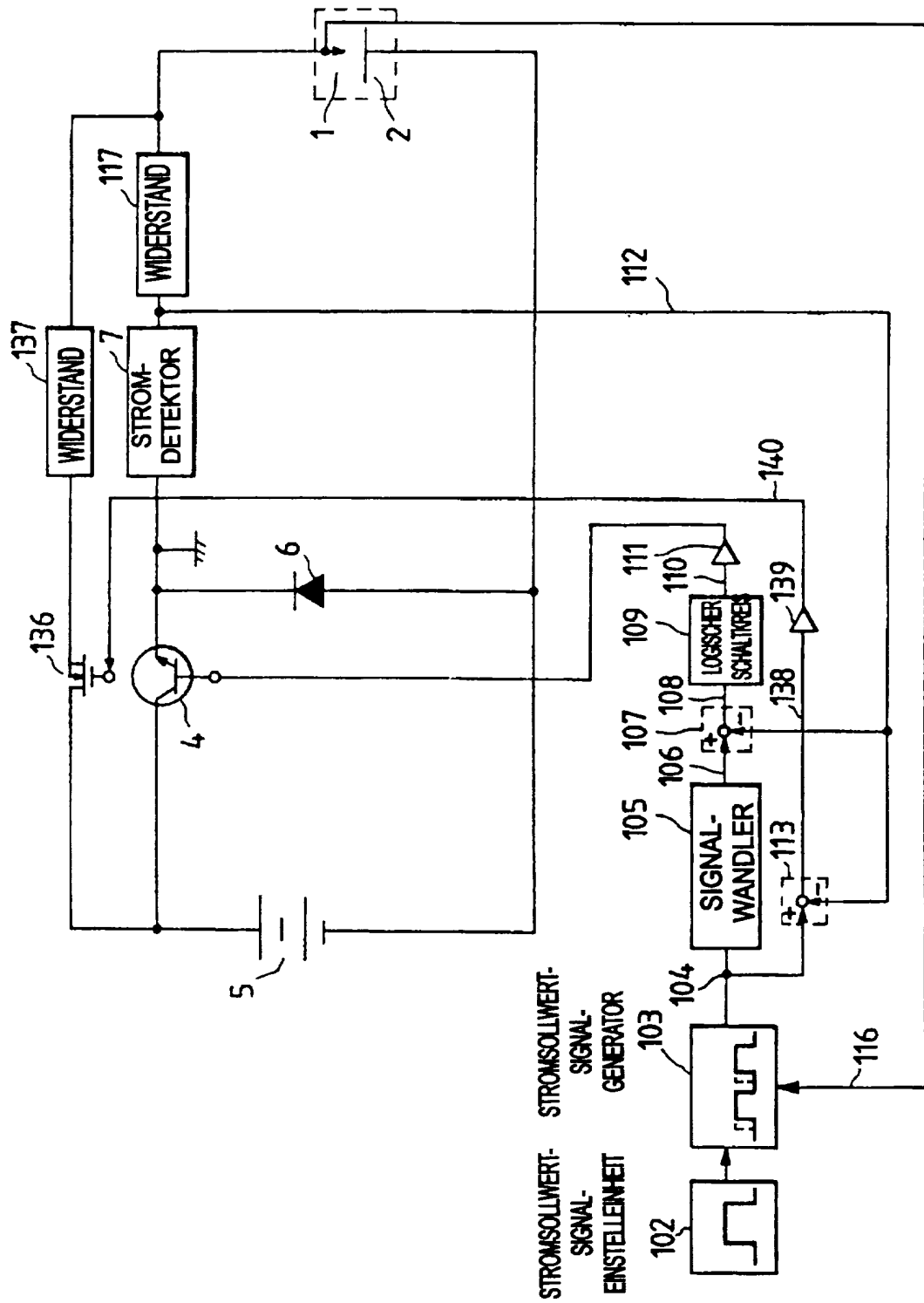
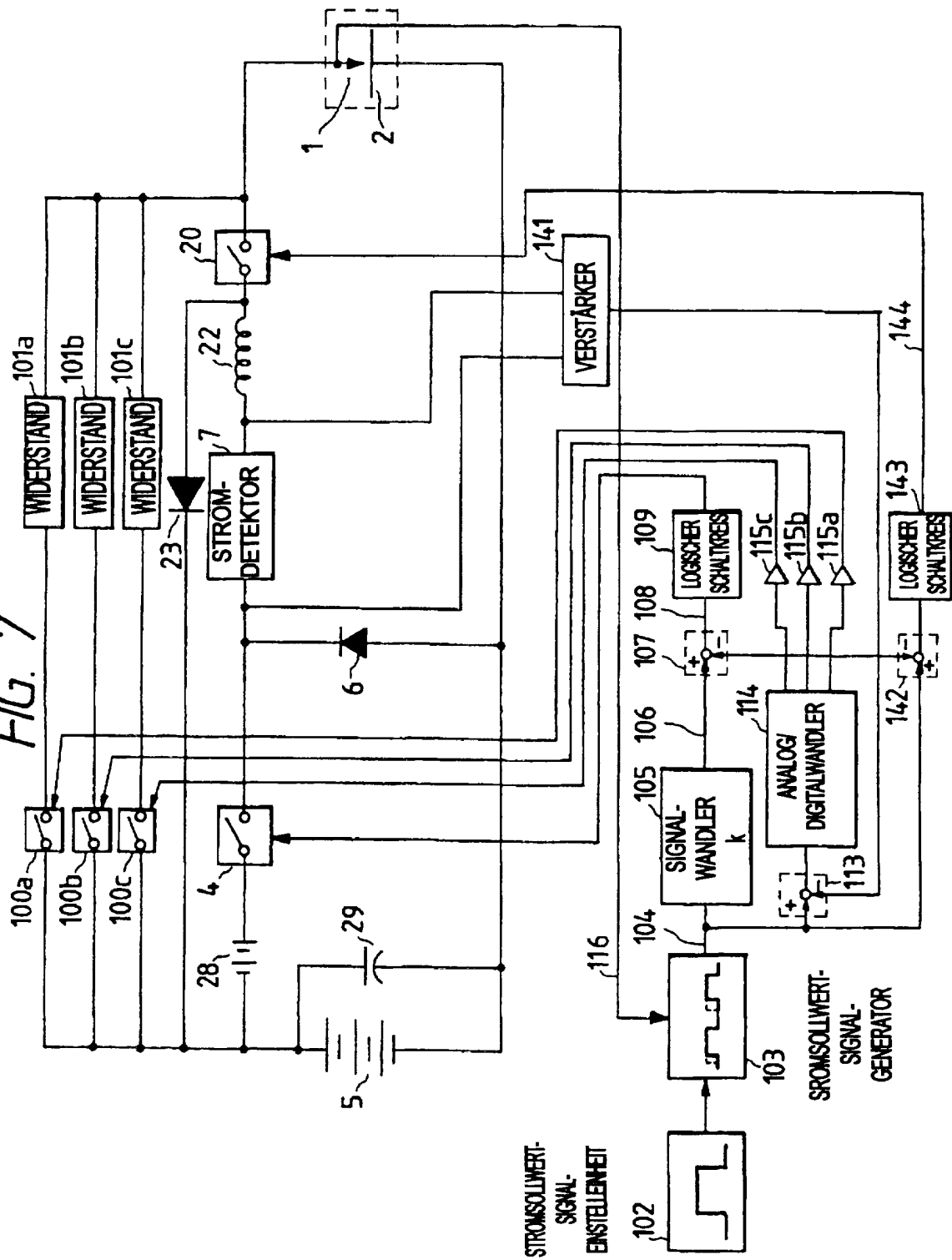


FIG. 7



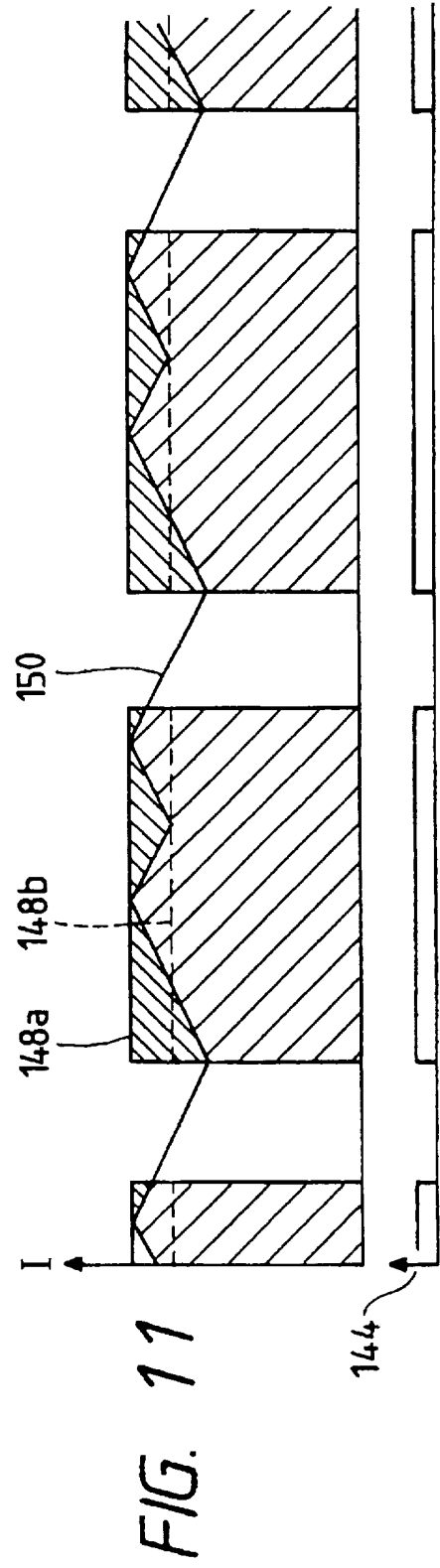
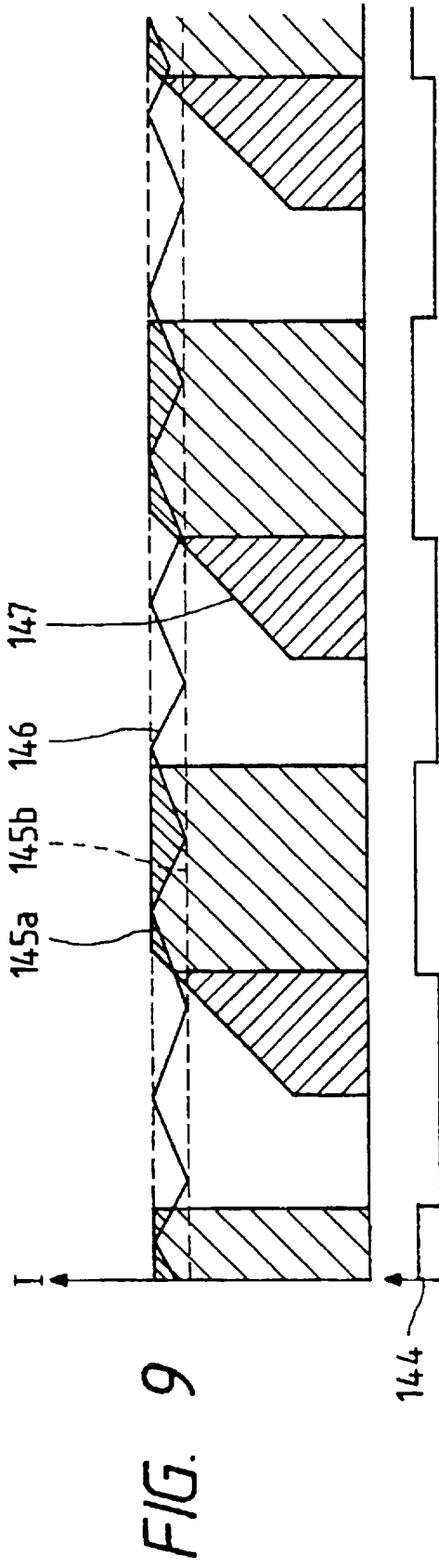
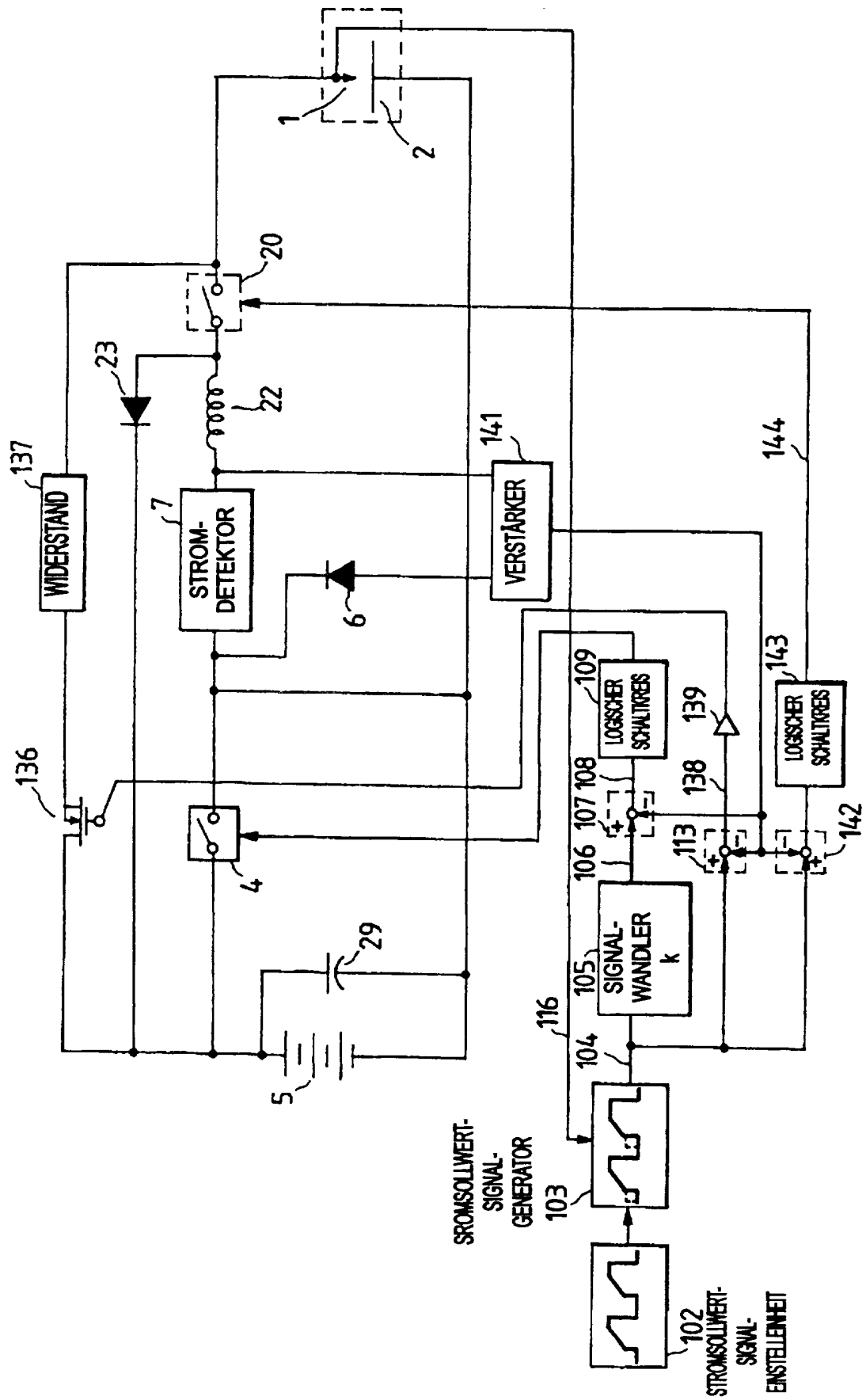


FIG. 10



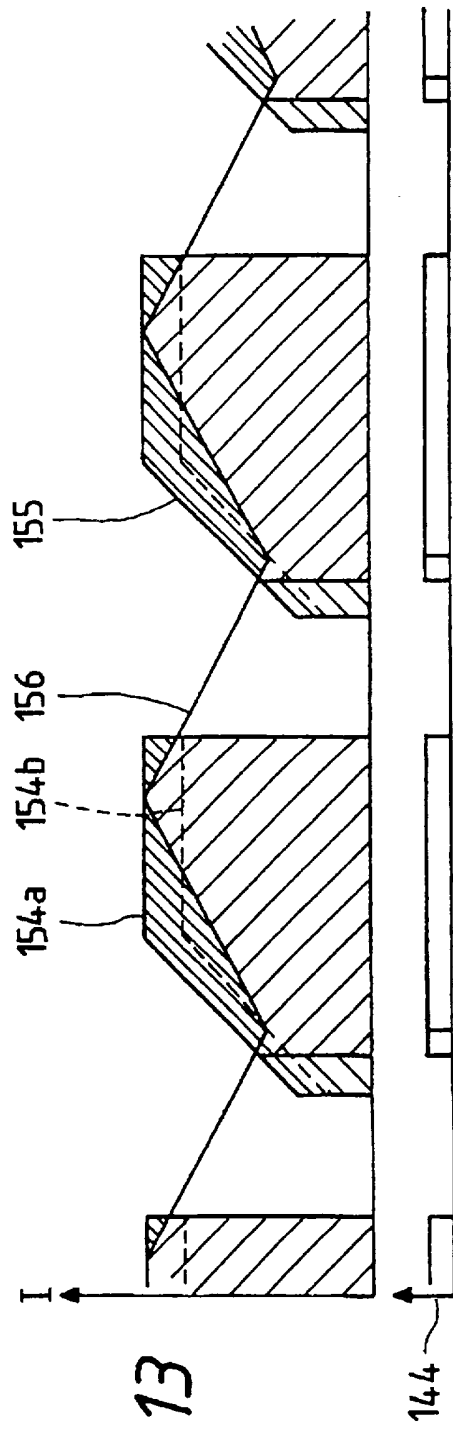
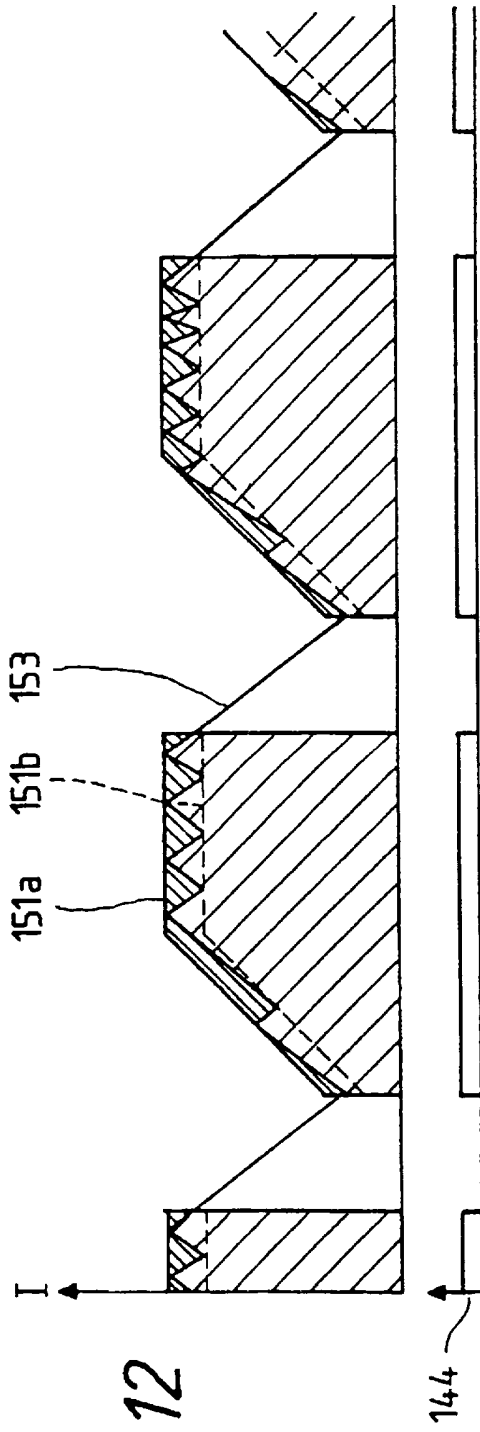


FIG. 14

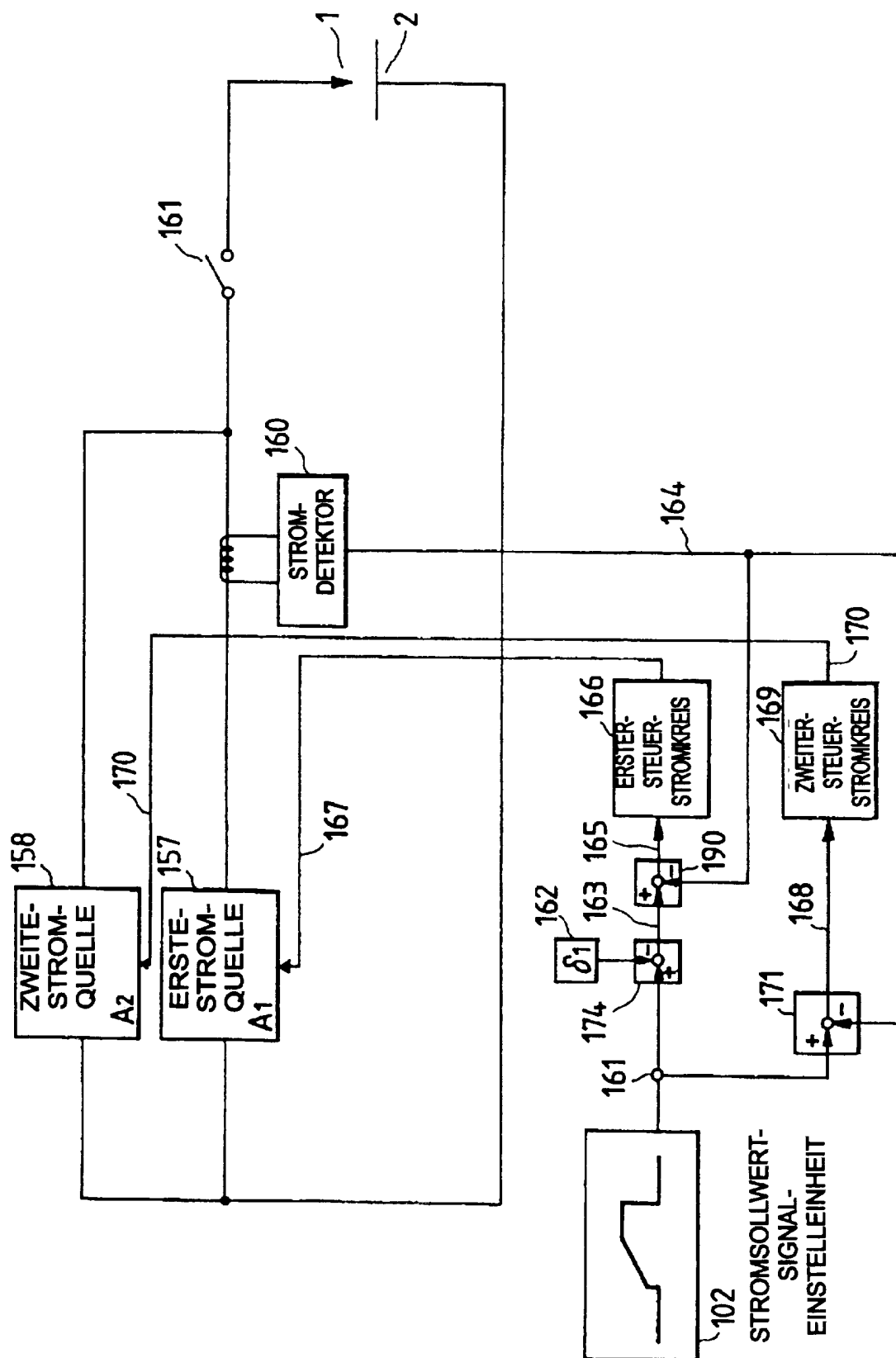


FIG. 15

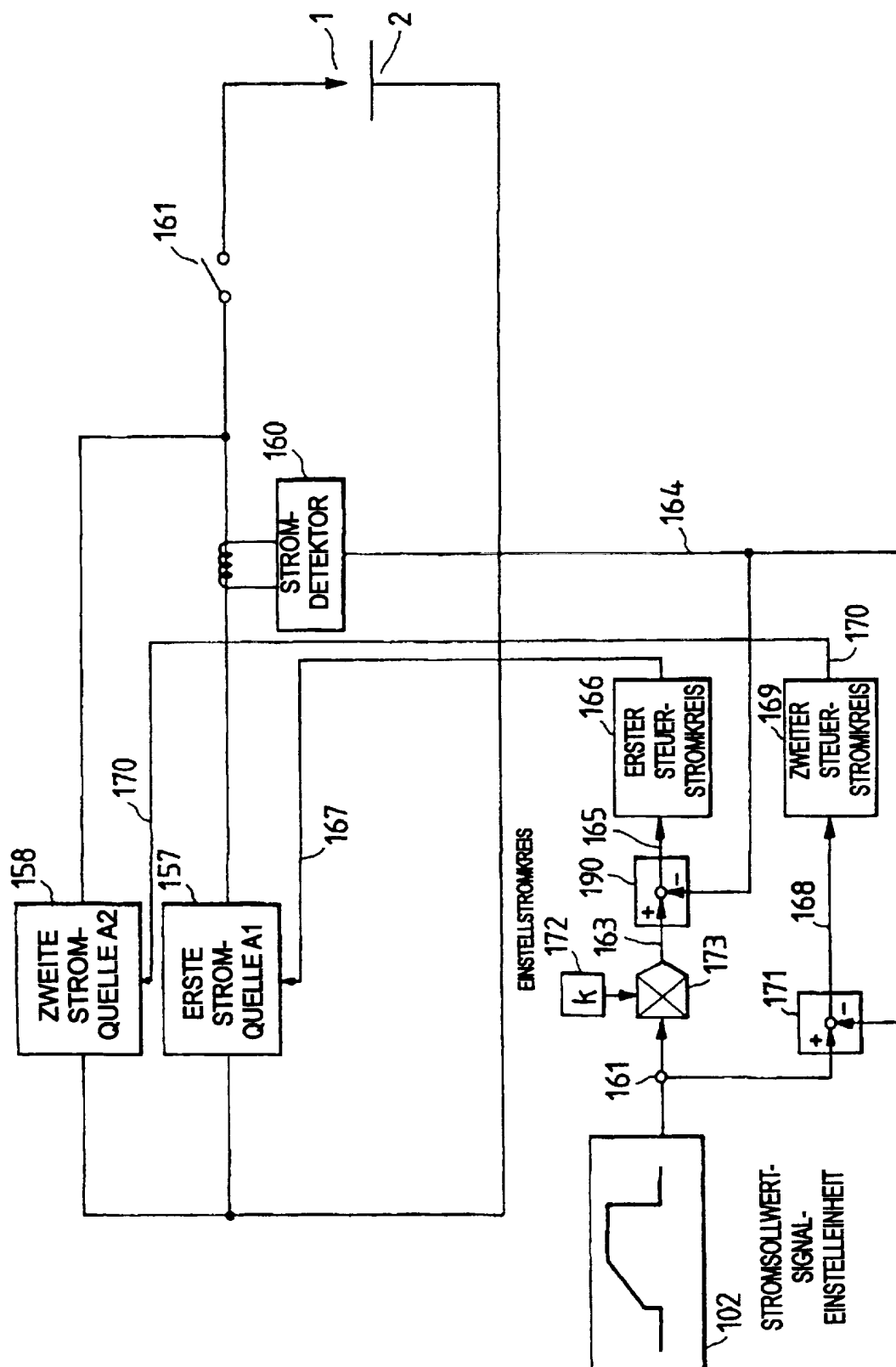


FIG. 16

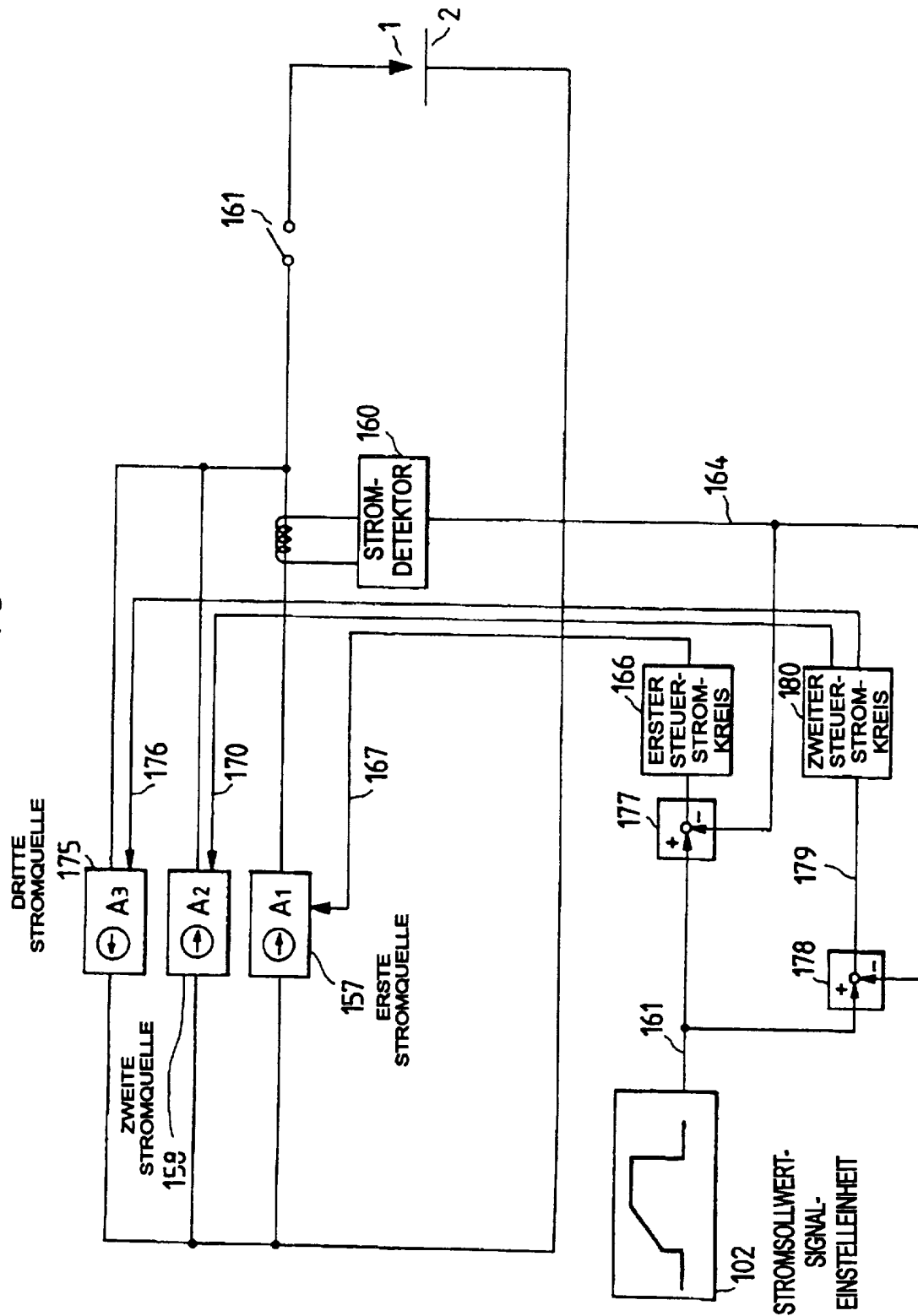


FIG. 17

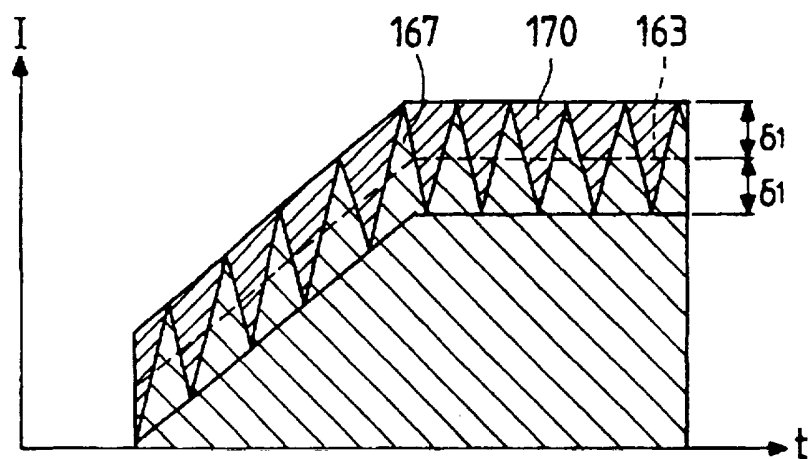


FIG. 18

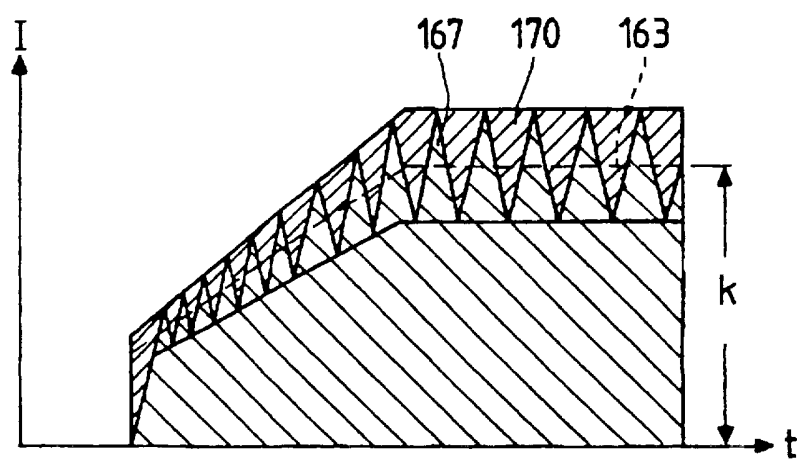


FIG. 19

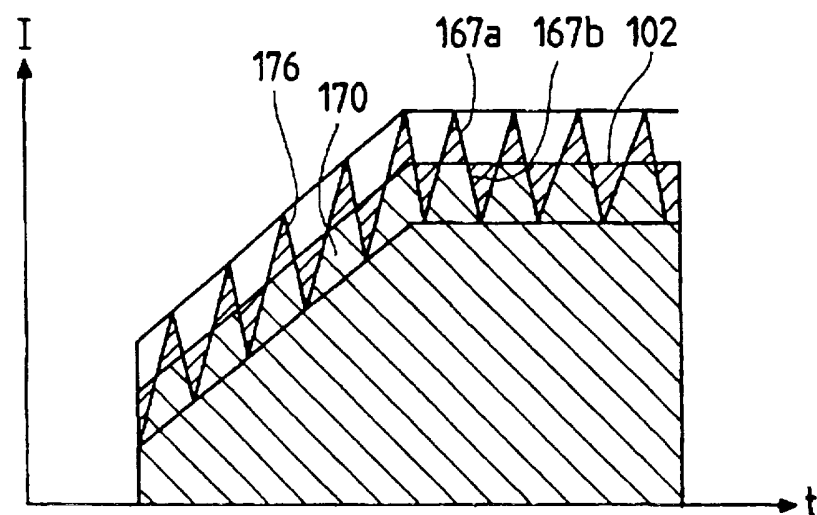


FIG. 20

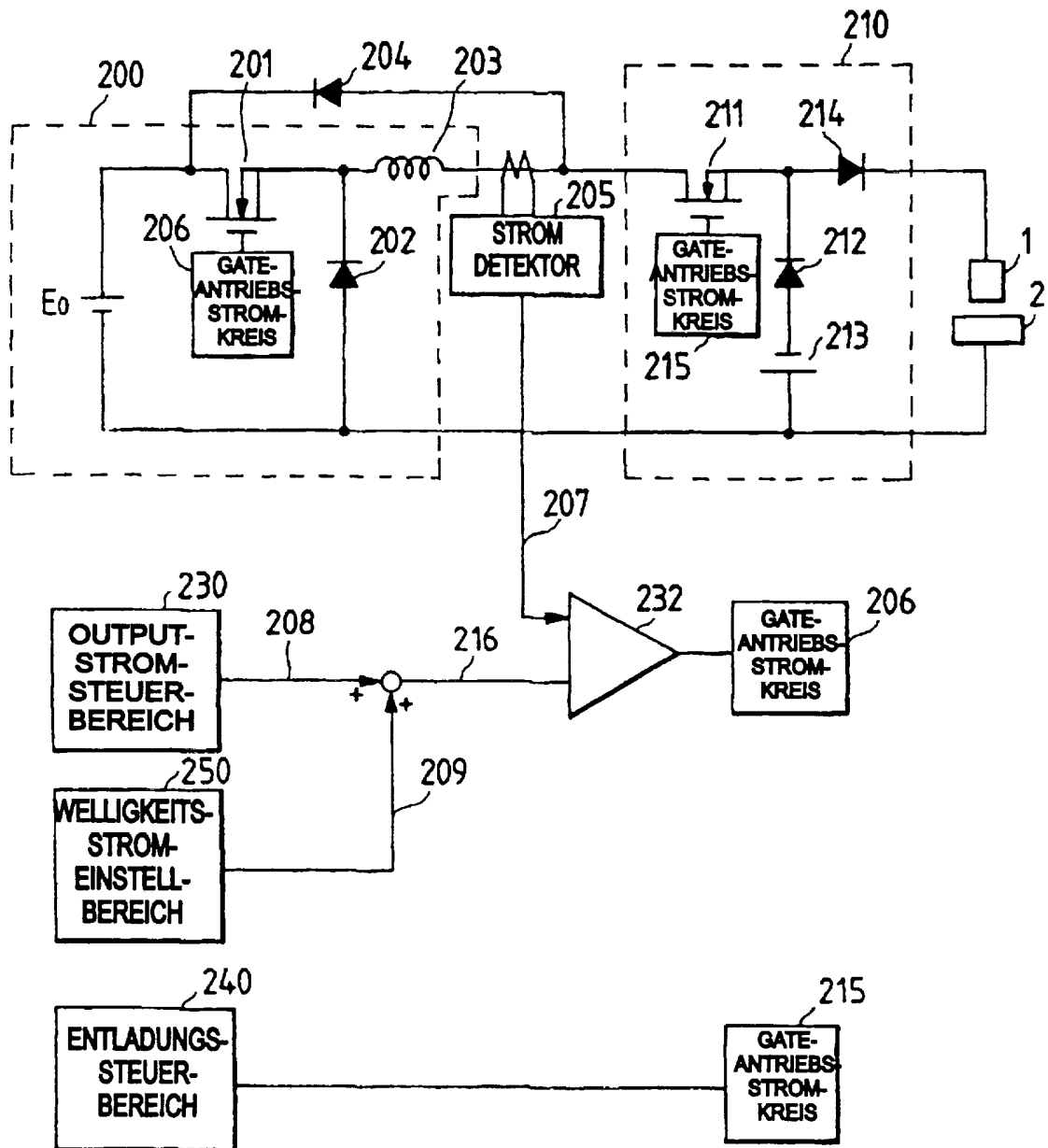




FIG. 21(a)



FIG. 21(b)

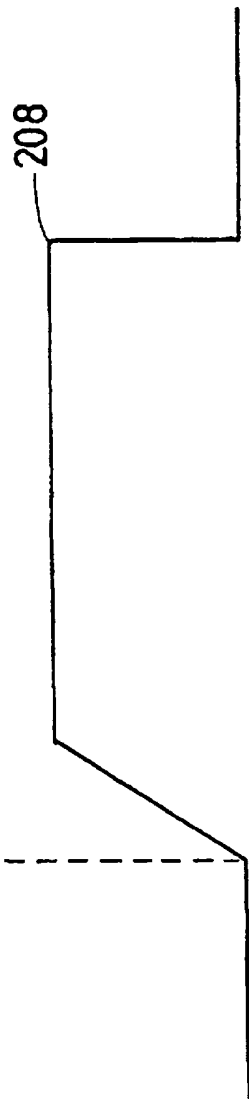


FIG. 21(c)

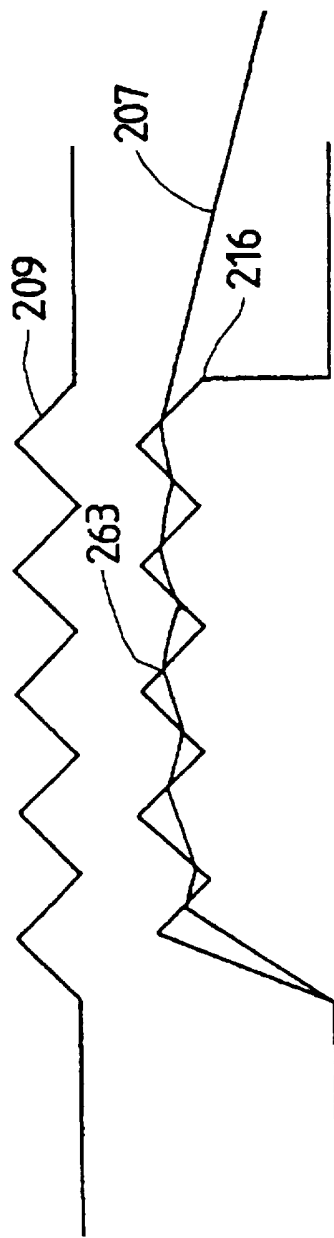


FIG. 21(d)



FIG. 21(e)

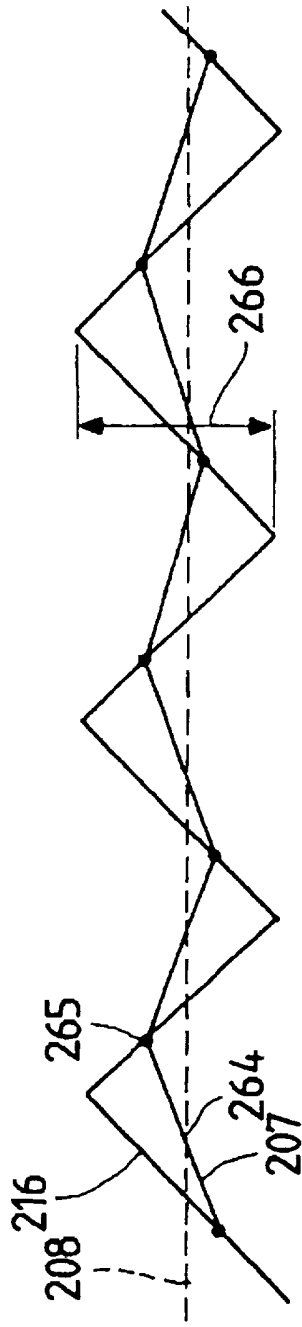


FIG. 22(a)

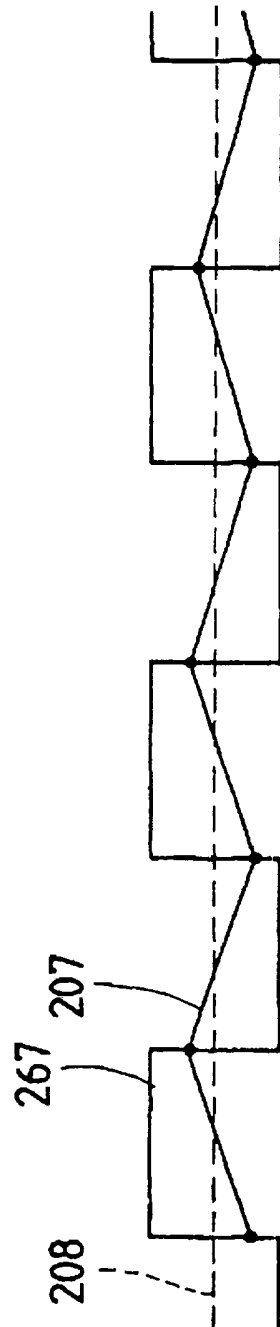


FIG. 22(b)



FIG. 22(c)

FIG. 23

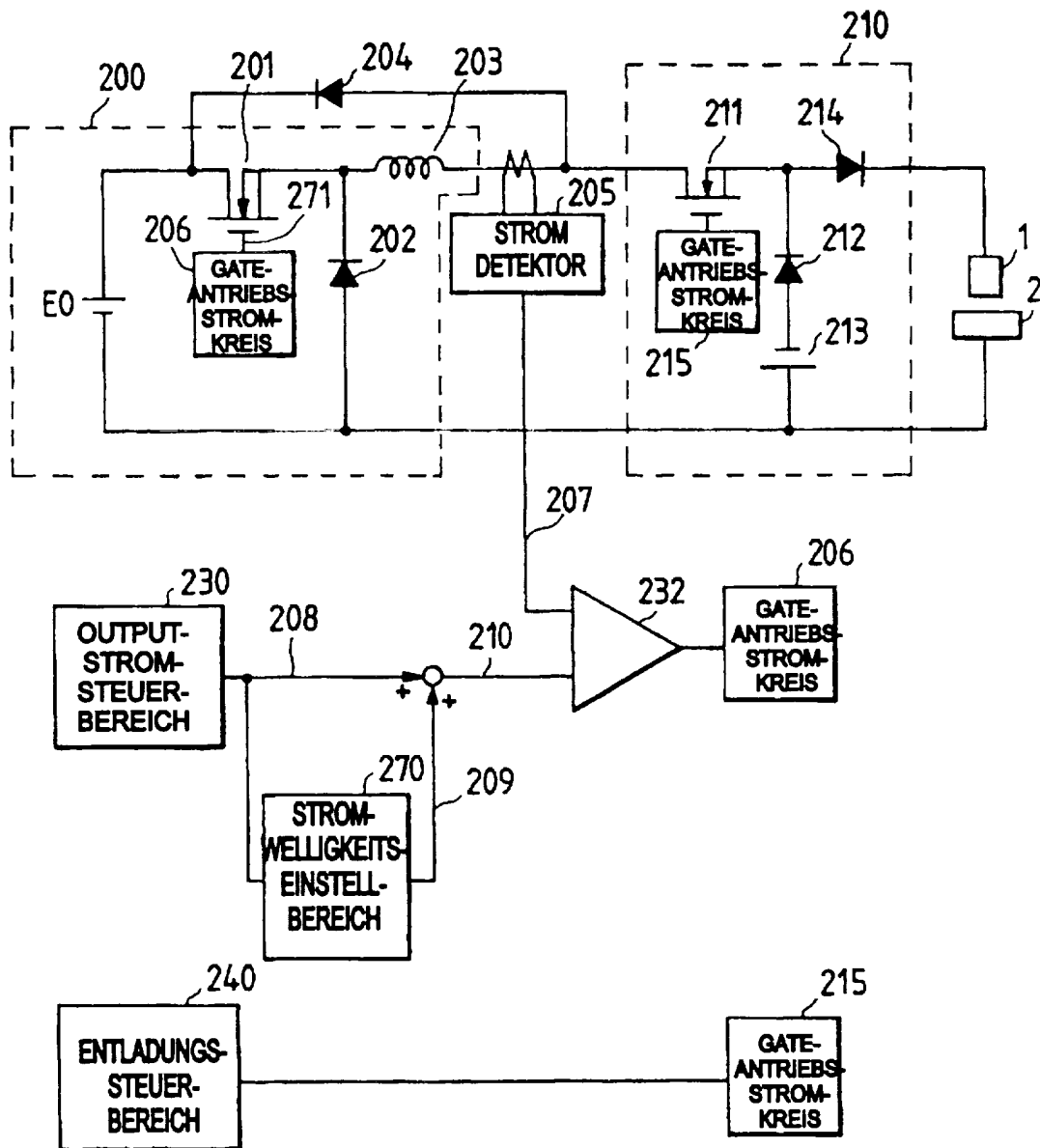
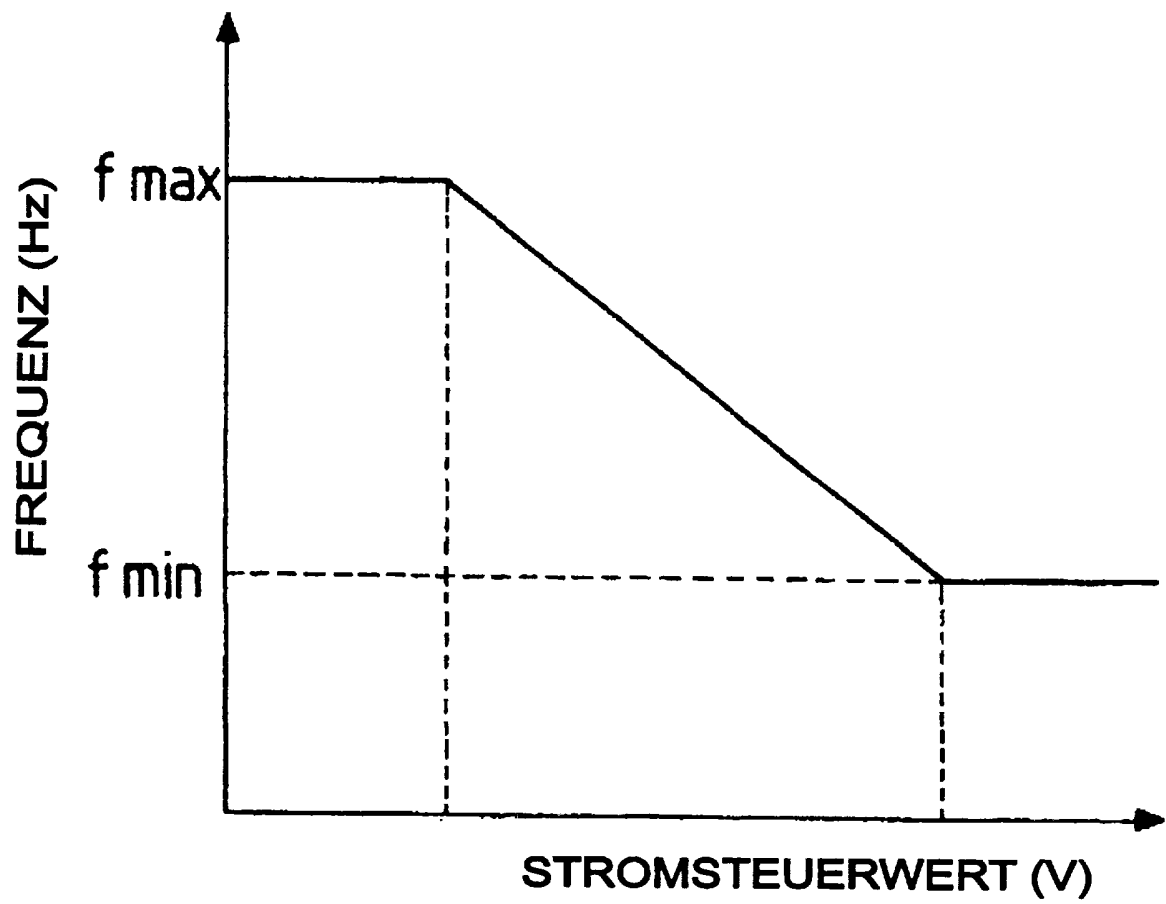


FIG. 24



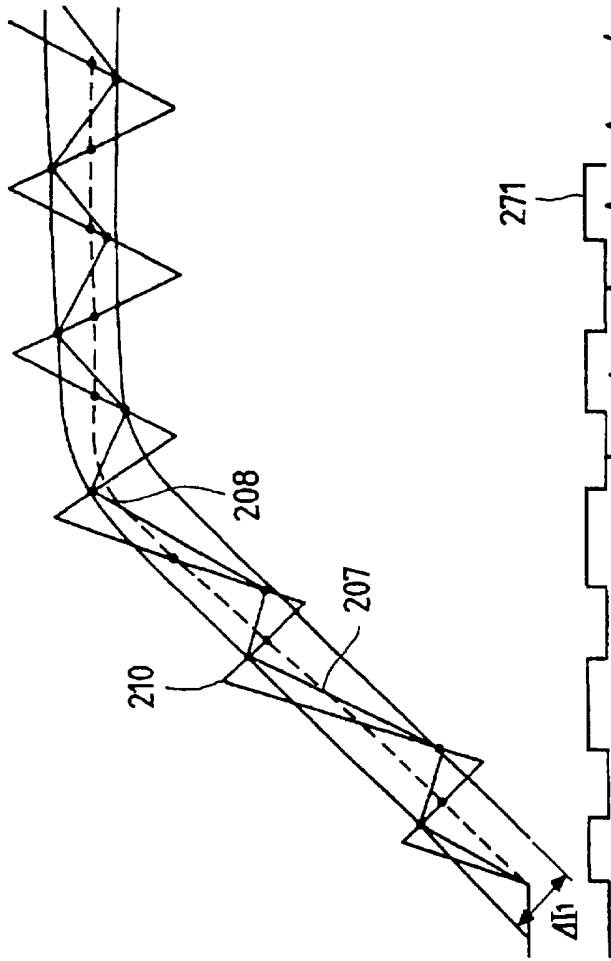


FIG. 25(a)

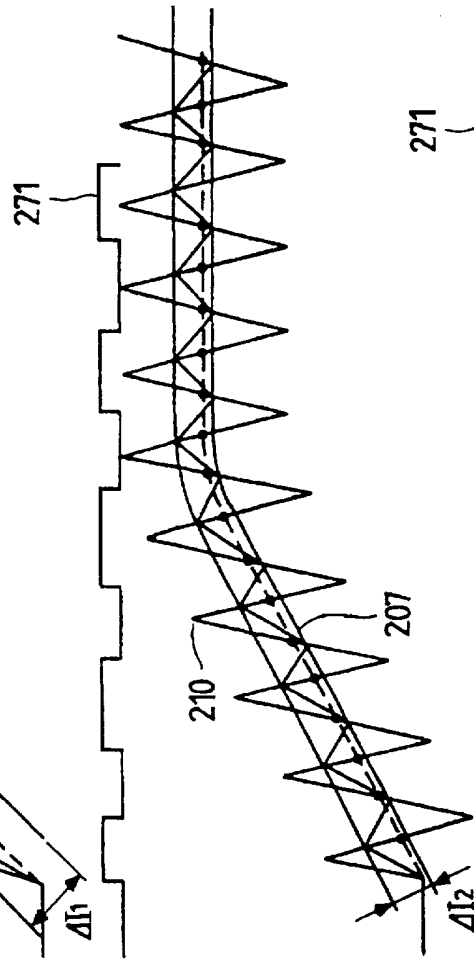


FIG. 25(b)

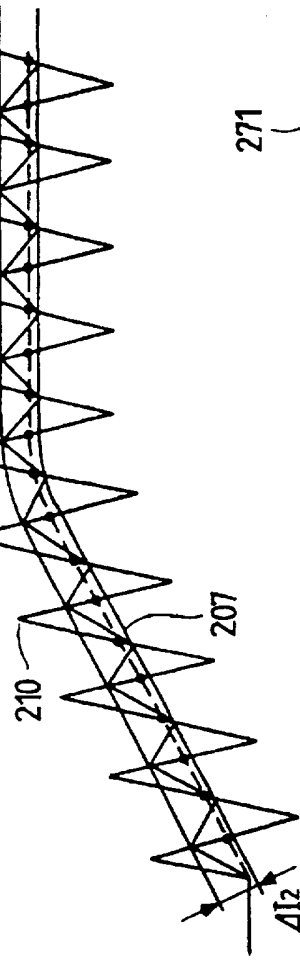
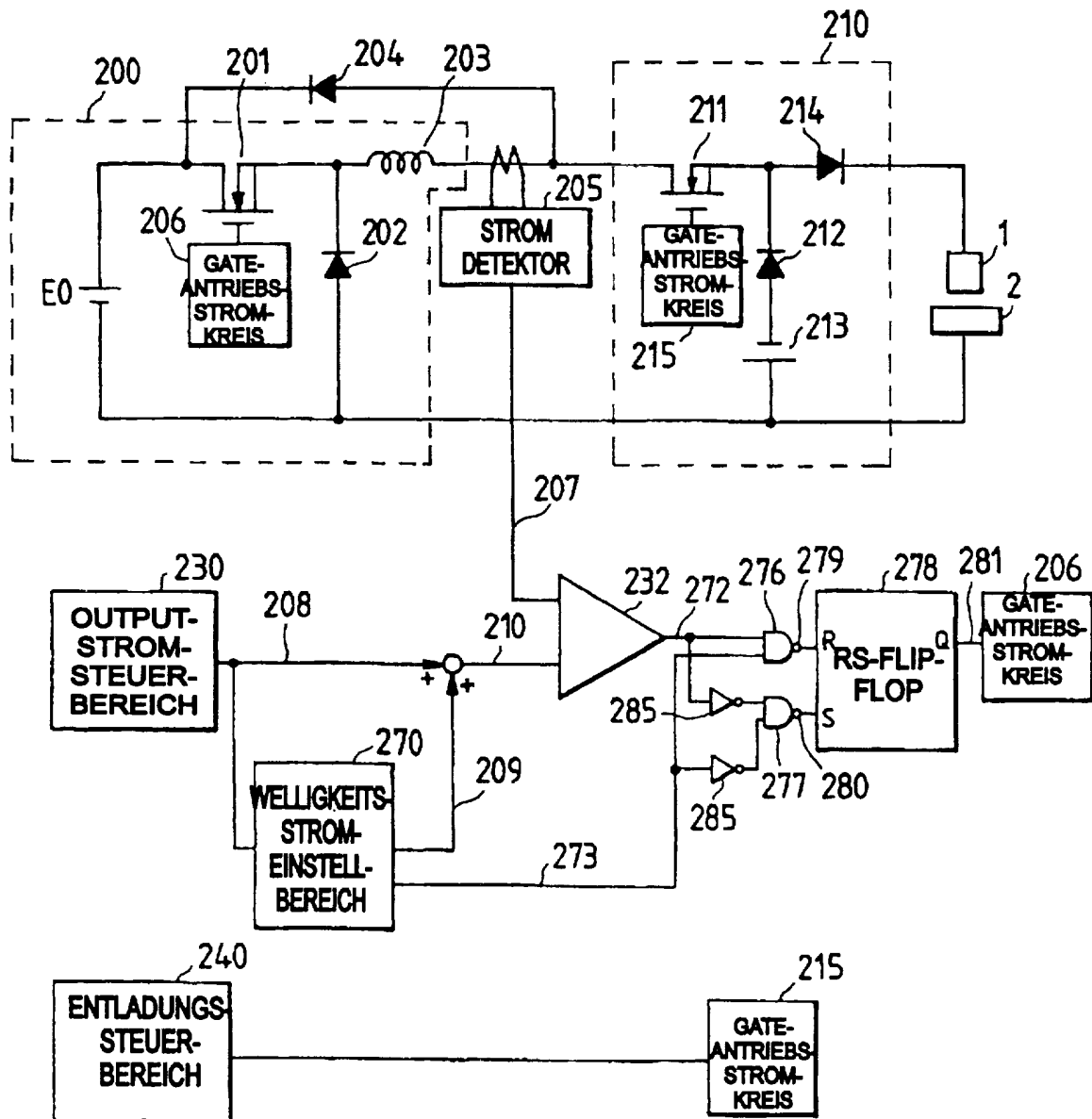


FIG. 25(c)



FIG. 25(d)

FIG. 26



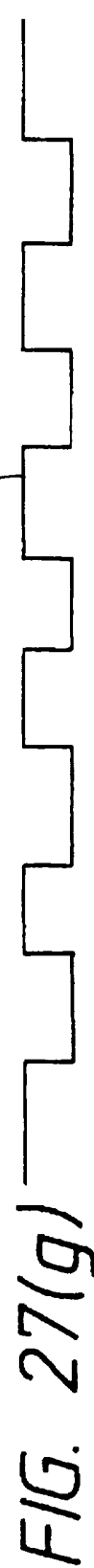
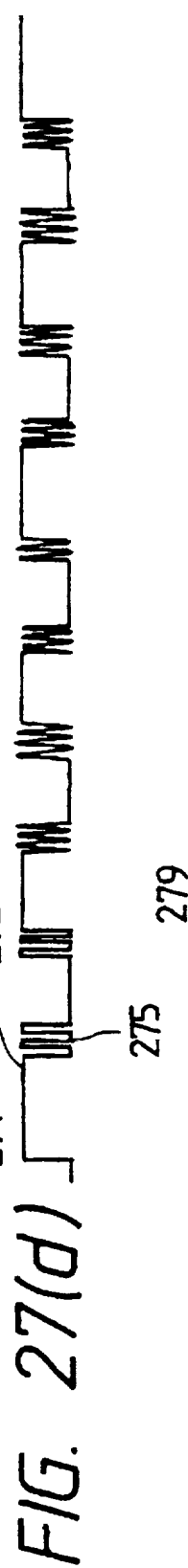
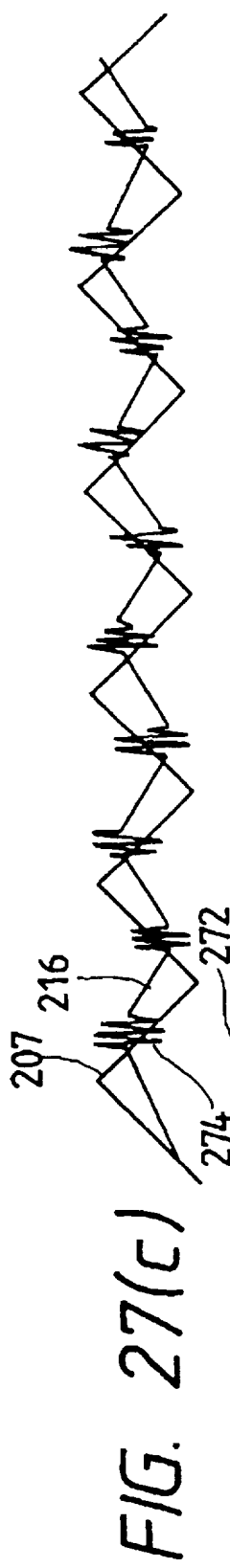
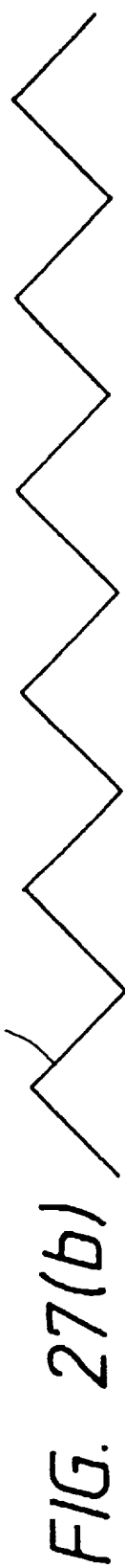
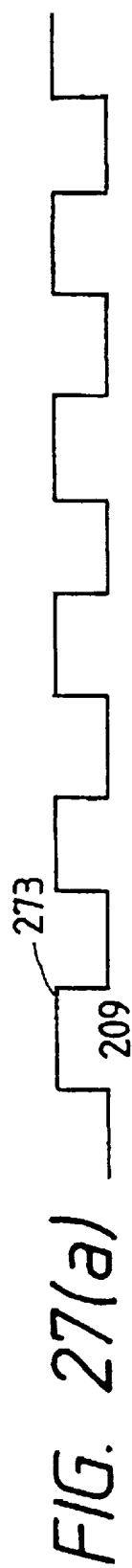


FIG. 28

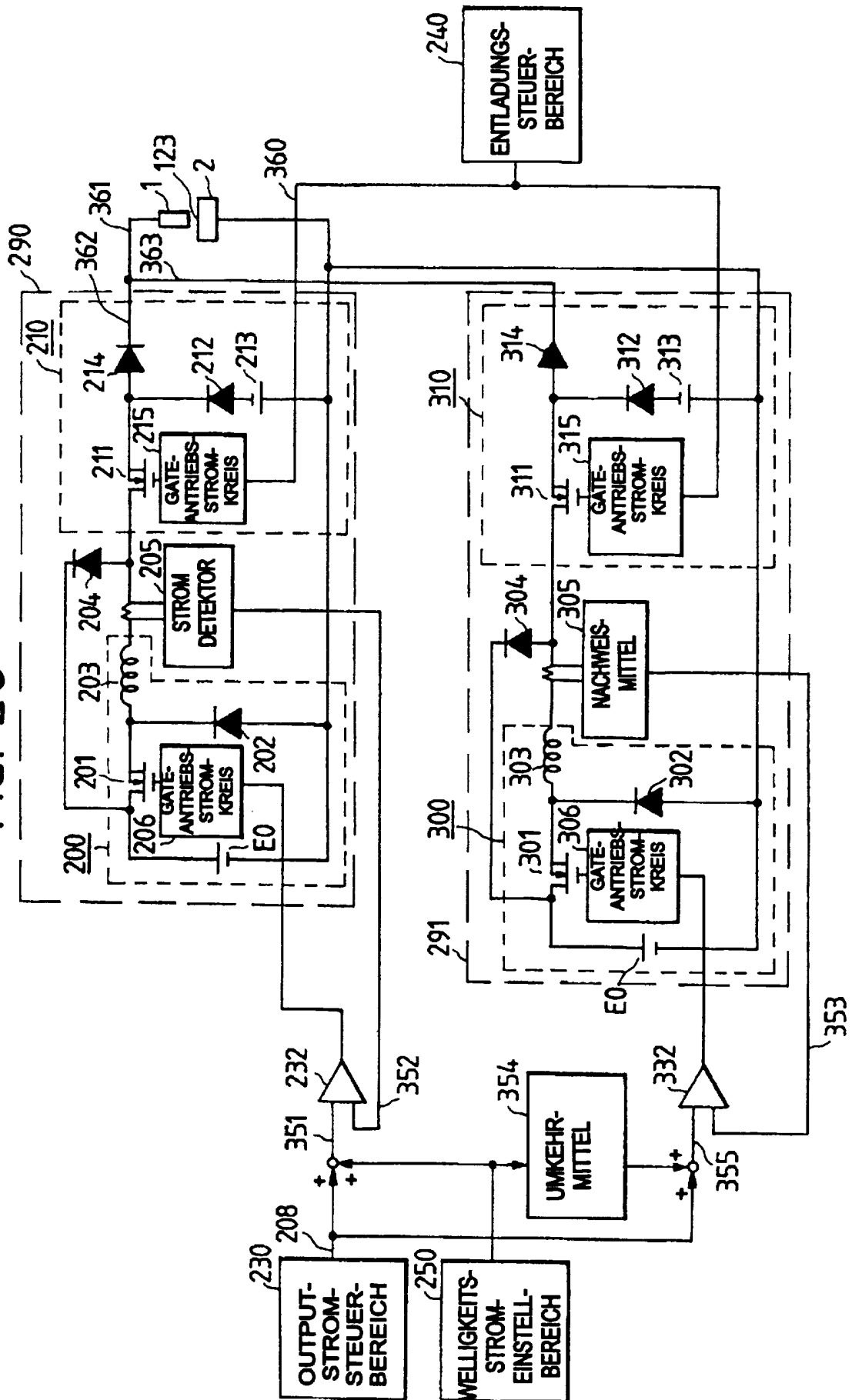


FIG. 29(a)



FIG. 29(b)

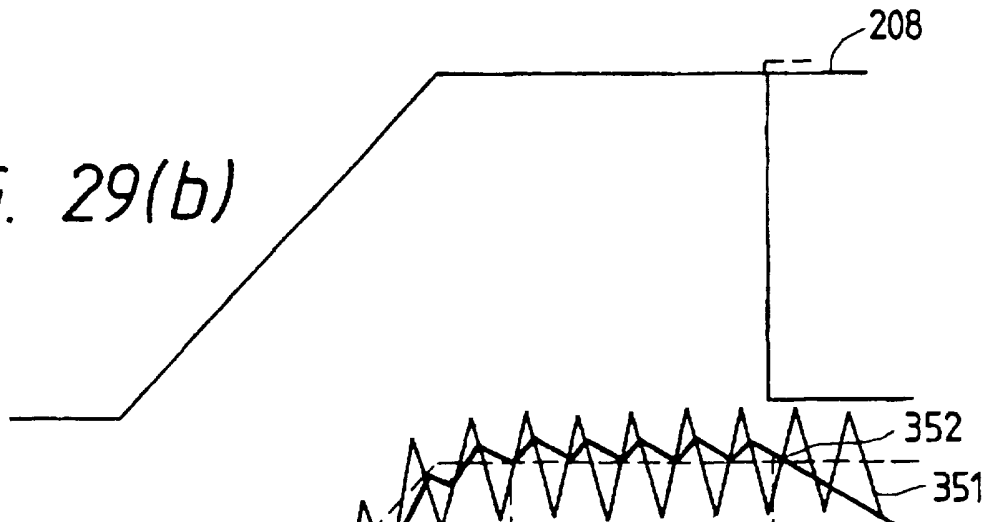


FIG. 29(c)

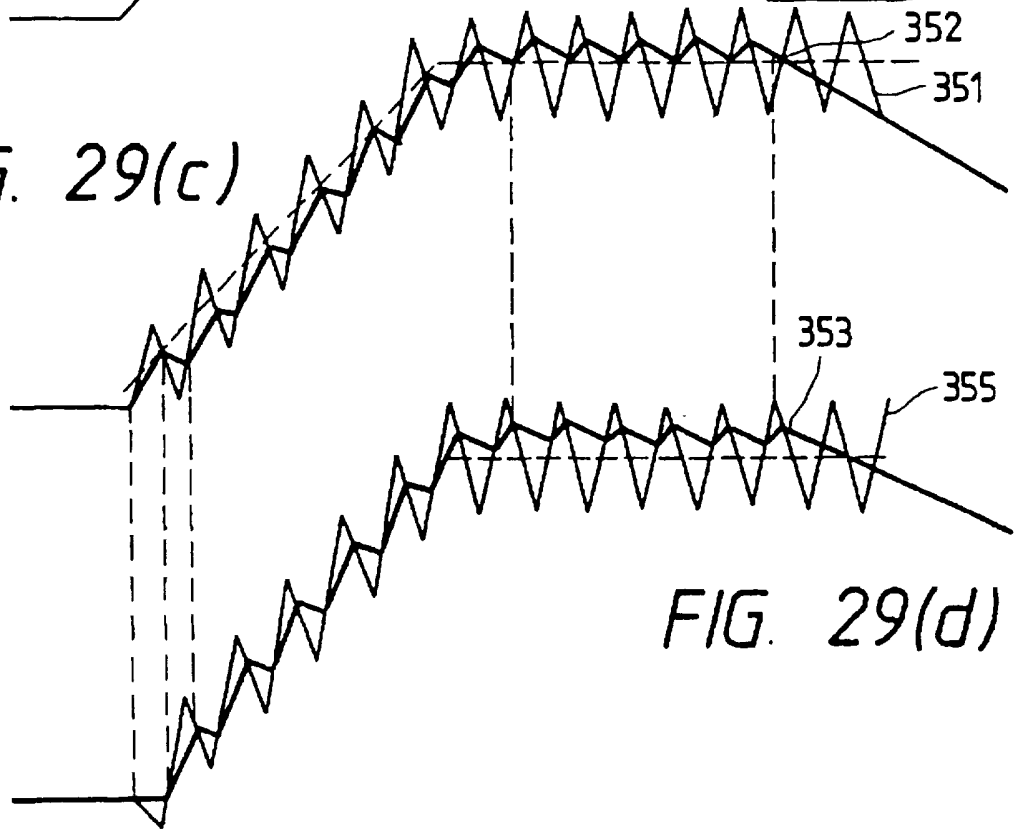


FIG. 29(d)

FIG. 30(a)

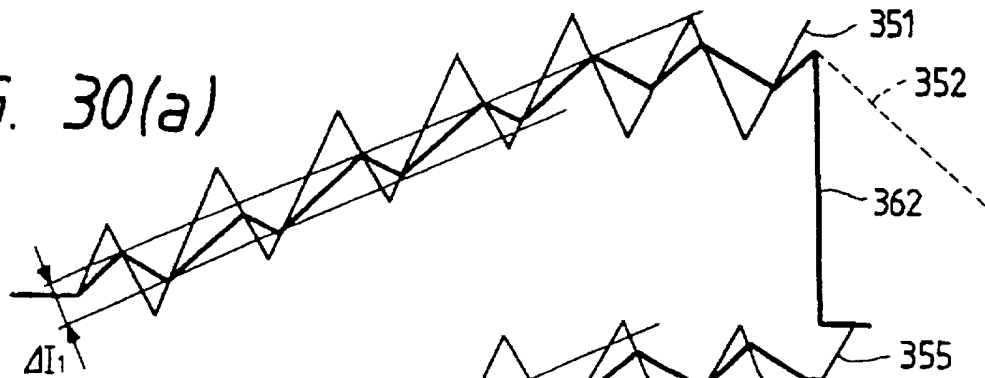


FIG. 30(b)

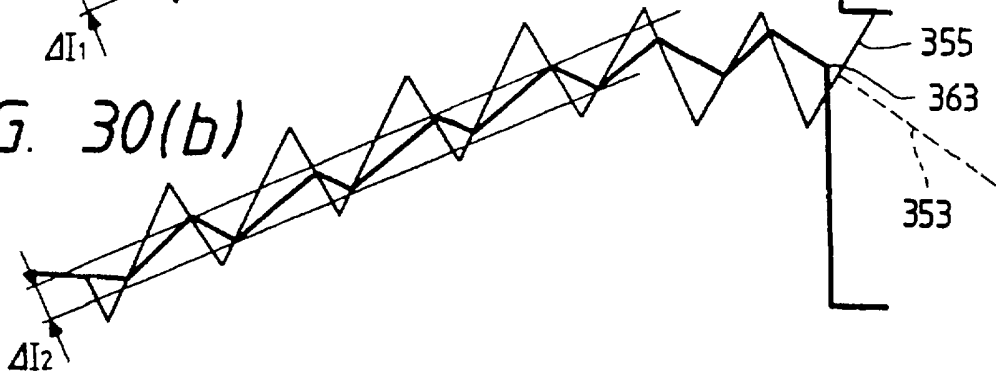


FIG. 30(c)

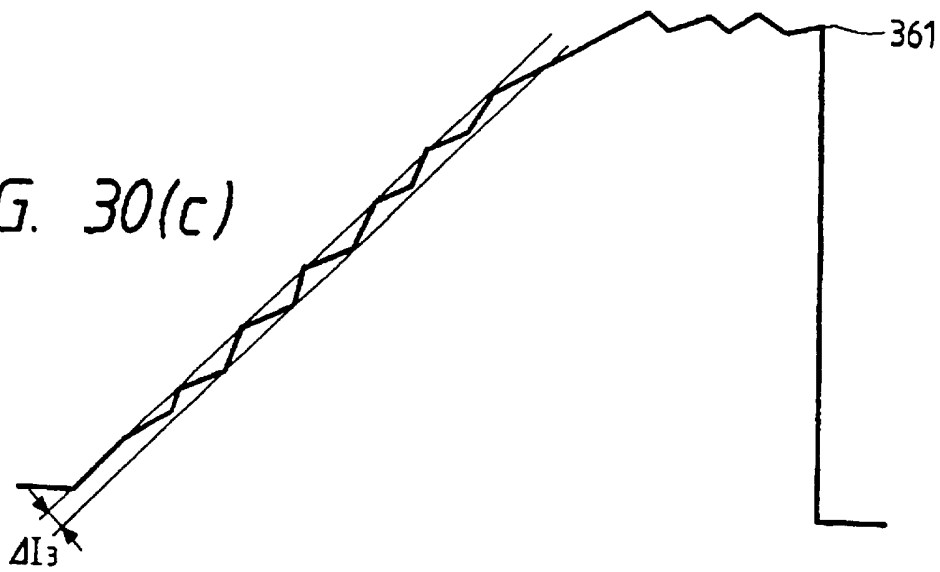
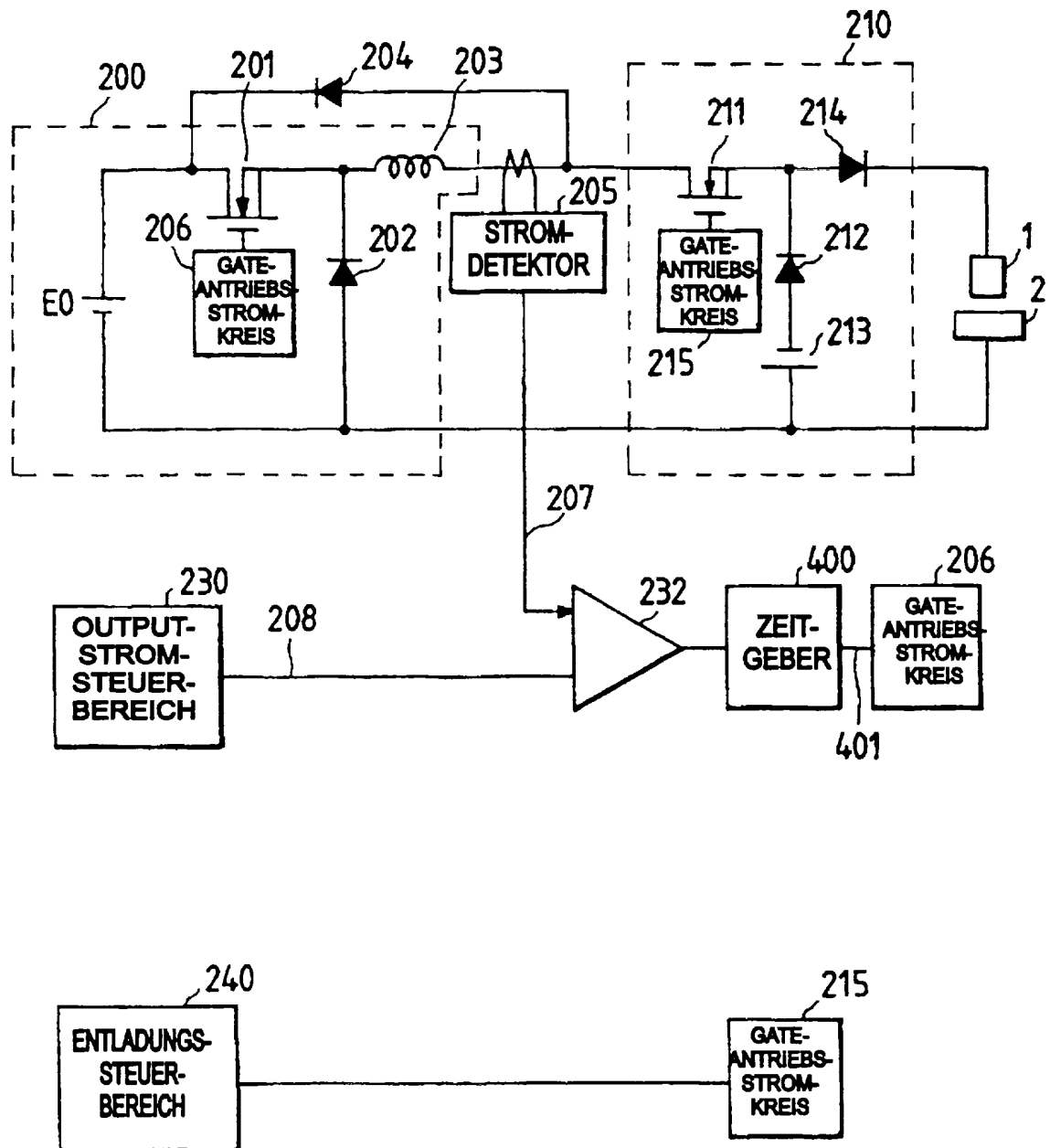


FIG. 31



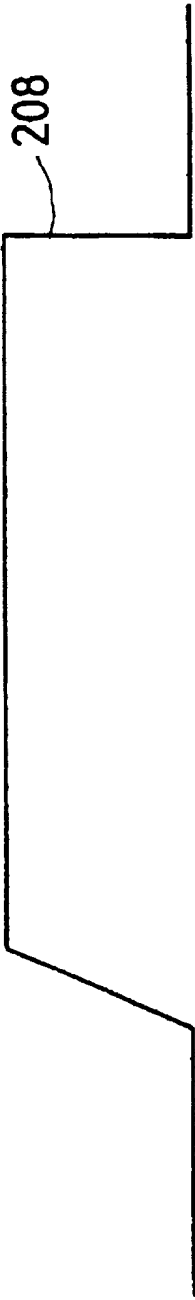


FIG. 32(a)

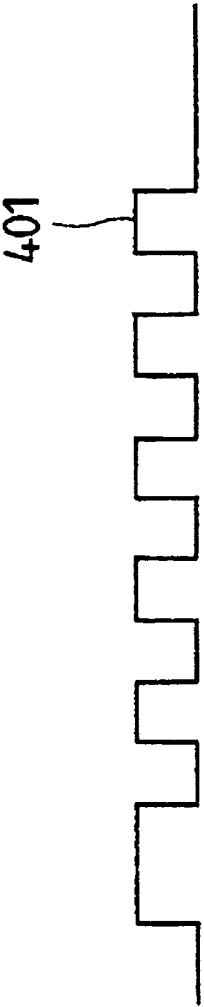


FIG. 32(b)

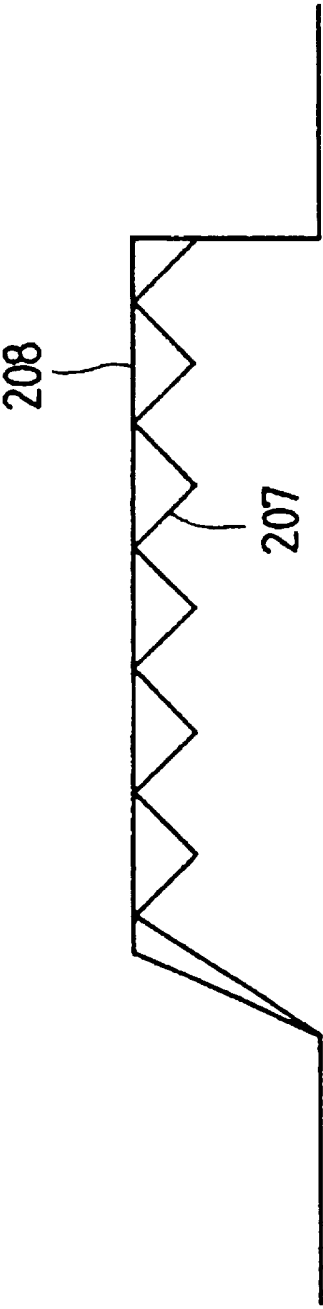


FIG. 32(c)

FIG. 33

BD1-BD3:
GATE-ANTRIEBSSTROMKREIS

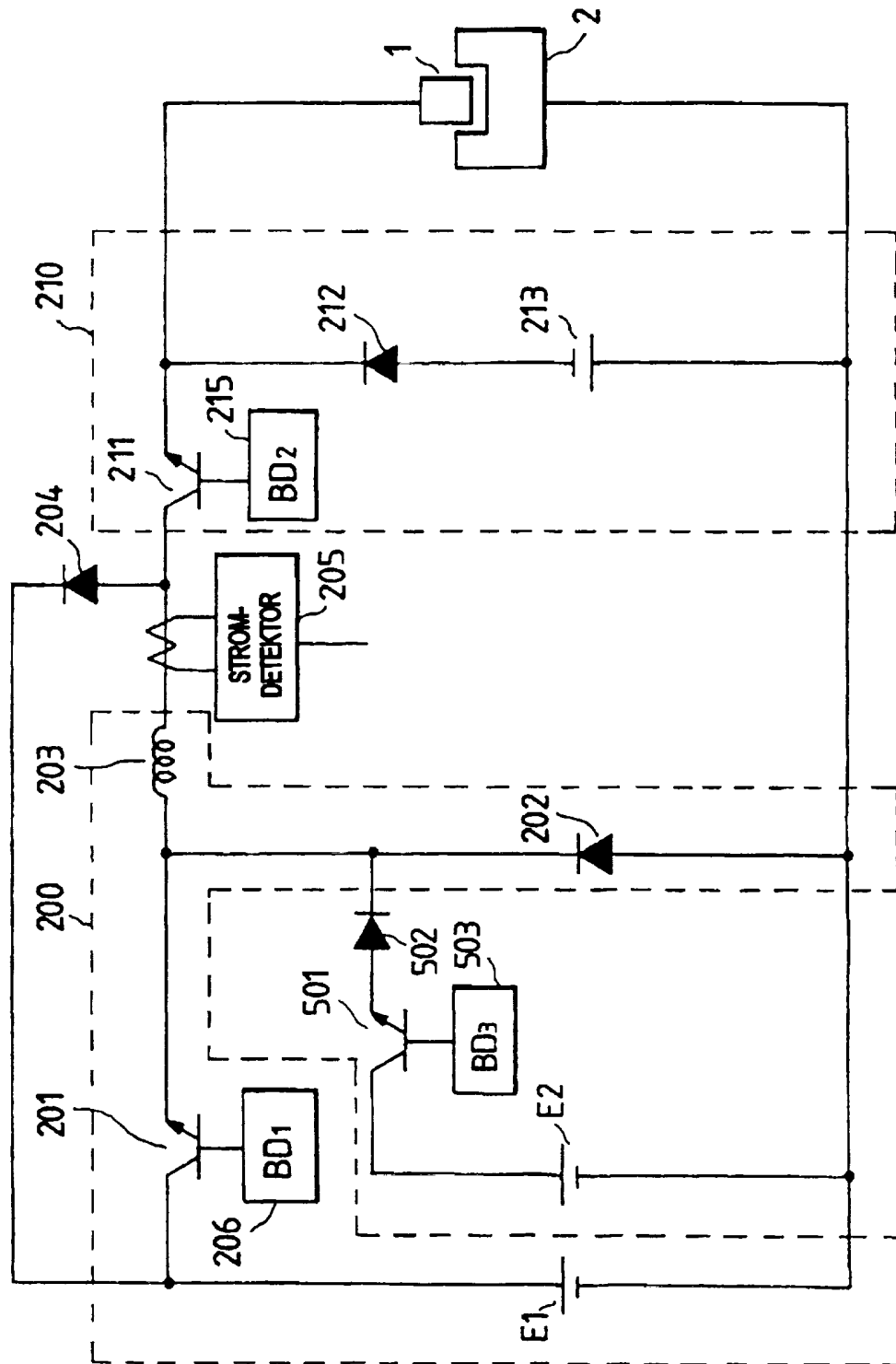


FIG. 34

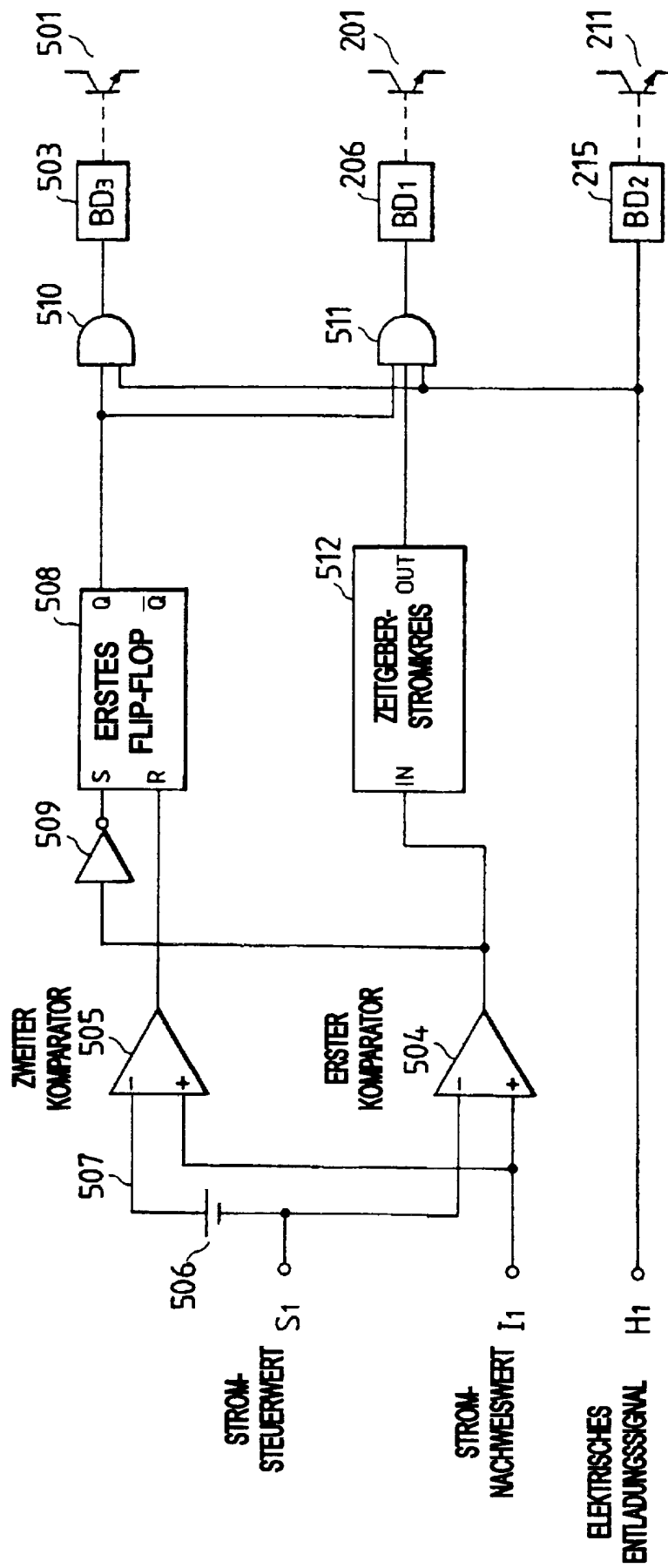


FIG. 35

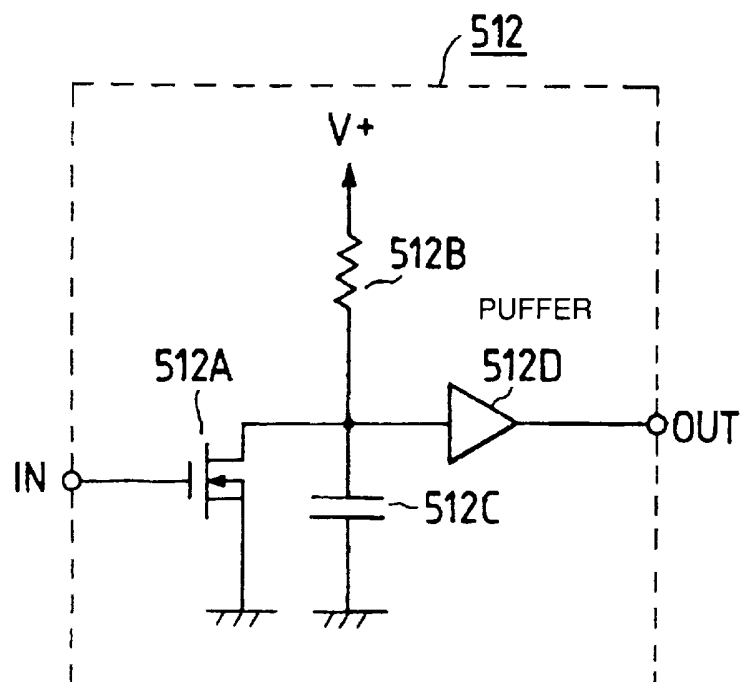


FIG. 36

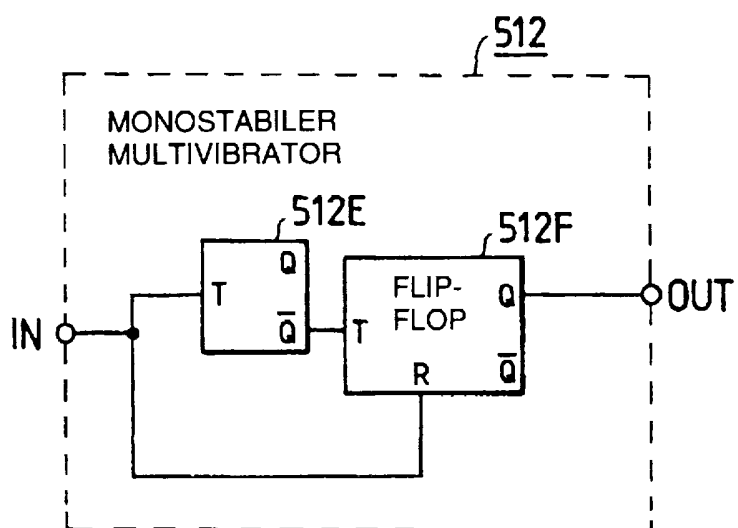


FIG. 37

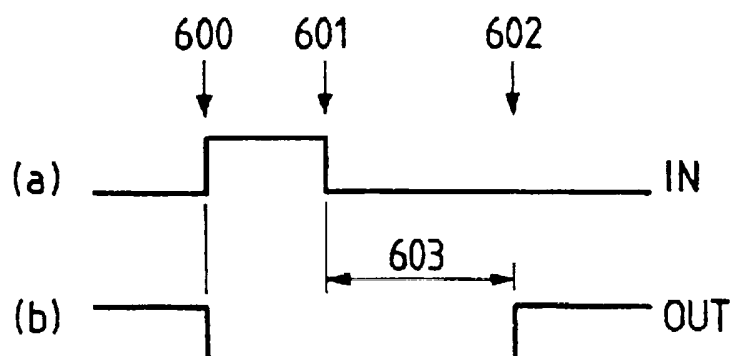


FIG. 38

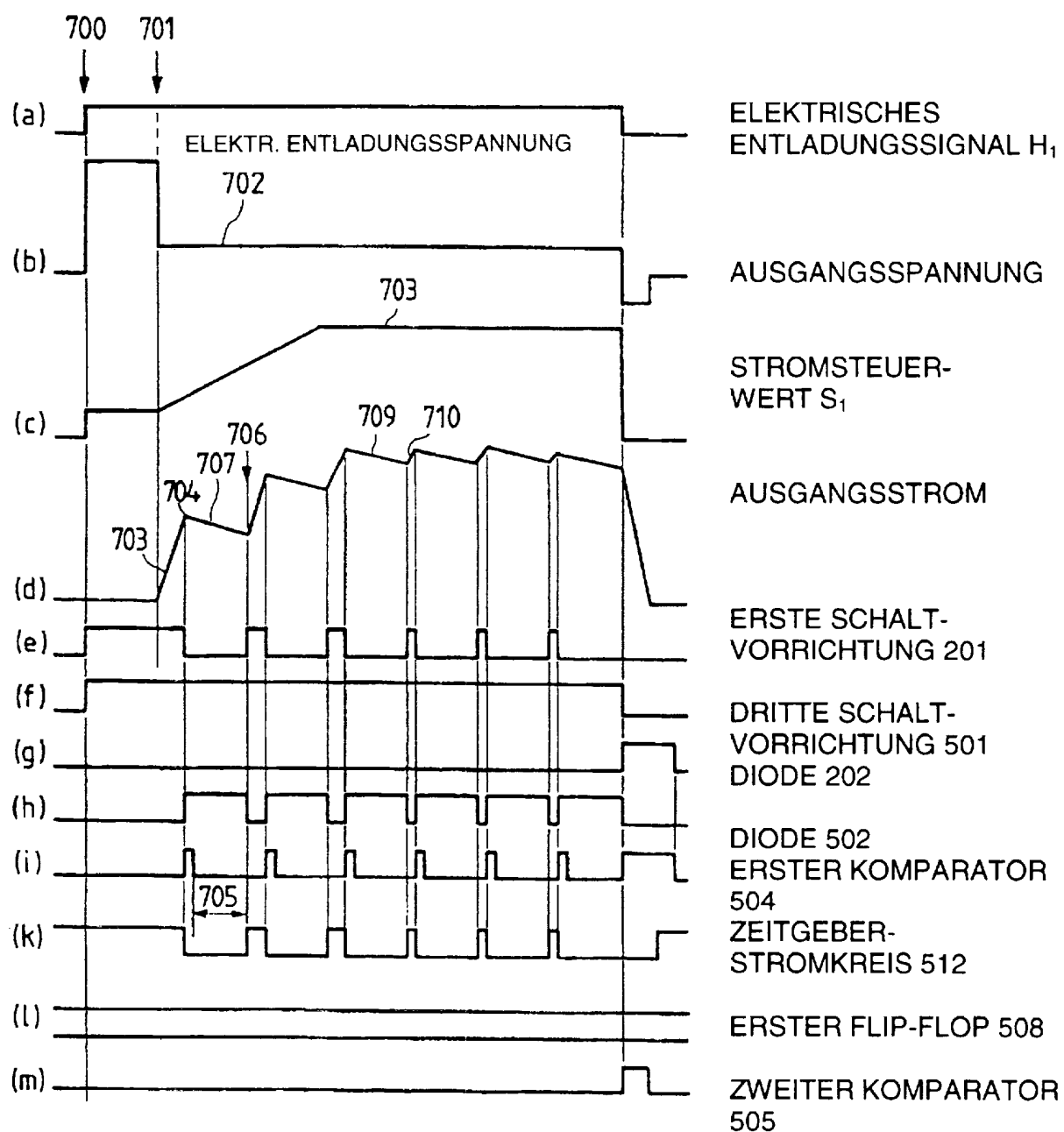


FIG. 39

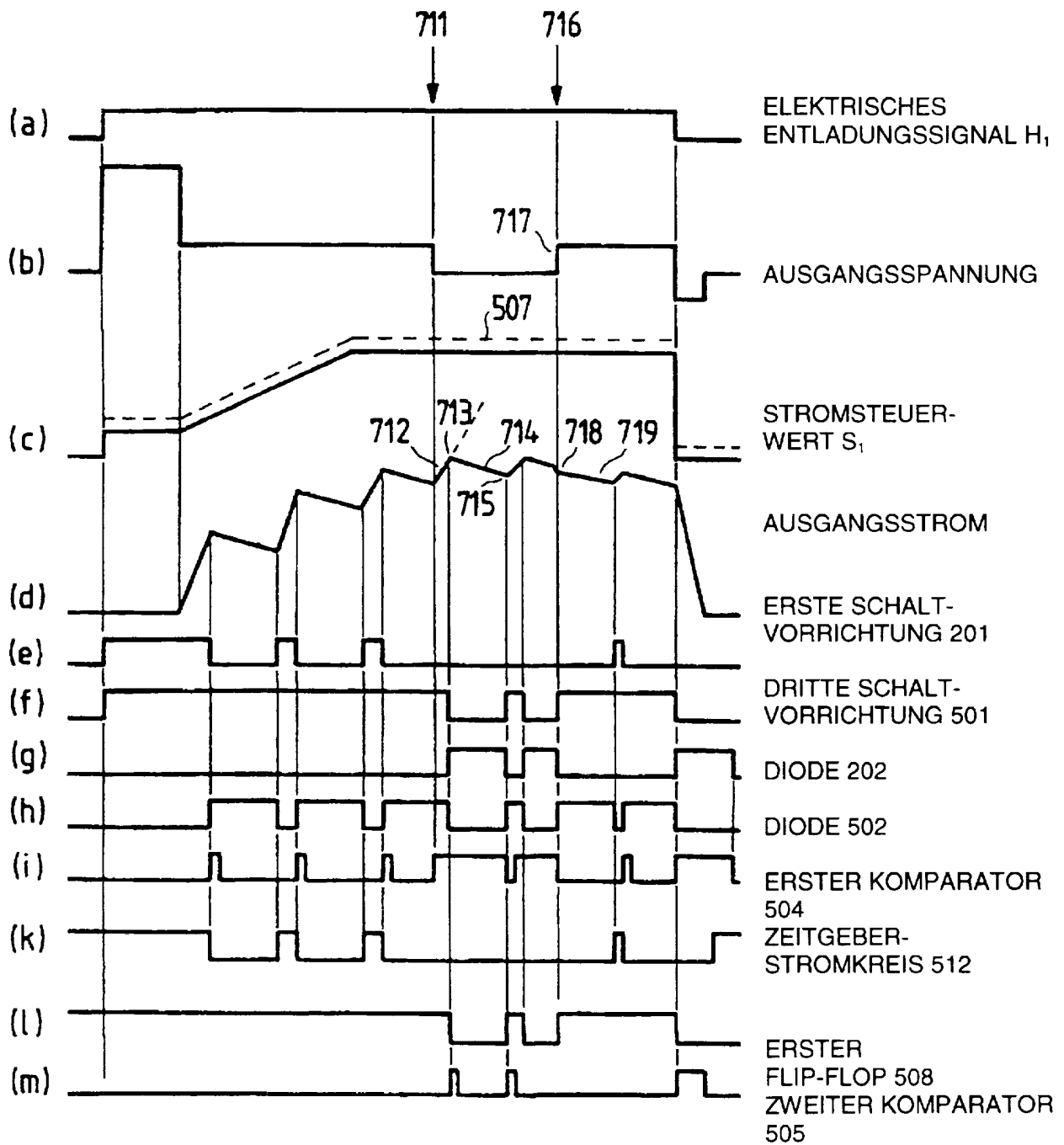


FIG. 40

BD1-BD3:
GATE-ANTRIEBSSSTROMKREIS

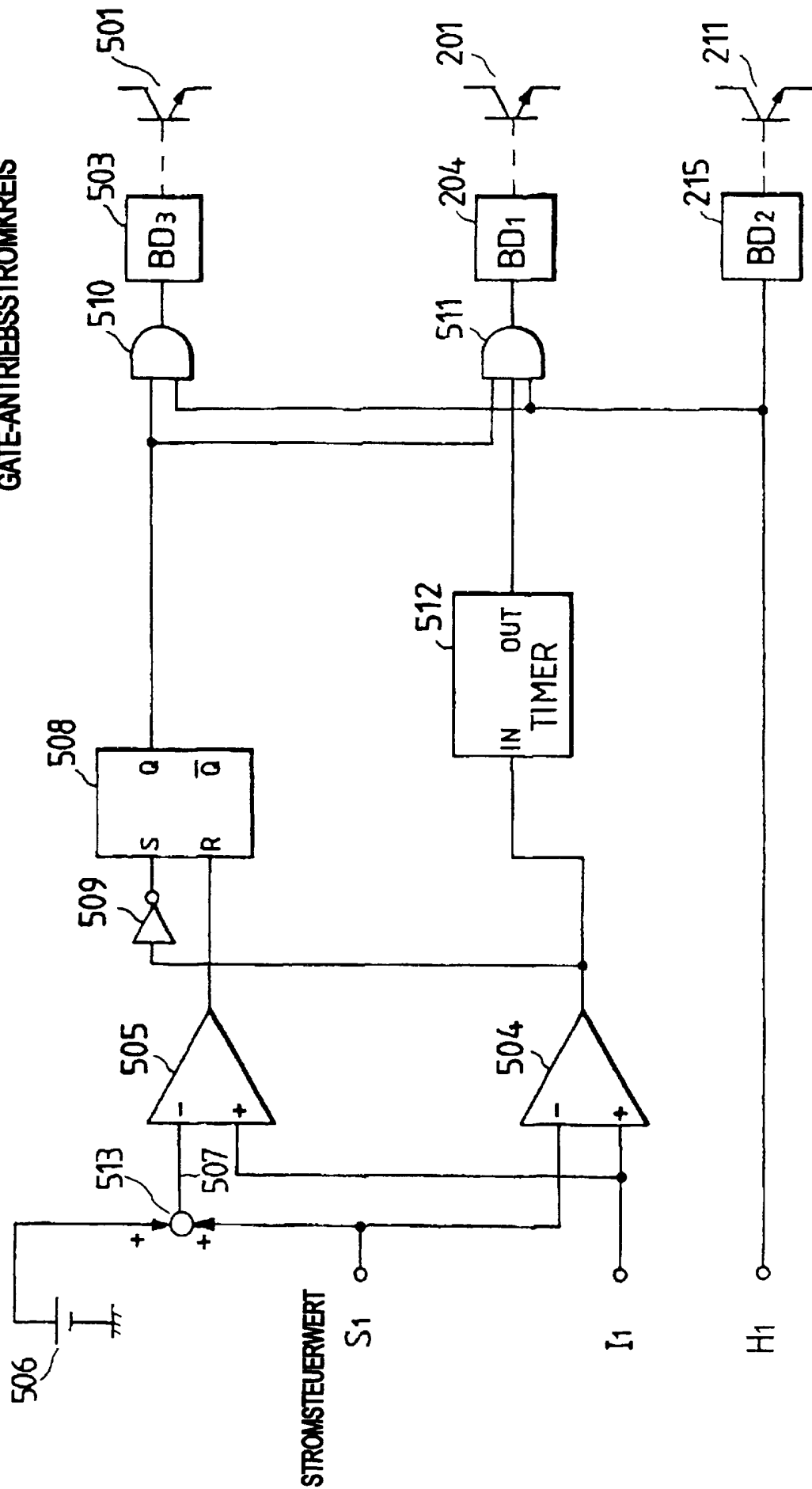


FIG. 41

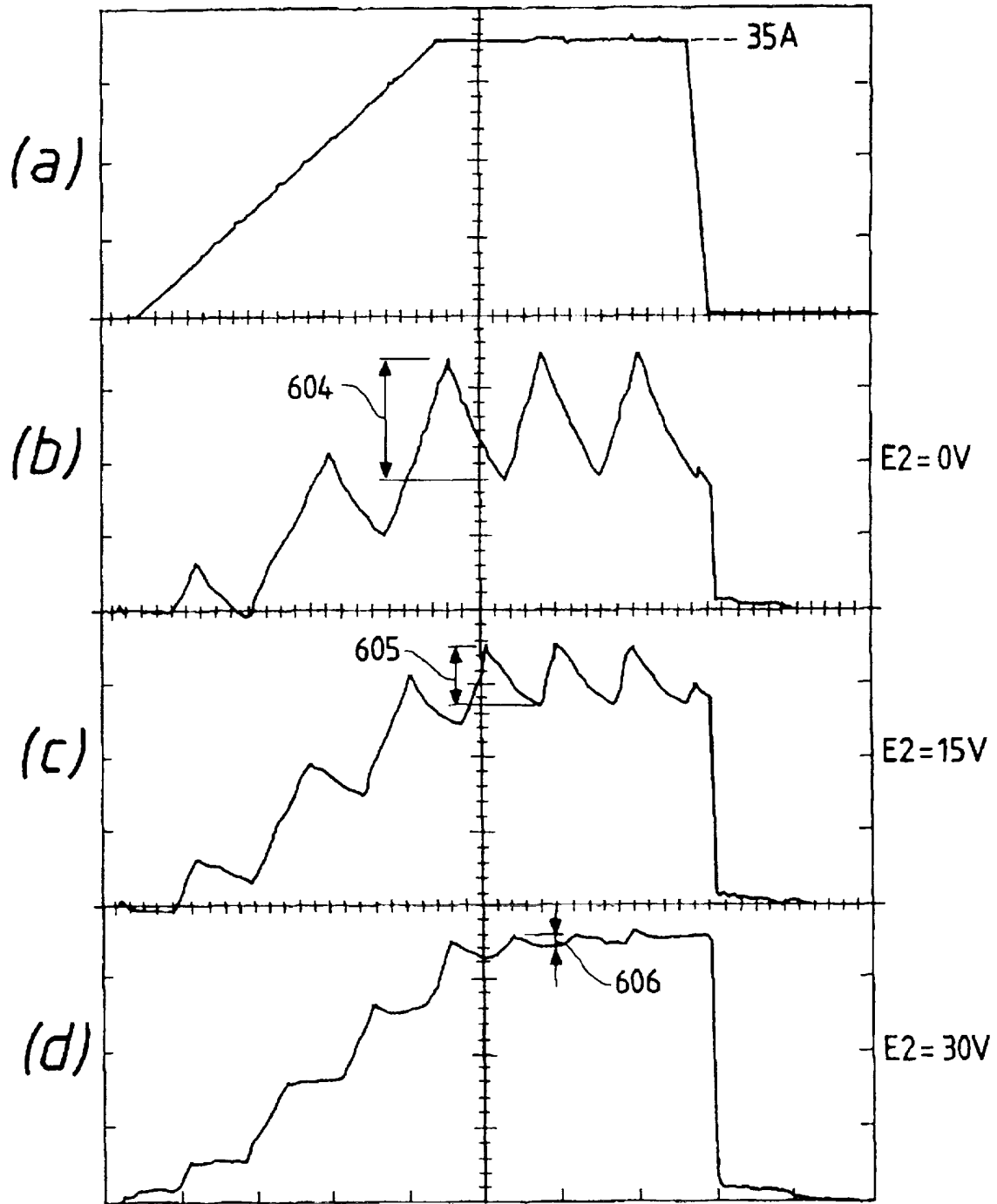


FIG. 42

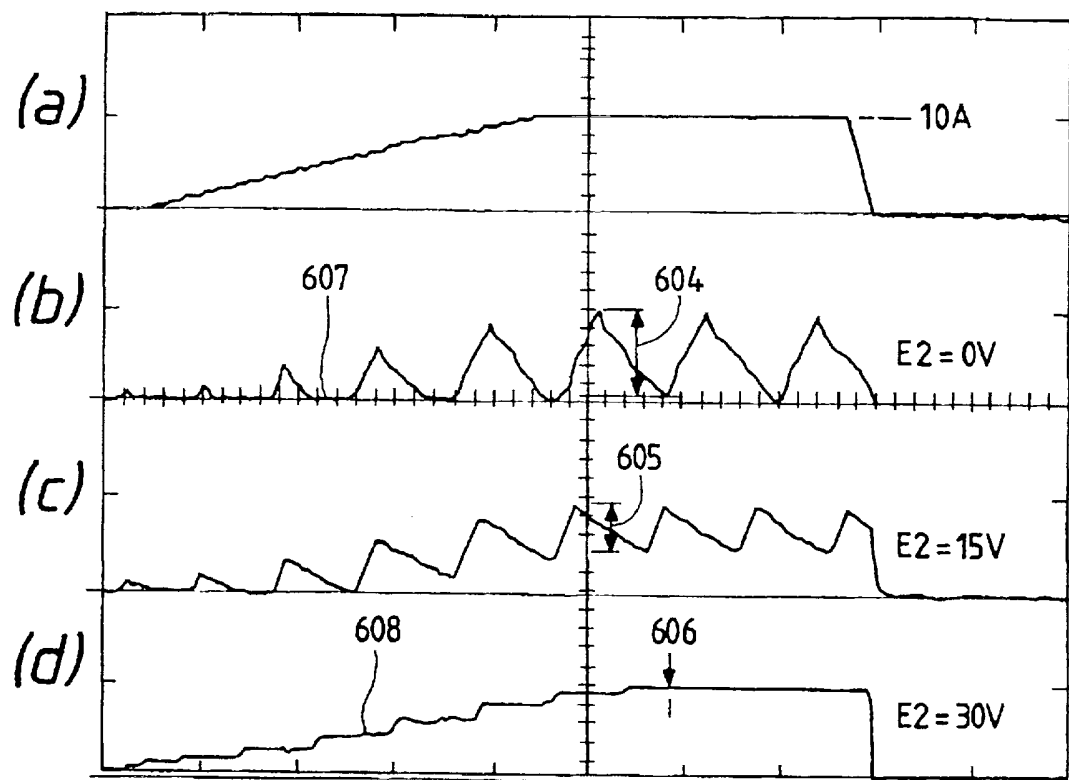
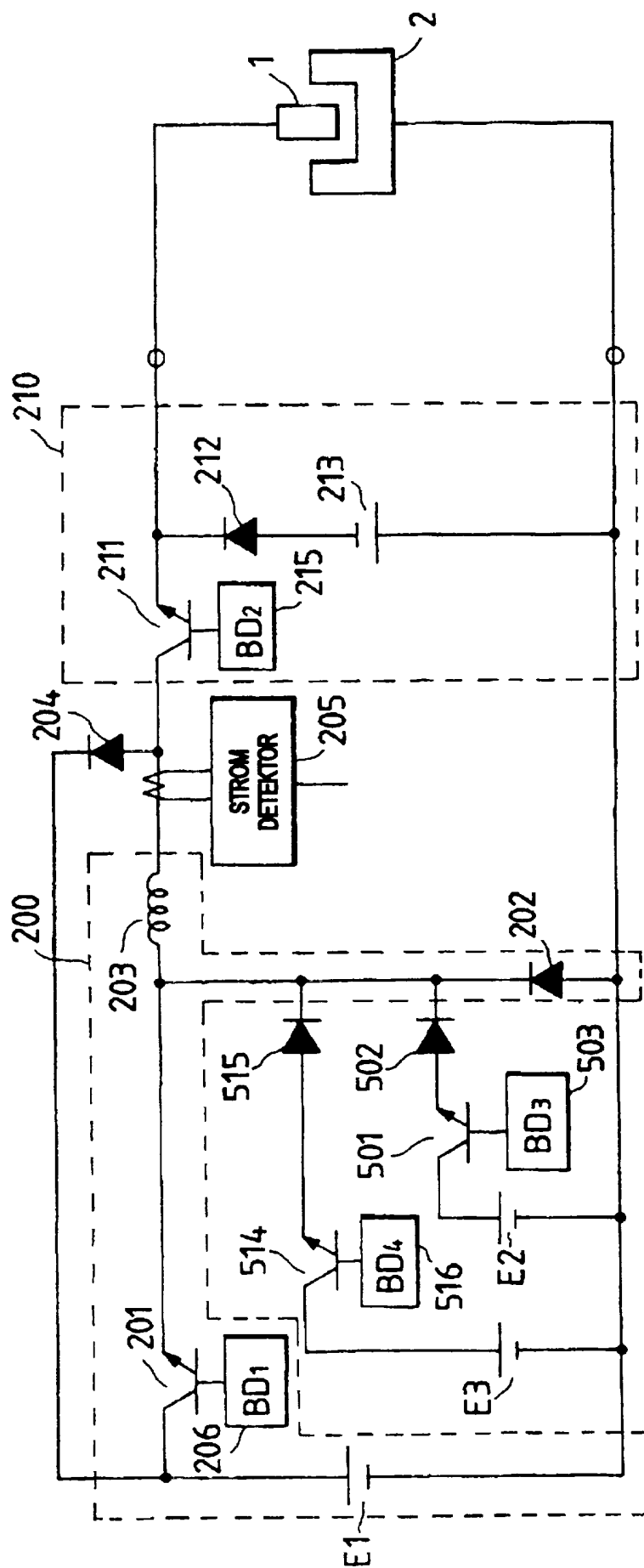
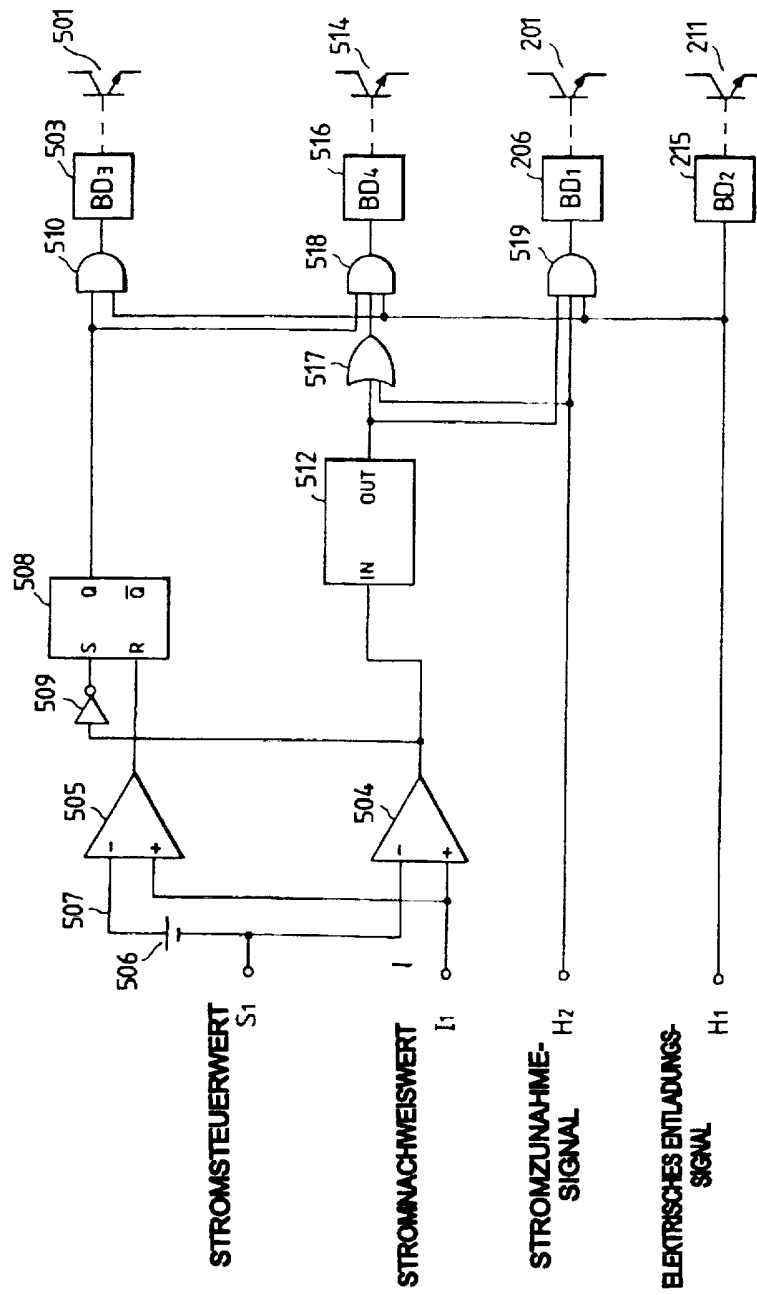


FIG. 43



BD1-BD4:
GATE-ANTRIEBSSTROMKREIS

FIG. 44



BD1-BD4: GATE-ANTRIEBSSTROMKREIS

FIG. 45

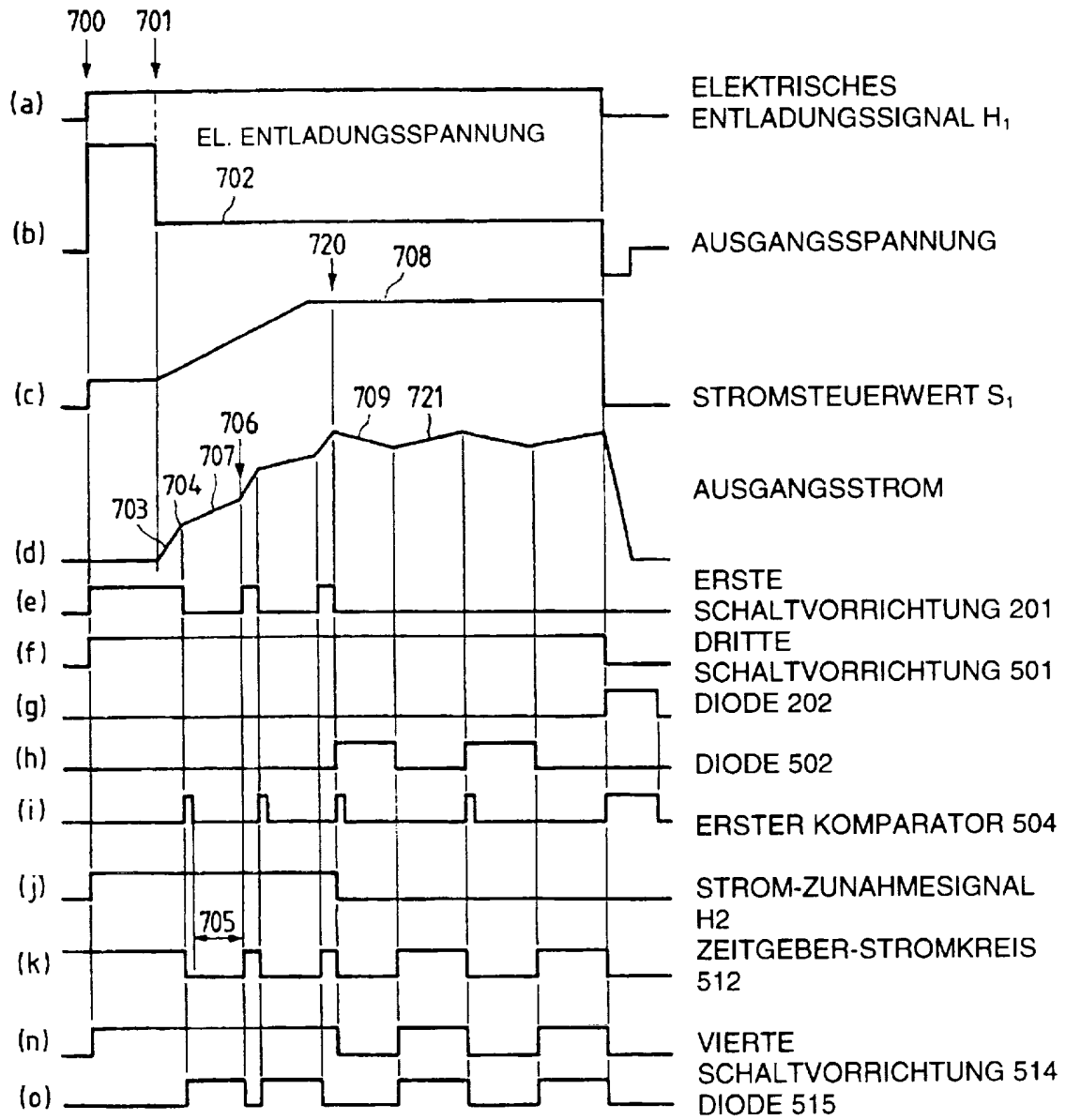
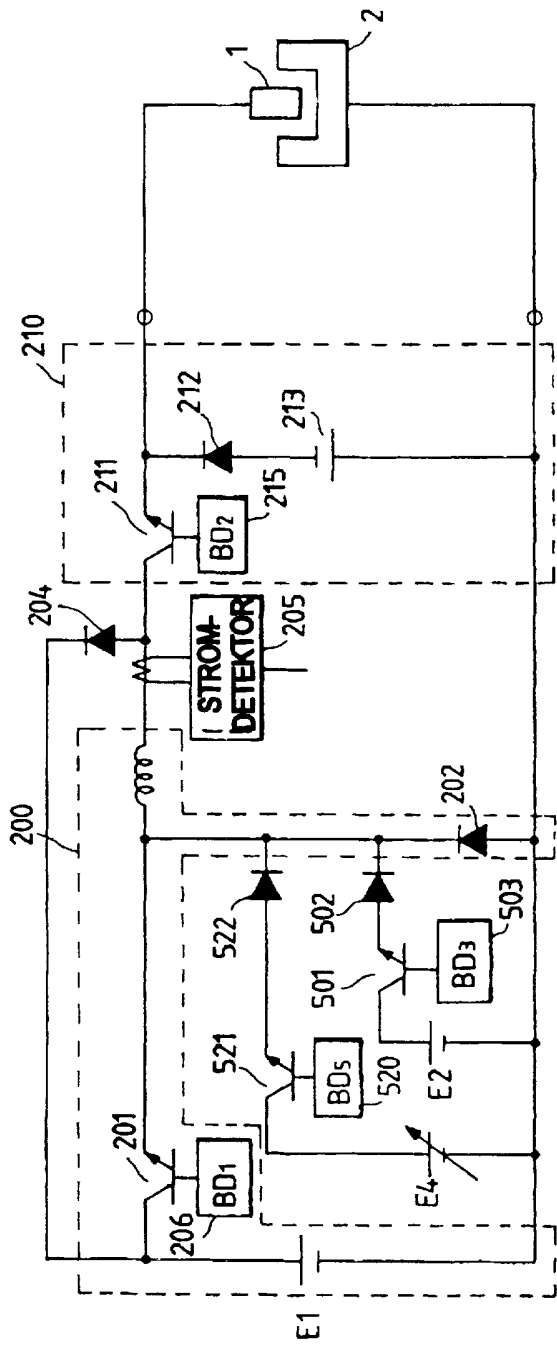


FIG. 46



BD1-BD3, BD5:
GATE-ANTRIEBSSTROMKREIS

FIG. 47

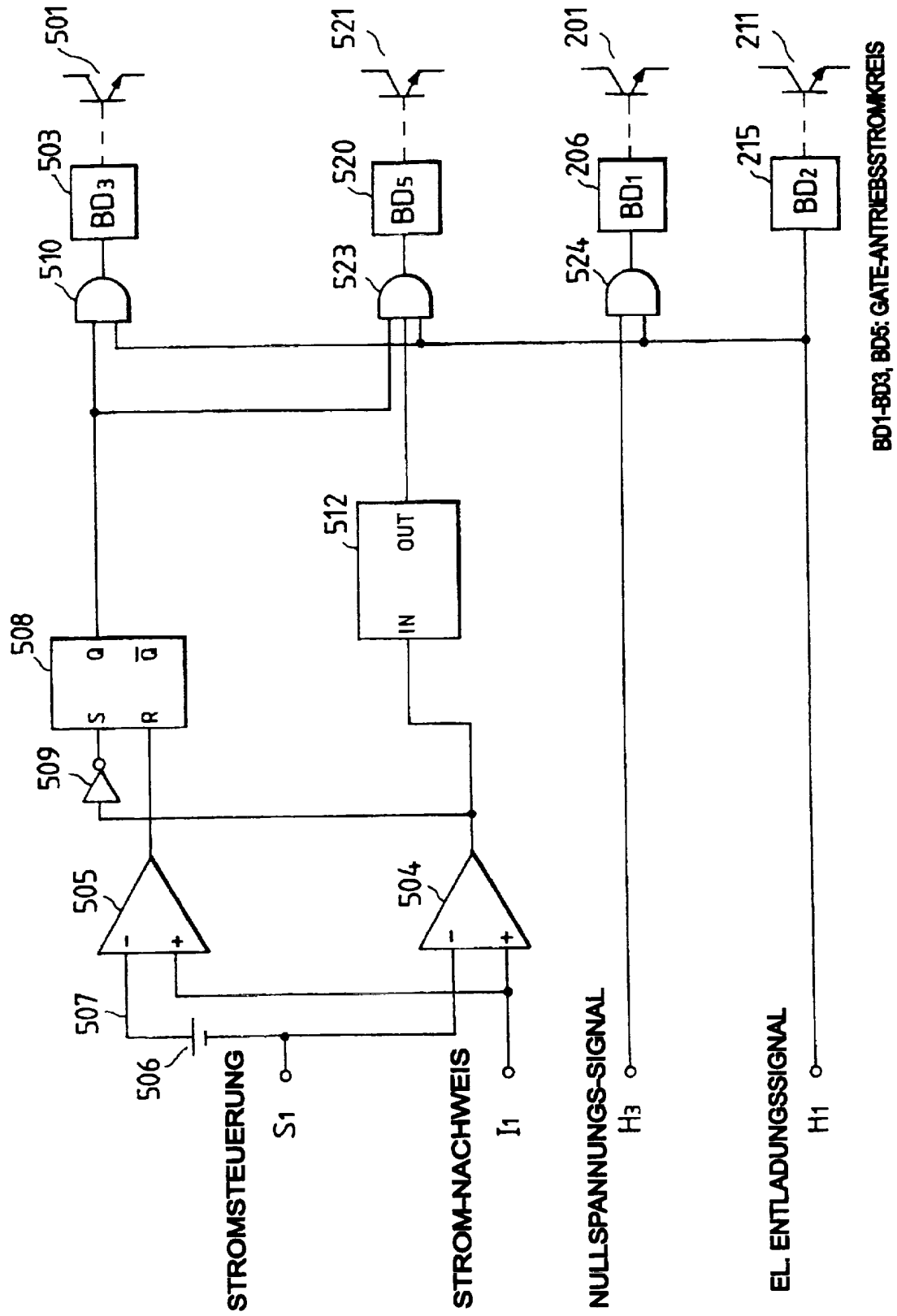


FIG. 48

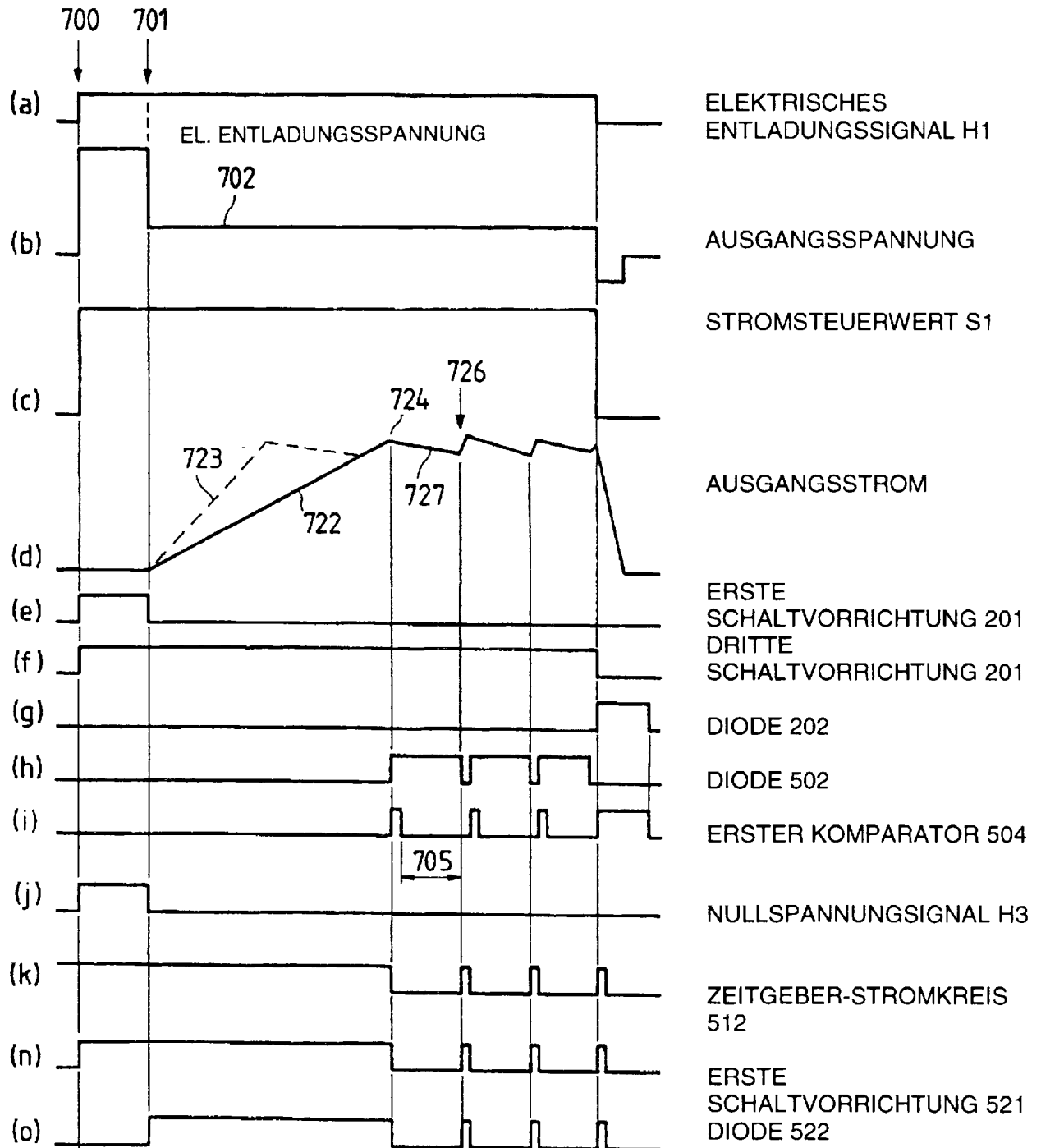
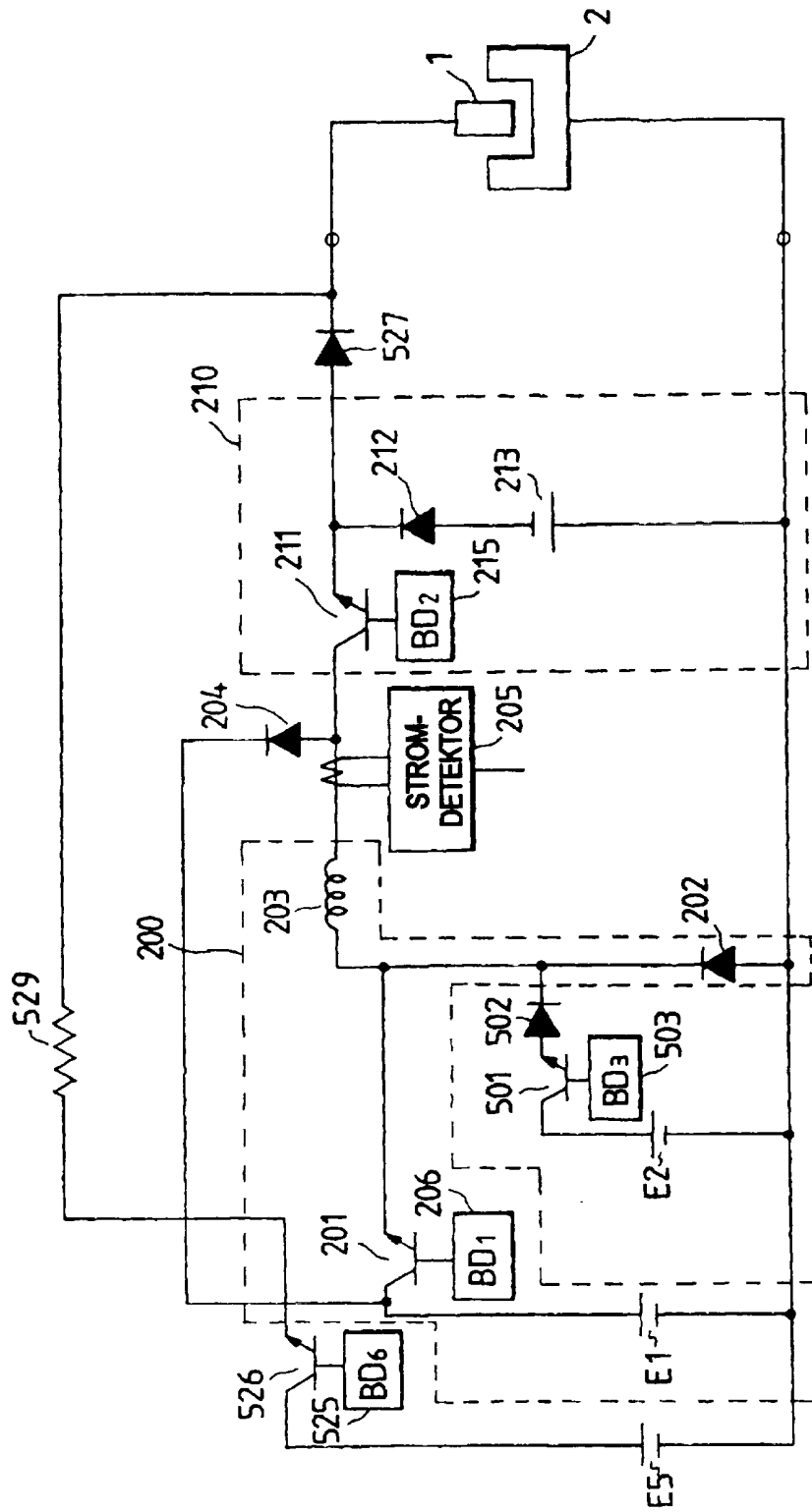


FIG. 49



**BD1-BD3, BD6:
GATE-ANTRIEBSSTROMKREIS**

FIG. 50

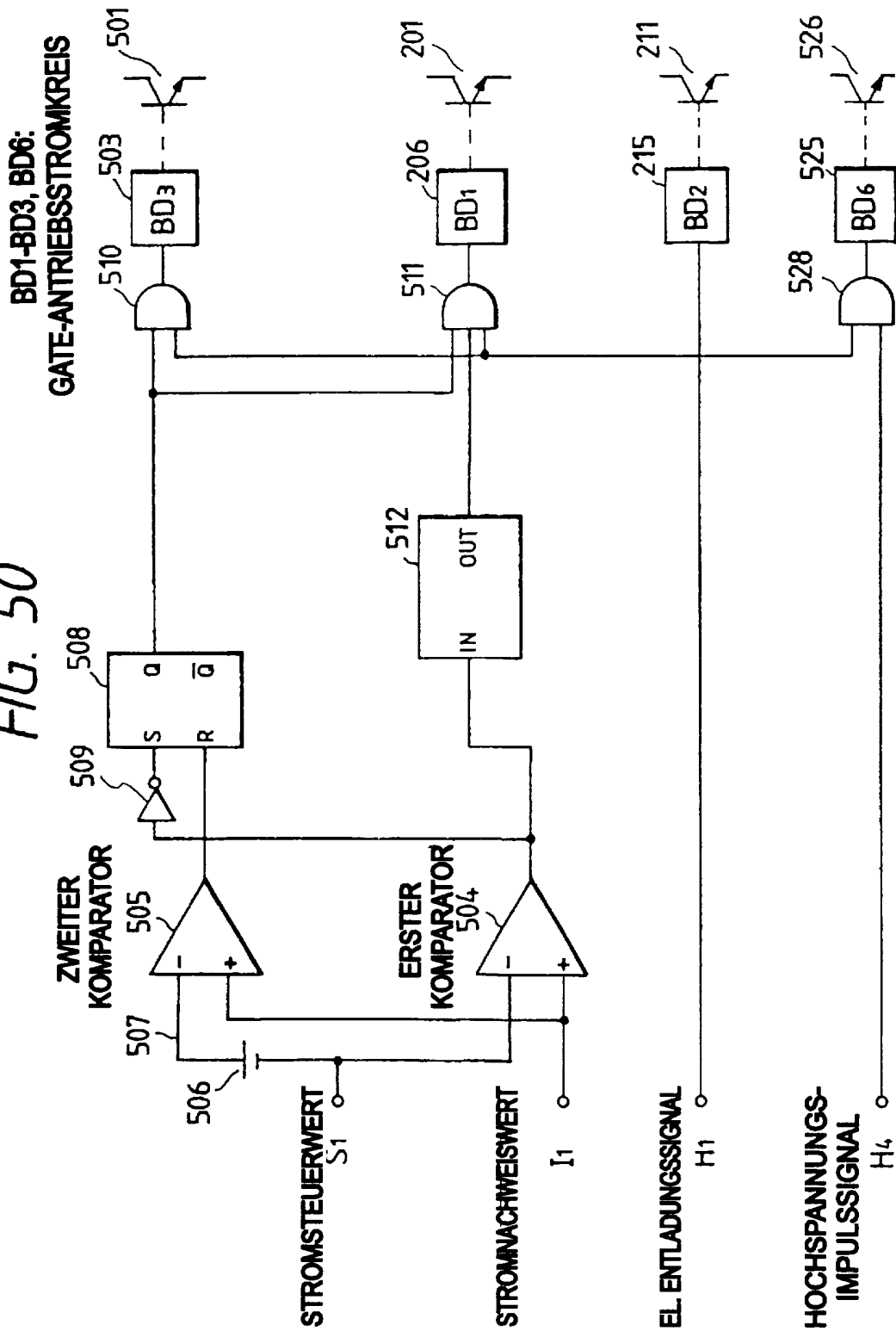


FIG. 51

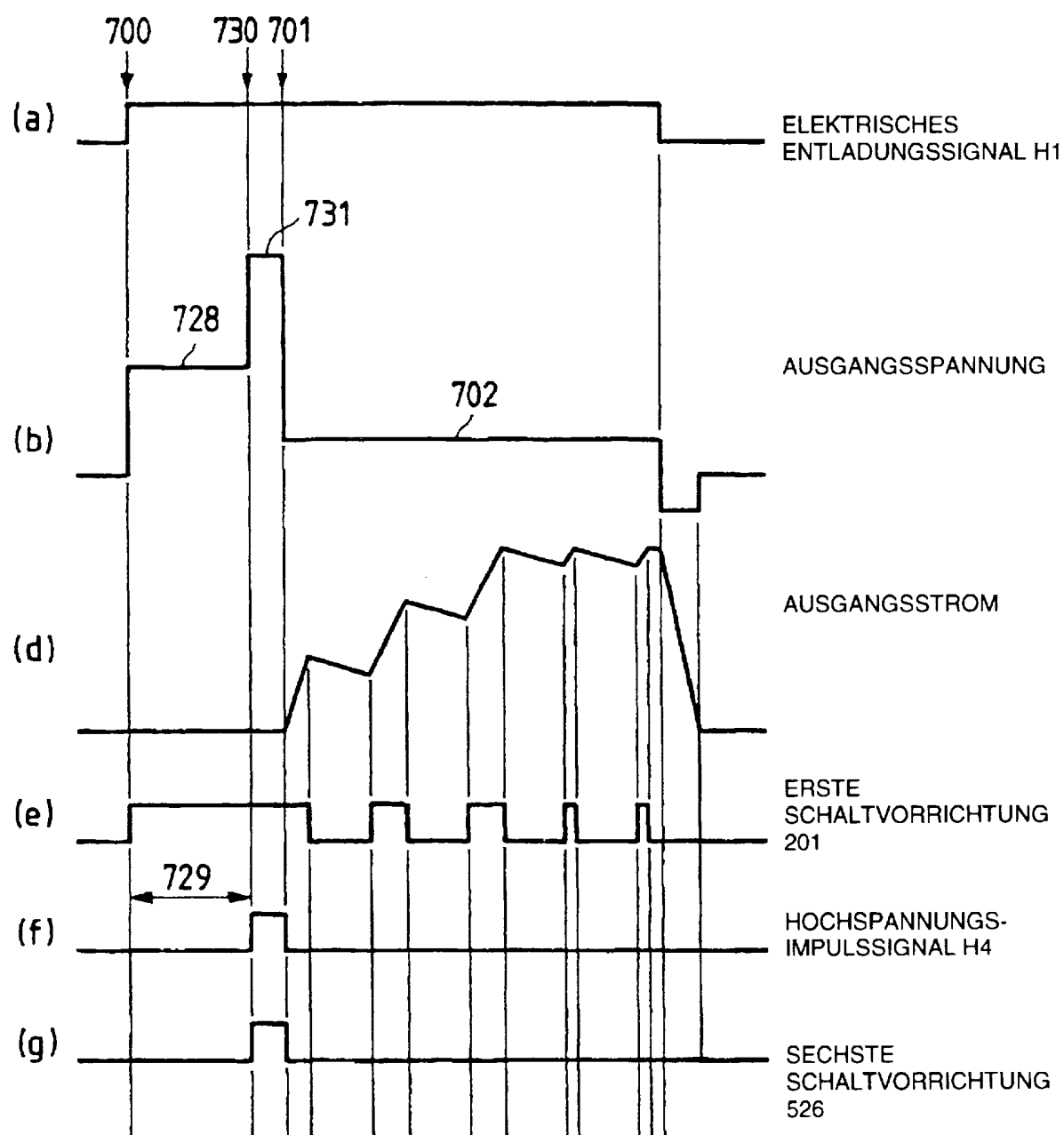


FIG. 52

BD1-BD4, BD6: GATE-ANTRIEBSSTROMKREIS

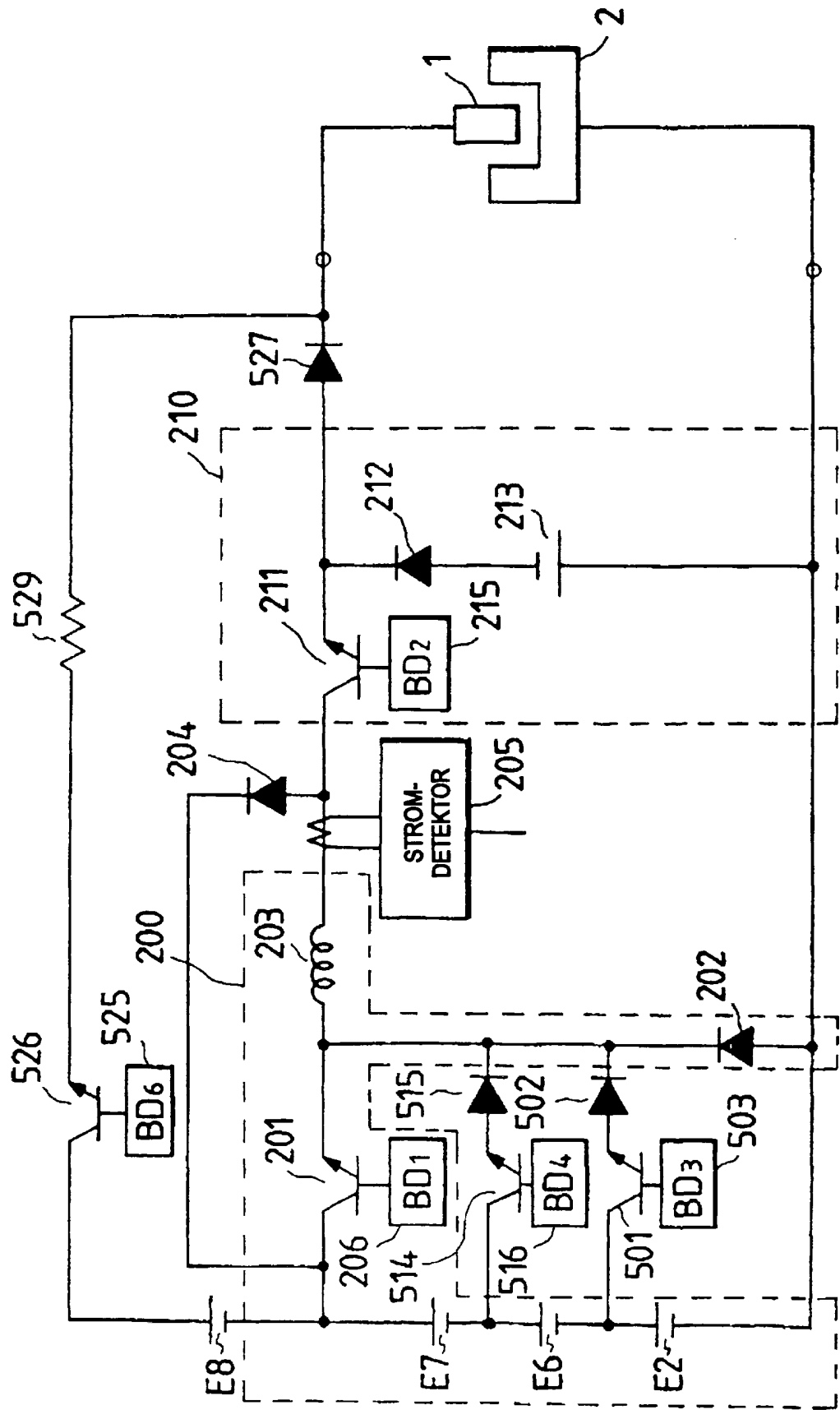


FIG. 53

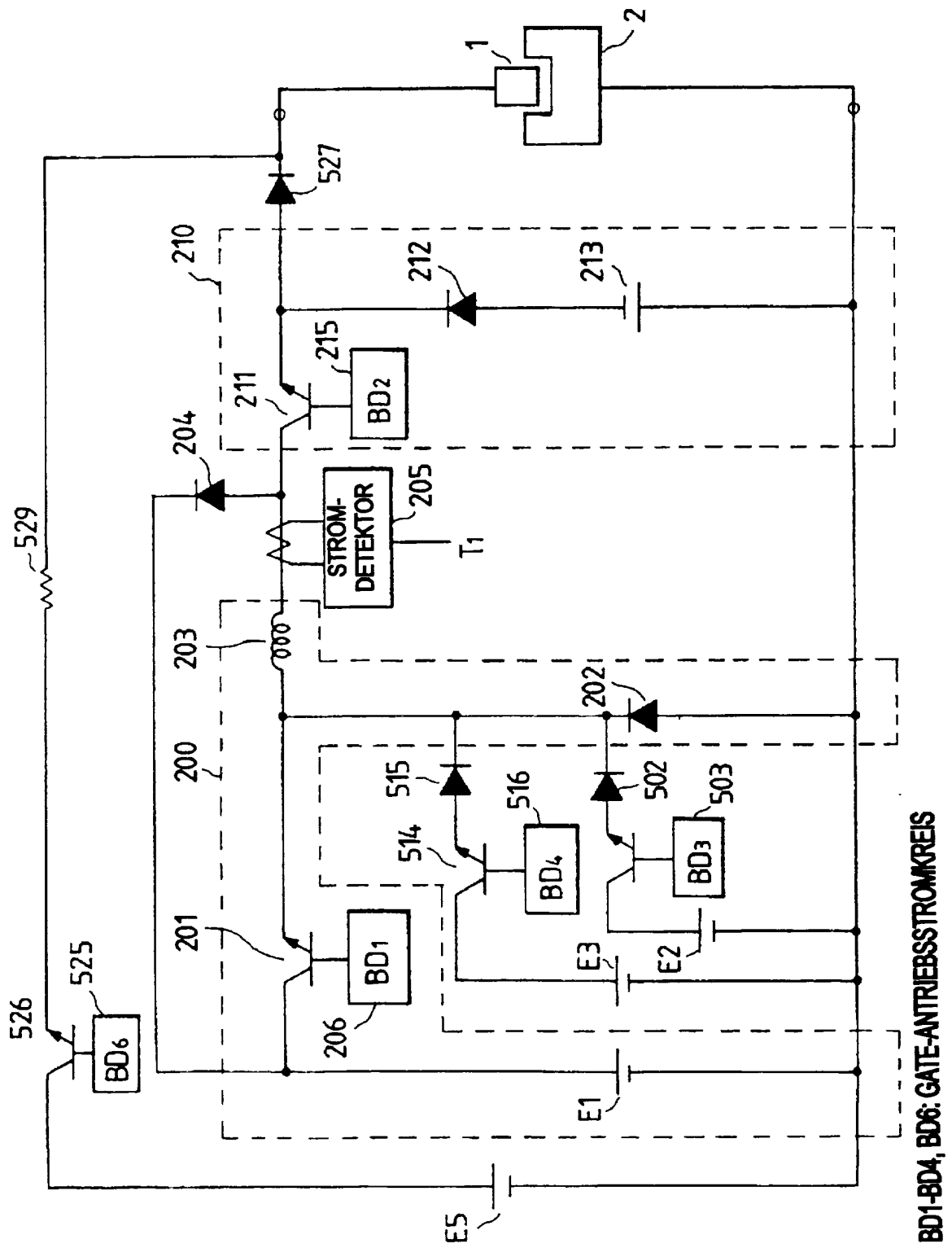


FIG. 54

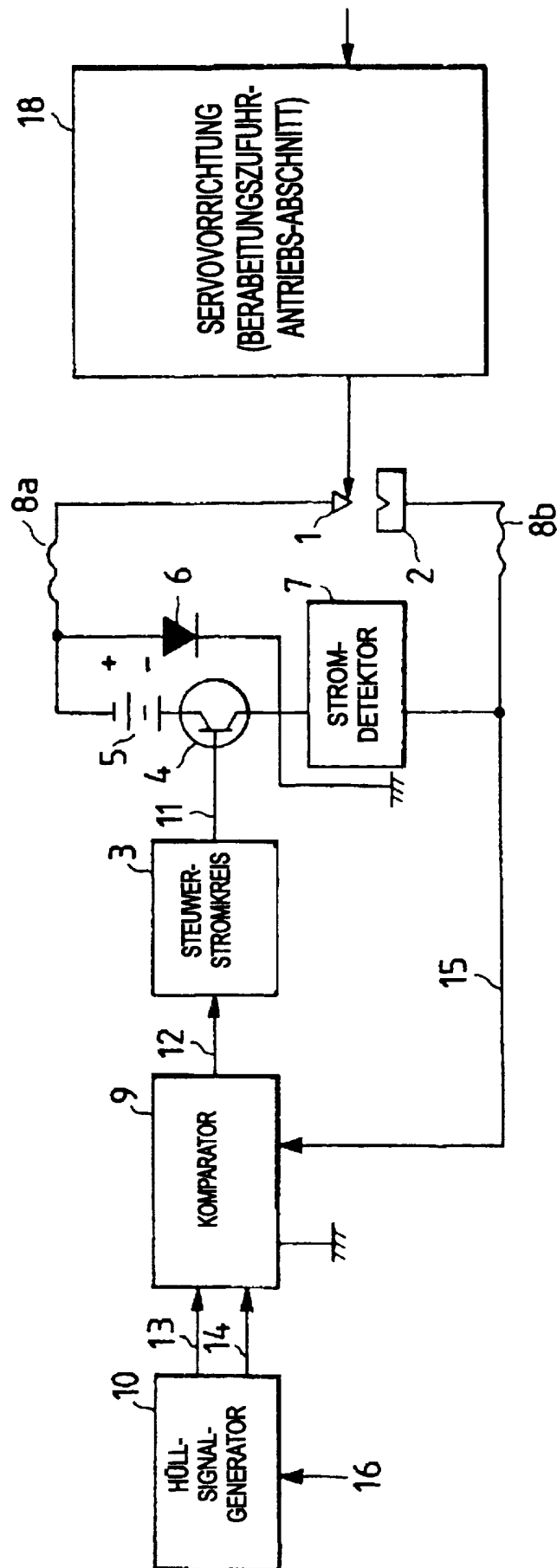


FIG. 55

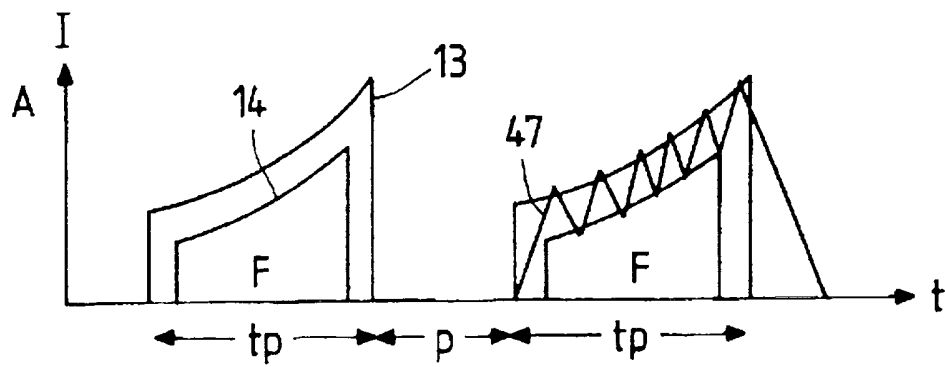


FIG. 56

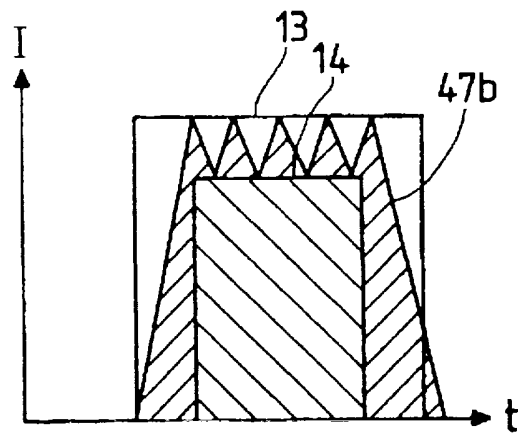


FIG. 57

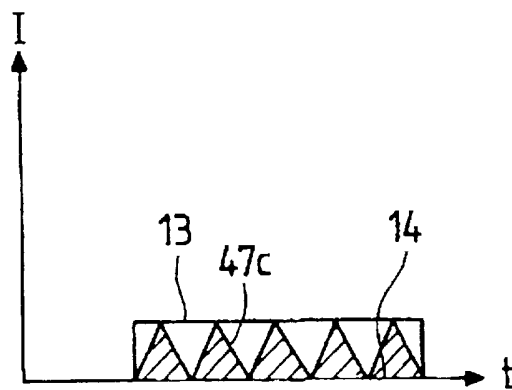


FIG. 58

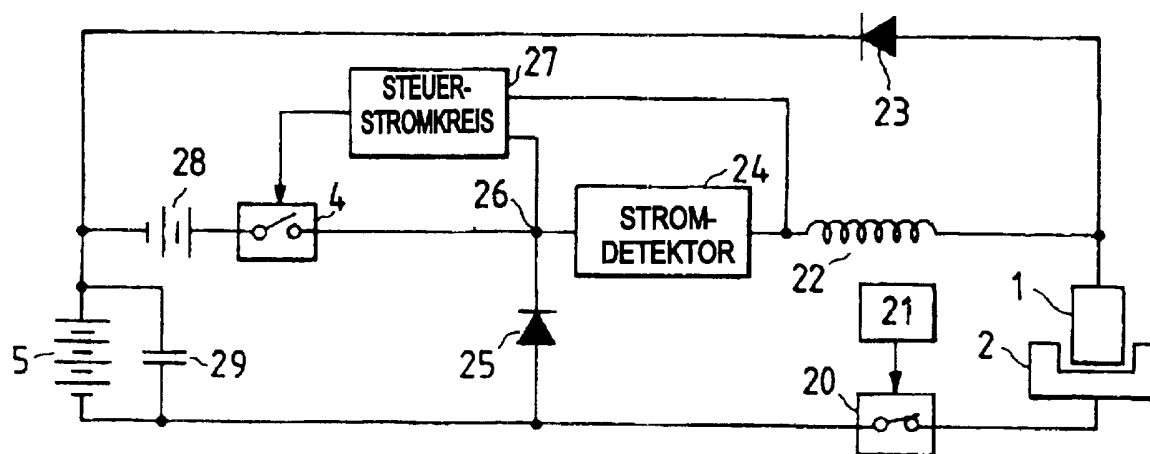


FIG. 59

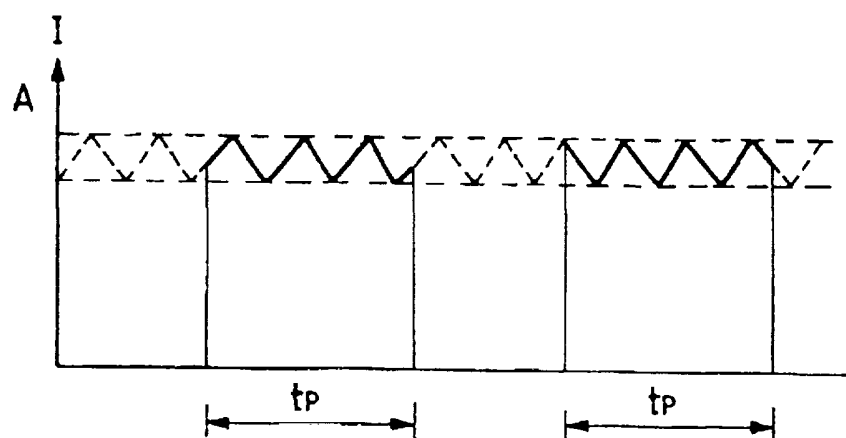


FIG. 60

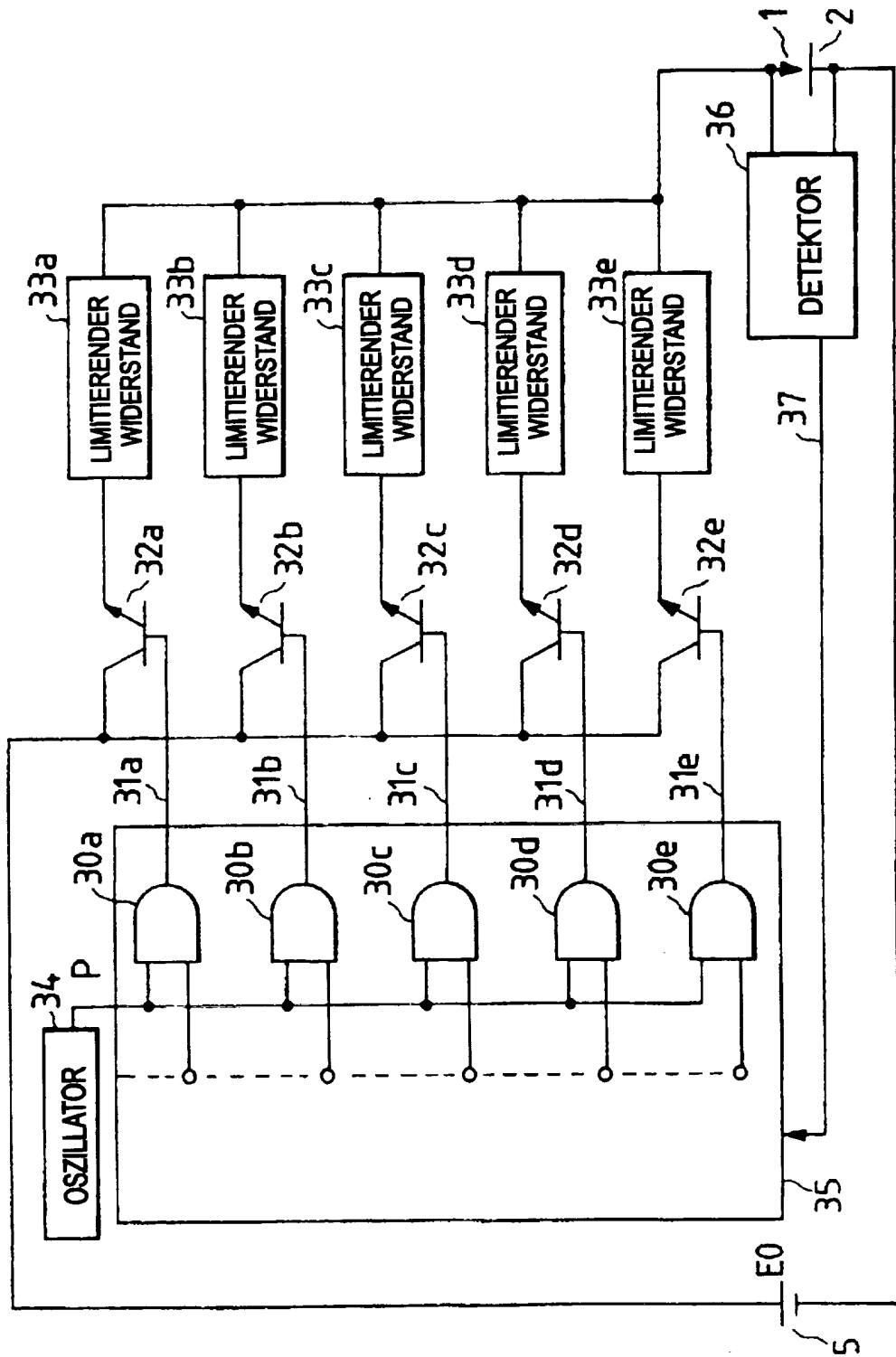


FIG. 61

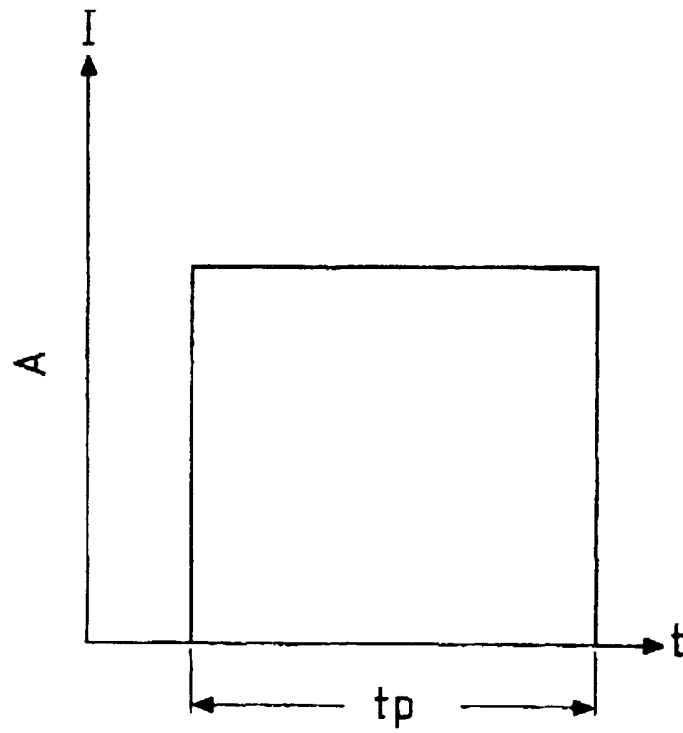


FIG. 62

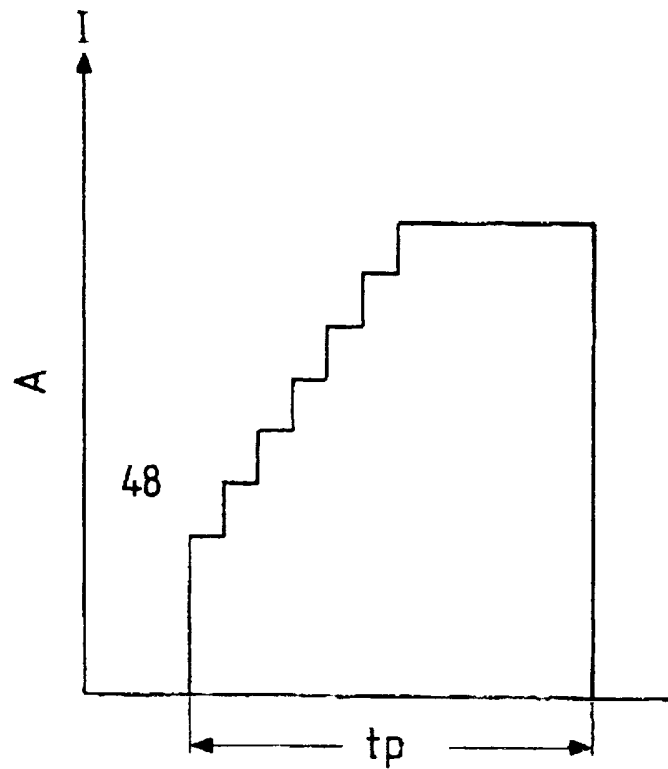


FIG. 63

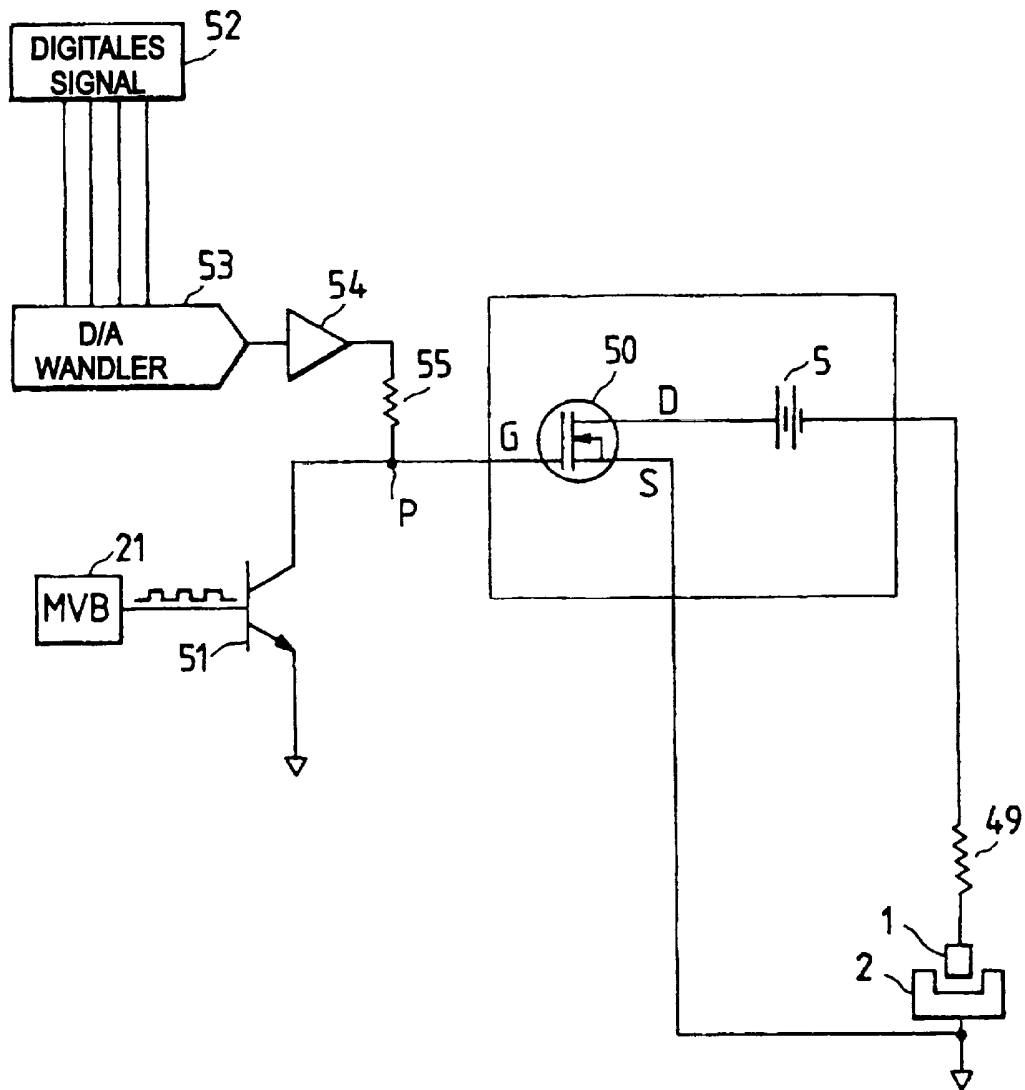


FIG. 64

