CH 693 942 A5

(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 693 942 A5

(51) Int. Cl.[7]: B 23 H 001/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(21) Gesuchsnummer: 02569/95

(22) Anmeldungsdatum: 11.09.1995

(30) Priorität: 09.09.1994 JP A6-216245
05.09.1995 JP A7-228102

(24) Patent erteilt: 14.05.2004

(45) Patentschrift veröffentlicht: 14.05.2004

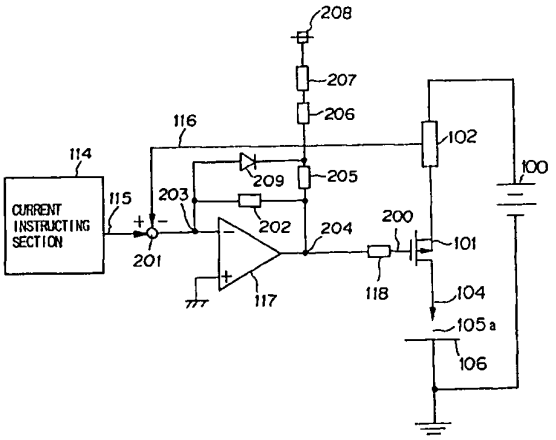
(73) Inhaber:
Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha
2–3, Marunouchi 2-chome
Chiyoda-ku/Tokyo (JP)
Mitsubishi Electric Engineering Co., Ltd
6–2, Otemachi 2-chome
Chiyoda-ku/Tokyo 100 (JP)

(72) Erfinder:
Akamatsu Koji,
Nagoya-shi/Aichi 461 (JP)
Suzuki Satoshi
Nagoya-shi/Aichi 462 (JP)
Taneda Atsushi
Nagoya-shi/Aichi 461 (JP)
Ogawa Hajime
Nagoya-shi/Aichi 461 (JP)

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

(54) Speiseeinheit für einen Erosionsapparat.

(57) Eine Speiseeinheit für einen Apparat für erosive Bearbeitung, welche ein Überschwingen beim Stromanstieg eliminiert und die Elektrodenverbrauchs-Eigenschaften verbessert durch Verhindern, dass ein Operationsverstärker sowie ein Stromsteuerelement in den Sättigungszustand gelangen, wodurch ein Überschwingen während der Anstiegszeit des Bearbeitungsstromes eliminiert wird, dies durch Begrenzen der Ausgangsspannung des Operationsverstärkers während der Wartezeit auf die elektrische Entladung. Der Ausgang wird durch eine Vielzahl von Widerständen und Dioden auf einen Zustand begrenzt, bei dem die Ausgangsspannung höher als eine Speisespannung ist (der Ausgangsbegrenzungspegel wird durch einen Widerstand eingestellt). Deshalb wird während der Wartezeit, wenn in einem Operationsverstärker eine invertierte Verstärkung (Rückkopplung) über einen Widerstand vorgenommen wird, durch die Dioden ein konstanter Rückkopplungszustand aufrechterhalten.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Speiseeinheit für einen Erosionsapparat gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

In der Fig. 18 wird ein Beispiel einer konventionellen Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gezeigt. Bei diesem konventionellen Lösungsweg wird die Differenz zwischen einem detektierten Wert des Bearbeitungsstromes und einem Vorgabewert aus einem Stromvorgabeabschnitt verstärkt, wird der Betriebswiderstand eines Stromsteuerelementes gemäss dem verstärkten Signal gesteuert, ist ein gemäss einem Signal aus dem Elektroerosions-Vorgabeabschnitt EIN/AUS-geschalteter Schalter auf der Steuereingangsseite des Stromsteuerelementes vorgesehen, und es wird elektrische Energie zur Bearbeitung durch rasches Abtrennen eines Stromsteuerelementes erhalten, wenn der Schalter AUS-geschaltet wird.

Es wird nun eine detaillierte Beschreibung des in Fig. 18 gezeigten Apparates für elektroerosive Bearbeitung gegeben.

In der Fig. 18 wird mit dem Bezugszeichen 100 eine Speiseeinheit bezeichnet, mit 101 ein Stromsteuerelement, mit 102 ein Stromdetektor, mit 103 ein Widerstand, mit 104 eine Elektrode und mit 106 ein Werkstück. Ebenso bezeichnet das Bezugszeichen 105a einen Bearbeitungsluftspalt. Der Raum zwischen der Elektrode 104 und dem Werkstück 106 ist mit einer Bearbeitungsflüssigkeit gefüllt, um einen kleinen Spalt zu bilden, über den die elektrische Entladung ausgeführt werden kann. Die elektroerosive Bearbeitung wird durch das in diesem Spalt erzeugte elektrische Entladungsphänomen auf dem Werkstück 106 ausgeführt.

Die Speiseeinheit 100, das Stromsteuerelement 101, der Stromdetektor 102, der Widerstand 103, die Elektrode 104 und das Werkstück 106 werden untereinander in Serie geschaltet. Das Bezugszeichen 107 bezeichnet eine Konstantspannungsquelle. Diese Konstantspannungsquelle 107 und eine Diode 108 werden in Serie geschaltet, und die Serieschaltung wird zwischen den Source-Anschluss 109 des Stromsteuerelementes 101 und einen mit dem Werkstück 106 und der Speiseeinheit 100 verbundenen Punkt 111 geschaltet.

Ausserdem bezeichnet das Bezugszeichen 112 einen Elektroerosions-Vorgabeabschnitt. Ein Schalter 113 öffnet und schliesst eine Verbindung zwischen dem Gate-Anschluss 119 und dem Source-Anschluss 109 des Stromsteuerelementes 101 gemäss einem Signal aus dem Elektroerosions-Vorgabeabschnitt 112. D.h.: das Stromsteuerelement 101 wird zwischen einem steuerbaren Zustand und einem abgetrennten Zustand umgeschaltet.

Das Bezugszeichen 114 bezeichnet einen Strom-Vorgabeabschnitt. Die Differenz zwischen einem Vorgabewert 115 aus dem Strom-Vorgabeabschnitt 114 und einem durch den Stromdetektor 102 detektierten Wert 116 wird durch einen Verstärker 117 verstärkt und über einen Widerstand 118 an den Gate-Anschluss 119 des Stromsteuerelementes 101 angelegt, um den Betriebswiderstand des Stromsteuerelementes 101 zu steuern, wenn der Schalter 113 AUS-geschaltet ist, und um eine derartige Steuerung vorzusehen, dass der Bearbeitungsstrom gleich einem Vorgabewert des Stromes wird, wenn Bearbeitungsstrom fliesst.

Als Nächstes wird eine detaillierte Beschreibung der Betriebsweise der oben Schaltung gegeben, mit Bezugnahme auf Fig. 19.

Es sollte beachtet werden, dass sich die folgende Beschreibung auf einen Fall bezieht, bei dem die Kurvenform des Bearbeitungsstromes in einem ansteigenden Abschnitt geneigt ist, wie in Fig. 19 bei (b) gezeigt wird. Die Fig. 19 zeigt bei (a) einen Vorgabewert aus dem Elektroerosions-Vorgabeabschnitt 112. Die Vorgaben zum EIN- und AUS-Schalten der elektrischen Entladung werden in den Zeitpunkten 120 bzw. 121 ausgegeben. Gemäss den Vorgaben ist der Zustand des Schalters 113, wie in Fig. 19 bei (c) gezeigt, ab 120 AUS- und ab 121 EIN-geschaltet.

Die Fig. 19 zeigt bei (b) einen Vorgabewert 115 aus dem Strom-Vorgabeabschnitt 114. Die Kurvenform für einen Vorgabewert für einen Bearbeitungsstrom von 3 Ampère wird bei 122 ausgegeben, dann wird der Vorgabewert wie bei 123 angegeben erhöht. Es wird eine Kurvenform für einen Vorgabewert für einen 10-Ampère-Strom erzeugt, bevor die elektrische Entladung begonnen wird.

Es kann eine für die elektroerosive Bearbeitung am besten geeignete Kurvenform erzeugt werden, da eine beliebige Kurvenform vorgegeben werden kann. Wenn eine Vorgabe für die elektrische Entladung bei 120 auf EIN gesetzt wird, wird der Schalter 113 AUS-geschaltet. Der Ausgang des Verstärkers 117, in Fig. 19 bei (d) gezeigt, ist «hoch», da dann kein Bearbeitungsstrom fliesst, und aus diesem Grund wird der Gate-Anschluss des Stromsteuerelementes 101 über den Widerstand 118 wie in Fig. 19 bei (e) gezeigt angesteuert. Demgemäss wird der Betriebswiderstand des Stromsteuerelementes 101 erniedrigt.

In diesem Zustand fliesst noch kein Bearbeitungsstrom. Zum Zeitpunkt 125, wenn eine elektrische Entladung im Bearbeitungsluftspalt 105a erzeugt wird, werden der durch den Widerstand 103 detektierte Bearbeitungsstrom und der Betriebswiderstand des Stromsteuerelementes 101 wie in Fig. 19 bei (g) gezeigt, und die Bearbeitungsluftspalt-Spannung 105, welche bisher gleich gross wie die Spannung 127 der ersten Speiseeinheit 100 war, wird zu einer elektrischen Entladespannung verändert, wie in Fig. 19 bei (f) mit 126 angegeben wird.

Ebenso verändert sich der Bearbeitungsstrom gemäss dem Stromvorgabesignal 115, wie in Fig. 19 bei (g) gezeigt wird. Bei 121, wenn die Vorgabe für die elektrische Entladung AUS-geschaltet wird, wird der Schalter EIN-geschaltet; worauf das Stromsteuerelement 101 abgetrennt wird. Als Folge davon wird infolge der innewohnenden Induktivität der Verdrahtung und des Widerstandes 103 eine negative, hohe Spannung erzeugt, welche als Spannung vom Source-Anschluss 109 aus wirkt, aber die Diode 108 begrenzt diese auf die Spannung der elektrisch mit der Diode 108 verbundenen Konstantspannungseinheit 107, wie in Fig. 19 bei (h) mit 128 gezeigt wird. Als Folge davon nimmt der Bearbeitungsstrom rasch ab, wie in Fig. 19 bei (g) mit 129 gezeigt wird.

Zusätzlich kann Bezug genommen werden auf die Japanische Patent-Offenlegungspublikation Nr. 123 614/1988, welche eine «Methode zur elektroerosiven Bearbeitung» beschreibt, die Japanische Patent-Offenlegungspublikation Nr. 228 520/1991, welche eine «Methode zur Steuerung einer Speisung zur elektroerosiven Bearbeitung» beschreibt, die Japanische Patent-Offenlegungspublikation Nr. 210 219/1989, welche eine «Stromsteuerungsschaltung für die elektroerosive Bearbeitung» beschreibt, und die Japanische Patent-Offenlegungspublikation Nr. 68 316/1988, welche einen «Apparat für die elektroerosive Bearbeitung» beschreibt.

Beim oben genannten konventionellen Lösungsweg gibt es jedoch mehrere Probleme, wie sie nachstehend beschrieben werden.

Während der Wartezeit (stand-by time) auf die elektrische Entladung, nämlich in der Periode ab dem Zeitpunkt, wenn ein Vorgabewert für die elektrische Entladung bei 120 auf EIN gesetzt wird, bis eine elektrische Entladung bei 125 effektiv erzeugt wird, fliesst kein Bearbeitungsstrom. Als Folge davon und weil keine Rückkopplung für die Stromsteuerung existiert, gibt der Verstärker 117 die maximale Spannung aus, wie in Fig. 19 bei (d) mit 130 gezeigt wird. Ebenso befindet sich das durch diese Spannung gesteuerte Stromsteuerelement 101 in Sättigung, und der Betriebswiderstand wird auf «0» reduziert.

Wenn bei 125 eine elektrische Entladung erzeugt wird, so fliesst ein Bearbeitungsstrom und die TE-Rückkopplung wird begonnen, sodass eine Strom-Rückkopplungssteuerung in solch einer Weise vorgenommen wird, dass der Wert des Bearbeitungsstromes gleich gross wie der vorgegebene Stromwert wird. Wenn jedoch die Rückkopplung unterbrochen wird, gibt der Operationsverstärker 117 die maximale Spannung aus, was dessen Sättigung anzeigt, und aus diesem Grund befindet sich auch das Strombegrenzungselement 101 im gesättigten Zustand. Wenn bei 125 eine elektrische Entladung detektiert wird, tritt gleichzeitig das Strom-Rückkopplungssignal wieder auf, bis aber der Operationsverstärker 117 und das Stromsteuerelement 101 aus den gesättigten in ihre entsprechenden normalen Zustände zurückgekehrt sind, wird die in Fig. 19 bei (d) mit 133 gezeigte Zeit benötigt, und die in Fig. 19 bei (d) gezeigte Kurvenform des Ausgangs des Operationsverstärkers 117 wird, wie bei 134 (mit einer ausgezogenen Linie) angegeben, gegenüber der gewünschten Kurvenform gemäss 135 (mit einer strichlierten Linie angegeben) verzögert. Aus diesem Grund überschwingt die ansteigende Kurvenform des Stromes wesentlich, wie in Fig. 19 bei (g) mit 132 (mit einer ausgezogenen Linie) gezeigt wird, was die Kurvenform wesentlich abweichen lässt von derjenigen in Fig. 19 (g) bei 131 (mit einer strichlierten Linie angegeben), welche einen wünschenswerten Stromkurvenform-Anstieg zeigt.

Die Fig. 20 zeigt einen Fall, bei welchem der Bearbeitungsstrom eine rechteckförmige Kurvenform aufweist. Die gleichen Bezugszeichen, wie sie in Fig. 19 verwendet werden, geben die gleichen Signale an. Der Stromvorgabewert in Fig. 20 bei (j) ist rechteckförmig, wie bei 136 gezeigt wird. Wie im Fall eines ansteigenden Stromes wird eine bestimmte Zeitperiode, in Fig. 20 bei (l) mit 137 gezeigt, benötigt, bis der ungesättigte Zustand, bei welchem die normale Steuerung vorhanden ist, aus dem gesättigten Zustand zurückgewonnen wird, und demgemäss weist der in Fig. 20 bei (l) gezeigte Ausgang des Operationsverstärkers 117 eine gegenüber einer gewünschten Kurvenform 139 verzögerte Kurvenform 138 auf. Aus diesem Grund überschwingt die ansteigende Kurvenform des Stromes wesentlich, wie in Fig. 20 bei (o) mit 140 gezeigt, und die Kurvenform wird gegenüber der gewünschten rechteckförmigen Stromkurvenform 141, in Fig. 20 bei (o), wesentlich verzögert. Ein Überschwingen während der Anstiegszeit des Stromes verschlechtert die Elektrodenverbrauchs-Eigenschaften während der elektroerosiven Bearbeitung.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Speiseeinheit für die elektroerosive Bearbeitung zu schaffen, welche Folgendes aufweist: verbesserte Elektrodenverbrauchs-Eigenschaften durch Verhindern, dass der Operationsverstärker sowie das Stromsteuerelement in den Sättigungszustand gelangen, wodurch ein Überschwingen (overshooting) während der Anstiegszeit des Bearbeitungsstromes eliminiert wird, dies durch Begrenzen (clamping) der Ausgangsspannung des Operationsverstärkers während der Wartezeit auf die elektrische Entladung.

Erfindungsgemäss erfolgt die Lösung dieser Aufgabe durch die im Anspruch 1 aufgeführten Merkmale.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

In einer Speiseeinheit in einem Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der vorliegenden Erfindung wird der Ausgang durch eine Vielzahl von Widerständen und Dioden auf einen Zustand begrenzt, bei dem die Ausgangsspannung höher als eine Speisespannung ist (der Ausgangsbegrenzungspegel wird durch einen Widerstand eingestellt). Deshalb wird während der Wartezeit, wenn in einem Operationsverstärker eine invertierte Verstärkung (Rückkopplung) über einen Widerstand vorgenommen wird, durch die Dioden ein konstanter Rückkopplungszustand aufrechterhalten.

Ebenso kann in einer Speiseeinheit in einem Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der vorliegenden Erfindung der Operationsverstärker auf ein Arbeitsgebiet durch Umschalten einer Begrenzungsspannung auf vielfache Arten mit Verwendung einer Vielzahl von Widerständen eingestellt werden, und zusätzlich verändert sich eine Gate-Spannung am FET rascher, sodass eine Stromkurvenform mit geringerem Überschwingen erreicht werden kann.

In einer Speiseeinheit in einem Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der vorliegenden Erfindung wird der Begrenzungspegel ausgelegt als der Stromkurvenform entsprechendes Begrenzungsmuster, sodass ein Überschwingen selbst bei einer komplizierten Kurvenform selten auftritt. D.h.: der Ausgang des Strom-Vorgabeabschnitts wird in zwei Abschnitte aufgeteilt und an einen Operationsverstärker, welcher den FET ansteuert sowie an einen zweiten Operationsverstärker ausgegeben. Ein vorspezifiziertes Begrenzungsmuster wird erzeugt durch ein vorheriges Einstellen einer Verstärkung mit nega-

tiver Rückführung im zweiten Operationsverstärker auf einen geringfügig höheren Wert als die Verstärkung des ersten Operationsverstärkers. Dieses Begrenzungsmuster wird gemäss einem Stromvorgabewert derart gebildet, dass das Begrenzungsmuster leicht auf eine Änderung eines Stromspitzenwertes reagieren kann, und auch die Gate-Spannung des FET kann auf einem geeigneten Zustand aufrechterhalten werden, selbst wenn ein Vorgabewert für eine Stromkurvenform mit einer komplizierten, nicht rechteckförmigen Form ausgegeben wird, wobei als Folge davon eine extrem genaue Stromkurvenform erreicht werden kann.

In einer Speiseeinheit in einem Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der vorliegenden Erfindung wird während der Wartezeit bevor eine elektrische Entladung erzeugt wird, eine Sättigung des Operationsverstärkers und des FET durch Auftrennung der Strom-Rückkopplungsschleife unterdrückt. D.h.: es wird ein Schalter zum EIN/AUS-Schalten eines Stromdetektionssignals aus einem Stromdetektor vorgesehen, und der Schalter schaltet das Rückkopplungssignal gemäss einer Vorgabe der Detektionsschaltung für elektrische Entladungen EIN/AUS.

In einer Speiseeinheit in einem Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der vorliegenden Erfindung wird ein während der Wartezeit eingestellter Begrenzungspegel freigegeben, wenn die elektrische Entladung begonnen wird, und die Begrenzung wird gemäss einem Ausgang einer Detektionsschaltung für elektrische Entladungen EIN/AUS-geschaltet. Unmittelbar nachdem die elektrische Entladung beginnt, kann ein Ausgangssignal aus dem Stromdetektor erhalten werden, sodass eine Ausgangs-Stromkurvenform wie vorgegeben erreicht werden kann. D.h.: der Begrenzungspegel während der Wartezeit auf die elektrische Entladung wird gemäss einem Stromvorgabewert eingestellt, und die Begrenzung wird freigegeben gemäss einem Signal vom Detektor für elektrische Entladungen, nachdem die elektrische Entladung beginnt.

In einer Speiseeinheit in einem Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der vorliegenden Erfindung erhöht sich, falls eine nichtinvertierende Verstärkerschaltung als Operationsverstärker verwendet wird, der Ausgangsspannungspegel während der Wartezeit selbst wenn ein Stromvorgabewert grösser wird, sodass ein nahe bei der optimalen Begrenzungsspannung liegender Zustand beibehalten werden kann.

Weitere Ziele und Eigenschaften dieser Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung mit Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen verständlich werden.

Die Fig. 1 ist eine erläuternde Ansicht, welche die Konfiguration einer Speiseeinheit für eine Elektroerosionsmaschine gemäss der in diesem Dokument beschriebenen Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zeigt;

die Fig. 2 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für eine Elektroerosionsmaschine gemäss der Ausführungsform 1;

die Fig. 3 ist eine erläuternde Ansicht, welche die Konfiguration einer Speiseeinheit für eine Elektroerosionsmaschine gemäss der Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung zeigt;

die Fig. 4A–4C sind erläuternde Ansichten für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der Ausführungsform 2;

die Fig. 5 ist eine Grafik, welche die Charakteristik Gate-Spannung/Drain-Strom zeigt;

die Fig. 6 ist eine erläuternde Ansicht, welche die Konfiguration einer Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung zeigt;

die Fig. 7 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der Ausführungsform 3;

die Fig. 8 ist eine erläuternde Ansicht, welche die Konfiguration einer Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der Ausführungsform 4 der vorliegenden Erfindung zeigt;

die Fig. 9 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der Ausführungsform 4;

die Fig. 10 ist eine erläuternde Ansicht, welche die Konfiguration einer Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der Ausführungsform 5 der vorliegenden Erfindung zeigt;

die Fig. 11 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der Ausführungsform 5;

die Fig. 12 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der Ausführungsform 5;

die Fig. 13 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung;

die Fig. 14 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung;

die Fig. 15 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung;

die Fig. 16 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung;

die Fig. 17 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung;

die Fig. 18 ist eine erläuternde Ansicht, welche die Konfiguration einer Speiseeinheit für einen konventionellen Apparat für elektroerosive Bearbeitung zeigt;

die Fig. 19 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise der konventionellen Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung; und

die Fig. 20 ist eine erläuternde Ansicht für eine Erklärung der Betriebsweise des konventionellen Speiseeinheit-Typs für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung.

Es wird hiernach eine detaillierte Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen einer Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss der vorliegenden Erfindung gegeben.

Zuerst wird eine Beschreibung für die Ausführungsform 1 geliefert. Die Fig. 1 zeigt die Konfiguration einer gemäss Ausführungsform 1 gebauten Speiseeinheit, und die Fig. 2 illustriert deren Betrieb. In Fig. 1 enthält eine Bearbeitungsschaltung eine Gleichstrom-Speiseeinheit 100, einen Stromdetektor 102, einen FET-Halbleiter-Verstärker 101 (nachstehend nur noch FET genannt), eine Bearbeitungselektrode 104, einen Bearbeitungsluftspalt 105a, und ein Werkstück 106, welche untereinander in Serie geschaltet werden.

Ein Leistungstransistor, ein Leistungs-MOSFET oder dergleichen kann als FET 101 verwendet werden. Diese Ausführungsform wird unter der Annahme eines Leistungs-MOSFET des P-Kanal-Typs beschrieben, der Betrieb ist jedoch im Wesentlichen der gleiche, wenn ein Leistungshalbleiterelement des N-Kanal-Typs oder eines anderen Typs verwendet wird.

Es wird eine Vorgabekurvenform gemäss einem vom Strom-Vorgabeabschnitt 114 erhaltenen Stromvorgabesignal 115 ausgegeben, zum Beispiel wie in Fig. 2 bei 115 gezeigt, um einen Ausgangsstrom mit einer rechteckigen Kurvenform zu erhalten. Wenn ein Vorgabe-Stromspitzenwert 1 für ein Stromvorgabesignal 115 eingestellt wird, so wird ein FET-Gate-Ansteuersignal 200 wie bei 2 gezeigt ausgesteuert, und eine Bearbeitungsluftspalt-Spannung 105 wird an einen Bearbeitungsluftspalt 105a angelegt, wie bei 3 gezeigt wird. Dann steigt, nach der Wartezeit, bis eine elektrische Entladung und die elektroerosive Bearbeitung beginnen, der Strom im Bearbeitungsluftspalt 105a, d.h. ein Ausgangsstrom 132, an, wie bei 4 gezeigt wird.

Bei der Ausführungsform 1 wird, wie in Fig. 1 gezeigt, der Ausgang 204 des Operationsverstärkers, welcher den Gate-Anschluss des FET 101 über einen Widerstand 118 ansteuert, durch Widerstände 205, 206, 207 sowie durch eine Spannungsquelle 208 angehoben, und ausserdem wird eine Diode 209 zwischen einen Eingangsanschluss 203 des Operationsverstärkers 117 und den Widerständen 205, 206 eingefügt.

Die Richtung, in welcher die Diode 209 eingebaut wird, variiert gemäss dem verwendeten FET-Typ, d.h. je nachdem, ob der FET vom P-Typ oder N-Typ ist, oder gemäss der Konfiguration des Operationsverstärkers. Bei dieser Ausführungsform, bei der ein FET des P-Typs direkt durch den Operationsverstärker 117 angesteuert wird, wird die Diode 209 vom Eingangsanschluss zum Ausgangsanschluss, wie in der Figur gezeigt, geschaltet. Es sollte beachtet werden, dass das Bezugszeichen 201 einen Subtrahierer zur Berechnung der Differenz zwischen dem Stromvorgabesignal 115 aus dem Strom-Vorgabeabschnitt 114 und dem Detektionssignal 116 aus dem Stromdetektor 102 bezeichnet.

Während der Wartezeit wird der Ausgangsstrom 132 auf Null (0) gehalten, wie in Fig. 2 bei 5 gezeigt wird, sodass ein positives Signal an den Eingangsanschluss 203 des Operationsverstärkers 117 gelegt wird. Die Verstärkung des Operationsverstärkers 117 wird auf einen relativ hohen Wert eingestellt, der Ausgangspegel geht aber nicht hinauf bzw. unterhalb die Spannung der ansteuernden Speisung. In Fig. 1, in welcher der Operationsverstärker 117 als invertierender Verstärker geschaltet wird, geht der Ausgangspegel in die Nähe der Spannung der Rückkopplungsspeisung, und das FET-Gate-Ansteuersignal 200 für den P-Kanal-FET wird EIN-geschaltet.

Bei dieser Ausführungsform wird jedoch infolge der Anwesenheit der drei Widerstände 205, 206, 207 und der Diode 209 die Ausgangsspannung auf einen bei 7 gezeigten Wert begrenzt, welcher höher als die negative Speisespannung liegt, und sie geht nicht unter jenen Pegel (vgl. Fig. 2). Dieser Ausgangs-Begrenzungspegel wird mit den Widerständen 205, 206, 207 eingestellt. Angenommen, dass die Speisespannung für den Operationsverstärker 117 in einem Bereich von ±15 V liegt, kann die Begrenzung zum Beispiel bei −10 V ausgeübt werden. Deshalb wird während der Wartezeit auf die elektrische Entladung die invertierende Verstärkung (Rückkopplung) über den Widerstand 202 im Operationsverstärker 117 durch die Diode 209 beibehalten.

Im Allgemeinen wird, wie oben erwähnt, falls der Operationsverstärker 117 die Rückkopplung nicht aufrechterhalten kann und sich der Ausgang im gesättigten Zustand befindet, eine lange Zeitdauer benötigt, um aus dem gesättigten Zustand in den ungesättigten Zustand überzugehen, d.h. in den aktiven Zustand, welcher der normale Zustand für den Betrieb darstellt. Im Gegensatz dazu wird bei dieser Ausführungsform, da der Ausgang des Operationsverstärkers im ungesättigten Zustand aufrechterhalten wird, eine elektrische Entladung erzeugt, und in Verbindung mit dem Anstieg des Stromes der elektrischen Entladung, d.h. des Strom-Rückkopplungssignals (Ausgangsstromes) 132 aus dem Stromdetektor 102 (vgl. Fig. 2) ändert sich der Ausgang des Operationsverstärkers 117, d.h. des FET-Ansteuersignals 200, rasch.

Aus diesem Grund ist die Anstiegsrate der im Bearbeitungsluftspalt 105a erhaltenen Stromkurvenform (Ausgangsstrom) 132 extrem hoch und mit einem niedrigen Überschwingungsanteil, und da eine dem Stromvorgabesignal 115 aus dem Strom-Vorgabeabschnitt 114 sehr nahe kommende Kurvenform erreicht werden kann, können ein stabiler Bearbeitungszustand erzielt und Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung ausgeführt werden.

Es sollte beachtet werden, dass für den Fall dieses Betriebes der Pegel des FET-Gate-Ansteuersignals 200, welches einen Spitzenwert 1 des Stromvorgabewertes 115 erzielen kann, den Wert wie bei 8 in der Figur angegeben annimmt, dass falls der Begrenzungspegel sich erniedrigt, zum Beispiel wie bei 9 in der Figur gezeigt wird, lediglich ein Ausgangsstrom-Spitzenwert, der niedriger als das Stromvorgabesignal 115 ist, erreicht werden kann, und dass der Pegel wie bei 10 in der Figur angegeben sein wird, sodass der Begrenzungspegel nicht auf einen extrem tiefen Wert eingestellt werden kann.

Als Nächstes wird eine Beschreibung der Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung gegeben, mit Bezugnahme auf die Fig. 3 und die Fig. 4A–4C. Im Allgemeinen wird der Stromspitzenwert bei der

elektroerosiven Bearbeitung, d.h. der Spitzenwert des Stromvorgabesignals 115 aus dem Strom-Vorgabeabschnitt 114, gemäss den Bearbeitungsbedingungen auf verschiedene Pegel eingestellt. Wenn der oben erwähnte Begrenzungspegel auf einen Pegel eingestellt wird, bei dem ein Ausgang des Operationsverstärkers 117 nicht in Sättigung liegt, kann die Anstiegsgeschwindigkeit des Bearbeitungsstromes erhöht werden, aber wenn ein Sollpegel für das FET-Gate-Ansteuersignal (V_G) 200 wesentlich vom Begrenzungspegel verschieden ist, selbst wenn sich der Operationsverstärker 117 während der Wartezeit auf eine elektrische Entladung im Arbeitsgebiet befindet, tritt manchmal ein Überschwingen auf, bis sich das Gate-Signal auf einem konstanten Pegel stabilisiert, sodass es als Überschwingen einer Stromkurvenform aussieht. Ein solches Auftreten wird zum Beispiel in Fig. 4A bei 11 gezeigt.

Die Änderungsrate des Gate-Signals kann verkleinert werden durch Einstellen des Begrenzungspegels auf einen nahe beim Sollwert des Gate-Signals liegenden Wert, und als Folge davon kann das Überschwingen verkleinert werden. Die Fig. 4A, 4B und 4C zeigen jeweils den oben erwähnten Zustand, und der Begrenzungspegel in Fig. 4B liegt näher bei einem Sollwert des Gate-Signals als derjenige in Fig. 4A, und derjenige in Fig. 4C liegt näher als derjenige in Fig. 4B.

Deshalb kann, wenn der Operationsverstärker 117 und das FET-Gate-Ansteuersignal 200 auf einen näher bei einem Signalpegel, der einem Stromspitzenwert entspricht, liegenden Wert eingestellt werden, das Ausmass des Überschwingens während der ansteigenden Periode verkleinert werden, sodass eine näher beim Stromvorgabesignal 115 liegende Ausgangsstrom-Kurvenform erreicht werden kann. Als Folge davon kann beim Bearbeiten eine gleichmässige Oberfläche hergestellt werden, selbst wenn mit hoher Geschwindigkeit bearbeitet wird.

Die Fig. 3 zeigt ein Beispiel, in welchem diese Funktionen realisiert werden. Bei diesem Beispiel wird der Begrenzungspegel durch Umschalten einer Vielzahl von Widerständen, wie der Widerstände 18a, 18b und 18c, verändert, dies gemäss einer Stromvorgabe 17 aus dem Strom-Vorgabeabschnitt 114. Das Bezugszeichen 19 bezeichnet einen Schalter zum Umschalten des Widerstandes 18 gemäss einer Vorgabe 17 aus dem Strom-Vorgabeabschnitt 114.

Der FET in dieser Ausführungsform kann zum Beispiel vom Typ 2SJ48 sein. Bei diesem FET ist die Linearität des Drain-Stromes in Funktion der Gate-Spannung hoch, und dieser FET ist für eine ununterbrochene Steuerung eines Stromwertes geeignet. Die Beziehung zwischen der Gate-Spannung und dem Drain-Strom ist im Allgemeinen wie in Fig. 5 gezeigt. Aus der Fig. 5 ist zu ersehen, dass, falls ein Strom von 0,8 Ampère als Soll-Bearbeitungsstrom eingestellt wird, d.h. als den Drain-Strom, die Gate-Spannung wegen der Strom-Rückkopplungssteuerung am Ende auf –1,75 V konvergieren und der Spitzenstrom von 0,8 Ampère aufrechterhalten wird.

Aus diesem Grund ändert sich, falls ein Begrenzungsspannungspegel auf einen extrem nahe bei –1,75 V liegenden Wert eingestellt wird, nämlich –1,8 V oder Vg_1 (34), die Gate-Spannung nur wenig, sodass das Ausmass des Stromüberschwingens auf einen extrem niedrigen Wert reduziert wird, wie in Fig. 4C gezeigt wird. Falls die Begrenzungsspannung auf zum Beispiel –1,6 V fällt, kann natürlich ein gewünschter Stromspitzenwert nicht erzielt werden, und selbst wenn die Begrenzungsspannung gerade –1,75 V beträgt, wird der steuerbare Bereich sehr eng, sodass eine Rückkopplungssteuerung, welche verschiedene Typen von externen Störungen absorbiert, nicht eingerichtet werden kann. Es ist demgemäss notwendig, auf einen negativen Spannungspegel zu begrenzen, der etwas höher als der Endwert der Gate-Spannung ist, und die Begrenzungsspannung muss auf einen Wert eingestellt werden, der geringfügig höher als der gewünschte Spannungswert, d.h. der Endwert der Gate-Spannung, ist.

Bei dieser Ausführungsform wird die Begrenzungsspannung unter Verwendung von drei Widerständen 18a, 18b und 18c dreifach umgeschaltet und wird der Begrenzungsspannungspegel auf zum Beispiel Vg_1 (34), Vg_2 (35) und Vg_3 (36) eingestellt, wie in Fig. 5 gezeigt wird. D.h.: falls es erwünscht ist, I_2 (ca. 0,55 A; 38) aus dem Ausgangsstrom I_3 (ca. 0,2 A; 39) zu erhalten, wird die Begrenzungsspannung Vg_3 (36) verwendet, falls es erwünscht ist, I_1 (ca. 0,85 A; 37) aus I_2 (ca. 0,55 A; 38) zu erhalten, wird die Begrenzungsspannung Vg_2 (35) verwendet, und falls es erwünscht ist, I_1 (ca. 0,85 A; 37) oder mehr zu erhalten, so wird die Begrenzungsspannung Vg_1 (34) verwendet.

Bei der oben beschriebenen Konfiguration ist es möglich, während der Wartezeit den Operationsverstärker 117 in einem Arbeitsgebiet einzustellen, und ausserdem verändert sich die Gate-Spannung am FET 101 rascher, sodass eine Stromkurvenform mit einem niedrigen Ausmass an Überschwingen erreicht werden kann.

Als Nächstes wird eine Beschreibung der Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung gegeben. Die Fig. 6 bzw. die Fig. 7 zeigen ein Schaltschema einer Ausführungsform gemäss Ausführungsform 3 bzw. ein Kurvenform-Diagramm, welches Signale aus der Schaltung darstellt. Eine Kurvenform des während der elektroerosiven Bearbeitung verwendeten Stromes ist nicht immer rechteckförmig, und wie in Fig. 7 durch eine Linie 132 gezeigt wird, kann eine zweistufige, ansteigende Kurvenform verwendet werden. Im Fall dieser Kurvenform steigt der Strom rasch auf 22 und steigt dann langsamer an, bis er den Stromspitzenwert 23 erreicht. Wird diese Kurvenform verwendet, so wird der Elektrodenverbrauch sehr klein.

Um diese Kurvenform durch eine Schaltung gemäss der vorliegenden Erfindung zu erzielen, würde es, falls eine beliebige der oben beschriebenen Methoden angewendet wird, unmöglich sein, den Begrenzungswert 25 auf einen kleineren Wert als den Stromspitzenwert einzustellen, sodass, wenn der Strom im ersten Zustand auf einen Anstiegspunkt 22 ansteigt, der Begrenzungspegel 25 stark verschieden vom Soll-Stromwert 21 ist und das Überschwingen im Allgemeinen sehr gross ist, wie in Fig. 7 bei 27 gezeigt wird.

Bei dieser Ausführungsform wird das Überschwingen, selbst für Fälle mit komplexen Kurvenformen,

durch Einstellen eines Begrenzungspegels als Begrenzungsmuster, das einer Stromkurvenform entspricht, reduziert.

Die Fig. 6 zeigt ein Beispiel der Schaltung. Ein Ausgang 115 aus dem Strom-Vorgabeabschnitt 114 wird in zwei Teile unterteilt, welche an den Operationsverstärker 117, der den FET 101 ansteuert, sowie an einen zweiten Operationsverstärker 210 ausgegeben werden. Eine Verstärkung mit negativer Rückführung am zweiten Operationsverstärker 210 wird auf einen Wert eingestellt, welcher geringfügig höher als die Verstärkung des ersten Operations-Verstärkers 117 ist, sodass das Begrenzungsmuster wie in Fig. 7 bei 26 gezeigt erzeugt wird. Dieses Begrenzungsmuster wird gemäss dem Stromvorgabesignal 115 vorbereitet, sodass auf Änderungen des Stromspitzenwertes reagiert werden kann. Zusätzlich kann die Gate-Spannung des FET 101 auf einem geeigneten Wert aufrechterhalten werden, selbst bezüglich eines Vorgabewertes für eine Stromkurvenform mit einer komplizierten, nicht rechteckigen Form, sodass eine extrem genaue Stromkurvenform erreicht werden kann und die Bearbeitungsleistung verbessert werden kann.

Es sollte beachtet werden, dass die Verstärkung der zweiten Operationsverstärkerschaltung 210 vorzugsweise auf etwa den 1,1fachen Wert derjenigen der ersten Operationsverstärkerschaltung eingestellt wird. D.h.: das FET-Gate-Ansteuersignal während der Wartezeit sollte vorzugsweise auf einen 10% höheren Wert als der durch den Stromvorgabewert vorgegebene eingestellt werden. Der Prozentsatz ändert jedoch in Abhängigkeit des FET-Typs oder der Betriebsgeschwindigkeit eines Operationsverstärkers – zum Beispiel – oder dergleichen, sodass er auf einen dem vorliegenden Fall entsprechenden, geeigneten Pegel bemessen und eingestellt werden sollte.

Als Nächstes wird eine Beschreibung der Ausführungsform 4 der vorliegenden Erfindung gegeben. Die Fig. 8 bzw. die Fig. 9 zeigen ein Schaltschema der Ausführungsform gemäss Ausführungsform 4 bzw. Kurvenformen bestimmter Signale daraus. In einer Speiseeinheit für einen Apparat für elektroerosive Bearbeitung gemäss jeder der oben beschriebenen Ausführungsformen wird ein Halbleiterverstärker, d.h. ein Leistungs-MOSFET oder dergleichen, in einem Arbeitsgebiet angesteuert und wird als variabler Widerstand verwendet. Durch Ansteuerung des FET 101 gemäss einem Detektionssignal aus dem Stromdetektor 102 wird eine Rückführungssteuerung (Regelkreis) hinsichtlich der Strom-Ausgangskurvenform ausgeübt, um die Genauigkeit der Stromkurvenform sowie die Anstiegsgeschwindigkeit zu verbessern. Während der Wartezeit ab Anlegen einer Spannung an einen Bearbeitungsluftspalt 105a bis effektiv eine elektrische Entladung erzeugt wird, wird jedoch keine Strom-Rückführungssteuerung vorgenommen, was für das Erwirken eines normalen, verzugsfreien Betriebes einer Schaltung nachteilig ist.

Aus diesem Grund wird bei der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform 4 während der Wartezeit bis zur Erzeugung einer elektrischen Entladung durch ein Abtrennen der Strom-Rückführungssteuerungs-Schleife verhindert, dass der Operationsverstärker 117 und der FET 101 in Sättigung gelangen. In dieser Figur wird ein Schalter 27 zum EIN/AUS-Schalten eines Stromdetektionssignals 116 aus dem Stromdetektor 102, d.h. der Strom-Rückkopplungsschleife, daran angeschlossen. Dieser Schalter 27 ist derart konstruiert und angeordnet, dass ein Rückkopplungssignal gemäss einer Vorgabe 33 aus einer separat vorgesehenen Detektionsschaltung 29 für elektrische Entladungen geschaltet wird.

Während der Wartezeit auf eine elektrische Entladung wird ein Wartesignalpegel 28 für elektrische Entladungen, welcher durch den Strom-Vorgabeabschnitt 114 getrennt von der Stromvorgabewert-Kurvenform ausgegeben wird, der Rückkopplungsschleife zugeführt, und es wird eine Differenz zwischen dem Wartesignalpegel 28 für elektrische Entladungen und dem Stromvorgabesignal 115 für elektrische Entladungen via den Subtrahierer 201 in den Operationsverstärker 117 eingegeben. Es wird eine negative Rückführung an den Operationsverstärker 117 gelegt, sodass dessen Ausgangssignal auf einem Pegel liegt, welcher durch Multiplizieren des Einganges mit einer bestimmten Verstärkung erhalten wird.

D.h.: das bei diesem Schritt erhaltene FET-Gate-Ansteuersignal 200 liegt auf einem Pegel 30, wie in Fig. 9 gezeigt wird. Was in Fig. 9 charakteristisch ist, besteht darin, dass es möglich wird, das Gate-Signal während der Wartezeit auf einen Wert zu justieren, welcher kleiner als derjenige ist, der dem Stromvorgabesignal 115 entspricht, dies durch Einstellen des Wartesignalpegels für elektrische Entladungen auf einen geeigneten Wert. D.h.: es wird möglich zu bewirken, dass der als variabler Widerstand wirkende FET 101 in einem Zustand mit hohem Widerstand wartet. Aus diesem Grund kann ein Überschwingen bei 31, gerade wenn eine elektrische Entladung beginnt, auf einen extrem kleinen Wert reduziert werden.

Als Nächstes wird eine Beschreibung der Ausführungsform 5 der vorliegenden Erfindung gegeben. Die Fig. 10 bzw. die Fig. 11 zeigen ein Schaltschema der Ausführungsform 5 bzw. Kurvenformen bestimmter Signale daraus. Bei dieser Ausführungsform kann der Begrenzungspegel vor und nach einer elektrischen Entladung eingestellt oder freigegeben werden. Ein Beispiel, bei welchem eine komplizierte Kurvenform durch Wechsel von einem Begrenzungspegel auf ein Begrenzungsmuster ausgegeben werden kann, wurde oben beschrieben, aber in diesem Fall nimmt die Anzahl der für den Betrieb erforderlichen Operationsverstärker zu und die Apparatkosten werden unvorteilhaft teuer.

Bei dieser Ausführungsform wird die Begrenzung durch den Schalter 32 gemäss einem Ausgang 33 von der Detektionsschaltung 29 für elektrische Entladungen EIN oder AUS-geschaltet, dies durch Freigeben des während der Wartezeit eingestellten Begrenzungspegels, wenn die elektrische Entladung begonnen wird. Ab Beginn der elektrischen Entladung kann ein Ausgang vom Stromdetektor 102 erhalten werden und wird die Strom-Rückkopplungsschleife 116 in Betrieb genommen, sodass eine Ausgangsstromkurvenform gemäss dem Vorgabewert erreicht werden kann, selbst wenn keine Begrenzung ausgeübt wird. D.h.: der Begrenzungspegel während der Wartezeit wird auf einen einem Stromvorgabewert entsprechenden Wert eingestellt, und ab Beginn

der elektrischen Entladung wird die Begrenzung gemäss einem Signal aus dem Detektor 29 für elektrische Entladungen freigegeben.

Die Fig. 12 zeigt die Betriebsweise. Während der Wartezeit auf eine elektrische Entladung, gezeigt bei 3, wird einer der den Stromspitzenwerten entsprechenden Begrenzungspegel 32a, 32b, 32c gemäss dem Detektionssignal 33 aus der Detektionsschaltung 29 für elektrische Entladungen gewählt. Falls eine Auswahl von drei oder mehr Schaltkreisen vorhanden ist, so kann ein weiterer geeigneter Begrenzungspegel eingestellt werden. Falls eine Begrenzungsspannung mit einem bei 32a gezeigten und einem bestimmten Stromspitzenwert entsprechenden Pegel gewählt wird, so wird die Gate-Spannung 204 des FET 101 während der Wartezeit auf einen niedrigen Begrenzungspegel eingestellt, wie bei 7a, während der Wartezeit, gezeigt wird.

Wenn die elektrische Entladung begonnen wird und der Detektor für elektrische Entladungen das Detektionssignal 33a für elektrische Entladungen ausgibt, wird der Schalter 32, welcher die Begrenzungsspannung 32a erzeugt hat, AUS-geschaltet und die Begrenzung wird auf die auf den Wert 32d justierte Spannung freigegeben. Dann hat, nachdem eine Strom-Rückkopplungsschleife gebildet worden ist, auch die Gate-Spannung 204 am FET 101 den Pegel erreicht, bei dem der gewünschte Strom geliefert wird. Die erzielte Stromkurvenform (Ausgangsstrom) 132a enthält demgemäss kein Überschwingen.

Bei der oben erwähnten Ausführungsform 5 wird eine Begrenzungsspannung gleichzeitig mit dem Beginn einer elektrischen Entladung freigegeben, sodass ein Begrenzungspegel während der Wartezeit auf eine elektrische Entladung bis auf einen extrem tiefen Wert fallen kann. Eine derartige Erscheinung, dass infolge des Begrenzungs-Exzesszustandes nur ein kleinerer Ausgangsstrom erzielt werden kann als derjenige, der einem Stromvorgabewert entspricht, tritt nie auf, und es ist ganz einfach, einen Begrenzungspegel einzustellen. Zusätzlich kann, da eine ausreichend kleine Begrenzungsspannung zugeführt werden kann, auch das Überschwingen eines Stromes auf einen extrem niedrigen Wert reduziert werden. D.h., dass bei dieser Ausführungsform die Schaltungskonfiguration vereinfacht werden kann, die Begrenzungsspannung auf einen extrem niedrigen Pegel eingestellt werden kann und ein Überschwingen des Stromes auf einen sehr niedrigen Wert reduziert werden kann.

Als Nächstes wird eine Beschreibung der Ausführungsform 6 gegeben. Die Fig. 13 zeigt die Ausführungsform 6 der vorliegenden Erfindung. In jeder der oben beschriebenen Ausführungsformen wird der Operationsverstärker als invertierender Verstärker implementiert, die gleiche Wirkung kann aber selbst dann erzielt werden, falls der Operationsverstärker ein nichtinvertierender Verstärker ist.

In Fig. 13 werden zwei Stufen mit Operationsverstärkern 121 und 117 verwendet, wird die Differenz zwischen der Stromvorgabe 115 und dem effektiven Stromwert 116 in der ersten Stufe mit dem Operationsverstärker 121 bestimmt und wird eine Diode 209 zum Begrenzen des Ausgangs an der zweiten Stufe mit dem Operationsverstärker 117 angeschlossen. Der Operationsverstärker 117 in der zweiten Stufe ist ein nichtinvertierender Verstärker, und die Diode 209 ist in der Rückkopplungsschleife enthalten. Wenn der Ausgang 204 gross ist (in negativer Polarität gross), wird die Diode 209 EIN-geschaltet und es wird ein negativer Widerstandswert durch die dann zueinander parallelgeschalteten Widerstände 202 und 205 erzeugt, sodass ein Vorgang des Absenkens der Rückkopplungsverstärkung ausgeübt wird.

Da der Operationsverstärker 117 vom nichtinvertierenden Typ ist, wird seine Verstärkung im Allgemeinen nicht kleiner als eins, sodass der Ausgang 204 nie kleiner als der Eingang 47 wird. Mit anderen Worten: falls die Verstärkungs-Widerstände 40a, 40b, 41 für den Erststufen-Operationsverstärker 121 derart eingestellt werden, dass der Eingang 47 nahezu gleich dem FET-Gate-Ansteuersignal (Spannung) 200 oder 204 wird, um entsprechende gewünschte Stromwerte zu erzielen, so wird die Gate-Spannung während der Wartezeit auf eine elektrische Entladung nahe bei einer Soll-Gate-Spannung zu liegen kommen, weil die Verstärkung durch die Diode 209 beschränkt wird. Wenn eine elektrische Entladung beginnt, kann ein Strom-Rückkopplungssignal von 116 erhalten werden, sodass die Ausgangsgrösse des Erststufen-Operationsverstärkers 121 kleiner als diejenige während der Wartezeit auf eine elektrische Entladung wird.

Diese Betriebsweise wird in Fig. 14 bis Fig. 17 illustriert. Die Fig. 14 und Fig. 15 zeigen einen Fall, in welchem ein invertierender Verstärker verwendet wird, und sie zeigen Betriebsweisen der in Fig. 1 gezeigten Schaltung. Die Fig. 16 und Fig. 17 zeigen einen Fall, in welchem jeweils ein nichtinvertierender Verstärker verwendet wird, und sie zeigen Betriebsweisen der in Fig. 13 gezeigten Schaltung. In dieser Figur werden Betriebsweisen des Operationsverstärkers als proportionale Betriebsweisen gezeigt. Die Fig. 14 zeigt Eingang/Ausgang zum und vom Operationsverstärker 117, während die Fig. 15 eine Gate-Spannung am FET 101 in Funktion des Stromvorgabewertes 115 zeigt.

Als Nächstes wird eine Beschreibung der Fig. 14 gegeben. Die horizontale Achse entspricht einer Verstärkung eines invertierenden Verstärkers, für welche Werte von –a und +b durch Widerstandswerte von extern angeschlossenen Widerständen eingestellt werden, und es wird eine proportionale Verstärkung als invertierender Verstärker eingestellt.

In diesem Fall wird ein Zustand gezeigt, bei dem die proportionale Verstärkung –b/a beträgt. Unter der Annahme, dass während der Wartezeit ein mit 221a angegebener Pegel an den Eingangsanschluss 203 des invertierenden Verstärkers in Fig. 1 gelegt wird, würde ohne die Wirkung der Begrenzung der Ausgangswert 222a erhalten. Das heisst: es wird lediglich der mit 223a angegebene Ausgangswert erhalten, da der Begrenzungspegel auf $-\alpha$ eingestellt worden ist. Falls am Eingangsanschluss 203 ein Eingang mit einem Pegel 221b anliegt, wird der Ausgangswert auf ähnliche Weise begrenzt und es wird der Ausgangswert 223b erhalten, was anzeigt, dass der Pegel der gleiche wie bei 223a ist, und der Ausgang wird immer auf einen konstanten Pegel begrenzt.

Alsdann wird, wenn eine elektrische Entladung erzeugt wird, die Strom-Rückkopplungsschleife wiederhergestellt ist und der Signalpegel an einem Eingangsanschluss des Operationsverstärkers auf einen niedrigen Wert fällt, wie derjenige bei 221c, der Ausgangspegel unterhalb des Begrenzungspegels zu liegen kommen, sodass keine Begrenzung wirksam wird und der normale Ausgangswert 223c erhalten wird. Demgemäss wird bei Verwendung eines invertierenden Verstärkers während der Wartezeit eine Ausgangsspannung mit einem konstanten Wert erhalten, dies unabhängig von einem Stromvorgabewert (unter der Bedingung, dass Betriebsweisen, wie sie in den Ausführungsformen 2 bis 5 beschrieben werden, nicht unter Verwendung einer externen Konstanten oder einer externen Schaltung ausgeführt werden).

Die Fig. 15 illustriert den oben erwähnten Fall unter Verwendung einer Gate-Spannung in Funktion eines Stromvorgabewertes. Während der elektrischen Entladung, wenn der Ausgangswert unterhalb des Begrenzungsspannungspegels liegt, wird ein FET-Gate-Ansteuersignal (Spannung) 200 des linearen Typs für das Stromvorgabesignal 115 erhalten.

Während der Wartezeit wird unabhängig vom Stromvorgabewert eine fast konstante Ausgangsspannung von $-\alpha$ erhalten. Es sollte beachtet werden, dass die Begrenzungsspannung durch Änderung der externen Schaltung auf einen geeigneten Pegel justiert werden muss, um eine geeignete Begrenzungsspannung von zum Beispiel $-\alpha_1$ oder $-\alpha_2$ zu erhalten, wie in Verbindung mit den oben erwähnten Ausführungsformen beschrieben wurde.

Die Betriebsweisen einer nichtinvertierenden Schaltung werden in den Fig. 16 und Fig. 17 gezeigt. Für den Fall eines nichtinvertierenden Verstärkers wird, da eine Verstärkung von eins oder mehr erzielt werden kann, die Ausgangsspannung nie unterhalb die Eingangsspannung des nichtinvertierenden Verstärkers fallen, unabhängig vom eingestellten Wert für die Begrenzung in der Rückkopplungsschleife. In Fig. 16 ist die Verstärkung auf einen Faktor von b/a eingestellt. Die Eingangsspannung ist wie bei 230a, 230b, 230c gezeigt, und 231c gibt einen Ausgangsspannungspegel während der elektrischen Entladung an. Während der elektrischen Entladung wird eine Ausgangsspannung als Rückkopplung zurückgeführt, sodass der Eingangssignalpegel zum nichtinvertierenden Verstärker niedrig ist, wie in dieser Figur gezeigt wird.

Dann wird, da die Rückkopplungsdiode 209 im nichtinvertierenden Verstärker 117 AUS-geschaltet wurde, eine normale proportionale Verstärkung erzielt. Im Gegensatz dazu wird während der Wartezeit, da der Ausgangsstrom noch nicht als Rückkopplung zurückgeführt wird, der Eingangssignalpegel zum nichtinvertierenden Verstärker 117 gross, wie bei 230b und 230c gezeigt wird. Alsdann wird die Rückkopplungsdiode 209 elektrisch verbunden, und der Widerstand 205 wird parallel zum Widerstand 202 als Rückkopplungswiderstand in die Rückkopplungsschleife einbezogen, sodass die Verstärkung des nichtinvertierenden Verstärkers 117 abnimmt. Aus diesem Grund nimmt der Ausgang auf einen Pegel, wie bei 231a oder 231b gezeigt, ab.

Die Fig. 17 zeigt diese Betriebsweise mit der Beziehung zwischen einem Stromvorgabewert und einer Gate-Spannung. Wie in Fig. 17 deutlich gezeigt, wird, selbst wenn der Stromvorgabewert gross wird, der Ausgangsspannungspegel während der Wartezeit proportional grösser, sodass eine nahe bei der optimalen Begrenzungsspannung liegende Spannung aufrechterhalten werden kann.

Demgemäss wird es durch Verwendung einer Ausgangs-Begrenzungsschaltung, welche einen nichtinvertierenden Verstärker und eine Diode enthält, möglich, auf einfache und geeignete Weise eine Steuerschaltung zu bauen. In der oben stehenden Beschreibung wird angenommen, dass die Schaltungen sowohl für einen invertierenden als auch für einen nichtinvertierenden Verstärker lediglich Widerstände und eine Diode enthalten, aber es kann ein optimaleres Steuersystem durch Aufnahme einer Schaltung gebaut werden, deren Aufgabe es ist, bei einem niedrigen Signalpegel eine Verstärkungserhöhung zu bewirken oder eine Phasenkompensation über einen weiten Bereich zu bewirken.

Wie oben beschrieben, wird in einer Speiseeinheit für einen Erosionsapparat gemäss der vorliegenden Erfindung die Anstiegsgeschwindigkeit einer in einem Bearbeitungsluftspalt erzielten Stromkurvenform extrem hoch, mit einem geringen Ausmass an Überschwingen. Ebenso kann eine Kurvenform erzielt werden, die der durch einen Stromvorgabewert vorgegebenen extrem nahe kommt, sodass ein stabiler Bearbeitungszustand erreicht werden kann und eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit realisiert werden kann.

In einer Speiseeinheit für einen Erosionsapparat gemäss der vorliegenden Erfindung kann, je mehr das Gate-Ansteuersignal 200 für einen Operationsverstärker und den FET 101 während der Wartezeit dem Stromspitzenwert näher kommt, umso mehr das Überschwingen reduziert werden, sodass eine einem Stromvorgabewert näher kommende Ausgangsstromkurvenform erzielt werden kann und als Folge davon eine Oberfläche eines Werkstückes bei hoher Geschwindigkeit zu einer gleichmässigen Oberfläche bearbeitet werden kann.

In einer Speiseeinheit für einen Erosionsapparat gemäss der vorliegenden Erfindung wird eine Ausgangsgrösse aus einem Strom-Vorgabeabschnitt in zwei Teile unterteilt, welche an einen Operationsverstärker, welcher den FET 101 ansteuert, sowie an den zweiten Operationsverstärker ausgegeben werden. Durch Einstellung einer Verstärkung mit negativer Rückführung für den zweiten Operationsverstärker auf einen geringfügig höheren Wert als die Verstärkung für den ersten Operationsverstärker kann ein vorspezifiziertes Begrenzungsmuster erzeugt werden. Da das Begrenzungsmuster gemäss einem Stromvorgabewert eingestellt wird, kann es zur Veränderung eines Stromspitzenwertes modifiziert werden, und die Gate-Spannung am FET 101 kann auf dem optimalen Wert aufrechterhalten werden, selbst für den Fall eines Vorgabewertes für eine komplexe Kurvenform (nicht rechteckförmige Kurvenform), sodass eine extrem genaue Stromkurvenform erzeugt werden kann.

In einer Speiseeinheit für einen Erosionsapparat gemäss der vorliegenden Erfindung kann durch Ein-

stellen des Wartesignalpegels für elektrische Entladungen auf einen geeigneten Wert das Gate-Signal während der Wartezeit auf einen niedrigeren Pegel reduziert werden als derjenige, der dem Stromvorgabewert entspricht. D.h.: da es möglich ist, zu bewirken, dass der als variabler Widerstand funktionierende FET 101 in einem Zustand wartet, bei dem der Widerstandswert hoch ist, ist es möglich, das Überschwingen zu minimieren, welches gleichzeitig dann auftritt, wenn zur elektroerosiven Bearbeitung übergegangen wird.

In einer Speiseeinheit für einen Erosionsapparat gemäss der vorliegenden Erfindung tritt die Erscheinung nie auf, dass infolge Überbegrenzung nur ein kleinerer Ausgangsstrom erzielt werden kann als derjenige, der einem Stromvorgabewert entspricht, und es ist ganz einfach, den Begrenzungspegel einzustellen. Gleichzeitig kann, da es möglich ist, eine ausreichend kleine Begrenzungsspannung anzuwenden, ein Überschwingen des Stromes auf einen minimalen Wert reduziert werden.

In einer Speiseeinheit für einen Erosionsapparat gemäss der vorliegenden Erfindung wird, selbst wenn der Stromvorgabewert gross wird, der Ausgangsspannungspegel während der Wartezeit proportional grösser, kann eine der optimalen Begrenzungsspannung extrem nahe liegende Spannung aufrechterhalten werden, und ist es durch Verwendung einer Ausgangsbegrenzungsschaltung, welche einen nichtinvertierenden Verstärker und darin eine Diode verwendet, auch möglich, auf einfache und geeignete Weise eine Steuerschaltung zu bauen.

Demgemäss ist es mit der Speiseeinheit für einen Erosionsapparat gemäss der vorliegenden Erfindung möglich, auf einfache, genaue Weise und mit einer hohen Geschwindigkeit eine gewünschte Bearbeitungsstrom-Kurvenform zu erhalten, sodass die elektroerosive Bearbeitung stabilisiert werden kann, eine hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit realisiert werden kann und eine Bearbeitung mit vorzüglichen Elektrodenverbrauchs-Eigenschaften realisiert werden kann.

Patentansprüche

1. Speiseeinheit für einen Erosionsapparat, umfassend:
a) eine Entladeeinrichtung mit einer Gleichstrom-Speisequelle (100), einem Verstärker (101) und einem Stromdetektor (102), die zueinander in Reihe geschaltet sind;
b) einen Strom-Vorgabeabschnitt (114) zur Ausgabe eines Stromvorgabewertes (115), welcher einer Impulsform eines Entladestromimpulses entspricht; und
c) einen Operationsverstärker (117) zum Ansteuern des Verstärkers (101) durch Verstärken einer Differenz zwischen einem von dem Strom-Vorgabeabschnitt ausgegebenen Stromvorgabewert (115) und einem von dem Stromdetektor (102) erfassten Ausgangsstromwert (132); gekennzeichnet durch
d) eine Versorgungseinheit zur Anlegung einer Speisespannung an den Operationsverstärker (117); und
e) einen Begrenzungsabschnitt (209; 204 bis 208),
– der in Reihe zwischen einen Ausgangsanschluss (204) des Operationsverstärkers (117) und einer Spannungsquelle (208) geschaltet ist,
– zum Begrenzen der Ausgangsspannung (200) des Operationsverstärkers (117) auf einen Wert, der höher als die negative Speisespannung des Operationsverstärkers (117) ist, in einer Wartezeit (5), in der die Bearbeitungsspannung (105, 3) der Gleichstrom-Speisequelle (100) an einen Arbeitsspalt (105a) angelegt wird, nach Ausgabe des Stromvorgabewerts (115), bis eine Entladung im Arbeitsspalt (105a) stattfindet.

2. Speiseeinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Begrenzungsabschnitt ferner vorgesehen ist zum Begrenzen des vom Stromdetektor (102) erfassten Ausgangsstroms (132, 5) auf Null während dieser Wartezeit.

3. Speiseeinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Begrenzungsabschnitt enthält:
– mehrere Widerstände (205, 206, 207), die miteinander in Reihe zwischen einem Ausgangsanschluss (204) des Operationsverstärkers (117) und die Spannungsquelle (208) geschaltet sind; und
– eine Gleichrichtereinheit (209), die zwischen die Widerstände und einen Eingangsanschluss (201) des Operationsverstärkers (117) geschaltet ist.

4. Speiseeinheit nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schaltabschnitt (19) zum Schalten der Widerstände (205, 206, 207) entsprechend einer Ausgangsgrösse von dem Strom-Vorgabeabschnitt (114) vorgesehen ist.

5. Speiseeinheit nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der Widerstände ein variabler Widerstand zum Einstellen eines Widerstandswertes entsprechend einer Ausgangsgrösse vom Strom-Vorgabeabschnitt (114) ist.

6. Speiseeinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie ferner enthält:
– einen zweiten Operationsverstärker (210) zum Multiplizieren eines Ausgangssignals vom Strom-Vorgabeabschnitt mit einer Konstanten; und
– eine Gleichrichtereinheit (212), die sowohl an einen Ausgangsanschluss des ersten Operationsverstärkers (117) als auch an einen Ausgangsanschluss des zweiten Operationsverstärkers (210) angeschlossen ist.

7. Speiseeinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie ferner enthält:
– einen Entladungsdetektor (29) zur Erfassung einer elektrischen Entladung in dem Arbeitsspalt (105a); und
– einen Schalter (27), der zwischen den Stromdetektor (102) und den Operationsverstärker (117) geschaltet ist, um einen Ausgangsstromwert von dem Stromdetektor (102) entsprechend einem Ausgangssignal von dem Entladungsdetektor (29) zu schalten.

8. Speiseeinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Begrenzungsabschnitt enthält:
– mehrere Widerstände, die miteinander in Reihe zwischen einen Ausgangsanschluss des Operationsverstärkers (117) und die Spannungsquelle geschaltet sind;
– einen Entladungsdetektor (29) zur Erfassung einer elektrischen Entladung in dem Arbeitsspalt (105a); und
– einen Schalter (22) zum Schalten der Widerstände entsprechend einem Ausgangssignal von dem Entladungsdetektor (29).

9. Speiseeinheit nach einem der Ansprüche 1, 6, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Operationsverstärker (117) ein invertierender Verstärker ist.

10. Speiseeinheit nach einem der Ansprüche 1, 6, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Operationsverstärker (117) ein nichtinvertierender Verstärker ist.

FIG. 1

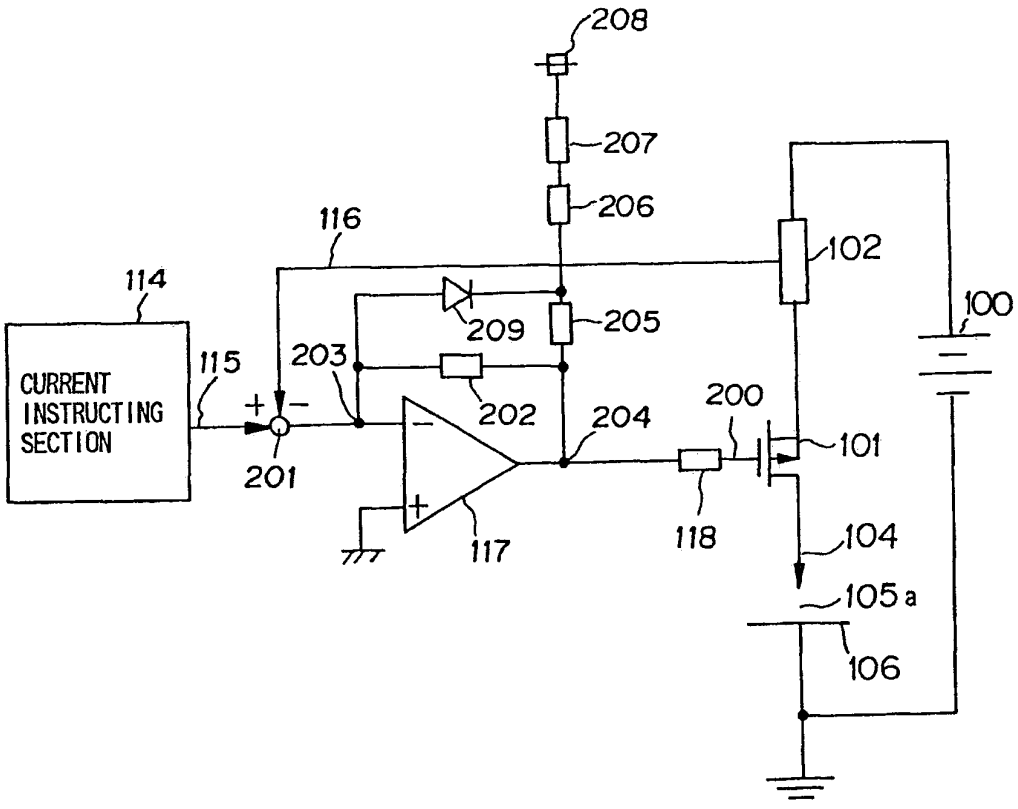

208
207
206
116
102
114
209
205
100
CURRENT
INSTRUCTING
SECTION
115
203
202
200
204
101
201
117
118
104
105a
106

FIG. 2

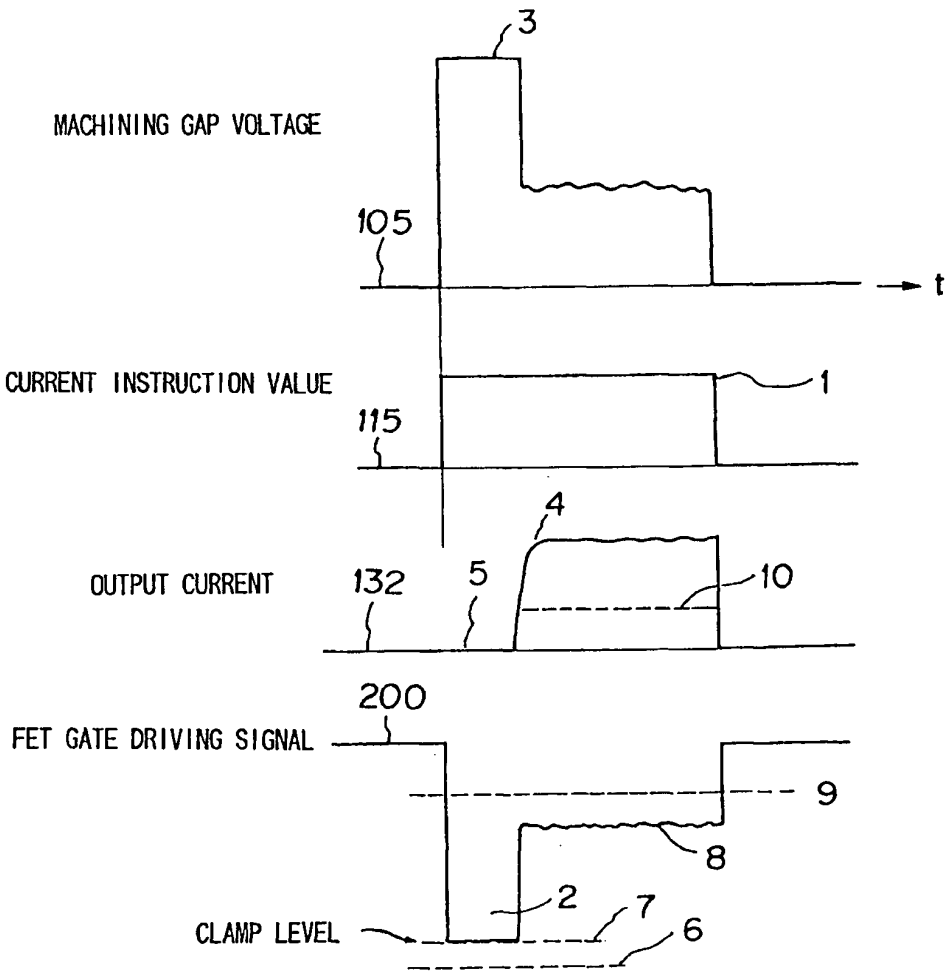

3
MACHINING GAP VOLTAGE
105
t
CURRENT INSTRUCTION VALUE
1
115
4
OUTPUT CURRENT
132
5
10
200
FET GATE DRIVING SIGNAL
9
8
2
7
CLAMP LEVEL
6

FIG. 3

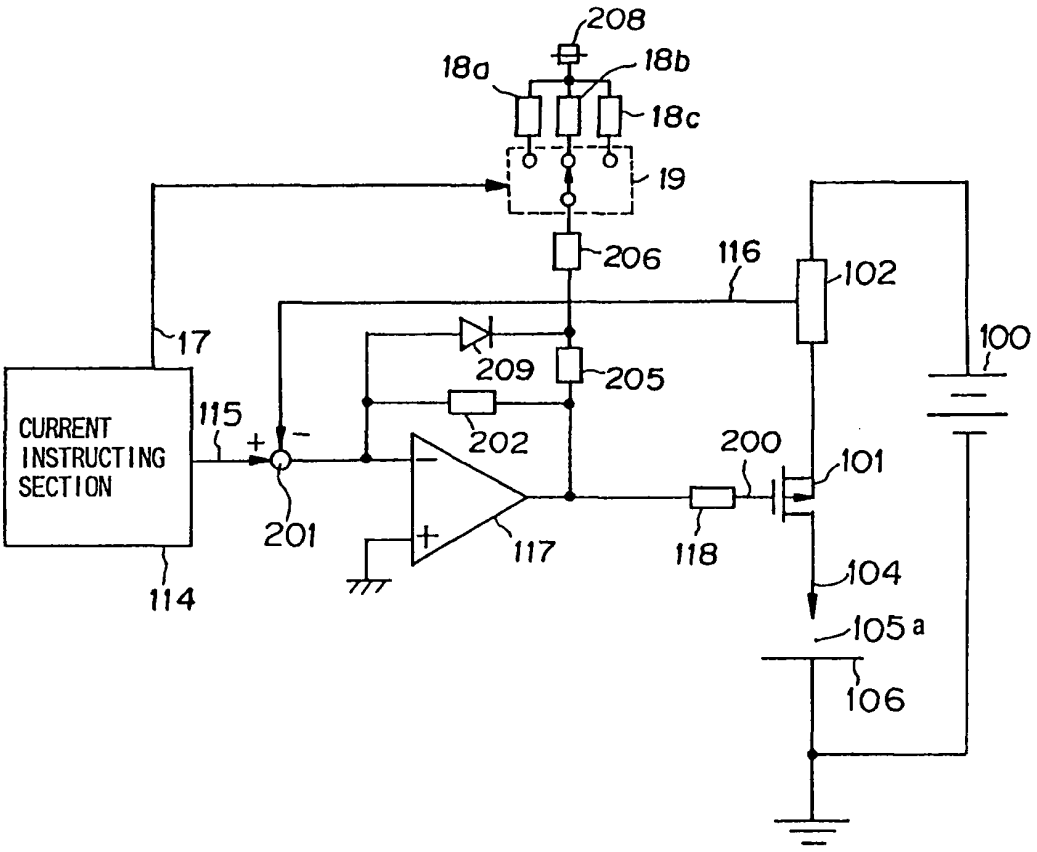

208
18a
18b
18c
19
206
116
102
17
209
205
100
CURRENT
INSTRUCTING
SECTION
115
202
200
101
201
117
118
104
105a
106
114

FIG. 4A

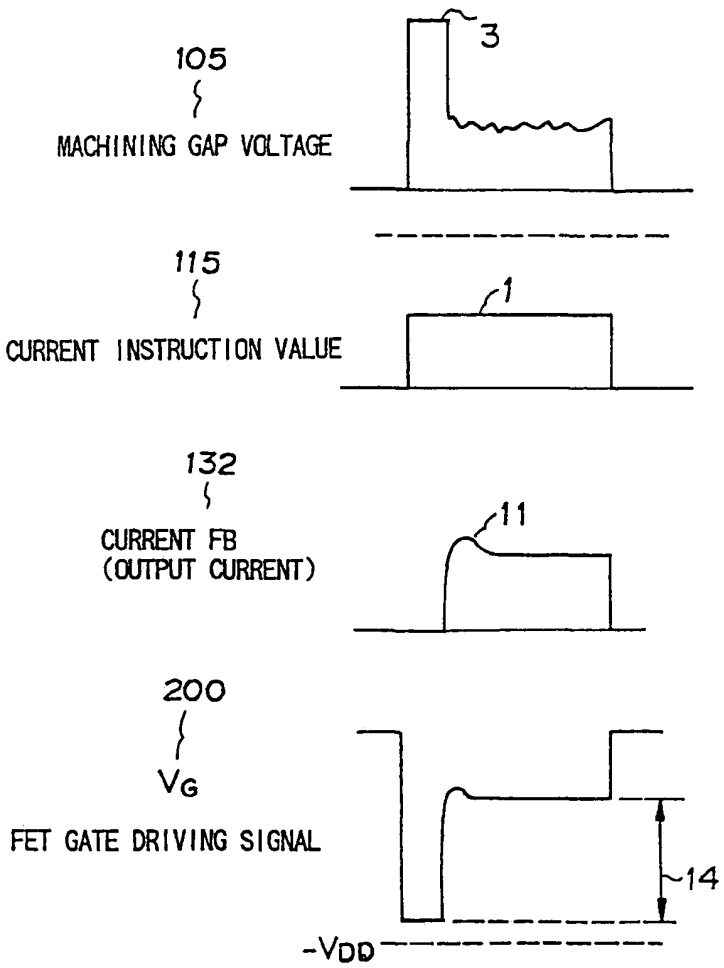


FIG. 4B

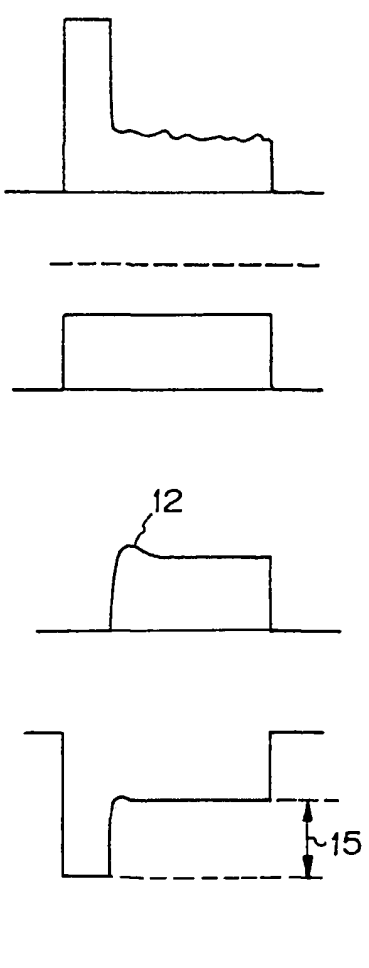
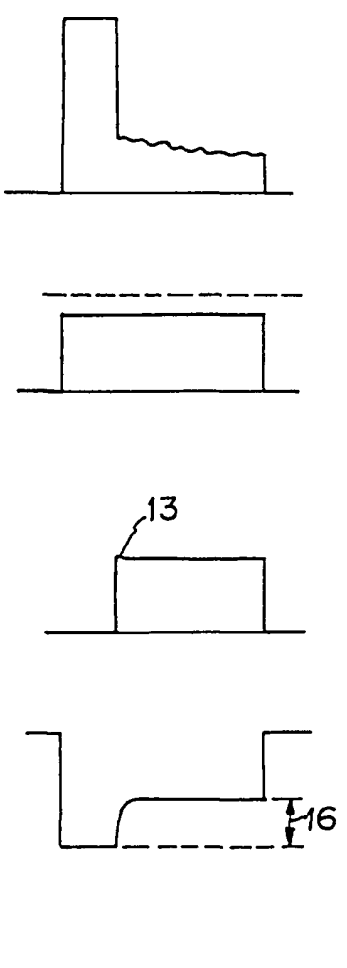


FIG. 4C



CH 693 942 A5

FIG. 5

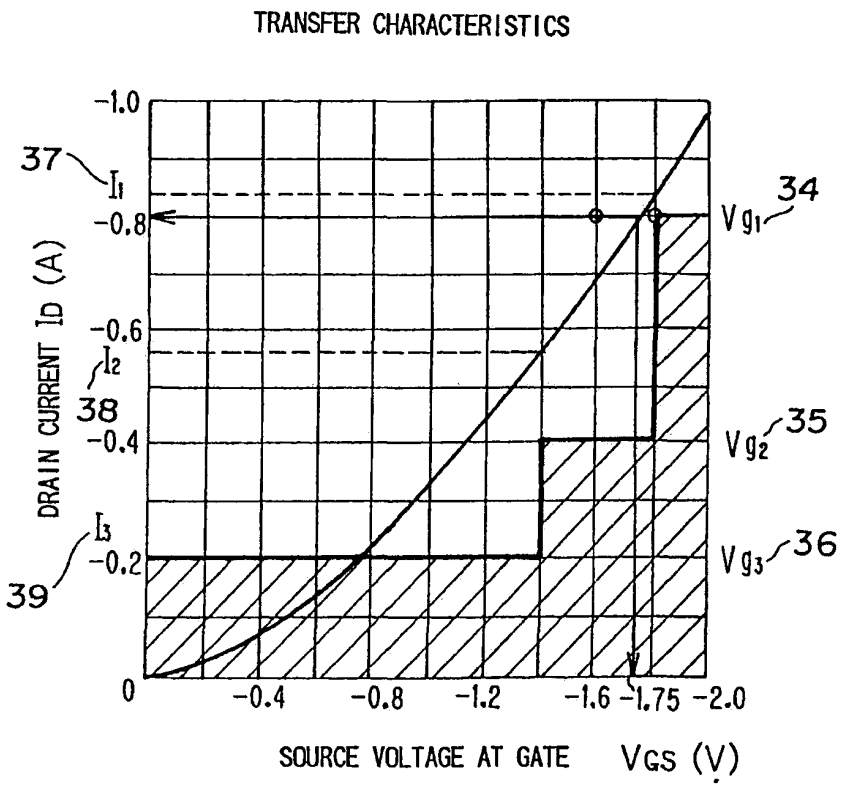

TRANSFER CHARACTERISTICS
-1.0
37
I1
-0.8
34
Vg1
-0.6
I2
38
-0.4
35
Vg2
I3
-0.2
36
Vg3
39
0
-0.4
-0.8
-1.2
-1.6
-1.75
-2.0
DRAIN CURRENT ID (A)
SOURCE VOLTAGE AT GATE VGS (V)

FIG. 6

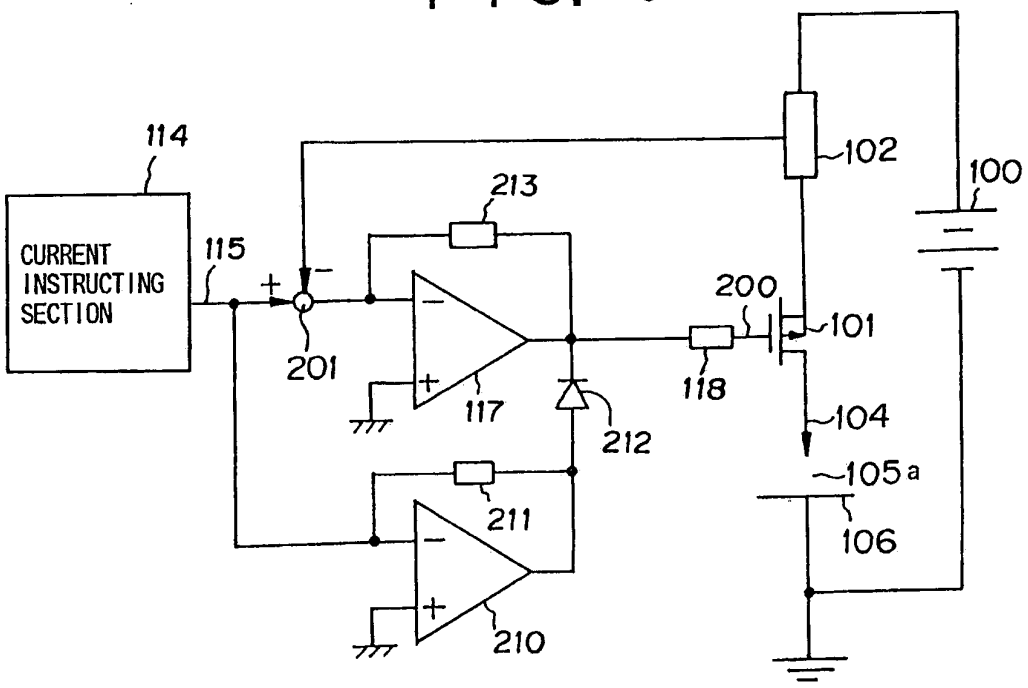

114
CURRENT INSTRUCTING SECTION
115
201
213
117
118
200
101
102
100
104
105a
106
212
211
210

FIG. 7

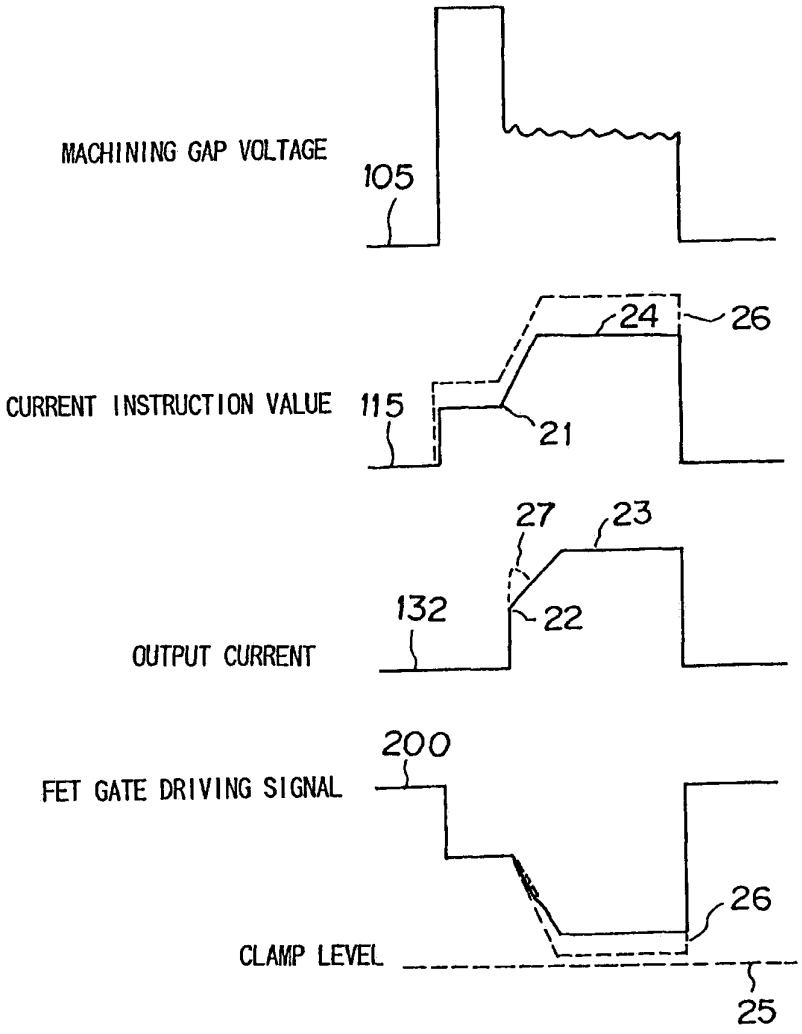

MACHINING GAP VOLTAGE
105
CURRENT INSTRUCTION VALUE
115
24
26
21
OUTPUT CURRENT
132
27
23
22
FET GATE DRIVING SIGNAL
200
26
CLAMP LEVEL
25

FIG. 8

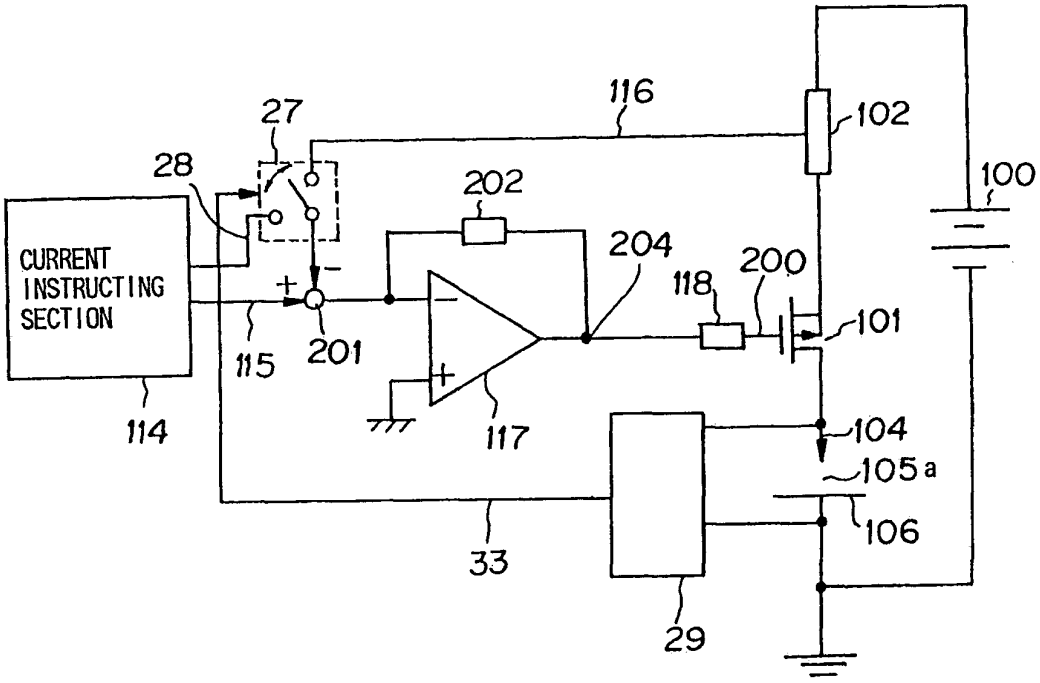

CURRENT
INSTRUCTING
SECTION
114
115
201
27
28
116
102
100
202
204
200
118
101
117
104
105a
106
33
29

FIG. 9

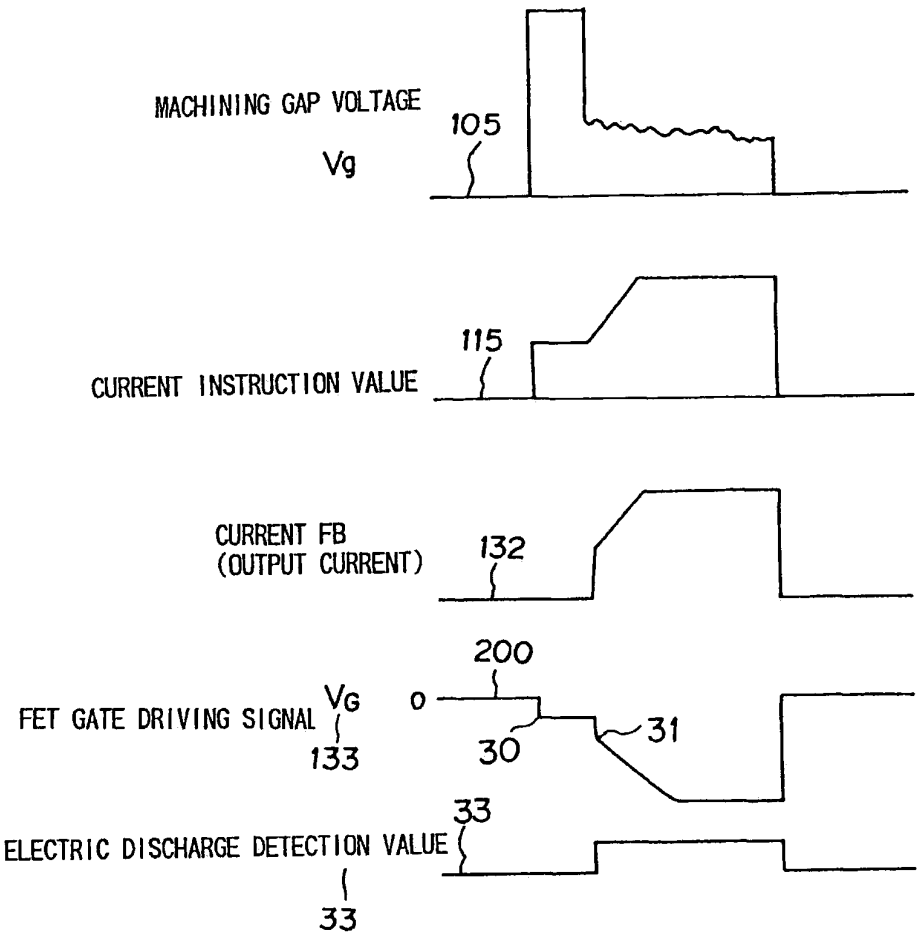

MACHINING GAP VOLTAGE
Vg
105
115
CURRENT INSTRUCTION VALUE
CURRENT FB
(OUTPUT CURRENT)
132
200
FET GATE DRIVING SIGNAL
VG
133
0
30
31
33
ELECTRIC DISCHARGE DETECTION VALUE
33

FIG. 10

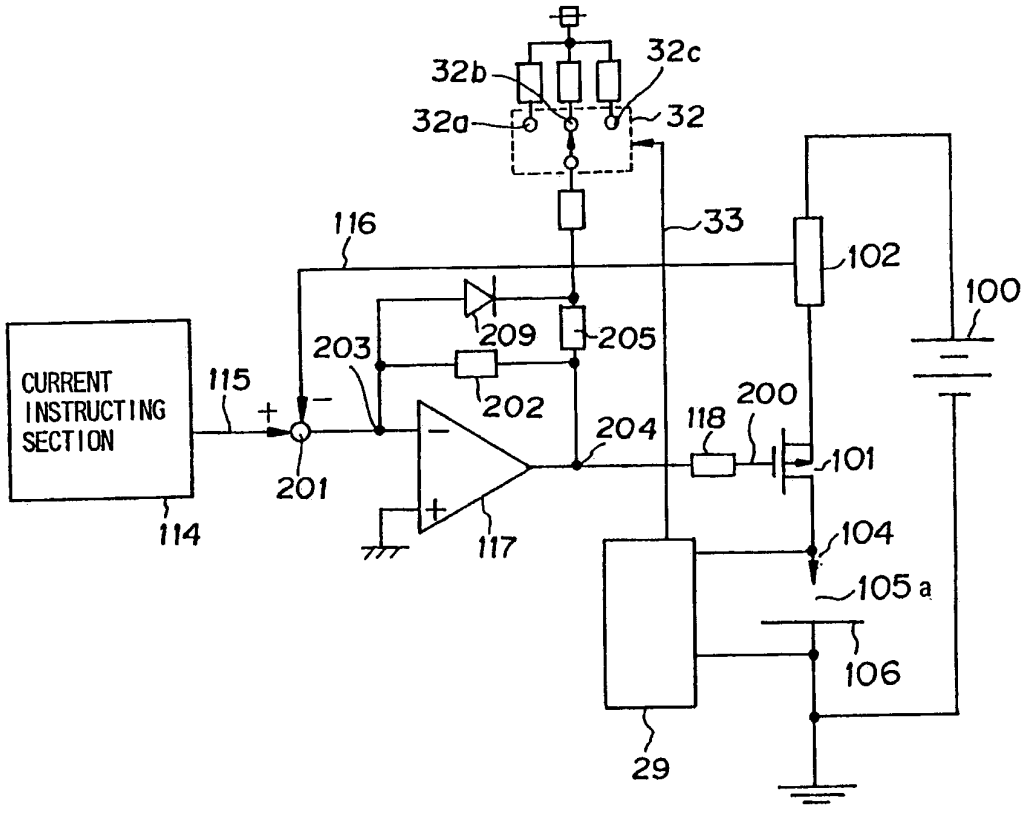

32b
32c
32a
32
116
33
102
100
209
205
203
202
CURRENT
INSTRUCTING
SECTION
115
+
−
201
204
118
200
101
114
117
104
105a
106
29

FIG. 11

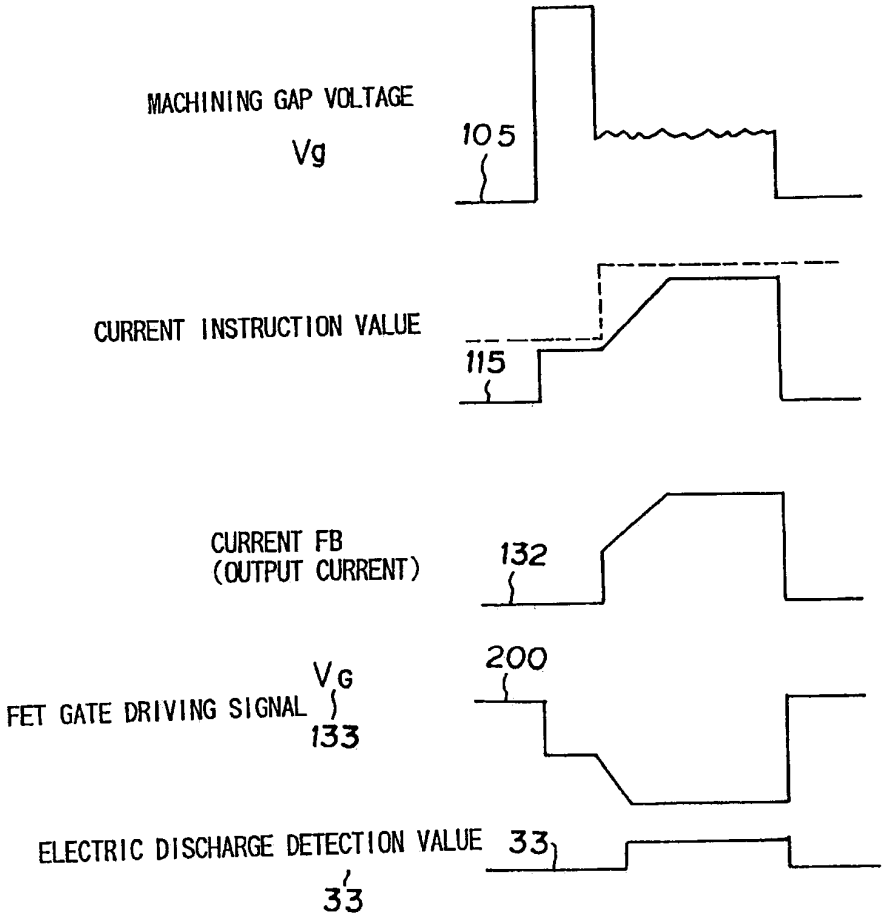

MACHINING GAP VOLTAGE
Vg
105
CURRENT INSTRUCTION VALUE
115
CURRENT FB
(OUTPUT CURRENT)
132
FET GATE DRIVING SIGNAL
VG
133
200
ELECTRIC DISCHARGE DETECTION VALUE
33
33

FIG. 12

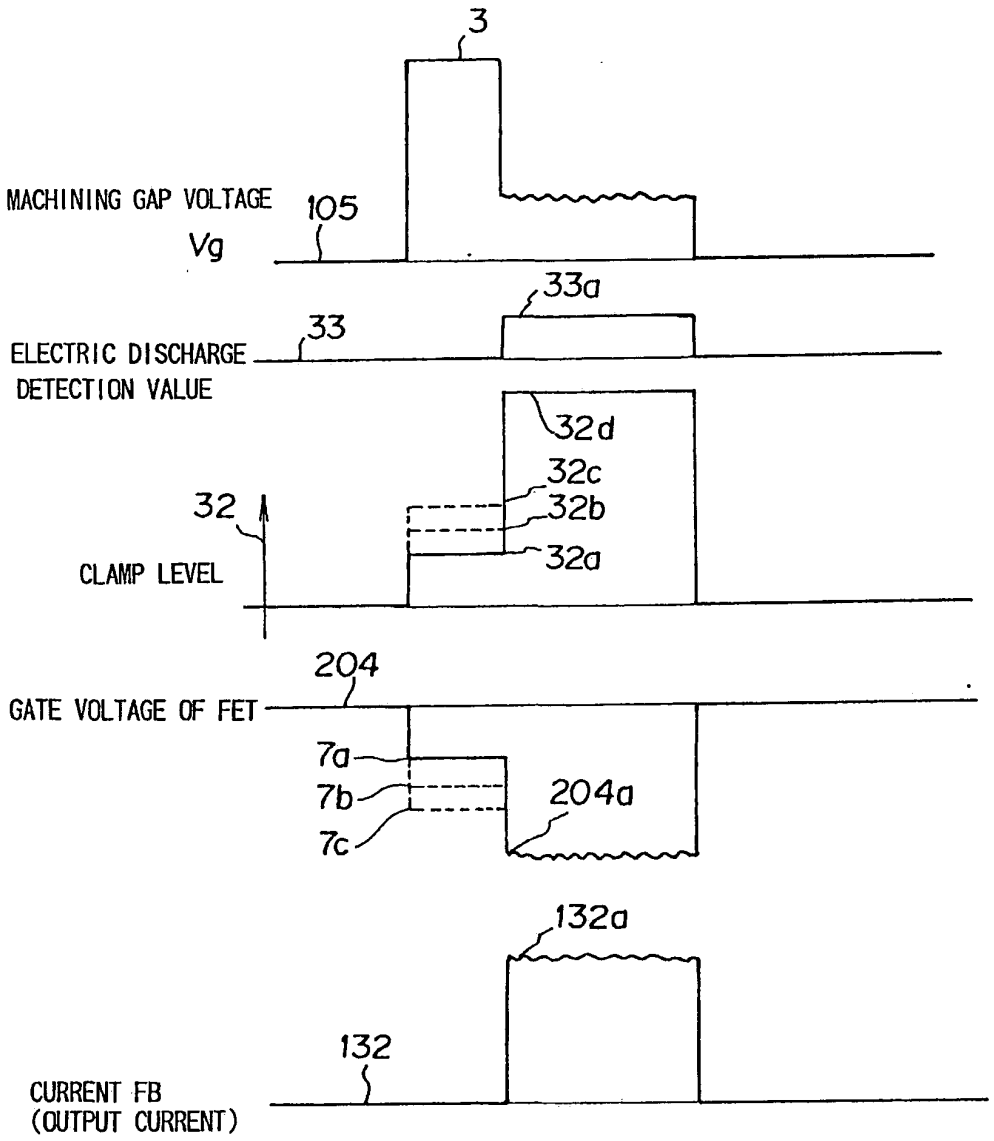

3
MACHINING GAP VOLTAGE
Vg
105
33a
33
ELECTRIC DISCHARGE
DETECTION VALUE
32d
32c
32b
32a
32
CLAMP LEVEL
204
GATE VOLTAGE OF FET
7a
7b
7c
204a
132a
132
CURRENT FB
(OUTPUT CURRENT)

FIG. 13

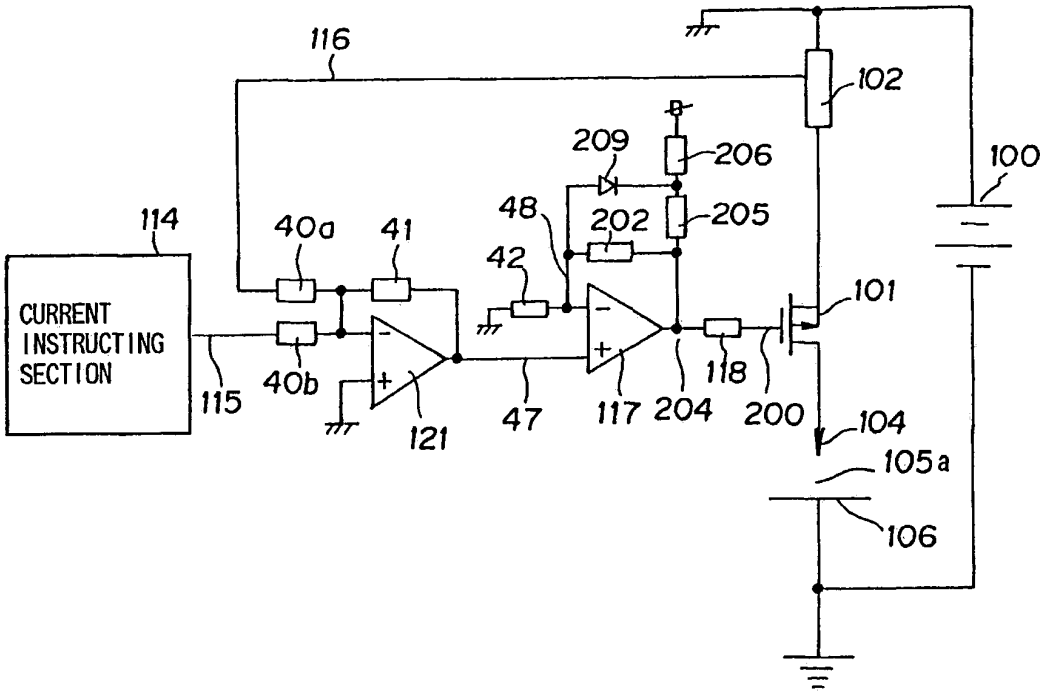

116
102
209
206
100
114
40a
41
48
202
205
42
101
CURRENT
INSTRUCTING
SECTION
115
40b
121
47
117
204
118
200
104
105a
106

FIG. 14

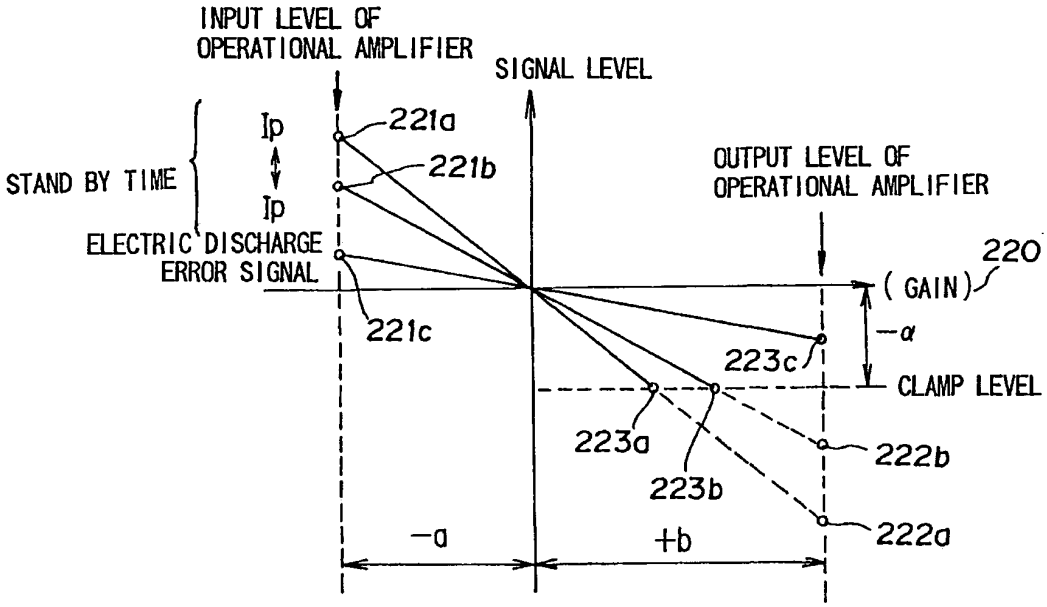

INPUT LEVEL OF
OPERATIONAL AMPLIFIER
SIGNAL LEVEL
OUTPUT LEVEL OF
OPERATIONAL AMPLIFIER
STAND BY TIME
Ip
Ip
ELECTRIC DISCHARGE
ERROR SIGNAL
221a
221b
221c
220
(GAIN)
−α
CLAMP LEVEL
223c
223a
223b
222b
222a
−a
+b

FIG. 15

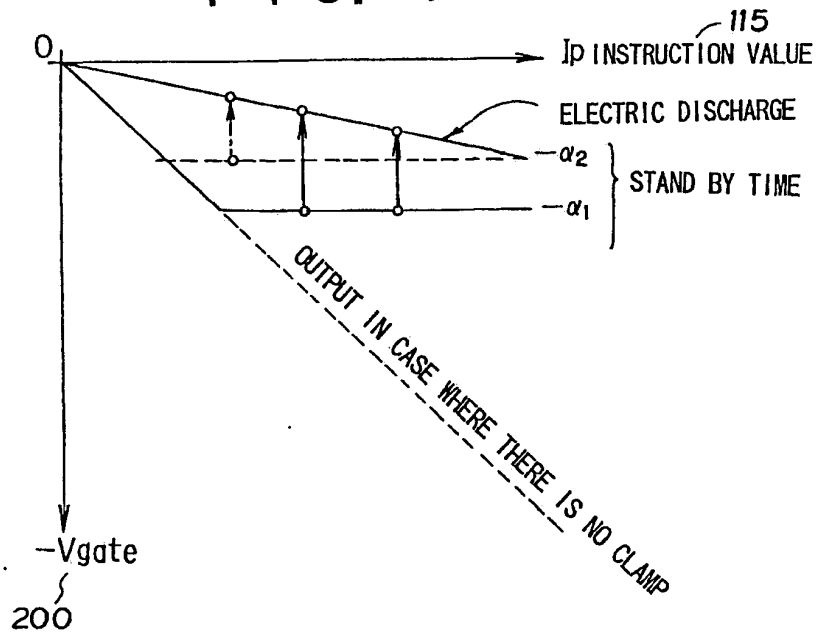

0
115
Ip INSTRUCTION VALUE
ELECTRIC DISCHARGE
−α2
−α1
STAND BY TIME
OUTPUT IN CASE WHERE THERE IS NO CLAMP
−Vgate
200

FIG. 16

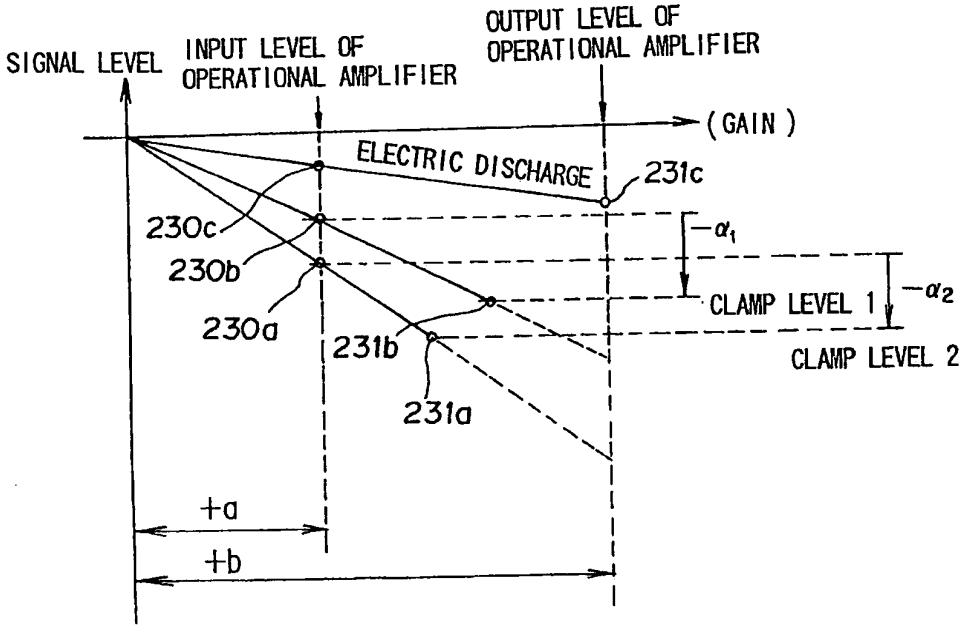

SIGNAL LEVEL
INPUT LEVEL OF OPERATIONAL AMPLIFIER
OUTPUT LEVEL OF OPERATIONAL AMPLIFIER
(GAIN)
ELECTRIC DISCHARGE
231c
230c
230b
230a
231b
231a
$-\alpha_1$
$-\alpha_2$
CLAMP LEVEL 1
CLAMP LEVEL 2
+a
+b

FIG. 17

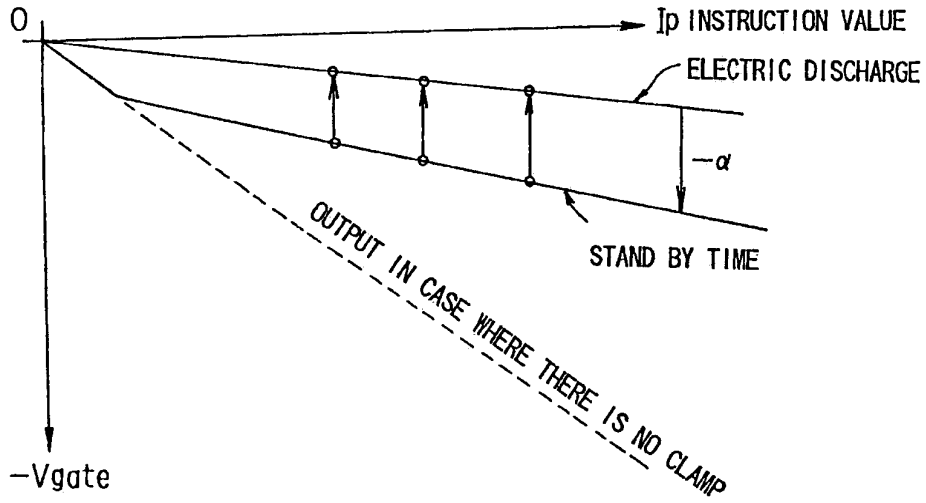

0
Ip INSTRUCTION VALUE
ELECTRIC DISCHARGE
$-\alpha$
STAND BY TIME
OUTPUT IN CASE WHERE THERE IS NO CLAMP
-Vgate

FIG. 18

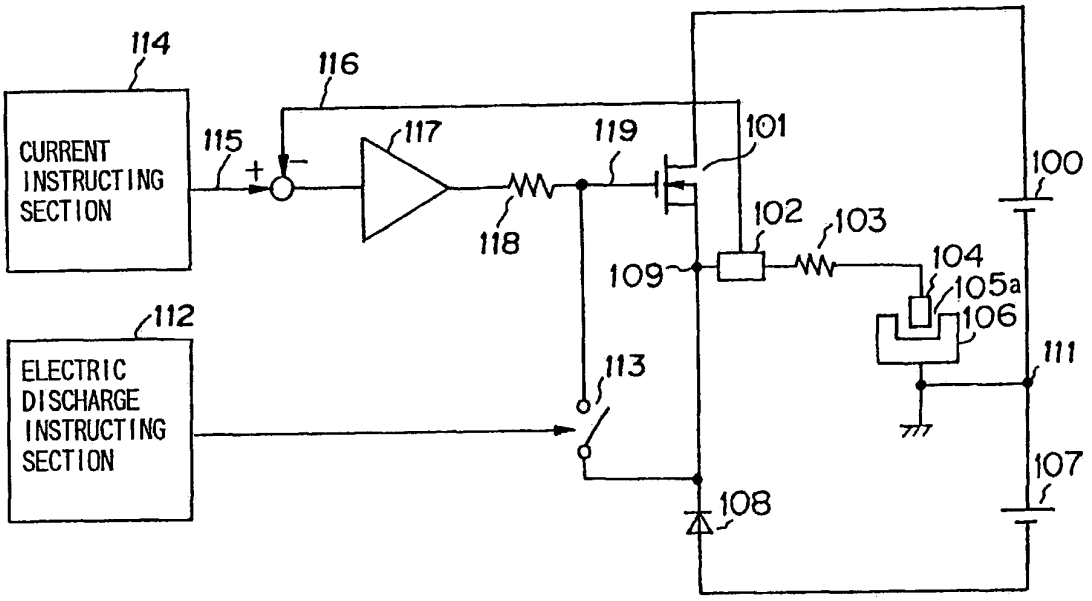

114
CURRENT INSTRUCTING SECTION
116
115
+
−
117
119
101
100
118
102
103
109
104
105a
106
112
ELECTRIC DISCHARGE INSTRUCTING SECTION
113
111
107
108

FIG. 19

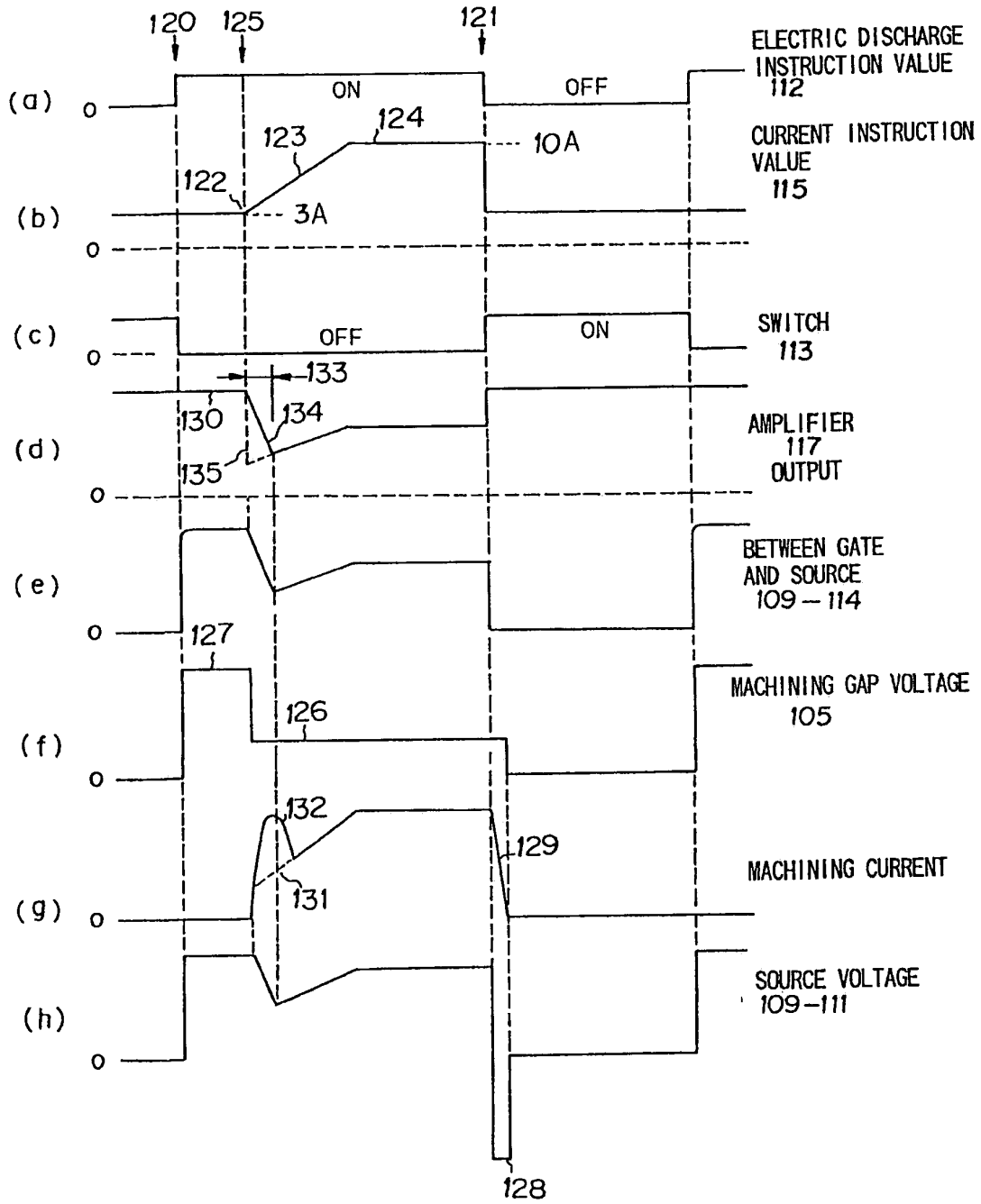
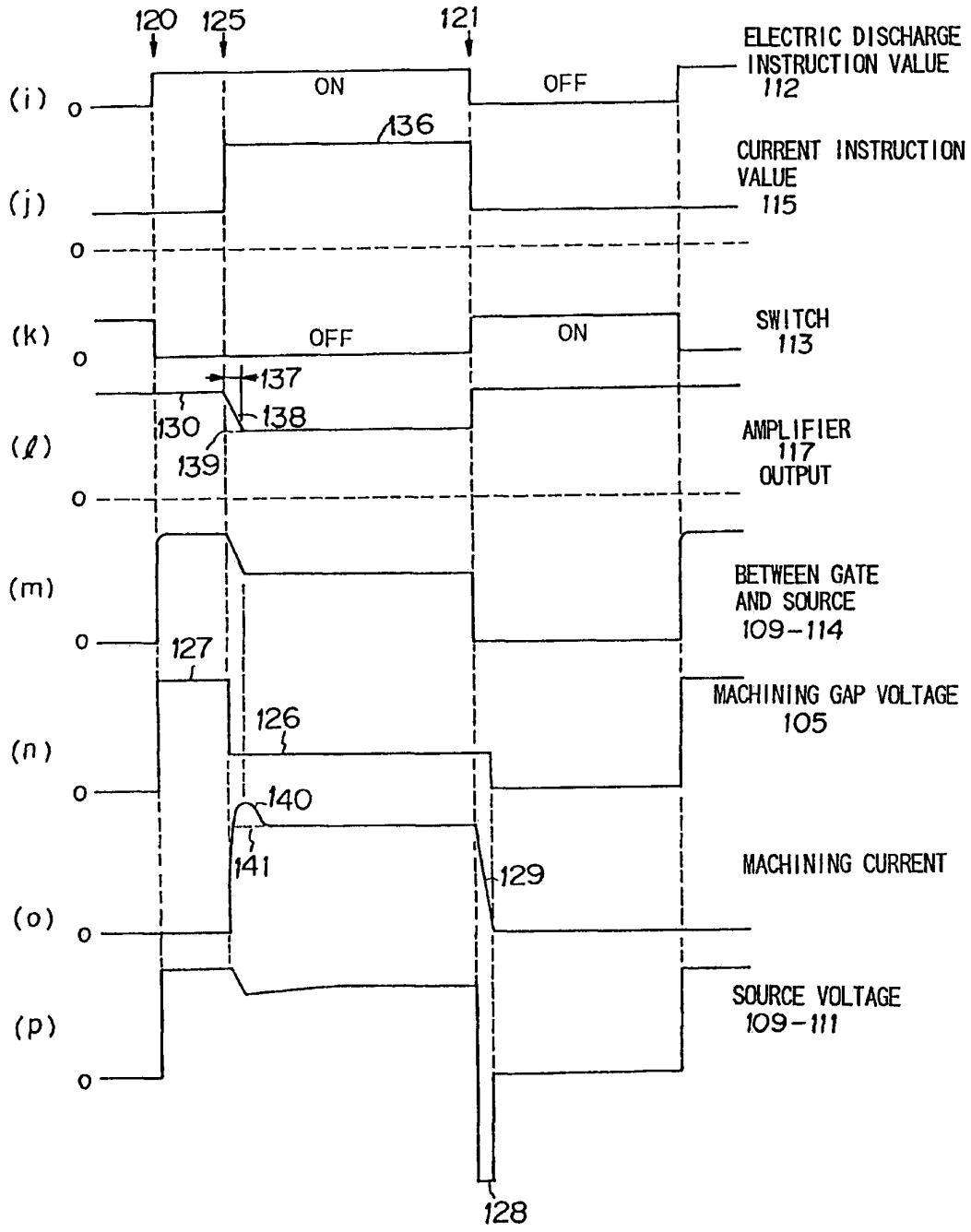

120
125
121
(a)
ON
OFF
ELECTRIC DISCHARGE INSTRUCTION VALUE 112
123
124
10A
122
CURRENT INSTRUCTION VALUE 115
(b)
3A
(c)
OFF
ON
SWITCH 113
133
130
134
(d)
135
AMPLIFIER 117 OUTPUT
(e)
BETWEEN GATE AND SOURCE 109 – 114
127
126
MACHINING GAP VOLTAGE 105
(f)
132
129
MACHINING CURRENT
131
(g)
SOURCE VOLTAGE 109–111
(h)
128

FIG. 20


120
125
121
ELECTRIC DISCHARGE INSTRUCTION VALUE 112
(i)
ON
OFF
136
CURRENT INSTRUCTION VALUE 115
(j)
(k)
OFF
ON
SWITCH 113
137
138
130
139
(ℓ)
AMPLIFIER 117 OUTPUT
(m)
BETWEEN GATE AND SOURCE 109-114
127
126
MACHINING GAP VOLTAGE 105
(n)
140
141
129
MACHINING CURRENT
(o)
SOURCE VOLTAGE 109-111
(p)
128