



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 015 090 A1** 2005.11.03

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 015 090.7**

(22) Anmeldetag: **25.03.2004**

(43) Offenlegungstag: **03.11.2005**

(51) Int Cl.7: **H05H 1/46**

(71) Anmelder:
**HÜTTINGER Elektronik GmbH + Co. KG, 79110
Freiburg, DE**

(74) Vertreter:
**Kohler Schmid Möbus Patentanwälte, 70565
Stuttgart**

(72) Erfinder:
**Winterhalter, Markus, 79189 Bad Krozingen, DE;
Wiedemuth, Peter, Dr., 79336 Herbolzheim, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 198 48 636 C2

DE 100 34 895 C2

DE 43 26 100 A1

DE 41 27 504 A1

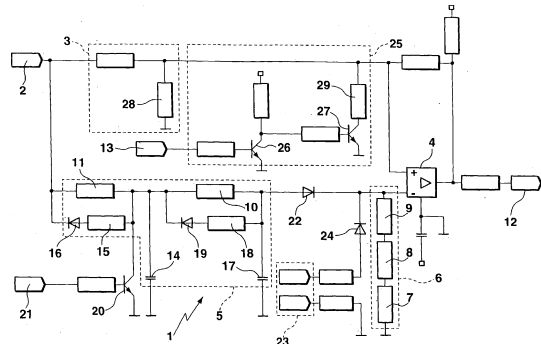
WO 94/25 977 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Bogenentladungserkennungseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Eine Bogenentladungserkennungseinrichtung (1) zum Erkennen von Bogenentladungen in einem Plasmaprozess umfasst einen Vergleicher (4), dem ein Signal und ein Referenzwert zugeführt sind, wobei der Referenzwert durch eine Einstelleinrichtung (6) aus dem durch eine Extremwerterfassungseinrichtung (5) in einem vorgegebenen Zeitraum ermittelten Extremwert des Signals gebildet ist und der Vergleicher (4) den Zustand eines Bogenentladungserkennungssignals ändert, wenn der Vergleich des Referenzwerts mit einem Momentanwert des Signals ergibt, dass eine Bogenentladung aufgetreten ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Bogenentladungserkennungseinrichtung und ein Verfahren zum Erkennen von Bogenentladungen in einem Plasmaprozess, bei dem ein Momentanwert eines Signals mit einem in einem vorgegebenen Zeitraum aus dem Signal ermittelten Wert verglichen wird.

[0002] Plasmaprozesse kommen beispielsweise in Plasma-Bearbeitungs- und Beschichtungsvorrichtungen vor. Bei Gleichstrom-Sputteranlagen kommt es oft zu Überschlägen, bei denen sich ein Strom einen elektrisch leitenden Kanal im Plasma sucht. Insbesondere bei dem so genannten reaktiven Beschichten eines Substrats, treten derartige Überschläge relativ oft auf. Ursache hierfür ist der Umstand, dass neben dem Substrat selbst auch Teile der Sputteranlage, wie etwa die Innenwand der Prozesskammer oder Teile von Blenden mit elektrisch nicht leitenden oder schlecht leitenden Materialien beschichtet werden, die sich dann bis zu einer Durchbruchspannung aufladen. Um größeren Schaden von einer Sputteranlage fernzuhalten, wird deshalb die Stromzufuhr nach dem Auftreten eines Überschlags abgeschaltet oder der Strom kurzzeitig unterbrochen oder die Spannung an der Plasmakammer kurzgeschlossen oder umgepolt. Um diese Maßnahmen einleiten zu können, sind Anordnungen zur Bogenentladungserkennung (Arc-Erkennung) und zur Löschung der Bogenentladungen (Arcs) oft Bestandteil der Plasma-Stromversorgung.

[0003] Wichtig dabei ist die zuverlässige Erkennung von Arcs. Ein Arc kann erkannt werden durch einen Spannungseinbruch oder einen Stromanstieg am Ausgang der Plasma-Stromversorgung. Es ist bekannt, für die am Ausgang der Plasma-Stromversorgung gemessene Spannung einen Schwellwert manuell vorzugeben, bei dessen Unterschreiten ein Arc erkannt wird. Genauso bekannt ist es, für den am Ausgang der Plasma-Stromversorgung gemessenen Strom einen Schwellwert manuell vorzugeben, bei dessen Überschreiten ein Arc erkannt wird.

Stand der Technik

[0004] In der DE 41 27 504 A1 wird eine Schaltungsanordnung zur Unterdrückung von Arcs beschrieben, bei der der Augenblickswert der Spannung der Plasmastrecke mit einem Spannungswert verglichen wird, der einer über eine vorgegebene Zeit ermittelten mittleren Plasmaspannung entspricht. Übersteigt die Differenz zwischen dem Augenblickswert und dem ermittelten Mittelwert einen vorgegebenen Wert, so wird ein Arc erkannt und die Stromversorgung zur Plasmakammer unterbrochen.

[0005] Dabei muss der vorgegebene Wert, bei dem der Arc erkannt wird, groß genug sein, dass nicht ir-

tümlich die Restwelligkeit der Ausgangsspannung als Arc interpretiert wird. Bei Plasmaprozessen muss oftmals ein weiterer Ausgangsspannungsbereich abgedeckt werden. Die Restwelligkeit kann von der Ausgangsspannung abhängig sein. Dann muss der vorgegebene Wert, bei dem der Arc erkannt wird, so groß sein dass auch bei größter Restwelligkeit dieser Wert nicht erreicht wird und keine fehlerhafte Arc-Meldung erzeugt wird.

[0006] Wird eine Stromversorgung eingeschaltet, so ist das Plasma zunächst noch nicht gezündet. Bei einer von Prozessparametern wie Druck und Geometrie abhängigen Spannung zündet das Plasma und der Lastwiderstand wechselt von sehr großen zu niedrigen Werten. Dies führt zu einem Spannungseinbruch, der mit der Schaltungsanordnung der DE 41 27 504 A1 irrtümlich als Arc interpretiert werden kann. Auch hier muss der Wert, dessen Erreichen dem Auftreten eines Arcs zugeordnet wird, groß genug sein, dass es zu keiner irrtümlichen Arc-Erkennung kommt. Alternativ kann die vorgegebene Zeit, über die der Mittelwert gebildet wird variiert werden, um ein irrtümliches Erkennen eines Arcs zu verhindern.

[0007] Damit sind die Werte, die eigentlich so eingestellt werden sollen, dass ein Arc sicher erkannt wird, von anderen Parametern abhängig, und können nicht mehr optimal gewählt werden.

Aufgabenstellung

[0008] Es ist Aufgabe der Erfindung ein Verfahren und eine Einrichtung bereit zu stellen, mit denen eine Bogenentladung in einem Plasmaprozess zuverlässig erkannt werden kann.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem ein Extremwert des Signals in dem vorgegebenen Zeitraum ermittelt wird und eine Bogenentladung detektiert wird, wenn der Vergleich ergibt, dass die Abweichung des Momentanwerts oder eines dazu proportionalen Werts von dem Extremwert eine vorgebbare Abweichung übersteigt oder wenn durch den Momentanwert oder einen dazu proportionalen Wert ein aus der vorgebbaren Abweichung ermittelbarer Referenzwert erreicht wird. Dies bedeutet, dass der Eintritt dieses Ereignisses als das Auftreten einer Bogenentladung interpretiert wird. Ob es sich bei dem ermittelten Extremwert um einen Minimalwert oder einen Maximalwert handelt, hängt davon ab, welches Signal für die Arc-Erkennung verwendet wird. Beispielsweise ist es denkbar, dass als Signal die Ausgangsspannung einer Gleichstromversorgung verwendet wird, die den Plasmaprozess mit Gleichstrom speist. In einem solchen Fall würde der Minimalwert der Spannung über einen vorgegebenen Zeitraum ermittelt. Alternativ kann vorgesehen sein,

dass der in den Plasmaprozess gespeiste Strom verwendet wird. In einem solchen Fall würde der Maximalwert des Stroms über einen vorgegebenen Zeitraum ermittelt. Von dem verwendeten Signal hängt es auch ab, ob der Referenzwert erreicht wird, indem der Momentanwert den Referenzwert übersteigt oder unter den Referenzwert fällt.

[0010] Wenn ein Minimalwert ermittelt wird, können der Momentanwert und der Minimalwert beispielsweise miteinander verglichen werden, indem deren Differenz gebildet wird und kann überprüft werden, ob die Differenz eine vorgebbare Abweichung übersteigt. Alternativ kann der Momentanwert mit einem Referenzwert verglichen werden, wobei in diesem Fall überwacht wird, ob der Momentanwert des Signals größer oder kleiner als der Referenzwert ist und, insbesondere wenn ein Minimalwert erfasst wird, eine Bogenentladung erkannt wird, wenn der Momentanwert den Referenzwert unterschreitet. Dazu muss der Referenzwert aus Minimalwert und vorgegebener Abweichung ermittelt werden. Durch die Extremwertbildung kann die Abweichung so gewählt werden, dass eine von der Ausgangsspannung oder dem Laststrom abhängige Restwelligkeit des Signals nicht mehr berücksichtigt werden muss.

[0011] Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante wird die vorgebbare Abweichung in Abhängigkeit des Extremwerts ermittelt. Dies bedeutet, dass die vorgebbare Abweichung permanent adaptiert wird, je nachdem welche Prozessbedingungen vorherrschen. Insbesondere müssen keine festen Abweichungen bzw. Referenzwerte vorgegeben werden, die für jeden Prozess neu eingestellt werden müssen. Dadurch wird die Benutzung einer Plasmaanlage sehr viel komfortabler.

[0012] Bei einer bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass die Abweichung als das 0,1- bis 0,5-fache, vorzugsweise das 0,2- bis 0,4-fache des Extremwerts gewählt wird. Durch diese Maßnahme wird ein Sicherheitsabstand geschaffen. Auf diese Art und Weise wird vermieden, dass Störungen auf dem Signal als Bogenentladung interpretiert werden.

[0013] Besonders bevorzugt ist es, wenn als Signal ein zu einer Ausgangsspannung einer Gleichspannungsversorgung proportionales Signal verwendet wird. Insbesondere kann die Ausgangsspannung durch einen Spannungsteiler auf eine niedrigere Spannung gebracht werden, so dass diese proportionale Spannung leichter durch eine Schaltungsanordnung verarbeitet werden kann. Weiterhin kann ein zum Ausgangsstrom proportionales Signal für die Bogenentladungserkennung verwendet werden. Wird der Ausgangsstrom oder ein dazu proportionales Signal für die Bogenentladungserkennung verwendet, dann muss ein Maximalwert des Signals ge-

bildet werden, der dann mit dem Momentanwert des Signals verglichen wird. Wenn eine Differenz dieser Werte eine vorgebbare Abweichung übersteigt, wird dies als Auftreten einer Bogenentladung interpretiert.

[0014] Auf besonders einfache Art und Weise kann ein Extremwert über einen vorgegebenen Zeitraum ermittelt werden, wenn das Signal gefiltert wird. Eine derartige Extremwertermittlung kann besonders einfach schaltungstechnisch realisiert werden.

[0015] Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante wird eine Minimalwertfilterung durchgeführt. Eine Minimalwertfilterung kann besonders einfach durchgeführt werden, wenn die Filterung für steigende und fallende Signalwerte mit unterschiedlichen Zeitkonstanten durchgeführt wird. Insbesondere, wenn eine Minimalwertfilterung durchgeführt wird, kann vorgesehen sein, dass bei einer steigenden Flanke, d.h. bei einer Veränderung des Signalpegels des Signals von einem niedrigeren zu einem höheren Wert, eine größere Zeitkonstante verwendet wird, als bei einer fallenden Flanke, d.h. einer Veränderung des Signalpegels von einem hohen zu einem niedrigeren Wert. Durch die Zeitkonstanten wird der Zeitraum festgelegt, in dem der Minimalwert gesucht wird.

[0016] Die Minimalwertfilterung kann einstufig erfolgen. Dies hat einen geringen Bauteileaufwand als Vorteil. Alternativ kann die Minimalwertfilterung mehrstufig erfolgen. In diesem Fall kann eine niedrigere Restwelligkeit am Ausgang des Filters erreicht werden und ist ein schnelleres Einschwingen bei schnellen negativen Spannungsänderungen möglich.

[0017] Vorteilhafterweise wird überwacht, ob das Plasma des Plasmaprozesses gezündet ist. Eine Bogenentladungserkennung macht überwiegend dann Sinn, wenn das Plasma des Plasmaprozesses gezündet ist. Ist das Plasma nicht gezündet, können keine Arcs auftreten. Spannungseinbrüche treten allenfalls beim Zünden des Plasmas auf, müssen da aber nicht erkannt werden. Das Verfahren zum Erkennen von Bogenentladungen muss daher nur durchgeführt werden, wenn das Plasma gezündet ist. Deshalb ist bei einer Weiterbildung des Verfahrens vorgesehen, dass eine Bogenentladungserkennung nur durchgeführt wird, wenn erkannt ist, dass das Plasma gezündet ist.

[0018] Besonders bevorzugt ist es, wenn die Extremwertfilterung bei gezündetem Plasma mit einer ersten Zeitkonstante und bei erloschenem Plasma mit einer zweiten Zeitkonstante erfolgt. Durch diese Maßnahme kann ein irrtümliches Erkennen von Arcs beim Zünden des Plasmas auf Grund von Spannungseinbrüchen oder Stromanstiegen verhindert werden.

[0019] Besonders vorteilhaft ist es, wenn ein fester Schwellenwert vorgegeben wird und eine Bogenentladung erkannt wird, wenn der Momentanwert den festen Schwellenwert erreicht. Dies kann bedeuten, dass bei einer Verfahrensvariante, in der die Ausgangsspannung oder eine dazu proportionale Spannung überwacht wird, also als Extremwert ein Minimalwert gesucht wird, das Unterschreiten des festen Schwellenwerts durch den Momentanwert als Auftreten einer Bogenentladung erkannt wird. Werden dagegen Maximalwerte als Extremwerte erfasst, so kann vorgesehen sein, dass als Auftreten einer Bogenentladung interpretiert wird, wenn der Momentanwert den vorgebbaren festen Schwellenwert überschreitet. Durch diese Maßnahme können Bogenentladungen oder Kurzschlüsse erkannt werden, die sich nur sehr langsam entwickeln, z.B. auf Grund von Isolierstoffüberlastungen im Kabel.

[0020] Bei einer Ausgestaltung des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass bei Erkennen einer Bogenentladung der Signalpegel eines Stromentladungserkennungssignals geändert wird. Das Bogenentladungserkennungssignal kann einer Steuerung, beispielsweise einem Mikroprozessor, zugeführt werden und es kann nach einer vorgegebenen Zeitspanne definiert auf die Erkennung der Bogenentladung reagiert werden. Es kann vorteilhaft sein, beim Erkennen einer Bogenentladung nicht sofort, sondern erst zeitverzögert auf die Erkennung der Bogenentladung zu reagieren, beispielsweise indem der Ausgang der Gleichstromversorgung kurzgeschlossen wird oder die Gleichstromversorgung ausgeschaltet wird. Die Maßnahmen, die getroffen werden, wenn eine Bogenentladung erkannt wird, werden durch die Steuerung bestimmt. Die zeitverzögerte Reaktion auf Bogenentladung ist vorteilhaft, wenn beispielsweise Verunreinigungen an der Target- oder Plasmakammeroberfläche den Arc haben entstehen lassen und diese Verunreinigungen durch die Zeitverzögerung definiert abgebrannt werden können. Die Zeitverzögerung kann bei vielen Plasmastromversorgungen vom Bedienpersonal eingestellt werden.

[0021] Bei einer Weiterführung des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass der Signalpegel des Bogenentladungssignals zeitverzögert geändert wird, wenn die Bogenentladung erlischt. Durch diese Maßnahme wird eine Art Hysterese gebildet. Insbesondere wird verhindert, dass bei einer hohen Arc-Brennspannung das Bogenentladungssignal nach kurzer Zeit wieder zurückgesetzt wird. Dies ist besonders dann wichtig, wenn zeitverzögert auf eine das Auftreten eines Arcs anzeigende Änderung des Bogenentladungssignals reagiert wird.

[0022] Die Aufgabe wird außerdem gelöst durch eine Bogenentladungserkennungseinrichtung zum Erkennen von Bogenentladungen in einem Plasmaprozess, der ein Signal zugeführt ist und die einen ein

Bogenentladungserkennungssignal ausgebenden Vergleichler aufweist. Das Signal ist einer Extremwertfassungseinrichtung zum Ermitteln eines Extremwerts des Signals über einen vorgegebenen Zeitraum zugeführt. Aus dem Extremwert wird durch eine Einstelleinrichtung ein Referenzsignal erzeugt, das dem Vergleichler ebenso wie ein Momentanwert des Signals oder eines proportionalen Signals zugeführt ist, wobei der Vergleichler den Signalpegel des Bogenentladungserkennungssignals ändert, wenn der Vergleichler ein Erreichen des Referenzsignals durch den Momentanwert erkennt. Mit einer derartigen Einrichtung können Bogenentladungen zuverlässig erkannt werden, auch wenn das Signal sich während des Prozesses verändert und wenn das Signal eine gewisse Welligkeit bzw. Schwankungen aufweist.

[0023] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Bogenentladungserkennungseinrichtung eine Einstelleinrichtung zum Einstellen des Referenzwerts aufweist. Dies bedeutet, dass der Referenzwert in Abhängigkeit des Plasmaprozesses adaptiv angepasst werden kann. Eine Vorgabe fester Referenzwerte, die für unterschiedliche Prozesse immer wieder neu eingestellt werden müssen, kann entfallen.

[0024] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Extremwertfassungseinrichtung eine Filtereinrichtung umfasst. Mit einer Filtereinrichtung können Extremwerte über einen vorgegebenen Zeitraum auf einfache Art und Weise ermittelt werden. Die Filtereinrichtung kann dabei als Filter erster oder höherer Ordnung ausgeführt sein.

[0025] Bei einer bevorzugten Weiterbildung kann vorgesehen sein, dass die Filtereinrichtung ein RC-Glied aufweist, wobei parallel zu dem Widerstand des RC-Glieds ein zweiter Widerstand und ein dazu in Serie geschaltetes nichtlineares Bauteil, vorzugsweise eine Diode, vorgesehen sind. Mit einer derartigen Filtereinrichtung kann insbesondere ein Minimalwertfilter realisiert werden. Dadurch, dass zu dem Widerstand des RC-Glieds ein zweiter Widerstand parallel geschaltet ist, können unterschiedliche Zeitkonstanten für steigende und fallende Signalwerte verwendet werden. Insbesondere können eine hohe Anstiegszeitkonstante und eine niedrige Zeitkonstante beim Abklingen des Signals realisiert werden. Die Filterung verhindert, dass schnelle Signaländerungen, beispielsweise Spannungsänderungen bei Sollwertsprüngen, fehlerhaft als Arcs interpretiert werden.

[0026] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Filtereinrichtung mehrstufig ausgebildet ist. Mit der ersten Stufe werden eine hohe Restwelligkeit und ein langsames Abklingen bei schnellen Spannungsänderungen hin zu niedrigen Werten erreicht. Mit der zweiten Stufe und damit mit einem zweistufigen Filter kann eine geringe Restwelligkeit und ein schnelles Abklingen bei schnellen Spannungsänderungen hin zu

niedrigen Werten realisiert werden. Der Bauteilaufwand bei einem zweistufigen Filter ist nur unwesentlich höher als bei einem einstufigen Filter.

[0027] Bei einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Bogenentladungserkennungseinrichtung ist zwischen der Extremwerterfassungseinrichtung und dem Vergleichs ein erstes entkoppelndes Bauelement, insbesondere eine Diode angeordnet, und ist zwischen dem ersten entkoppelnden Element und dem Vergleichs über ein zweites entkoppelndes Element, insbesondere eine Diode, ein fester Schwellenwert, insbesondere eine Spannung eingekoppelt. Der Schwellenwert dient als Sicherheitsreserve bei niedrigen Ausgangsspannungen, um zu vermeiden, dass auftretende Arcs in solchen Situationen nicht erkannt werden. Weiterhin können anhand des festen Schwellenwerts Kurzschlüsse erkannt werden, die sich nur sehr langsam entwickeln, beispielsweise bei einer Isolierstoffüberlastung in Kabeln.

[0028] Wenn eine Hystereseschaltung zur Beeinflussung des an den Vergleichs gegebenen Momentanwerts des Signals vorgesehen ist, kann verhindert werden, dass bei hohen Arc-Brennspannungen das Bogenentladungserkennungssignal bereits nach kurzer Zeit wieder zurückgesetzt wird. Durch diese Maßnahme wird sichergestellt, dass der Arc tatsächlich erloschen ist, wenn das Bogenentladungserkennungssignal wieder seinen ursprünglichen, keinen Arc anzeigenden, Zustand einnimmt.

[0029] Vorteilhafterweise ist eine Plasmaerkennungseinrichtung vorgesehen, die mit einer Abschalt-einrichtung zur Abschaltung der Bogenentladungserkennungseinrichtung verbunden ist. Mit einer derartigen Abschalt-einrichtung kann die Bogenentladungserkennungseinrichtung eingeschaltet werden, wenn ein Plasma gezündet ist und daher Arcs auftreten können und zum anderen abgeschaltet werden, wenn das Plasma erloschen ist und daher in der Regel keine Arcs auftreten.

Ausführungsbeispiel

[0030] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung schematisch dargestellt und werden nachfolgend mit Bezug zu den Figuren der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

[0031] [Fig. 1](#) einen Schaltplan einer Bogenentladungserkennungseinrichtung;

[0032] [Fig. 2](#) ein Simulationsergebnis einer Simulation der Schaltungsanordnung der [Fig. 1](#).

[0033] In der [Fig. 1](#) ist eine Bogenentladungserkennungseinrichtung **1** als Schaltbild dargestellt. Der Bogenentladungserkennungseinrichtung **1** ist an der Stelle **2** ein Signal zugeführt, das im Ausführungsbeispiel

proportional zur Ausgangsspannung einer Gleichstromversorgung ist, die einen Plasmaprozess mit Strom bzw. Spannung versorgt. Dieses Signal wird durch einen Spannungsteiler **3** weiter reduziert, so dass ein Momentanwert des zur Ausgangsspannung proportionalen Signals auf den nicht invertierenden Eingang des als Operationsverstärker ausgebildeten Vergleichers **4** gegeben wird. Das an der Stelle **2** eingespeiste Signal wird außerdem an eine Extremwerterfassungseinrichtung **5** gegeben, wo über einen vorgegebenen Zeitraum ein Extremwert des an der Stelle **2** gespeisten Signals ermittelt wird. Über eine Einstelleinrichtung **6**, die im Ausführungsbeispiel drei in Serie geschaltete Widerstände **7 bis 9** aufweist, und die mit den Widerständen **10, 11** einen Spannungsteiler bildet, wird ein Referenzwert eingestellt, der kleiner ist als der ermittelte Minimalwert, jedoch durch diesen bestimmt wird. Der Referenzwert wird dem invertierenden Eingang des Vergleichers **4** zugeführt und mit dem Momentanwert des zur Ausgangsspannung der Gleichstromversorgung proportionalen Werts verglichen. Fällt der Momentanwert unter den Referenzwert, so wird der Signalpegel eines an der Stelle **12** anliegenden Bogenentladungserkennungssignals geändert. Dieses Signal wird mit anderen Signalen verknüpft, so dass ein Arc-Signal erzeugt wird, welches an der Stelle **13** anliegt. Hat das Arc-Signal den Pegel „Low“, so bedeutet dies, dass von der Steuerung eine Löschung des Arcs initiiert wurde. Das Ermitteln des Referenzwerts ist gleichbedeutend damit, dass der Momentanwert mit dem Extremwert verglichen wird und eine Abweichung ermittelt wird, die mit einer vorgegebenen, von dem Minimalwert bestimmten Abweichung verglichen wird. Der Signalpegel des Bogenentladungserkennungssignals wird geändert, wenn die ermittelte Abweichung die vorgegebene Abweichung übersteigt.

[0034] Die Extremwerterfassungseinrichtung **5** weist einen zweistufigen Filter auf. Die erste Stufe des Filters weist ein RC-Glied bestehend aus dem Widerstand **11** und dem Kondensator **14** auf. Durch den Widerstand **11** und den Kondensator **14** wird eine erste Zeitkonstante definiert, die verwendet wird, wenn eine steigende Flanke des Signals, das an der Stelle **2** eingespeist wird, vorliegt. Parallel zum Widerstand **11** ist ein Widerstand **15** vorgesehen, der in Serie zu einem als Diode ausgebildeten nicht-linearen Bauteil **16** angeordnet ist. Der Widerstand **15** ist deutlich kleiner als der Widerstand **11**. Durch den Widerstand **15** und den Kondensator **14** wird eine zweite Zeitkonstante definiert, die geringer ist als die erste Zeitkonstante und verwendet wird, wenn eine fallende Flanke des Signals vorliegt. Die zweite Stufe des Filters wird durch den Widerstand **10** und den Kondensator **17** gebildet, wobei der Kondensator **17** und der Widerstand **10** ein RC-Glied bilden. Parallel zum Widerstand **10** ist ein Widerstand **18** in Serie zu einem nicht-linearen Bauteil **19**, das als Diode ausge-

bildet ist, vorgesehen. Auch durch die zweite Stufe des Filters wird in gleicher Weise wie bei der ersten Stufe eine erste Zeitkonstante für ein steigendes Signal und eine zweite Zeitkonstante für ein fallendes Signal verwendet. Im Ausführungsbeispiel wird durch den zweistufigen Filter der Extremwerverfassungseinrichtung **5** ein Minimalwert ermittelt. Durch die zweite Filterstufe wird die Restwelligkeit des durch die erste Filterstufe erzeugten Signals reduziert. Die Ermittlung eines Extremwerts kann durch eine als Transistor ausgebildete Abschalteneinrichtung **20** unterbunden werden, die von einem Signal einer Plasmaerkennungseinrichtung, die an der Stelle **21** angeschlossen ist, gesteuert ist. Wird ein gezündetes Plasma erkannt, so hat das an der Stelle **21** eingespeiste Signal den Signalpegel „Low“. Dies bedeutet, dass durch die als Transistor ausgebildete Abschalteneinrichtung **20** das an der Stelle **2** eingespeiste Signal nicht auf Masse gezogen wird und dadurch eine Extremwertermittlung durch die Extremwerverfassungseinrichtung **5** erfolgt. Wird dagegen erkannt, dass das Plasma nicht gezündet ist, liegt an der Abschalteneinrichtung **20** ein Signalpegel „High“ an, so dass das an der Stelle **2** eingespeiste Signal auf Masse gezogen wird und keine Extremwertbildung erfolgt.

[0035] Zwischen der Extremwerverfassungseinrichtung **5** und dem Vergleichler **4** ist ein erstes entkoppelndes Element **22** angeordnet, das als Diode ausgebildet ist. An der Stelle **23** wird ein fester Schwellenwert, im Ausführungsbeispiel eine Spannung, erzeugt bzw. angelegt, der über ein zweites entkoppelndes Element **24**, das ebenfalls als Diode ausgebildet ist, eingekoppelt wird. Wenn die Spannung auf der Vergleichenseite des ersten entkoppelnden Elements **22** geringer ist als der feste Schwellenwert, so wird dieser Schwellenwert von dem Vergleichler **4** als Referenzsignal zum Vergleich verwendet. Fällt der Momentanwert des Signals unter den Schwellenwert, so wird durch das Bogenentladungserfassungssignal ein Arc angezeigt. Dies bedeutet, dass ein Arc auch erkannt werden kann, wenn der Signalpegel des an der Stelle **2** eingekoppelten Signals langsam fällt und somit sehr niedrige Minimalwerte durch die Extremwerverfassungseinrichtung **5** ausgegeben werden.

[0036] Es ist weiterhin eine geschaltete Hystereseschaltung **25** vorgesehen, der an der Stelle **13** das Arc-Signal zugeführt ist. Hat das Arc-Signal einen Signalpegel „Low“, der einer Arc-Löschung entspricht, so ist der Transistor **26** nichtleitend und dadurch der Transistor **27** leitend. Durch diese Maßnahme werden die Widerstände **28**, **29** parallel geschaltet, so dass eine weitere Spannungsteilung erfolgt. Der Momentanwert des an der Stelle **2** eingekoppelten Signals wird daher weiter erniedrigt, so dass erst bei einem Anstieg der an der Stelle **2** eingespeisten Spannung, der oberhalb eines Schwellenwertes liegt, der Signalpegel des Bogenentladungserkennungssig-

nals an der Stelle **12** wieder zurückgesetzt wird. Durch diese Maßnahme wird eine Hysteresee realisiert und sichergestellt, dass der Arc beim Zurücksetzen des Bogenentladungserkennungssignals erloschen ist.

[0037] In der [Fig. 2](#) ist ein Simulationsergebnis der Schaltung gemäß [Fig. 1](#) dargestellt. Mit **30** ist der Signalverlauf des Signals dargestellt, das am nicht invertierenden Eingang des Vergleichlers **4** anliegt. Das Signal **30** weist eine starke Welligkeit auf. Über einen vorgegebenen Zeitraum werden die Minimalwerte **31** des Signals **30** ermittelt. In der dargestellten Zeichnung ist der Minimalwert im Bereich von etwa 0,2 bis 1,4 ms etwa 1,8 V. Aus diesem Minimalwert wird ein Referenzwert **32**, gebildet, wobei der Referenzwert etwa 67 % des Minimalwerts **31** ist. Unterschreitet der Momentanwert des Signals **30** den Referenzwert **32**, wie dies an der Stelle **33** dargestellt ist, so wechselt der Signalpegel des Bogenentladungserkennungssignals **34**, das in der [Fig. 1](#) an der Stelle **12** anliegt. Das Bogenentladungserkennungssignal **34** wird der Steuerung zugeführt, die ihrerseits das Arc-Signal, das in [Fig. 1](#) an Stelle **13** anliegt, zeitverzögert oder sofort und abhängig von weiteren Steuerungssignalen erzeugt. Die Arc-Erkennung, wenn der Momentanwert unter den Referenzwert **32** fällt, ist gleichbedeutend damit, dass der Signalwert mit dem ermittelten Minimalwert verglichen wird und der Pegel des Arc-Signals **34** geändert wird, wenn die Differenz aus Minimalwert und Momentanwert größer wird als eine vorgegebene Abweichung, die im Ausführungsbeispiel dem 0,33-fachen Minimalwert entspricht. Aus der [Fig. 2](#) ist ersichtlich, dass der Referenzwert **32** sich mit veränderndem Minimalwert **31** ebenfalls verändert. Somit erfolgt eine Anpassung. Die Filterung bewirkt, dass schnelle Spannungsänderungen, beispielsweise Sollwertsprünge, wie dies an den Stellen **35** und **36** der Fall ist, nicht fehlerhaft als Arcs interpretiert werden. Für die Filterung der steigenden Flanke des Signals **30** an der Stelle **35** wird eine andere Zeitkonstante verwendet als für die fallende Flanke bei **36**.

[0038] In der [Fig. 2](#) ist ebenfalls erkennbar, dass bei einem erkannten Arc das Signal **30**, im vorliegenden Fall die Spannung, einbricht. Dies bedeutet auch, dass der Referenzwert **32** zu niedrigen Werten nachgezogen wird. Der Referenzwert **32** bleibt jedoch im Zeitbereich nach der Stelle **33** bei einem gewissen Wert „hängen“. Dieser Wert entspricht dem eingekoppelten Schwellenwert. Wenn dieser Schwellenwert überschritten wird, wird auch der Pegel des Arc-Signals **34** wieder geändert.

[0039] Eine Bogenentladungserkennungseinrichtung **1** zum Erkennen von Bogenentladungen in einem Plasmaprozess umfasst einen Vergleichler **4**, dem ein Signal und ein Referenzwert zugeführt sind, wobei der Referenzwert durch eine Einstelleinrich-

tung **6** aus dem durch eine Extremwerverfassungseinrichtung **5** in einem vorgegebenen Zeitraum ermittelten Extremwert des Signals gebildet ist, und der Vergleich **4** den Zustand eines Bogenentladungserkennungssignals ändert, wenn der Vergleich des Referenzwerts mit einem Momentanwert des Signals ergibt, dass eine Bogenentladung aufgetreten ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen von Bogenentladungen in einem Plasmaprozess, bei dem ein Momentanwert eines Signals (**30**) mit einem in einem vorgegebenen Zeitraum aus dem Signal (**30**) ermittelten Wert verglichen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Extremwert (**31**) des Signals (**30**) in dem vorgegebenen Zeitraum ermittelt wird und eine Bogenentladung detektiert wird, wenn der Vergleich ergibt, dass die Abweichung des Momentanwerts oder eines dazu proportionalen Werts von dem Extremwert (**31**) eine vorgebbare Abweichung übersteigt oder wenn durch den Momentanwert oder den dazu proportionalen Wert ein aus der vorgebbaren Abweichung ermittelbarer Referenzwert (**32**) erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgebbare Abweichung in Abhängigkeit des Extremwerts (**31**) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung als das 0,1 – 0,5 fache, vorzugsweise das 0,2 – 0,4 fache, des Extremwerts (**31**) gewählt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Signal (**30**) ein zu einer Ausgangsspannung oder einem Ausgangsstrom einer Gleichspannungsversorgung proportionales Signal verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Extremwert (**31**) ermittelt wird, indem das Signal (**30**) gefiltert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Minimalwertfilterung durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterung für steigende und fallende Signalwerte mit unterschiedlichen Zeitkonstanten durchgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass überwacht wird, ob das Plasma des Plasmaprozess gezündet ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekenn-

zeichnet, dass eine Bogenentladungserkennung nur durchgeführt wird, wenn erkannt ist, dass das Plasma gezündet ist.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Extremwertfilterung bei gezündetem Plasma mit einer ersten Zeitkonstante und bei erloschenem Plasma mit einer zweiten Zeitkonstante erfolgt.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein fester Schwellenwert (**23**) vorgegeben wird und eine Bogenentladung erkannt wird, wenn der Momentanwert den festen Schwellenwert (**23**) erreicht.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Erkennen einer Bogenentladung der Signalpegel eines Bogenentladungserkennungssignals geändert wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Signalpegel des Bogenentladungssignals zeitverzögert geändert wird, wenn die Bogenentladung erlischt.

14. Bogenentladungserkennungseinrichtung (**1**) zum Erkennen von Bogenentladungen in einem Plasmaprozess, der ein Signal, zugeführt ist und die einen ein Bogenentladungserkennungssignal ausgebenden Vergleich **(4)** aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass das Signal einer Extremwerverfassungseinrichtung (**5**) zum Ermitteln eines Extremwerts des Signals in einem vorgegebenen Zeitraum zugeführt ist, aus dem Extremwert durch eine Einstellleinrichtung (**6**) ein Referenzsignal erzeugt wird, das dem Vergleich **(4)** ebenso wie ein Momentanwert des Signals oder eines proportionalen Signals zugeführt ist, wobei der Vergleich **(4)** den Signalpegel des Bogenentladungserkennungssignals ändert, wenn der Vergleich **(4)** ein Erreichen des Referenzsignals durch den Momentanwert erkennt.

15. Bogenentladungserkennungseinrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Extremwerverfassungseinrichtung (**5**) eine Filtereinrichtung umfasst.

16. Bogenentladungserkennungseinrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Filtereinrichtung ein RC-Glied (**11**, **14**; **10**, **17**) aufweist, wobei parallel zu dem Widerstand (**11**; **10**) des RC-Glieds (**11**, **14**; **10**, **17**) ein zweiter Widerstand (**15**, **18**) und ein dazu in Serie geschaltetes nichtlineares Bauteil (**16**; **19**), vorzugsweise eine Diode, vorgesehen sind.

17. Bogenentladungserkennungseinrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Filtereinrichtung mehrstufig ausgebildet ist.

18. Bogenentladungserkennungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Extremwertauffassungseinrichtung (5) und dem Vergleichs- (4) ein erstes entkoppelndes Bauelement (22), insbesondere eine Diode, angeordnet ist, und zwischen dem ersten entkoppelnden Element (22) und dem Vergleichs- (4) über ein zweites entkoppelndes Element (24), insbesondere eine Diode, ein fester Schwellenwert (23), insbesondere eine Spannung, eingekoppelt ist.

19. Bogenentladungserkennungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine Hysterese-schaltung (25) zur Beeinflussung des an den Vergleichs- (4) gegebenen Momentanwerts des Signals (30) vorgesehen ist.

20. Bogenentladungserkennungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass eine Plasma-erkennungseinrichtung vorgesehen ist, die mit einer Abschalt-einrichtung (20) zur Abschaltung der Bogen-entladungserkennungseinrichtung (1) verbunden ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

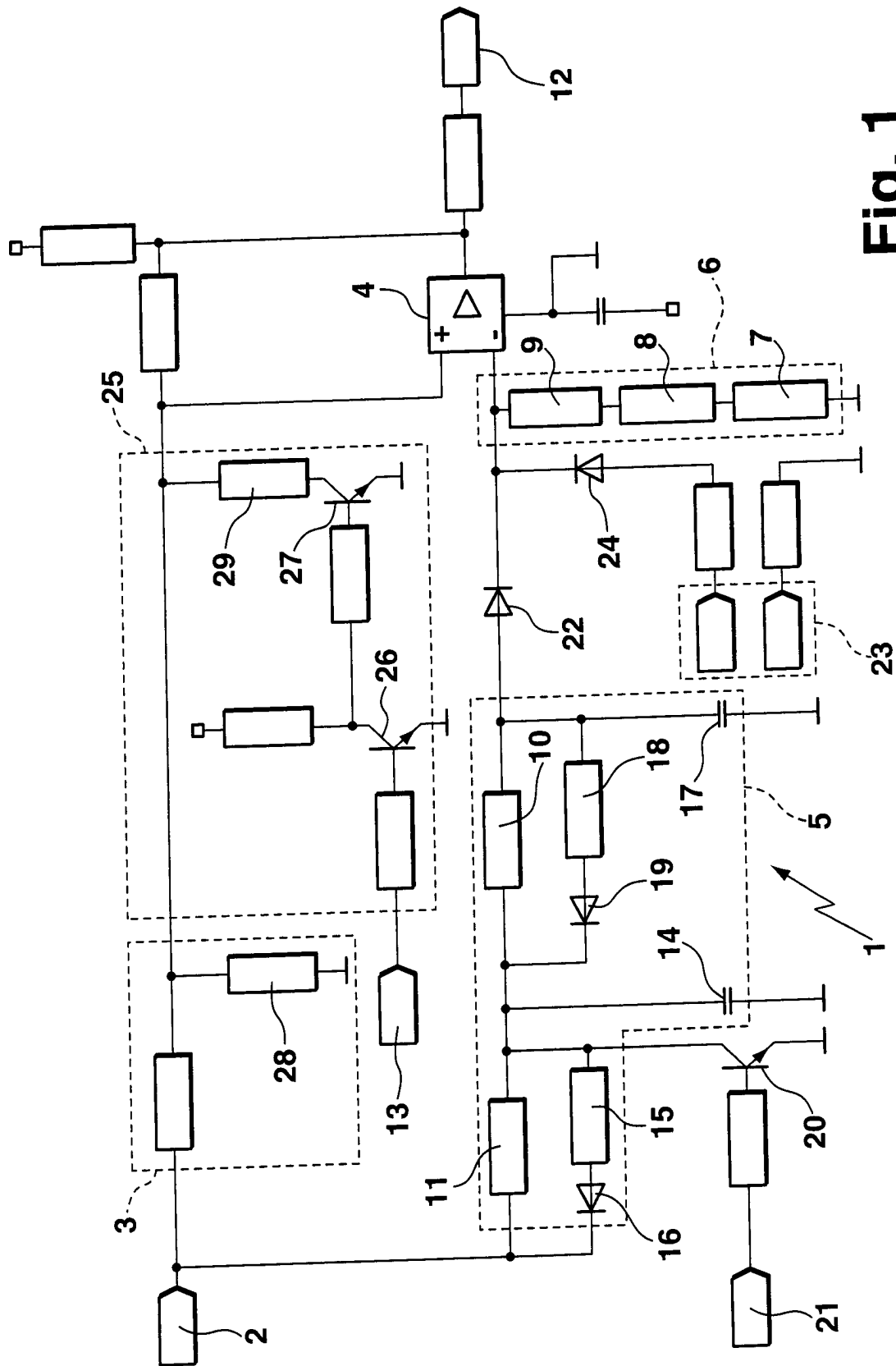


Fig. 1

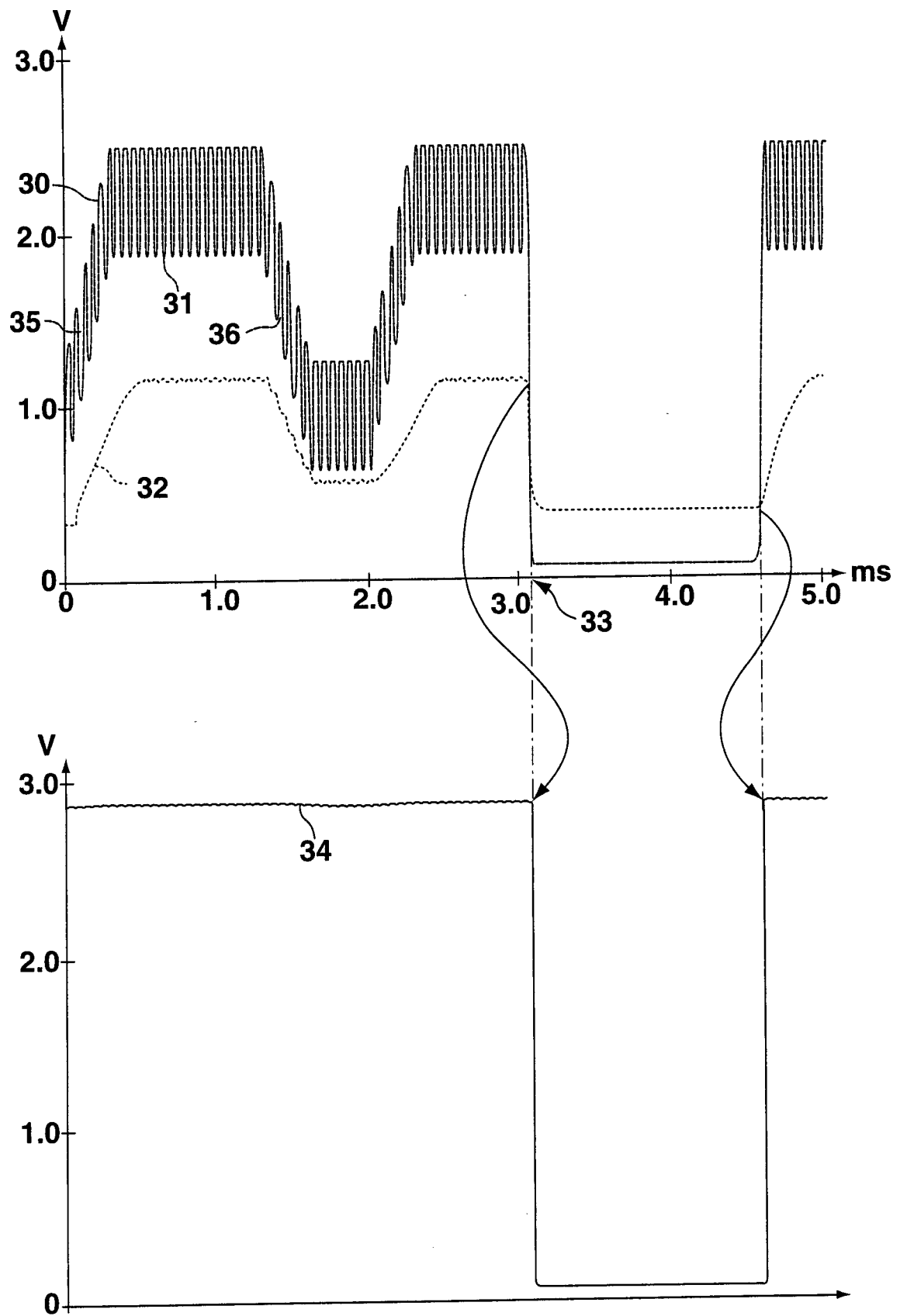


Fig. 2