



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer: 2857/81

㉒ Anmeldungsdatum: 01.05.1981

③① Priorität(en): 06.05.1980 JP 55-58742
20.08.1980 JP 55-113393

㉔ Patent erteilt: 31.10.1985

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 31.10.1985

⑦③ Inhaber:
Sodick Co., Ltd., Yokohama-shi/Kanagawa (JP)

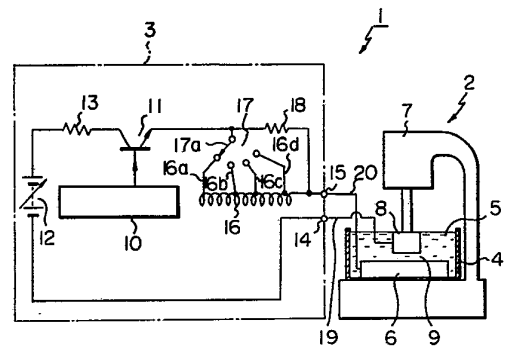
⑦② Erfinder:
Furukawa, Toshihiko, Yamato-shi/Kanagawa (JP)

⑦④ Vertreter:
Micheli & Cie, ingénieurs-conseils, Genève

⑤④ **Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung.**

⑤⑦ Eine Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung, die eine nichtspeichernde Stromversorgungseinheit (3) zum Erzeugen von Arbeitsimpulsen aufweist, die an einen Spalt zwischen einer Elektrode (8) und einem Werkstück (6) anzulegen sind, um das Werkstück (6) zu schneiden, weist eine Induktionswicklung (16) zum Verringern des scharfen Anstiegs der Vorderflanke der von der Stromversorgungseinheit (3) zugeführten Arbeitsimpulse auf, um Arbeitsimpulse mit einem graduellen Anstieg zu erhalten. Wenn eine Bearbeitung mit elektrischer Entladung mit Hilfe derartiger Impulse durchgeführt wird, ist der sich ergebende konkave Teil oder Bereich, der durch jeden Impuls geschaffen wird, flacher und im Durchmesser grösser als die konkaven Bereiche, die mit herkömmlichen Arbeitsimpulsen geschaffen worden sind.

Folglich wird die Rauigkeit einer bearbeiteten Oberfläche gering (d.h. besonders gut).



PATENTANSPRÜCHE

1. Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung mit einem Teil zum Erzeugen einer geforderten Relativbewegung zwischen einer Elektrode und einem Werkstück, gekennzeichnet durch eine nichtspeichernde Stromversorgungseinheit (3) zum Erzeugen von Arbeitsimpulsen mit einer schmalen Impulsbreite; durch ein induktives Element (16), um dem Anstiegsteil der Arbeitsimpulse einen graduellen Anstieg zu geben, wobei das induktive Element (16) in der Ausgangsschaltung der Stromversorgungseinheit (3) angeordnet ist; durch ein Widerstandselement (18), das parallel zu dem induktiven Element (16) geschaltet ist, und durch eine Einrichtung (19, 20) zum Zuführen der Impulse von dem induktiven Element (16) an den Hauptteil (2).

2. Bearbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromversorgungseinheit (3) eine Gleichspannungsquelle (12), einen Schalttransistor (11) der in Reihe mit der Gleichspannungsquelle (12) geschaltet ist, und eine Steuereinrichtung (10) zum Steuern des leitenden Zustandes des Schalttransistors (11) aufweist, wobei Impulse mit einer geringen Impulsbreite erzeugt werden.

3. Bearbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (17) zum Einstellen des Induktivitätswertes des induktiven Elementes (16).

4. Bearbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulsbreite nicht grösser als $10\mu\text{s}$ ist.

5. Bearbeitungseinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulsbreite nicht grösser als $10\mu\text{s}$ ist, dass der Induktivitätswert des induktiven Elementes (16) nicht kleiner als $3\mu\text{H}$ ist, und dass die Spannung der Gleichspannungsquelle (12) der Schaltanordnung nicht kleiner als 150V ist.

6. Bearbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuführeinrichtung (19, 20) Arbeitsimpulse an den Spalt (9) zwischen der Bearbeitungselektrode (8) und dem Werkstück (6) in der Weise anlegt, dass das Potential des Werkstückes (6) höher ist als das der Bearbeitungselektrode (8).

7. Bearbeitungseinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulsbreite nicht grösser als $10\mu\text{s}$ ist, dass der Induktivitätswert des induktiven Elementes (16) nicht kleiner als $3\mu\text{H}$ ist, und dass die Spannung der Gleichspannungsquelle (12) der Schaltanordnung nicht kleiner als 150V ist.

Die Erfindung betrifft eine Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Wenn eine Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung verwendet wird, welche eine nichtspeichernde Energiequelle zum Erzeugen von Arbeitsimpulsen benutzt, ist es bekannt, dass die Impulsbreite der Arbeitsimpulse verringert werden kann, um eine Oberfläche mit geringerer Rauigkeit zu erhalten. Um mit einer herkömmlichen, nichtspeichernden Energiequelle zum Erzeugen von Arbeitsimpulsen die Glattheit der maschinell bearbeiteten Oberfläche zu verbessern, sind Versuche unternommen worden, um Impulse mit einer geringeren Impulsbreite mittels hochfrequenten Hochleistungs-Schaltelementen zu schaffen. Da jedoch Impulse dieser Art eine hohe Spitzenspannung (von mehreren 10 (rens) Volt) haben müssen, liegt die minimale Impulsbreite, die im Hinblick auf die Schaltcharakteristiken der Schaltelemente erreichbar ist, die für eine solche Hochspannung

verwendbar sind, bestenfalls bei $1\mu\text{s}$. Wenn jedoch die effektive Entladungsstromstärke in Betracht gezogen wird, ist in der Praxis die minimale Impulsbreite etwa $2\mu\text{s}$.

Selbst wenn eine maschinelle Bearbeitung mit einer elektrischen Entladung mit Impulsen mit einer derart geringen Impulsbreite durchgeführt wird, liegt die Rauigkeit der bearbeiteten Oberfläche bestenfalls bei etwa μR max. Wenn jedoch eine feinere Oberflächen-Endbearbeitung gefordert wird, ist ein zusätzlicher Schritt erforderlich. Folglich nehmen die Anzahl Schritte und die Kosten der maschinellen Bearbeitung zu.

Die Erfindung soll daher eine Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung schaffen, mit welcher ein Werkstück mit einer geringen Oberflächenrauigkeit geschaffen werden kann, ohne dass die Impulsbreite unter die vorerwähnte Breite verringert zu werden braucht. Ferner soll eine Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung geschaffen werden, mit welcher die Oberfläche eines Werkstückes mit einer genauen und glänzenden Endbearbeitung bearbeitet werden kann. Gemäss der Erfindung ist dies bei einer Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 erreicht. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

Von dem Erfinder wurden Untersuchungen angestellt und Versuche durchgeführt, aus denen zu ersehen war, dass der in dem Werkstück durch einen Arbeitsimpuls gebildete konkave Teil oder Bereich flacher und im Durchmesser breiter wird, wenn der Arbeitsimpuls verhältnismässig schmal gemacht wird und seiner Anstiegsflanke ein allmählicher Anstieg gegeben wird, und dass darüber hinaus die Polarität des Arbeitsimpulses, der an den Spalt zwischen der Elektrode und dem Werkstück angelegt worden ist, eine Wirkung auf den Rauigkeitsgrad der Oberflächenendbearbeitung hat.

Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist eine Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung mit einer nichtspeichernden Energiequelle zum Erzeugen von Arbeitsimpulsen, die an einen Spalt zwischen einer Elektrode und einem Werkstück zum Schneiden des Werkstückes angelegt werden, eine Induktionsspule oder -wicklung zum Abschwächen der Schärfe der Vorderflanke der Arbeitsimpulse aufweist, die von der Energiequelle zugeführt worden sind, um Arbeitsimpulse mit einem allmählichen, graduellen Anstieg zu erhalten. Die Impulsbreite der Arbeitsimpulse mit dem graduellen Anstieg ist verhältnismässig schmal gemacht und liegt beispielsweise zwischen $2\mu\text{s}$ und $10\mu\text{s}$. Wenn eine maschinelle Bearbeitung mit elektrischer Entladung mit Hilfe derartiger Impulse vorgenommen wird, wird der sich ergebende konkave Teil, der durch jeden Impuls erzeugt worden ist, flacher und im Durchmesser grösser als die konkaven Teile oder Bereiche, die durch herkömmliche Arbeitsimpulse hergestellt worden sind. Folglich wird die Rauigkeit der maschinell bearbeiteten Oberfläche gering (d. h. gut). Wenn darüber hinaus die Arbeitsimpulse an den Spalt in der Weise angelegt werden, dass in dem vorerwähnten Fall die werkstücksseitige Polarität positiv und die elektrodenseitige Polarität negativ ist, wird die maschinell bearbeitete Oberfläche unabhängig von der Art des Materials des Werkstückes eine blanke, glänzende Fläche. Auch kann der geforderte Rauigkeitsgrad durch Einstellen des Induktionswertes der Induktionsspule oder -wicklung erhalten werden. Da eine äusserst geringe Rauigkeit erhalten werden kann, ohne die Impulsbreite der Arbeitsimpulse übermässig zu verringern, kann ein preiswertes Schaltelement verwendet werden, wodurch die Kosten der gesamten Einrichtung niedrig gehalten werden können.

Durch die Erfindung kann somit eine blanke bzw. glänzende maschinell bearbeitete Oberfläche durch eine Bearbeitung mit elektrischer Entladung erhalten werden, ohne dass die Impulsbreite der Arbeitsimpulse übermässig stark verringert werden muss. Insbesondere braucht die Impulsbreite nicht unter dem herkömmlichen Grenzwert herabgesetzt zu werden, der durch die Ansprechcharakteristik des Schaltelementes festgelegt ist.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen im einzelnen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung gemäss der Erfindung;

Fig. 2 eine Wellenform des Impulses, welcher in der in Fig. 1 dargestellten Stromversorgungseinheit erzeugt worden ist;

Fig. 3A die Form eines herkömmlichen Arbeitsimpulses;

Fig. 3B eine Schnittansicht durch ein Werkstück, das mit dem in Fig. 3A dargestellten Arbeitsimpuls bearbeitet worden ist;

Fig. 4A die Form des Arbeitsimpulses, welcher in der in Fig. 1 dargestellten Einrichtung verwendet worden ist, und

Fig. 4B eine Schnittansicht eines Werkstückes, das mit dem in Fig. 4A dargestellten Arbeitsimpuls bearbeitet worden ist.

In Fig. 1 ist eine Ausführungsform einer Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung gemäss der Erfindung dargestellt. Eine Bearbeitungseinrichtung 1 mit elektrischer Entladung weist ein Hauptteil 2, das in Fig. 1 schematisch dargestellt ist, und eine Stromversorgungseinheit 3 zum Zuführen von Arbeitsimpulsen auf, welche zwischen ein Werkstück 6, das in ein entsprechendes dielektrisches Fluid 5 in einem Bearbeitungsbehälter 4 eingetaucht ist, und eine am Kopf 7 des Hauptteils 2 angebrachte Elektrode 8 angelegt werden. In dem Kopf ist ein (nicht dargestellter) Servomechanismus angeordnet, und der Spalt zwischen der Elektrode 8 und dem Werkstück 6 kann auf eine entsprechende Grösse eingestellt werden, um eine Bearbeitung mit elektrischer Entladung durchzuführen. Da die Anordnung des vorbeschriebenen Hauptteils 2 bekannt ist, wird dessen Aufbau sowie der Aufbau des Servomechanismus nicht mehr im einzelnen beschrieben.

Die Stromversorgungseinheit 3 weist einen Schalttransistor 11 auf, der von einer Steuereinrichtung 10 so gesteuert wird, dass er an- und ausgeschaltet wird. Der positive Pol einer Gleichspannungsquelle 12 ist über einen Widerstand 13 mit dem Kollektor des Schalttransistors 11 und ihr negativer Pol ist unmittelbar mit einem Ausgangsanschluss 14 verbunden. Eine kernlose Spule bzw. Wicklung 16 ist zwischen einem weiteren Ausgangsanschluss 15, der elektrisch mit dem Werkstück 6 verbunden ist, und der Ausgangsschaltung des Schalttransistors 11 vorgesehen, um der Anstiegsflanke jedes der Arbeitsimpulse, die von dem Schalttransistor 11 erzeugt werden, einen allmählichen bzw. graduellen Anstieg zu geben. Der Grad des allmählichen bzw. graduellen Anstiegs kann durch Ändern der Induktivität der Wicklung 16 eingestellt werden. Zum Ändern der Induktivität der Wicklung 16 ist ein Schalter 17 vorgesehen, über welchen der Emitter des Schalttransistors 11 mit einem der Abgriffe 16a bis 16d der Wicklung 16 wahlweise verbunden werden kann.

Ein Widerstand 18 ist zwischen einen beweglichen Kontakt 17a und den Ausgangsanschluss 15 geschaltet, so dass der Widerstand 18 unabhängig von der Schaltstellung des Schalters 17 parallel zu der kernlosen Wicklung 16 geschaltet ist. Da durch das Vorsehen des Widerstandes 18 die in der kernlosen Wicklung 16 gespeicherte Energie in dem Widerstand 18 verbraucht wird, wenn der Schalttransistor 11 abge-

schaltet ist, kann dadurch eine unerwünschte Entladung aufgrund der in der Wicklung 16 gespeicherten Energie am Spalt 9 verhindert werden. Die Ausgangsanschlüsse 14 und 15 sind durch Leitungen 19 bzw. 20 mit der Elektrode 8 und dem Werkstück 6 verbunden, so dass die Arbeitsimpulse an den Spalt 9 in der Weise angelegt werden, dass das Werkstück 9 auf positivem Potential und die Bearbeitungselektrode 8 auf negativem Potential liegt. Wie nachstehend noch im einzelnen beschrieben wird, hat die Wahl der Polarität der an dem Spalt 9 angelegten Arbeitsimpulse einen grossen Einfluss auf den fertigen Zustand der bearbeiteten Oberfläche.

Die Steuereinrichtung 10 weist einen Impulsgenerator zum Erzeugen von Impulsen mit einer geforderten Impulsbreite und Frequenz auf, und die Steuereinrichtung 10 steuert den Ein- und den Ausschaltzeitpunkt des Schalttransistors 11 mittels der Impulse von dem Impulsgenerator. Folglich kann die Impulsbreite der Impulse, die vom Emitter des Schalttransistors 11 erhalten werden, auf einen geforderten Wert festgelegt werden. Beispielsweise kann die Impulsbreite auf weniger als $10\mu\text{s}$ festgelegt werden, welches die Impulsbreite im herkömmlichen Fall ist, wenn eine so geringe Rauigkeit der Bearbeitungsfläche wie bei einer Endbearbeitung gefordert wird. Ferner wird die Induktivität der Wicklung 16 so festgelegt, dass die Vorderflanke der Arbeitsimpulse einen allmählichen bzw. graduellen Anstieg hat, wie durch gestrichelte Linien in Fig. 2 dargestellt ist. Je grösser der Induktivitätswert der Wicklung ist, umso langsamer wird der Anstieg der Vorderflanke des Impulses. Von dem Erfinder wurde bestätigt, dass je langsamer bzw. gradueller der Anstieg der Vorderflanke der Impulse ist, umso geringer (d. h. besser) die Rauigkeit der bearbeiteten Oberfläche wird.

Der Grund, warum die Rauigkeit der bearbeiteten Fläche herabgesetzt (d. h. verbessert) ist, indem der Vorderflanke der Arbeitsimpulse, die eine geringe Impulsbreite von weniger als $10\mu\text{s}$ haben, ein allmählicher gradueller Anstieg gegeben wird, ist folgender:

Der Durchmesser eines konkaven Teils oder Bereichs, der durch einen herkömmlichen schmalen Impuls, wie er in Fig. 3A dargestellt ist, erzeugt worden ist, ist so klein, wie er in Fig. 3B dargestellt ist, aber die Tiefe des konkaven Teils oder Bereichs ist verhältnismässig gross (d. h. der konkave Bereich ist verhältnismässig tief). Wenn jedoch ausser einer Verringerung der Breite des Arbeitsimpulses der Vorderflanke des Impulses ein allmählicher bzw. gradueller Anstieg gegeben wird, wie in Fig. 4A dargestellt ist, ist der sich ergebende konkave Teil oder Bereich flacher und sein Öffnungsdurchmesser ist grösser, wie in Fig. 4B dargestellt ist. Von dem Erfinder der vorliegenden Erfindung wurde durch Versuche bestätigt, dass die Rauigkeit der in einer Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung bearbeiteten Oberfläche auf weniger als $1\mu\text{R}$ max verringert werden kann, wenn die Bearbeitung mit Arbeitsimpulsen mit einer graduellen Anstiegscharakteristik durchgeführt wird. Um eine so geringe Rauigkeit zu erhalten, sollte ausserdem der Induktivitätswert der Wicklung 16 gross genug gemacht werden, um nicht nur der Anstiegsflanke des Impulses einen graduellen Anstieg zu geben, sondern auch um die Streukapazität auf der Seite des Schaltelementes zu der kernlosen Wicklung 16 hin zu beseitigen. Folglich wird eine Induktivität von mindestens $3\mu\text{H}$ in einer bestimmungsgemäss arbeitenden Einrichtung gefordert.

Da ausserdem die effektive Entladungsstromstärke am Spalt 9 kleiner wird, wenn die Arbeitsimpulse einen graduellen Anstieg haben, wird vorzugsweise die Spannung an der Gleichspannungsquelle 12 erhöht, um zu verhindern, dass die effektive Entladungsstromstärke geringer wird. Die Spannung an der Hauptgleichspannungsquelle in einer her-

kömmlichen Einrichtung beträgt etwa 60 bis 100V. Entsprechend von dem Erfinder durchgeführten Versuchen kann annähernd die gleiche effektive Entladungsstromstärke wie in der herkömmlichen Einrichtung bei allmählich bzw. graduell ansteigenden Arbeitsimpulsen erhalten werden, wenn die Spannung der Gleichspannungsquelle auf 150V oder höher eingestellt wird.

Die Beziehung zwischen der Anstiegscharakteristik des Arbeitsimpulses und dem sich ergebenden Zustand an der bearbeiteten Oberfläche ist vorstehend bereits erläutert. Nunmehr wird die Beziehung zwischen der Polarität des Arbeitsimpulses, der von den Anschlüssen 14 und 15 an den Spalt 9 angelegt worden ist, und dem sich ergebenden Zustand an der bearbeiteten Oberfläche erläutert. Zuerst wird in Abhängigkeit von dem Material des Werkstücks usw. festgesetzt, ob der positive Ausgangsanschluss der Energiequelle an das Werkstück oder an die Bearbeitungselektrode angeschlossen werden sollte. Bei verschiedenen, von dem Erfinder durchgeführten Versuchen hat sich jedoch bestätigt, dass der sich ergebende Zustand der bearbeiteten Fläche in beachtlichem Masse durch die Polarität der an den Spalt 9 angelegten Bearbeitungsimpulse beeinflusst wird, wenn eine Bearbeitung mit elektrischer Entladung mit Hilfe von Arbeitsimpulsen mit einer geringen Impulsbreite und einem graduellen Anstieg durchgeführt wird.

Es wurde ein Versuch mit einem Werkstück aus Eisen und einer Bearbeitungselektrode aus Kupfer durchgeführt. Die Induktivität der Wicklung 16 wurde mit $6\mu\text{H}$ gewählt, der Widerstandswert des Widerstandes 18 betrug 20Ω und die angelegte Spannung betrug 270V. Der positive Ausgangsanschluss 15 der Stromversorgungseinheit 3 wurde mit dem Werkstück 6 und deren negativer Anschluss wurde mit der Bearbeitungselektrode 8 verbunden. Das Werkstück wurde durch Anlegen von Arbeitsimpulsen an den Spalt 9 bearbeitet, wobei das Werkstück 5 auf positivem und die Elektrode 8 auf negativem Potential lagen. Die bearbeitete Oberfläche des Werkstücks 6 hatte nicht nur eine geringe Rauigkeit, sondern wurde auch blank bzw. glänzend. Der Versuch wurde dann auch noch mit CU-W und Ag-W-Elektroden und nichtrostenden sowie WC-Werkstücken durchgeführt. Die blanke bzw. glänzende Oberfläche wurde bei jeder Elektroden- und Werkstückkombination erhalten. Bei der erfindungsgemässen Einrichtung war ausser der Bearbeitung mit

einer elektrischen Entladung keine End- oder Feinbearbeitung oder eine Hochglanzpolitur erforderlich. Folglich wird die Anzahl Schritte bei einer Bearbeitung mit elektrischer Entladung geringer. Ferner wurde auch noch ein weiterer Versuch unter denselben Bedingungen wie in dem vorbeschriebenen Fall durchgeführt, ausser dass die Polarität der an den Spalt angelegten Arbeitsimpulse umgekehrt wurde. Obwohl in diesem Fall die Rauigkeit der bearbeiteten Oberfläche des Werkstückes geringer (d. h. besser) war als die eines Werkstückes, das mit einer herkömmlichen Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung bearbeitet worden ist, war dessen Oberfläche nicht blank bzw. glänzend.

Der Induktivitätswert von $6\mu\text{H}$ für die Wicklung, der Widerstandswert von 20Ω und die Spannung von 270V waren nur Beispiele, und die Erfindung ist selbstverständlich nicht auf diese Werte beschränkt.

Wie oben ausgeführt, kann eine blank bzw. glänzend bearbeitete Fläche unabhängig von der Materialart der Bearbeitungselektrode oder des Werkstückes erhalten werden, indem die Impulsbreite des Arbeitsimpulses verringert, dem Arbeitsimpuls ein gradueller Anstieg gegeben wird, und die Polarität des Arbeitsimpulses entsprechend gewählt wird, um das Potential des Werkstückes bezüglich des Potentials der Bearbeitungselektrode positiv zu machen. Der Rauigkeitsgrad der Oberfläche des Werkstückes kann dann durch Auswählen der Stellung des Schalters 17 ohne weiteres gesteuert werden.

Mit der Erfindung können somit die Herstellungskosten der Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung herabgesetzt werden, weil kein teures Schaltelement erforderlich ist, da mit der erfindungsgemässen Einrichtung eine bearbeitete Oberfläche geringer Rauigkeit geschaffen werden kann, ohne dass die Impulsbreite des Arbeitsimpulses extrem stark verringert werden muss. Obwohl nur eine Schaltanordnung zum Erzeugen von Arbeitsimpulsen in der vorstehend beschriebenen Ausführungsform gemäss der Erfindung verwendet ist, ist die Erfindung nicht auf eine Bearbeitungseinrichtung mit elektrischer Entladung mit nur einer Schaltanordnung zum Erzeugen der Arbeitsimpulse beschränkt. Die Erfindung ist auch bei einer Einrichtung anwendbar, die zum Triggern eine Hochspannungs-Überlagerungsenergiequelle aufweist.

45

50

55

60

65

