

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
24. Juli 2014 (24.07.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2014/111328 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*H03K 3/53* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/050444

(22) Internationales Anmeldedatum:  
13. Januar 2014 (13.01.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102013200844.9 21. Januar 2013 (21.01.2013) DE

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: HARTMANN, Werner; Karlsweg 10, 91085 Weisendorf (DE). HERGT, Martin; Bierweg 90, 90411 Nürnberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

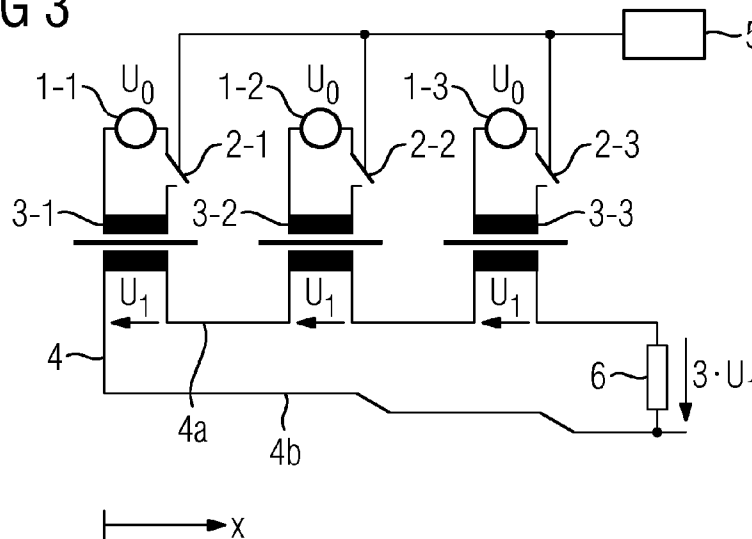
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: HIGH-VOLTAGE PULSE GENERATOR AND METHOD FOR GENERATING HIGH-VOLTAGE PULSES

(54) Bezeichnung : HOCHSPANNUNGSIMPULSGENERATOR UND VERFAHREN ZUM ERZEUGEN VON HOCHSPANNUNGSIMPULSEN

FIG 3



(57) Abstract: The invention relates to a high-voltage pulse generator, in which the high-voltage pulses provided are transformed to a higher voltage level by means of a transformation network (3-i) before being coupled into a coaxial conductor arrangement (4), in which the individual high-voltage pulses are superimposed. Said transformation network (3-i) allows the switching operations in the high-voltage pulse transformer to be carried out at a lower voltage level, thus allowing the use of switching elements (2-i) with a lower voltage sustaining capability.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/111328 A1

---

Die vorliegende Erfindung schafft einen Hochspannungsimpulsgenerator, bei dem die bereitgestellten Hochspannungsimpulse über ein Transformationsnetzwerk (3-i) auf ein höheres Spannungsniveau transformiert werden, bevor die Hochspannungsimpulse in eine koaxiale Leiteranordnung (4) eingekoppelt werden, in der sich die einzelnen Hochspannungsimpulse überlagern. Durch dieses Transformationsnetzwerk (3-i) ist es möglich, die Schaltvorgänge im Hochspannungsimpulstransformator auf einem niedrigeren Spannungsniveau auszuführen und somit Schaltelemente (2-i) mit geringerer Spannungsfestigkeit einzusetzen.

## Beschreibung

Hochspannungsimpulsgenerator und Verfahren zum Erzeugen von Hochspannungsimpulsen

5

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Hochspannungsimpulsgenerator und ein Verfahren zum Erzeugen von Hochspannungsimpulsen in einem Hochspannungsimpulsgenerator.

## 10 Stand der Technik

Hochspannungs- und Hochleistungsimpulse im Bereich von einigen Kilowatt bis zu mehreren hundert Terrawatt werden auf dem Gebiet der Leistungselektronik sowohl für wissenschaftliche  
15 Zwecke, als auch für industrielle Anwendungen genutzt. Die dabei erzeugten Energieimpulse haben üblicherweise eine Impulsdauer im Bereich von wenigen Pikosekunden bis zu einigen Millisekunden. Im industriellen Bereich finden solche Puls-  
generatoren beispielsweise Anwendung zur Sterilisation von  
20 Früchten, Milchprodukten und vielen mehr. In einer typischen Anwendung für die Elektroporation werden beispielsweise Pulse mit einer Spannung von 250 kV, Strömen von einigen 10 kA mit einer Pulsdauer von 1-2  $\mu$ s erzeugt.

25 Solche Pulse können beispielsweise mittels eines Inductive Voltage Adder erzeugt werden, wie er in Figur 1 dargestellt ist. Hierbei handelt es sich um eine koaxiale Leiteranordnung aus einem Außenleiter 11 und einem Innenleiter 12. Um diese koaxiale Leiteranordnung sind mehrere Spannungsquellen 21-i  
30 bis 26-i angeordnet. In dem dargestellten Beispiel handelt es sich um einen sechsstufigen Inductive Voltage Adder (IVA). Die sechs Stufen sind dabei axial, also in x-Richtung nebeneinander angeordnet. Jede dieser Stufen kann dabei durch eine oder mehrere parallel geschaltete Spannungsquellen gespeist  
35 werden. Im dargestellten Beispiel wird jede Stufe durch zwei Spannungsquellen, zum Beispiel 21-1 und 21-2 gespeist. Diese einzelnen Spannungsquellen sind dabei azimuthal, vorzugsweise äquidistant um den koaxialen Innenleiter angeordnet. Zur Er-

zeugung eines Energieimpulses geben dabei alle Spannungsquellen 21-i bis 26-i zeitlich synchronisiert einen Energieimpuls ab. Diese Energieimpulse wandern daraufhin als elektromagnetische Welle in die Kavität 13 des koaxialen Leiters zwischen Außenleiter 11 und Innenleiter 12. Dabei addieren sich die Spannungen der axial nebeneinander angeordneten Spannungsquellen. Bei  $n$  nebeneinander angeordneten Spannungsquellen mit der Ausgangsspannung  $U_0$  ergibt sich somit ein Spannungsimpuls der Gesamtspannung  $n \times U_0$ . Im in Figur 1 dargestellten Beispiel erhält man somit einen Spannungspuls der sechsfachen Spannung einer einzelnen Spannungsquelle.

Figur 2 zeigt schematisch das Schaltbild gemäß dem Grundprinzip eines IVA. Durch eine serielle Anordnung in den Spannungsquellen 21-i bis 26-i lassen sich die Impulsleitungen als Spannungsvervielfachungsschaltungen realisieren. Dabei wird der positive Leiter der einen Leitung mit der negativen Leitung der darauffolgenden Stufe verbunden. Damit bei der alternierenden Verbindung der Leiter kein Kurzschluss entsteht, muss die Verbindung für die Dauer des Impulses isoliert sein. In der Praxis lässt sich dies mit Hilfe von ausreichend langen Übertragungsleitungen oder über die Kopplung mit hinreichend hohen Koppelinduktivitäten erreichen. Entsprechend Figur 1 wird dies bei einem IVA durch die magnetischen Kerne 31-36 erzielt. Hierdurch wird die relative Permeabilität in diesem Abschnitt stark vergrößert, wodurch sich die Impedanz in der Verbindung erhöht und sich auf diese Weise ein Kurzschluss vermeiden lässt.

Für eine Überlagerung der Hochspannungsimpulse innerhalb der Kavität 13 müssen die Spannungsquellen 21-1, 21-2 bis 26-1, 26-2 sehr präzise zeitlich synchronisiert ihren Energieimpuls abgeben. Hierzu ist jede Spannungsquelle mit einem Schaltelement ausgestattet, das es erlaubt, die gewünschte Hochspannung genau zum gewünschten Zeitpunkt in die Kavität 13 des IVA einzukoppeln. Bei diesen Schaltelementen kann es sich beispielsweise um Gasentladungsschalter oder aber auch um spannungsfeste Halbleiterschalter handeln. Gasentladungs-

schalter besitzen eine relativ große Spannungsfestigkeit. Halbleiterschalter dagegen weisen im Vergleich zu Gasentladungsschaltern eine höhere Lebensdauer auf und erfordern einen geringeren Serviceaufwand als Gasentladungsschalter.

5

Die begrenzte Spannungsfestigkeit von Halbleiterschaltern beeinflusst dabei wesentlich den Aufbau eines IVA. Derzeit verfügbare kommerzielle Halbleiterschalter besitzen eine Durchbruchspannung von maximal 6,5 kV. Für die Praxis ergibt sich somit eine maximale Betriebsspannung von etwa 4,5 kV. Diese Betriebsspannung liegt deutlich unterhalb der für den Betrieb eines typischen IVA erforderlichen Hochspannung von beispielsweise 250 kV. Um dennoch einen Hochspannungsimpuls mit der gewünschten Ausgangsspannung zu erhalten, sind grundsätzlich zwei Ansätze möglich. Einerseits kann durch eine entsprechende Erhöhung der Anzahl von sequentiell angeordneten Spannungsstufen des IVA die resultierende Ausgangsspannung gesteigert werden. Ferner kann die Spannungsfestigkeit der Schaltelemente auch durch eine Reihenschaltung der Halbleiterschalter gesteigert werden.

Durch die Steigerung der sequentiellen Spannungsstufen erhöhen sich die Anzahl der erforderlichen Komponenten und das Volumen des Gesamtsystems, was zu einer signifikanten Kostensteigerung führt. Bei einer Reihenschaltung von mehreren diskreten Halbleiterschaltern kann die Spannungsfestigkeit für das Schaltelement ebenfalls erhöht werden. In der Praxis ist jedoch bei einer solchen Reihenschaltung mehrerer Halbleiterschalter ein aufwändiges Symmetrisierungsnetzwerk erforderlich, welches die Schaltungskomplexität erhöht und somit die Verluste und die Kosten des Gesamtsystems ebenfalls steigert.

Es besteht daher ein Bedarf nach einem vereinfachten und kostengünstigen Aufbau für einen Hochspannungsimpulsgenerator mit Halbleiterschaltelementen.

35

Offenbarung der Erfindung

Gemäß eines Aspektes schafft die vorliegende Erfindung einen Hochspannungsimpulsgenerator mit einer koaxialen Leiteranordnung, in die über mindestens eine Hochspannungsstufe ein Hochspannungsimpuls eingekoppelt wird, wobei die Hochspannungsstufe eine Hochspannungsquelle, ein schaltbares Steuerelement und einen Impulstransformator umfasst.

Gemäß eines weiteren Aspekts schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung von Hochspannungsimpulsen in einem Hochspannungsimpulsgenerator mit einer koaxialen Leiteranordnung, in die über mindestens eine Hochspannungsstufe ein Hochspannungsimpuls eingekoppelt wird, wobei die Hochspannungsstufe einen von einer Hochspannungsquelle bereitgestellte erste Hochspannung in eine zweite Hochspannung transformiert und die transformierte zweite Hochspannung in die koaxiale Leiteranordnung einkoppelt.

Es ist eine Idee der vorliegenden Erfindung, in einem Hochspannungsimpulsgenerator zunächst eine im Vergleich zur der Spannung einer Spannungsstufe relativ geringe Hochspannung zu erzeugen, diese relativ geringe Hochspannung daraufhin über einen geeigneten Transformator auf ein höheres Spannungsniveau zu transformieren, und die transformierte Hochspannung in den Hochspannungsimpulsgenerator einzuspeisen. Dabei können die Schaltvorgänge im Impulsgenerator auf der Primärseite des Transformators ausgeführt werden. Da auf dieser Primärseite das Spannungsniveau geringer ist als auf der Sekundärseite des Transformators, können die Schaltelemente mit entsprechend geringerer Spannungsfestigkeit verwendet werden.

Aufgrund des geringeren Spannungsniveaus auf der Primärseite des Transformators können somit auch sehr gut Halbleiterschalter eingesetzt werden, die im Vergleich zu Gasentladungsschaltern zwar eine geringere Spannungsfestigkeit besitzen, dafür aber weniger Serviceaufwand erfordern und eine höhere Lebensdauer besitzen.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Halbleiterschalter zwar eine relativ geringe Spannungsfestigkeit besitzen, jedoch eine sehr große Stromtragfähigkeit aufweisen, die bei konventionellem Einsatz in der Regel nicht ausgeschöpft wird.

5 Durch geeignete Dimensionierung des Transformators in dem erfindungsgemäßen Hochspannungsimpulsgenerator können somit Strom und Spannung gut auf den Arbeitsbereich des verwendeten Halbleiter-Schaltelementes der Hochspannungsstufe angepasst werden. Das Schaltelement kann daher in einem optimalen Ar-

10 beitsbereich betrieben werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist der Impulstransformator dazu ausgelegt, eine von der Hochspannungsquelle bereitgestellte erste Hochspannung in eine zweite Hochspannung zu transfor-

15 mieren und die transformierte zweite Hochspannung in die koaxiale Leiteranordnung einzukoppeln. Vorzugsweise ist dabei die erste Hochspannung auf der Primärseite des Impulstransformators geringer als die zweite Hochspannung auf der Sekundärseite des Impulstransformators. Durch eine geeignete Di-

20 mensionierung des Impulstransformators ist es dabei möglich Hochspannungsimpulse mit einer gewünschten hohen Hochspannung zu generieren und dabei auf der Primärseite des Impulstransformators einer geringeren Spannungsfestigkeit der verwendeten Steuerelemente Rechnung zu tragen.

25 Gemäß einer Ausführungsform ist das steuerbare Schaltelement ein Halbleiterschalter. Halbleiterschalter sind besonders langlebige und servicearme Schaltelemente mit hoher Stromtragfähigkeit. Daher sind solche Halbleiterschalter für eine

30 Steuerung eines erfindungsgemäßen Hochspannungsimpulsgenerators besonders geeignet.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das steuerbare Schaltelement eine Mehrzahl von parallel geschalteten Halb-

35 leiterschaltelementen. Durch die Parallelschaltung mehrerer Halbleiterschalter kann die Stromtragfähigkeit des Schaltelements noch weiter gesteigert werden. Somit können besonders energiereiche Hochspannungsimpulse erzeugt werden.

Gemäß einer Ausführungsform beträgt die erste Hochspannung auf der Primärseite des Impulstransformators maximal 6,5 kV, vorzugsweise maximal 4,5 kV. Durch die Beschränkung der primärseitigen Hochspannung auf diese Werte kann die Spannungsfestigkeit von Halbleiterschaltern eingehalten werden.

Eine Ausführungsform umfasst eine Mehrzahl von Hochspannungsstufen, die an einer axialen Position azimuthal voneinander beabstandet jeweils einen Hochspannungsimpuls in die koaxiale Leiteranordnung einkoppeln. Hierdurch kann die eingekoppelte Energie erhöht werden.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst eine Mehrzahl von Hochspannungsstufen, die axial beabstandet Hochspannungsimpulse in die koaxiale Leiteranordnung eingekoppelt. Hierdurch addieren sich die eingekoppelten Spannungen woraus eine erhöhte Ausgangsspannung resultiert.

Gemäß einer Ausführungsform werden die steuerbaren Schaltelemente der verschiedenen Hochspannungsquellen zeitsynchron durch eine Steuerschaltung geschaltet. Durch eine solche Steuerschaltung ist es möglich, alle Schaltelemente der einzelnen Hochspannungsstufen zu synchronisieren und somit die Energieabgabe der einzelnen Stufe so zu steuern, dass sich die Hochspannungsimpulse korrekt addieren.

Gemäß einer Ausführungsform wird die koaxiale Leiteranordnung eingekoppelte Hochspannung über eine Hochspannungsführung an eine Last abgeleitet. Auf diese Weise ist es möglich, den erzeugten Hochspannungsimpuls gezielt abzugeben.

In einer Ausführungsform ist die Last eine Elektroporationsvorrichtung.

35

In einer weiteren Ausführungsform ist die Last eine Anordnung zur Erzeugung von kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung, Elektronen- oder Ionenstrahlen.

In noch einer weiteren Ausführungsform ist die Last eine Anordnung zur elektrodynamischen oder elektrohydraulischen Zerkleinerung von mineralischen und/oder biologischen Stoffen.

5

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und den dazugehörigen Figuren näher erläutert.

10

Es zeigen:

Figur 1: eine schematische Darstellung eines Inductive Voltage Adder;

15

Figur 2: eine schematische Darstellung eines Schaltbilds eines Inductive Voltage Adders;

Figur 3: eine schematische Darstellung eines Schaltbilds eines Hochspannungsimpulsgenerators gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

20

Figur 4: eine schematische Darstellung eines Schaltbilds eines Hochspannungsimpulsgenerators gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

25

Figur 5: eine schematische Darstellung eines Schaltbilds eines Hochspannungsimpulsgenerators gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

30

Figur 6: eine schematische Darstellung eines Verfahrens zur Erzeugung von Hochspannungsimpulsen gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

35

Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Schaltbilds eines Hochspannungsimpulsgenerators, wie beispielsweise eines Inductive Voltage Adders, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Hochspannungsimpulsgenerator umfasst dabei drei Hochspannungsstufen 1, 2, 3. Jede dieser Hochspannungsstufen  $i$  umfasst eine Hochspannungsquelle  $1-i$ , ein schaltbares Steuerelement  $2-i$  und einen Impulstransformator  $3-i$ . Die Hochspannungsquellen  $1-i$  erzeugen dabei eine Hochspannung mit einem ersten Spannungswert  $U_0$ . Vorzugsweise ist der erste Spannungswert aller Hochspannungsquellen  $1-i$  dabei gleich. Die Hochspannungsquellen  $1-i$  sind über die steuerbaren Schaltelemente  $2-i$  mit der Primärseite der Impulstransformatoren  $3-i$  verbunden. Als Schaltelemente  $2-i$  sind dabei zunächst grundsätzlich alle Schaltelemente möglich, die eine ausreichende Spannungsfestigkeit, sowie eine erforderliche Stromtragfähigkeit bezüglich der von der Hochspannungsquelle  $1-i$  bereitgestellten Energie aufweisen. Dabei kann es sich neben bekannten Gasentladungsfunkenstrecken insbesondere auch um Halbleiterschaltelemente handeln. Beispielsweise kann es sich bei einem solchen Halbleiterschaltelement um einen Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode (IGBT) handeln.

Zur gezielten und zeitsynchronen Ansteuerung aller Schaltelemente  $2-i$  sind die Schaltelemente  $2-i$  mit einer Steuerschaltung 5 verbunden. Diese Steuerschaltung 5 steuert alle Schaltelemente  $2-i$  derart an, dass sich die von den einzelnen Hochspannungsquellen  $1-i$  abgegebenen Energien in dem Hochspannungsimpulsgenerator überlagern.

Zur Erzeugung eines Hochspannungsimpulses wird durch die Hochspannungsquelle  $1-i$  die erforderliche Hochspannung  $U_0$  erzeugt. Hierzu wird die Hochspannungsspannung  $1-i$  auf die gewünschte Hochspannung  $U_0$  aufgeladen. Anschließend können die Schaltelemente  $2-i$  durch die Steuerschaltung 5 gezielt zeitsynchron geschlossen werden. Daraufhin liegt an der Primärseite der Impulstransformatoren  $3-i$  die Hochspannung  $U_0$  der Spannungsquellen  $1-i$  an. Es beginnt ein Strom  $I_0$  durch die

die Schaltelemente 2-i und die Impulstransformatoren 3-i zu fließen.

Jeder der Impulstransformatoren 3-i besitzt dabei vorzugswei-  
5 se ein identisches Übertragungsverhältnis von 1:n. Das heißt,  
wenn an der Primärseite die Eingangsspannung  $U_0$  anliegt, so  
liegt an dem Impulstransformator 3-i eine sekundärseitige  
Leerlaufspannung von  $U_1 = n \cdot U_0$  an. Die sekundärseitige Aus-  
gangsspannung  $U_1$  der Impulstransformatoren 3-i wird daraufhin  
10 in eine koaxiale Leiteranordnung 4 des Hochspannungsimpulsge-  
nerators eingespeist. Hierzu kann beispielsweise die von den  
Impulstransformatoren 3-i bereitgestellte Energie über einen  
Bandleiter in die koaxiale Leiteranordnung 4 eingekoppelt  
werden.

15

Die koaxiale Leiteranordnung des Hochspannungsimpulsgenera-  
tors weist dabei einen Außenleiter 4-a und einen Innenleiter  
4-b auf. Werden dabei in axiale Richtung mehrere Einspeisun-  
gen vorgenommen, wie dies in Figur 3 beispielsweise durch die  
20 Hochspannungsstufen 1, 2 und 3 dargestellt ist, so wird mit  
jeder Einspeisung der Abstand zwischen Innenleiter 4-b und  
Außenleiter 4-a angepasst, um somit die Impedanz der koaxia-  
len Leiteranordnung 4 anzupassen. Durch diese  
Impedanzanpassung wird erreicht, dass sich bei der einge-  
25 speisten Energie jeweils die Spannungen addieren und dabei  
die Stromstärke konstant bleibt. Wie in Figur 3 zu sehen ist,  
ist es hierzu erforderlich, da sich mit jeder sich in axiale  
Richtung (x-Richtung) anschließenden Einspeisestufe der Ab-  
stand zwischen Innenleiter und Außenleiter vergrößert.

30

Am ausgangsseitigen Ende der koaxialen Leiteranordnung 4  
schließt sich, wie in Figur 3 rechts dargestellt, eine Hoch-  
spannungsführung 6 an. Über diese Hochspannungsführung 6 kann  
die in die koaxiale Leiteranordnung 4 eingekoppelte Hochspan-  
35 nungsenergie abgeführt werden. Am Ausgang dieser Hochspan-  
nungsführung kann eine Last angeschlossen werden. Beispiels-  
weise kann es sich bei dieser Last um eine  
Elektroporationsvorrichtung handeln.

Elektroporationsvorrichtungen werden häufig in der Lebensmittel- oder Bioverfahrenstechnik eingesetzt. Sie dienen beispielsweise zur Inaktivierung von Mikroorganismen. Für solche  
5 Elektroporationsvorrichtungen sind energiereiche Hochspannungsimpulse erforderlich.

Es sind aber auch andere Anwendungen möglich. Beispielsweise ist auch eine Fragmentierung von mineralischen oder biologischen Feststoffen denkbar. Auch Anwendungen bei der eine  
10 Energieeinkopplung in Strahlungsquellen wie Elektronen- und Ionenstrahlenerzeugern, oder plasmabasierten Quellen kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung (UV-, extrem-UV-, Röntgenstrahlung) erfolgt, ist möglich. Ebenso denkbar ist die  
15 Anwendung bei hochenergetischen elektromagnetischen Strahlungsquellen wie Radar, bei entladungsgespeisten Lasern, oder bei intensiven Mikrowellenstrahlungsquellen.

Zum Betrieb einer Elektroporationsvorrichtung oder einer anderen oben beschriebenen Last kann durch den zuvor beschriebenen Hochspannungsimpulsgenerator beispielsweise ein Hochspannungsimpuls mit einer Spannung von typisch 250 kV und einer Stromstärke von einigen 10 kA mit einer Pulsdauer von 1-2  
20  $\mu\text{s}$  erzeugt werden. Je nach Anwendungsfall können diese Werte jedoch stark variieren. So sind Spannungsimpulse auch von  
25  $0,05\mu\text{s}$  -  $50\mu\text{s}$  möglich. Die Stromstärke kann von einigen wenigen kA bis zu mehreren 10 kA variieren. Die Spannungshöhe der Hochspannungsimpulse kann dabei durch Wahl der verwendeten Hochspannungsimpulsstufen in einem breiten Bereich variiert  
30 werden. Üblicherweise liefert dabei jede einzelne Spannungsstufe einen Beitrag von einigen wenigen kV bis hin zu einigen 10 kV und mehr.

Figur 4 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hochspannungsimpulsgenerators. Zur Steigerung der  
35 Energie pro Spannungsstufe des Hochspannungsimpulsgenerators erfolgt hierzu an einer axialen Position x mehrere Einkopplungen von Hochspannungsquellen über entsprechende Im-

pulstransformatoren. Hierzu erfolgt die Einkopplung in jeder Spannungsstufe vorzugsweise äquidistant azimuthal verteilt am Außenleiter 4-a.

- 5 Vorzugsweise erfolgen hierbei alle Einkopplungen über separate Impulstransformatoren. Jeder der Impulstransformatoren wird dabei bevorzugt von einer separaten Hochspannungsquelle gespeist.
- 10 Durch die erfindungsgemäße Transformation der primärseitigen Hochspannung  $U_0$  auf das höhere sekundärseitige Spannungsniveau  $U_1$  kann ein Hochspannungsimpuls mit einer relativ hohen Spannung in die koaxiale Leiteranordnung 4 eingekoppelt werden, wobei das Schaltelement 2-i auf der Primärseite des Impulstransformators 3-i nur eine geringere Spannungsfestigkeit
- 15 aufweisen muss. Somit ist es möglich, in den Hochspannungsimpulsgenerator Spannungsimpulse mit einer sehr hohen Spannung einzukoppeln und dabei gleichzeitig die Schalt- und Steuervorgänge in dem Hochspannungsimpulsgenerator durch Schaltelemente 2-i mit einer deutlich niedrigeren Spannungsfestigkeit
- 20 auszuführen.

Da bei einer Transformation durch die Impulstransformatoren 3-i das Verhältnis der Stromstärken umgekehrt proportional

25 zum Verhältnis der transformierten Spannungen ist, muss auf der Primärseite der Impulstransformatoren 3-i eine entsprechend höhere Stromstärke bereitgestellt werden. Bei dem zuvor beschriebenen Übertragungsverhältnis von 1:n muss daher für eine sekundärseitige Stromstärke von  $I_1$  auf der Primärseite

30 die n-fache Stromstärke  $I_0 = I_1 \cdot n$  durch die Spannungsquelle 1-i bereitgestellt werden. Darüber hinaus müssen auch die Schaltelemente 2-i eine entsprechend große Stromtragfähigkeit von  $I_0 = I_1 \cdot n$  aufweisen.

- 35 Figur 5 zeigt eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Hochspannungsimpulsgenerators. Zur Vergrößerung der Stromtragfähigkeit der Schaltelemente 2-i sind dabei jeweils mehrere Schaltelemente parallel angeordnet. Somit verteilt

sich auf der Primärseite der zu fließende Strom auf alle Schaltelemente einer Spannungsstufe.

In diesem Fall muss jedes der verwendeten Schaltelemente nur die einfache Spannungsfestigkeit entsprechend der Hochspannungsquellen 1-i aufweisen. Eine solche Parallelschaltung von mehreren Halbleiterschaltern lässt sich deutlich einfacher realisieren, als eine Reihenschaltung von Halbleiterschaltern zur Erhöhung der Spannungsfestigkeit.

10

Figur 6 zeigt ein Verfahren 100 zur Erzeugung von Hochspannungsimpulsen in einem Hochspannungsimpulsgenerator. Hierzu wird in Schritt 110 ein Hochspannungsimpulsgenerator mit einer koaxialen Leiteranordnung bereitgestellt, in die über mindestens eine Hochspannungsstufe ein Hochspannungsimpuls eingekoppelt wird. Schritt 120 stellt eine Hochspannungsquelle eine erste Hochspannung bereit, die in Schritt 130 von einem Impulstransformator in eine zweite Hochspannung transformiert wird. In Schritt 140 wird die transformierte zweite Hochspannung in die koaxiale Leiteranordnung eingekoppelt.

15

20

Zusammenfassend betrifft die vorliegende Erfindung einen Hochspannungsimpulsgenerator, bei dem die bereitgestellten Hochspannungsimpulse über ein Transformationsnetzwerk auf ein höheres Spannungsniveau transformiert werden, bevor die Hochspannungsimpulse in eine koaxiale Leiteranordnung eingekoppelt werden, in der sich die einzelnen Hochspannungsimpulse überlagern. Durch dieses Transformationsnetzwerk ist es möglich, die Schaltvorgänge im Hochspannungsimpulstransformator auf einem niedrigeren Spannungsniveau auszuführen und somit Schaltelemente mit geringerer Spannungsfestigkeit einzusetzen.

25

30

35

## Patentansprüche

1. Hochspannungsimpulsgenerator mit einer koaxialer Leiteranordnung (4), in die über mindestens eine Hochspannungsstufe ein Hochspannungsimpuls eingekoppelt wird,  
5 wobei die Hochspannungsstufe eine Hochspannungsquelle (1-i), ein schaltbares Steuerelement (2-i) und einen Impulstransformator (3-i) umfasst.
- 10 2. Hochspannungsimpulsgenerator nach Anspruch 1, wobei der Impulstransformator (3-i) dazu ausgelegt ist, eine von der Hochspannungsquelle (1-i) bereitgestellte erste Hochspannung in eine zweite Hochspannung zu transformieren und die transformierte zweite Hochspannung in die  
15 koaxiale Leiteranordnung (4) einzukoppeln.
3. Hochspannungsimpulsgenerator nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das steuerbare Schaltelement (2-i) ein Halbleiterschaltelement ist.  
20
4. Hochspannungsimpulsgenerator nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das steuerbare Schaltelement (2-i) eine Mehrzahl von parallel geschalteten Halbleiterschaltern umfasst.  
25
5. Hochspannungsimpulsgenerator nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die erste Hochspannung maximal 6,5 kV, vorzugsweise maximal 4,5 kV beträgt.
- 30 6. Hochspannungsimpulsgenerator nach einem der vorangehenden Ansprüche, der eine Mehrzahl von Hochspannungsstufen umfasst, die an mehreren azimuthal beabstandeten Positionen jeweils einen Hochspannungsimpuls in die koaxiale Leiteranordnung (4) einkoppeln.  
35
7. Hochspannungsimpulsgenerator nach einem der vorangehenden Ansprüche, der eine Mehrzahl von Hochspannungsstufen umfasst, die an mehreren axial beabstandeten Positionen

jeweils einen Hochspannungsimpuls in die koaxiale Leiteranordnung (4) einkoppeln.

- 5 8. Hochspannungsimpulsgenerator nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die steuerbaren Schaltelemente (2-i) der verschiedenen Hochspannungsquellen zeitsynchron durch eine Steuerschaltung (5) geschaltet werden.
- 10 9. Hochspannungsimpulsgenerator nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die in koaxiale Leiteranordnung (4) eingekoppelte Hochspannung über eine Hochspannungsführung (6) an eine Last abgeleitet wird.
- 15 10. Hochspannungsimpulsgenerator nach Anspruch 9, wobei die Last eine Elektroportationsvorrichtung ist.
- 20 11. Hochspannungsimpulsgenerator nach Anspruch 9, wobei die Last eine Anordnung zur Erzeugung von kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung, Elektronen- oder Ionenstrahlen ist.
- 25 12. Hochspannungsimpulsgenerator nach Anspruch 9, wobei die Last eine Anordnung zur elektrodynamischen oder elektrohydraulischen Zerkleinerung von mineralischen und/oder biologischen Stoffen ist.
- 30 13. Verfahren (100) zur Erzeugung von Hochspannungsimpulsen in einem Hochspannungsimpulsgenerator mit einer koaxialen Leiteranordnung (4), in die über mindestens eine Hochspannungsstufe ein Hochspannungsimpuls eingekoppelt wird, wobei die Hochspannungsstufe eine von einer Hochspannungsquelle (1-i) bereitgestellte erste Hochspannung in eine zweite Hochspannung transformiert und die transformierte zweite Hochspannung in die koaxiale Leiteranordnung (4) einkoppelt.
- 35

FIG 1

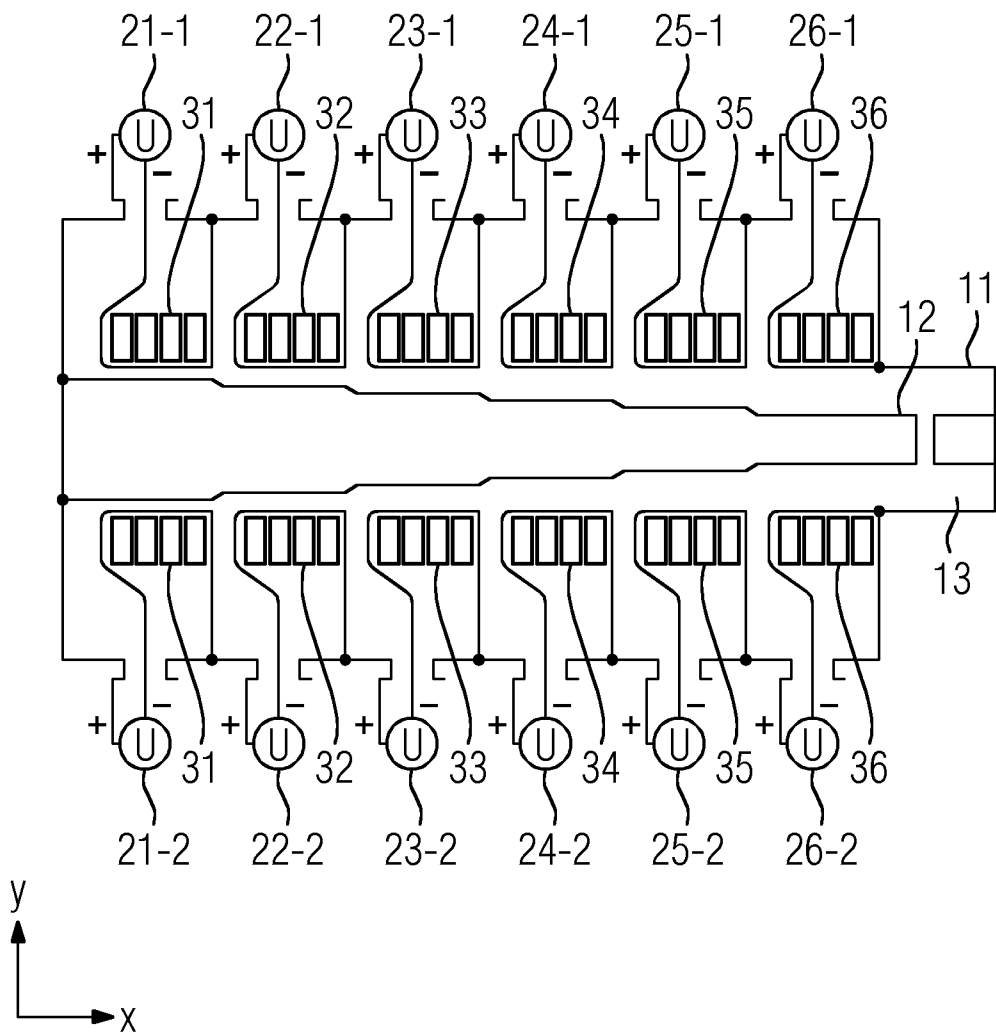


FIG 2

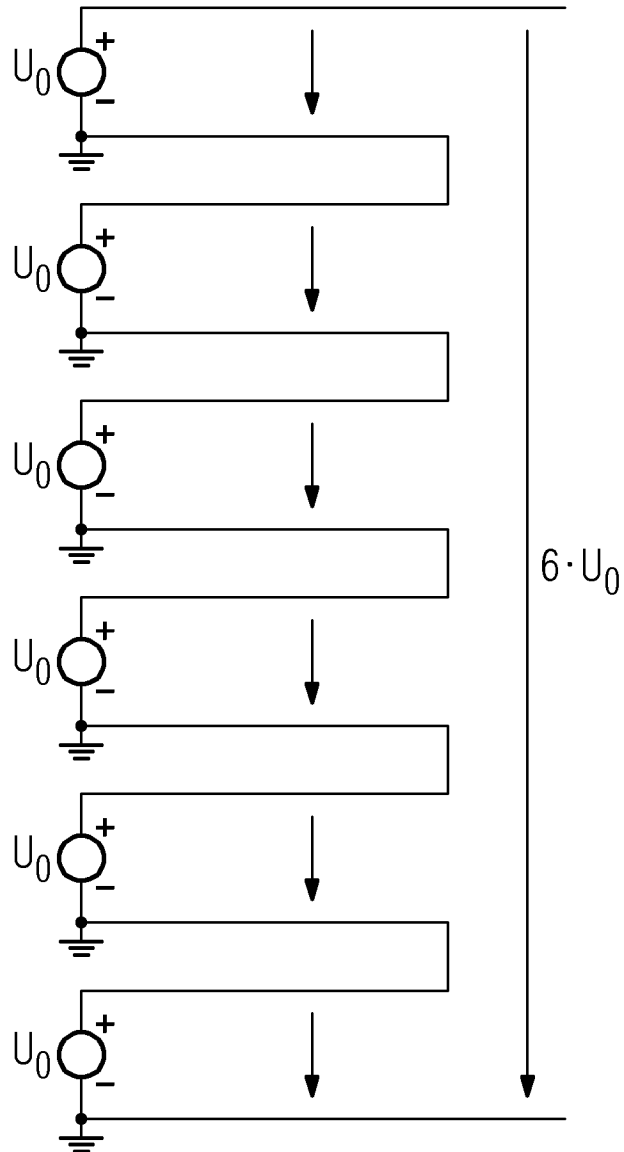


FIG 3

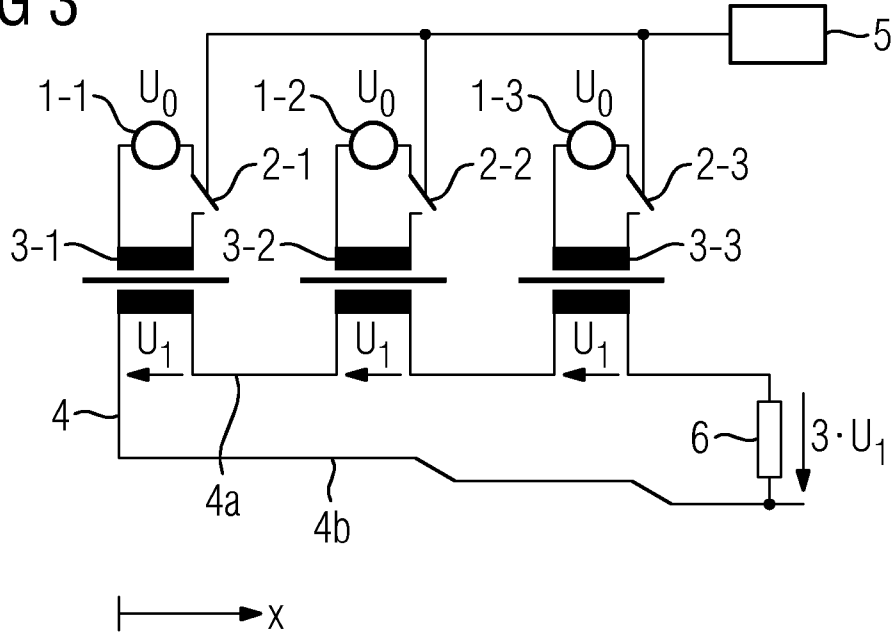


FIG 4

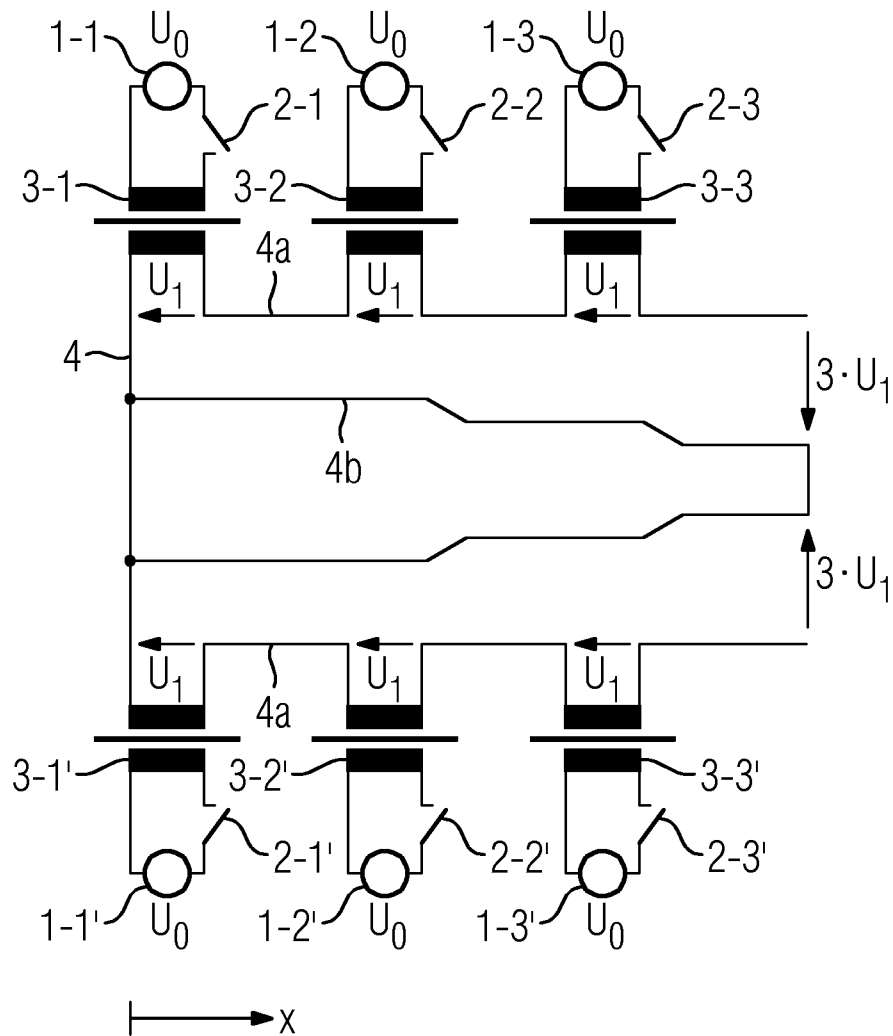


FIG 5

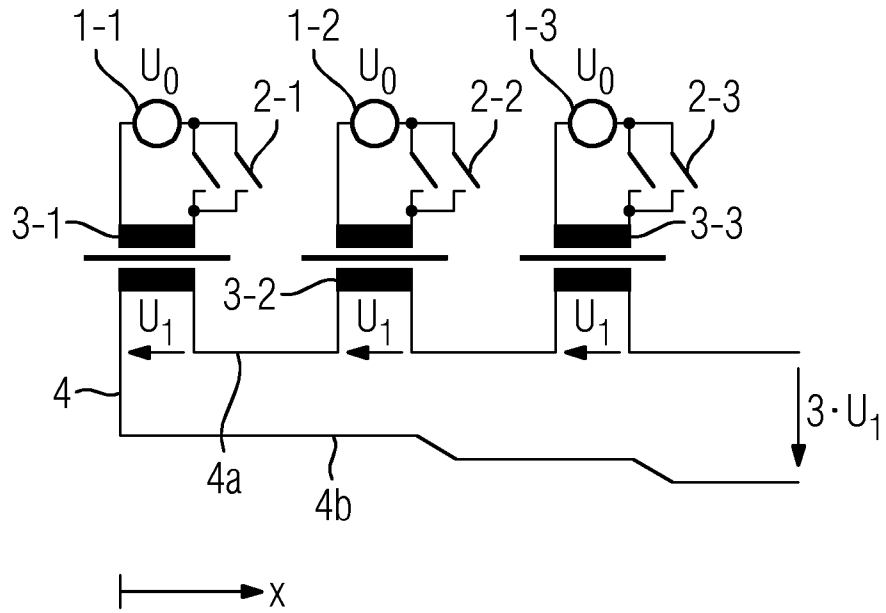
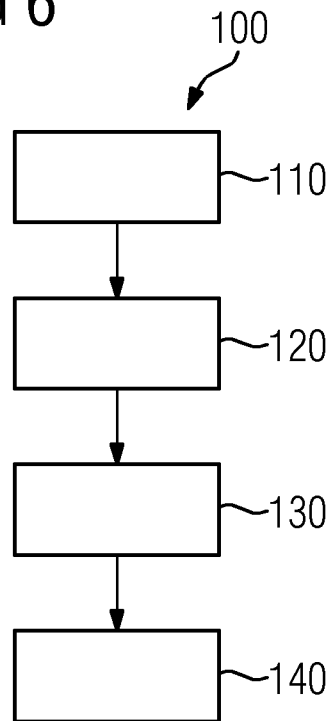


FIG 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2014/050444

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H03K3/53  
ADD.  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H03K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	YONG-HO CHUNG ET AL: "All solid-state switched pulser for NO x control", CONFERENCE RECORD OF THE 2001 IEEE INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE. 36TH IAS ANNUAL MEETING . CHICAGO, IL, SEPT. 30 - OCT. 4, 2001; [CONFERENCE RECORD OF THE IEEE INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE. IAS ANNUAL MEETING], NEW YORK, NY : IEEE, US, 30 September 2001 (2001-09-30), page 2533, XP032143066, DOI: 10.1109/IAS.2001.955977 ISBN: 978-0-7803-7114-9 abstract page 2534, left-hand column, paragraph 4; figure 2 page 2535, left-hand column, paragraphs 1,2; figure 3 ----- -/--	1-13

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 25 March 2014	Date of mailing of the international search report 02/04/2014
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Martínez Martínez, J
--	--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2014/050444

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 066 901 A (BURKHART CRAIG P [US] ET AL) 23 May 2000 (2000-05-23) column 2, lines 30-46 column 3, lines 1-34,50-53; figures 1,2 column 4, lines 28-30; figure 3 -----	1-13
X	HOXIU XIAO ET AL: "Modeling a 3.5 MeV Induction Voltage Adder", IEEE TRANSACTIONS ON DIELECTRICS AND ELECTRICAL INSULATION, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 14, no. 4, 1 August 2007 (2007-08-01), pages 907-912, XP011189706, ISSN: 1070-9878, DOI: 10.1109/TDEI.2007.4286524 page 907, left-hand column, paragraph 4 - right-hand column, paragraph 1; figures 1,2 figures 3,4 -----	1-13
X	KOHNO S ET AL: "HIGH-CURRENT PULSED POWER GENERATOR ASO-X USING INDUCTIVE VOLTAGE ADDER AND INDUCTIVE ENERGY STORAGE SYSTEM", JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, JAPAN SOCIETY OF APPLIED PHYSICS, JP, vol. 39, no. 5A, PART 01, 1 May 2000 (2000-05-01), pages 2829-2833, XP001014997, ISSN: 0021-4922, DOI: 10.1143/JJAP.39.2829 figures 1,2 -----	1-13

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/050444

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6066901	A	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. H03K3/53  
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 H03K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>YONG-HO CHUNG ET AL: "All solid-state switched pulser for NO x control",            CONFERENCE RECORD OF THE 2001 IEEE INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE. 36TH IAS ANNUAL MEETING . CHICAGO, IL, SEPT. 30 - OCT. 4, 2001; [CONFERENCE RECORD OF THE IEEE INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE. IAS ANNUAL MEETING], NEW YORK, NY : IEEE, US, 30. September 2001 (2001-09-30), Seite 2533, XP032143066,            DOI: 10.1109/IAS.2001.955977            ISBN: 978-0-7803-7114-9            Zusammenfassung            Seite 2534, linke Spalte, Absatz 4;            Abbildung 2            Seite 2535, linke Spalte, Absätze 1,2;            Abbildung 3</p> <p style="text-align: center;">-----            -/--</p>	1-13



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. März 2014

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

02/04/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Martínez Martínez, J

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 066 901 A (BURKHART CRAIG P [US] ET AL) 23. Mai 2000 (2000-05-23) Spalte 2, Zeilen 30-46 Spalte 3, Zeilen 1-34,50-53; Abbildungen 1,2 Spalte 4, Zeilen 28-30; Abbildung 3 -----	1-13
X	HOUXIU XIAO ET AL: "Modeling a 3.5 MeV Induction Voltage Adder", IEEE TRANSACTIONS ON DIELECTRICS AND ELECTRICAL INSULATION, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 14, Nr. 4, 1. August 2007 (2007-08-01), Seiten 907-912, XP011189706, ISSN: 1070-9878, DOI: 10.1109/TDEI.2007.4286524 Seite 907, linke Spalte, Absatz 4 - rechte Spalte, Absatz 1; Abbildungen 1,2 Abbildungen 3,4 -----	1-13
X	KOHNO S ET AL: "HIGH-CURRENT PULSED POWER GENERATOR ASO-X USING INDUCTIVE VOLTAGE ADDER AND INDUCTIVE ENERGY STORAGE SYSTEM", JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, JAPAN SOCIETY OF APPLIED PHYSICS, JP, Bd. 39, Nr. 5A, PART 01, 1. Mai 2000 (2000-05-01), Seiten 2829-2833, XP001014997, ISSN: 0021-4922, DOI: 10.1143/JJAP.39.2829 Abbildungen 1,2 -----	1-13

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/050444

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6066901	A 23-05-2000	KEINE	