



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 658 961 A5

⑤① Int. Cl.⁴: H 02 M 9/04

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

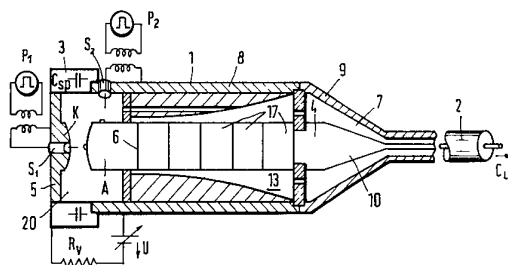
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

②① Gesuchsnummer:	1922/83	⑦③ Inhaber:	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH, Berlin 39 (DE)
②② Anmeldungsdatum:	08.04.1983	⑦② Erfinder:	Hansen, Diethard, Berlin 45 (DE) Wilhelm, Martin, Berlin 39 (DE)
③⑦ Priorität(en):	26.04.1982 DE 3216285	⑦④ Vertreter:	Patentanwalts-Bureau Isler AG, Zürich
②④ Patent erteilt:	15.12.1986		
④⑤ Patentschrift veröffentlicht:	15.12.1986		

⑤④ Generator zum Erzeugen von Hochspannungs-Rechteckimpulsen.

⑤⑦ Zur Erzeugung von Hochspannungs-Rechteckimpulsen weist der mit einem Pulserkopf (7) versehene Generator ein Stromtor-Pulserrohr (1) zum elektrischen und mechanischen Anschluss an ein Koaxialkabel (2) auf. Das Pulserrohr (7) enthält einen kapazitiven Speicher (C_{sp}) eines Stosskreises als Mantelgebilde (3). Des weitern ist ein Abschlusswiderstand für das Koaxialkabel (2) als Innenkörper (4) des Pulserrohrs (1) vorhanden. Ferner sind Elektroden (A, K) am Sockelboden (5) des Pulserrohrs (1) bzw. an der einen Stirnfläche (6) des Innenkörpers (4) angebracht. Am anderen Ende des Pulserrohrs (1) ist der Pulserkopf (7) angebracht, wobei der Mantel (8) des Pulserrohrs (1) in den Aussenleiter (9) und der Innenkörper (4) in den Innenleiter (10) des Pulserkopfs (7) übergehen. Dieser Generator ermöglicht in gedrängter, koaxialer Ausbildung die Erzeugung von Hochspannungs-Rechteckimpulsen mit günstigen Impulseigenschaften, insbesondere bezüglich der Impulsflanken.



PATENTANSPRÜCHE

1. Generator zum Erzeugen von Hochspannungs-Rechteckimpulsen mit Einrichtungen zum Umformen einer von einer Gleichspannungsquelle gelieferten Eingangsleistung in eine Stoss-Ausgangsleistung unter Verwendung kapazitiver Speicher und mit einem Pulserkopf für den Anschluss eines zu einer Last führenden Koaxialkabels, gekennzeichnet durch ein Stromtor-Pulserrohr (1), das in räumlich gedrängtem Aufbau die impedanzmässig auf das anzuschliessende Koaxialkabel (2) abgestimmten Stosskreiselemente in im wesentlichen koaxialer Anordnung enthält, nämlich:

- den kapazitiven Speicher (Csp) des Stosskreises als Mantelgebilde (3) des Pulserkopfes (1),
- den Abschlusswiderstand (R) für das anzuschliessende Koaxialkabel (2) als Innenkörper (4) des Pulserrohres (1),
- die Elektroden (A, K) des Stromtores am Sockelboden (5) des Pulserrohres (1) bzw. an der einen Stirnfläche (6) des Innenkörpers (4) und
- den Pulserkopf (7) am anderen Ende des Pulserrohres (1), wobei der Mantel (8) des Pulserrohres (1) in den Aussenleiter (9) und der Innenkörper (4) in den Innenleiter (10) des Pulserkopfes (7) übergehen.

2. Impulsgenerator nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein reusenartig aus parallelliegenden Stabkondensatoren (11) aufgebautes Mantelgebilde (3) für den kapazitiven Speicher (Csp).

3. Impulsgenerator nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein doppelrohrartig aufgebautes Mantelgebilde (3) für den kapazitiven Speicher (Csp) mit Kondensatorflächenbelägen auf der Aussenfläche (12) des Gehäusemantels (8) des Pulserrohres (1) sowie auf der Innenfläche (14) des Kranzes (15), der am Sockelboden (5) des Pulserrohres (1) angebracht ist.

4. Impulsgenerator nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch Kühlrippen (16) am Kranz (15) des Sockelbodens (5) und/oder am Gehäusemantel (8).

5. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch einen aus keramischen Teilwiderständen (17) auf einem Zugstab (18) aufgebauten Abschlusswiderstand (R).

6. Impulsgenerator nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch Indiumfolien (19) zwischen den keramischen Teilwiderständen (17) zu deren Kontaktierung.

7. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch einen im Bereich des Abschlusswiderstandes (R) exponentiattrichterförmig ausgearbeiteten Gehäusemantels (8) des Pulserrohres (1).

8. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch eine triggerbare Schaltfunkenstrecke (S₁) als Schaltmittel zum Einschalten eines Impulses.

9. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch ein Thyatron (20) als Stromtor-Pulserrohr (1).

10. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch eine triggerbare Schaltfunkenstrecke (S₂) zum Abschalten eines Impulses.

11. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch einen sich über die gesamte Länge des Pulserrohres (1) erstreckenden Schutzgasraum (13).

12. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch mindestens eine ringförmige Nut (24) mit einer eingelegten Wendelfeder (25) je Kontaktstelle bei einer lösbaren, gasdichten Verbindung zwischen Pulserkopf (7) und Koaxialkabel (2).

13. Impulsgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet durch Abschirmung gegen Röntgenstrahlung.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Generator zum Erzeugen von Hochspannungs-Rechteckimpulsen mit Einrichtungen zum Umformen einer von einer Gleichspannungsquelle gelieferten Eingangsleistung in eine Stoss-Ausgangsleistung unter Verwendung kapazitiver Speicher und mit einem Pulserkopf für den Anschluss eines zu einer Last (Kondensator, Antenne, elektrostatisches Filter oder dgl.) führenden Koaxialkabels.

Hochspannungs-Rechteckimpulse werden beispielsweise für die Materialprüfung von Isolierstoffen benötigt. Dabei kann es sich um Isolierstoff in festem, flüssigem oder gasförmigem Aggregatzustand handeln. Hohe Zeit- und/oder Amplitudenpräzision wird unter anderem zum Treiben von elektro-optischen Schaltern für Laser oder dergleichen sowie für gepulste Funken- und Ionisationskammern und zum Testen von elektronischen Bauteilen, Baugruppen und Geräten gefordert. Ein anderes Anwendungsgebiet, bei dem höhere Anforderungen an die Kurzschlussfestigkeit gestellt werden und die Formtreue der Pulse, d.h. Flankensteilheit und Amplitudenverlauf, von geringerer Bedeutung sind, ist die elektrostatische Filterung von Abgasen.

Bekannt sind — ohne dass es eines besonderen druckschriftlichen Nachweises bedarf — z.B. sogenannte Marx-Generatoren. Mit ihnen lassen sich hohe Spannungen erzielen. Aufgrund der Entladung der Energiespeicher über die Lade- bzw. Ableitwiderstände sind damit jedoch keine Rechteckimpulse zu erreichen. Kabelpulser (nach Fletscher und Blümlein) besitzen ein aufzuladendes Koaxialkabel und eine Funkenstrecke oder ein Krytron als Schaltmittel. Mit ihnen können keine längeren Impulse erzeugt werden, da die Laufzeit im Kabel die Dachlänge bestimmt. 25 ms Pulsdauer erfordern etwa 2,5 km Kabellänge. Ausserdem führen die Kabelverluste und die Dispersion der Welle zu einem Abfall des Pulsdaches und einer schlechteren Rückflanke. Pulsschaltungen mit Ausgangstransformatoren sind aufgrund der begrenzten Kerninduktivität und des dadurch bedingten exponentiell abfallenden Impulsdaches und des negativen Unterschwingens der Ausgangsspannungsrückflanke für höhere Anforderungen ungeeignet.

Bezüglich der Schaltmittel kommen trotz der Fortschritte bei der Entwicklung von Halbleiterbauelementen, Transistoren und Thyristoren nicht in Betracht, wenn hohe Schaltleistungen, hohe Spannungsfestigkeit und kurze Schaltzeiten gefordert werden. Elektronenröhren sind infolge geringer spezifischer Stromdichte der Kathoden zu langsam. Grössere Kathodenflächen führen zu grösseren Kapazitäten der Röhrenelektroden.

Der Erfindung liegt die Aufgabenstellung zugrunde, einen Generator zu schaffen, mit dem Hochspannungs-Rechteckimpulse zu erzeugen sind, deren elektrische Daten in folgenden Bereichen liegen sollen:

Pulsamplitude:	— 1 kV, ... — 30 kV, ... — 60 kV
Pulsdauer:	100 µs, ... 100 ms, ... > 10 s
Flankensteilheit:	ca. 1 ns, ... > 20 ns (Risettime 10% - 90%)
Trigger-Jitter:	± 1 ns
Pulsfolgefrequenz:	bis zu einigen kHz
Ausgang:	kurzschlussfest, Impedanz 50 Ω

Die Impulsflanken sollen frei von Überschwingungen sein. Dies alles kann nur mit Konstruktionen erreicht werden, bei denen neben den oben erwähnten Eigenschaften von bekannten Generatoren und Schaltmitteln auch die auftretenden physikalischen Erscheinungen gebührende Beachtung finden. Die gemäss der Erfindung hierfür vorgeschlagene Lösung ist gekennzeichnet durch

ein Stromtor-Pulserrohr, das in räumlich gedrängtem Aufbau die impedanzmässig auf das anzuschliessende Koaxialkabel abgestimmten Stosskreiselemente in im wesentlichen koaxialer Anordnung enthält, nämlich:

- den kapazitiven Speicher des Stosskreises als Mantelgebilde des Pulserrohres,

- den Abschlusswiderstand für das anzuschliessende Koaxialkabel als Innenkörper des Pulserrohres,
- die Elektroden des Stromtores am Sockelboden des Pulserrohres bzw. an der einen Stirnfläche des Innenkörpers und
- den Pulserkopf am anderen Ende des Pulserrohres, wobei der Mantel des Pulserrohres in den Aussenleiter und der Innenkörper in den Innenleiter des Pulserkopfes übergehen.

Mit Funkenstrecken, speziell Hochdruck-Funkenstrecken, sind die Schaltleistungen und Schaltzeiten ebenfalls zu erreichen. Sie haben jedoch bei extremen Anforderungen bezüglich des Triggerjitters keine so guten Werte. Ausserdem ist der Abstand der Elektroden zu berücksichtigen.

Wesentlich für die erfindungsgemässe Ausbildung ist die Berücksichtigung und Beherrschung der elektrischen Vorgänge durch konstruktive Massnahmen. Dies verdeutlicht die folgende kurze Funktionsbeschreibung:

Vom Augenblick des Einschaltens ab findet der Ladungsaustausch zwischen dem Mantelgebilde, als dem aufgeladenen kapazitiven Speicher, und dem Innenkörper auf sternförmigen Pfaden statt. Induzierte Felder heben sich dabei gegenseitig auf. Der entstehende Spannungssprung am Kabelabschlusswiderstand setzt sich durch das Koaxialkabel zur angeschlossenen Lastkapazität fort. Die reflektierte Welle wird vom Kabelabschlusswiderstand aufgenommen. Frühestens nach der doppelten Laufzeit über das Koaxialkabel und der Entionisierungszeit der Einschaltstrecke kann der Impuls durch eine getriggerte Abschaltstrecke beendet werden. Die Impulsform, d.h. die Flanken am Anfang und am Ende, sind abhängig vom Aufbau und von der impedanzmässigen Anpassung der Stosskreiselemente. Die Lastkapazität plus Kapazität des Koaxialkabels muss klein sein gegenüber der des kapazitiven Speichers.

Für die Mindestlänge des Koaxialkabels gilt:

$$L_K = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{t_{rs}^2 + (2,2 \cdot Z_K \cdot C_L)^2}$$

wobei L_K = Kabellänge in m

C = Lichtgeschwindigkeit = $0,3 \cdot 10^9$ m/s

t_{rs} = Eigenanstiegszeit des Generators zwischen 10% und 90% der Impulshöhe

Z_K = Wellenwiderstand des Kabels = 50 Ω

C_L = Kapazität der Last in F

Für Präzisionsanwendungen bezüglich der Amplitude der erzeugten Hochspannungs-Rechteckimpulse muss ausserdem die Ladezeitkonstante sehr gross sein gegenüber der Entionisierungszeit der Einschaltstrecke, nämlich:

$$R_v \cdot C_{sp} >> t_E$$

wobei R_v = Ladewiderstand in Ω

C_{sp} = Kapazität des Speichers in F

t_E = Entionisierungszeit in s

Bei bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung kann für den kapazitiven Speicher ein reusenartig aus parallelliegenden Stabkondensatoren aufgebautes Mantelgebilde vorgesehen werden. Eine derartige Anordnung weist einerseits besonders geringe Induktivitäten bei den Zuleitungen auf und hat andererseits noch konstruktive und funktionelle Vorzüge. Die Anzahl und die Grösse der Stabkondensatoren lassen sich für unterschiedliche Anwendungszwecke leicht variieren. Ausserdem können sie von Luft umströmt werden und so wesentlich zur Kühlung beitragen. In vielen Fällen reicht eine Kühlung über ein derartiges Reusengebilde und ein zugeordnetes Gebläse aus.

Bei einer anderen, alternativen Ausführungsform der Erfindung kann ein doppelrohrartig aufgebautes Mantelgebilde für den kapazitiven Speicher vorgesehen werden mit Kondensator-

flächenbelägen auf der Aussenfläche des Gehäusemantels des Pulserrohres sowie auf der Innenfläche eines Kranzes, der am Sockelboden des Pulserrohres angebracht ist. Auch diese Konstruktion ist besonders günstig bezüglich der Zuleitungsinduktivitäten. Darüber hinaus sind nachträgliche Eingriffe und Veränderungen praktisch nicht oder nur versierten Fachleuten möglich, um damit die vorgesehenen Eigenschaften in grösstmöglichem Umfang zu gewährleisten.

Bezüglich der Kühlung ist es bei derartigen Ausführungsformen der Erfindung zweckmässig und sinnvoll, Kühlrippen am Kranz des Sockelbodens und/oder am Gehäusemantel vorzusehen. Sind an beiden Teilen Kühlrippen vorhanden, ist darauf zu achten, dass sich zwischen den Kanten der Kühlrippen, die unterschiedliche Potentiale aufweisen, keine unerwünschten Felder ausbilden. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass Rippen, die am Kranz des Sockelbodens bzw. am Gehäusemantel angebracht sind, gegeneinander versetzt sind. Die Kanten können auch abgerundet oder gegeneinander isoliert sein.

Von wesentlicher Bedeutung für die Ausführungsformen der Erfindung ist der koaxiale Aufbau und die Ausbildung des Innenkörpers. Der in den Innenkörper integrierte Abschlusswiderstand muss seinen genauen Widerstandswert beibehalten und ist nur schwer zugänglich. Es ist deshalb besonders vorteilhaft, den Abschlusswiderstand aus keramischen Teilwiderständen auf einem Zugstab aufzubauen. Auf diese Weise lassen sich sowohl die Anforderungen bezüglich der Formgebung des Innenkörpers als auch des Widerstandswertes des Abschlusswiderstandes erfüllen. Die keramischen Teilwiderstände sind auf dem Zugstab mit geeigneten Mitteln, z.B. Tellerfedern, Druckplatten usw. zu befestigen.

In diesem Zusammenhang steht eine besonders vorteilhafte Weiterbildung dieser Ausführungsform der Erfindung, die durch Indiumfolien zwischen den keramischen Teilwiderständen zu deren Kontaktierung gekennzeichnet ist. Derartige Folien mit etwa 0,1 mm Dicke sind handelsüblich und haben sich für diesen Zweck ausserordentlich gut bewährt.

Ein weiteres wesentliches Problem ist die Wellenwiderstandsanpassung auch insoweit, als Sprünge vermieden werden sollen. Hierfür ist eine Ausführungsform der Erfindung gedacht, die durch einen im Bereich des Abschlusswiderstandes exponentialtrichterförmig ausgearbeiteten Gehäusemantel des Pulserrohres gekennzeichnet ist. Diese Trichterform erstreckt sich im Innenraum des Pulserrohres im wesentlichen zwischen Isolierstützen an beiden Enden des Abschlusswiderstandes bzw. den sich daran anschliessenden Teilen des Innenkörpers und weist in Richtung zum Pulserkopf hin sich stetig vergrössernde Durchmesser auf.

Zur Erzeugung sehr steiler Anstiegsflanken ist es vorteilhaft, eine triggerbare Schaltfunkenstrecke als Schaltmittel zum Einschalten eines Impulses vorzusehen. Der dadurch eingeleitete Ladungsaustausch wird unverzüglich von den Elektroden des eigentlichen Stromtores übernommen, so dass die volle Schaltleistung nicht von der getriggerten Schaltfunkenstrecke selbst zu übernehmen ist und Triggerjitter und Elektrodenabbrand in vernachlässigbarer Grössenordnung gehalten werden können.

Wie bereits eingangs schon erwähnt, sind heutzutage Thyristoren oder technologisch davon abgeleitete Halbleiterschaltungen weit verbreitet. Wenn jedoch sehr hohe Ströme auftreten und sehr steilflankige Impulse geschaltet werden sollen, bewähren sich nach wie vor Thyatronen als vertraute Vertreter der Röhren-Elektronik. Insbesondere für Präzisionsanwendungen wird deshalb als bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ein Thyatron als Stromtor-Pulserrohr vorgesehen. Ein solches Thyatron mit den wesentlichen oder gar allen bisher erwähnten Merkmalen ist bisher nicht handelsüblich. Das besagt allerdings nicht, dass für ein derartiges Spezialprodukt nicht auch auf dieses oder jenes handelsübliche Einzelteil zurückgegriffen werden kann. Dies ist besonders im Hinblick auf preiswertere, dann al-

lerdings für Einsatzzwecke mit geringeren Anforderungen an die zu erzeugenden Hochspannungs-Rechteckimpulse vorgesehene Ausführungsformen wichtig.

Oftmals ist es wünschenswert, die Pulsdauer variieren zu können. Das bedeutet, dass Massnahmen zur gezielten Beendigung eines Impulses erforderlich sind. Hierfür eignen sich Ausführungsformen der Erfindung, bei denen eine triggerbare Schaltfunkenstrecke zum Abschalten eines Impulses vorgesehen ist. Auf diese Weise kann natürlich auch Einfluss auf die Rückflanken der Impulse genommen werden, insbesondere dort eine grosse Steilheit erzielt werden.

Als zweckmässige Massnahme ist eine Schutzgasfüllung des Pulserrohres anzusehen. Dies ist nicht nur für Isolationszwecke sondern auch im Hinblick auf eine erforderliche Kühlung von Bedeutung. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung weisen deshalb einen sich über die gesamte Länge des Pulserrohres erstreckenden Schutzgasraum auf. Dazu sind gegebenenfalls Gaskanäle in Isolierstützen, die den Innenkörper halten, und Bohrungen durch das Material exponentialtrichterförmig ausgearbeiteter Gehäusemäntel vorzusehen. Der Schutzgasraum kann sich auch bis in den Pulserkopf hinein erstrecken, wenn ein gasdichter und/oder fester Anschluss für das Koaxialkabel vorhanden ist.

Für lösbare Anschlüsse zwischen Pulserkopf und Koaxialkabel ergibt sich jedoch mit den Massnahmen, die für die Dichtung dienen, ein weiteres, wesentliches Problem. Im allgemeinen sind Materialien und Bauelemente, die für Dichtungszwecke gut geeignet sind, schlechte elektrische Leiter. Für die erzeugten Hochspannungsrechteckimpulse müssen aber Übergangswiderstände unbedingt vermieden werden. Hierfür sind bei Ausführungsformen der Erfindung Steckerkupplungen möglich, die durch mindestens eine ringförmige Nut mit einer eingelegten Wendelfeder je Kontaktstelle bei einer lösbaren, gasdichten Verbindung zwischen Pulserkopf und Koaxialkabel gekennzeichnet sind. Die Wendelfedern bestehen zweckmässigerweise aus Bronze- oder Berylliumbronzedraht mit etwa 0,3 mm Durchmesser. Die Nut, in die eine solche Wendel eingelegt wird, ist jeweils so zu dimensionieren, dass in Druckrichtung die Abmessungen kleiner sind als senkrecht zur Druckrichtung. Die einzelnen Wendeln erhalten dadurch im zusammengesteckten bzw. -geschraubten Zustand der Kupplungsteile etwa elliptischen Querschnitt und bilden damit eine grosse Zahl elektrisch gut leitender Kontaktstellen.

Weiterhin können und sollten die Ausführungsformen der Erfindung mit einer Abschirmung gegen Röntgenstrahlung versehen sein, für deren Anbringung alle erforderlichen Massnahmen jedem auf diesem Gebiet tätigen Fachmann vertraut sind, so dass es hierzu keiner weiteren Erläuterungen bedarf.

Bedeutende Anwendungsgebiete für Hochspannungs-Rechteckimpulse mit hoher Präzision und variierbaren elektrischen Daten sind z.B. die Mess- und Prüftechnik und wissenschaftlich-technische Forschung und Entwicklung. Als Last, die über ein Koaxialkabel an einen Pulsgenerator gemäss den Ausführungsformen der Erfindung anzuschliessen ist, kommen hauptsächlich kapazitive Lasten, d.h. konkrete Kondensatoren, aber auch Antennen, insbesondere logarithmisch periodische Antennen in Betracht. Mit Hilfe kapazitiver Lasten lassen sich beispielsweise Eigenschaften von Gasen, wie Ladungsträgerdriften oder die Leitfähigkeit, die Durchschlagfestigkeit von Isolierstoffen oder elektronische Schalt- und Bauelemente prüfen bzw. bestimmen. Antennen mit einer ausgeprägten Richtcharakteristik und einem breitbandigen Spektrum, über die die zur Verfügung stehende Pulsleistung möglichst weitgehend abgestrahlt wird, finden ihre Anwendung bei Einstrahlungsfestigkeitsprüfungen (EMC — Elektro-Magnetic-Compatibility / EMV — elektromagnetische Verträglichkeit), bei denen Geräte oder Bauteile extremen Bedingungen ausgesetzt werden. Die im Megawatt-Bereich liegende, vom Pulsgenerator gelieferte Lei-

stung kann dabei von einer entsprechend konstruierten Antenne bis etwa auf das 10fache verstärkt werden. Eine Flankensteilheit von 1 ns entspricht dabei einer Bandbreite von ca. 350 MHz. Ausser den hochfrequenztechnischen Eigenschaften sind bei der Ausbildung und Konstruktion derartiger Antennen auch hochspannungstechnische Gesichtspunkte, wie Koronaeffekt, Schlagweite usw. zu berücksichtigen, damit ein «Stör» Spektrum in Form einer elektromagnetischen Welle abgestrahlt werden kann.

In der Zeichnung sind Ausführungsformen der Erfindung schematisch dargestellt. Gleiche oder sich entsprechende Teile, die in mehreren Figuren erscheinen, weisen jeweils dieselbe Bezugsziffer auf. Die einzelnen Figuren zeigen:

Fig. 1 ein Stromtor-Pulserrohr im Querschnitt,

Fig. 2 einen Mantelkörper mit reusenartig angeordneten Stabkondensatoren,

Fig. 3 einen Mantelkörper mit koaxial zusammengesetztem Gehäusemantel und Kranz, im wesentlichen im Querschnitt,

Fig. 4 einen aus Teilwiderständen zusammengesetzten Abschlusswiderstand,

Fig. 5 eine lösbare, gasdichte Verbindung für den Anschluss eines Koaxialkabels an den Pulserkopf,

Fig. 6 ein Prinzipschaltbild eines Stosskreises und

Fig. 7 ein Zeitfolge-Schaubild für das getriggerte Ein- und Ausschalten eines Hochspannungs-Rechteckimpulses.

Das in Fig. 1 dargestellte Stromtor-Pulserrohr 1 weist im wesentlichen folgende Einzelteile auf: den Sockelboden 5 mit der Elektrode K (Kathode) sowie der einen Elektrode einer triggerbaren Schaltfunkenstrecke S_1 . Hierzu gehört ein über einen Impuls-Transformator angeschlossener Triggerpulsgenerator P_1 . Zwischen dem Sockelboden S und dem Gehäusemantel 8 des Pulserrohres 1 ist ein Mantelgebilde 3 vorgesehen, das den für den Stosskreis benötigten kapazitiven Speicher C_{sp} enthält. Der kapazitive Speicher C_{sp} wird über einen Vorwiderstand R_v von der Gleichspannungsquelle U aufgeladen. Spezielle Ausführungsformen für das Mantelgebilde 3 sind in den Fig. 2 und 3 dargestellt und werden weiter unten noch eingehender erläutert.

Das Pulserrohr 1 ist in diesem Teil als Thyatron 20 ausgebildet, wobei der koaxiale Aufbau von wesentlicher Bedeutung ist. Die Gegenelektrode A (Anode) des Stromtores befindet sich an der einen Stirnfläche 6 eines Innenkörpers 4, der seinerseits im Gehäusemantel 8 an beiden Enden mittels Isolierstützen sowohl in radialer als auch in axialer Richtung gehalten ist. Eine zweite Schaltfunkenstrecke S_2 wird von den beiden zugehörigen Elektroden, eine am Gehäusemantel 8, die andere an der Elektrode A des Stromtores, gebildet und ist ebenfalls über einen Transformator an einem zugehörigen Triggerpulsgenerator P_2 angeschlossen.

Einen wesentlichen Teil des Innenkörpers 4 bildet der Abschlusswiderstand R. Er ist aus keramischen Teilwiderständen 17 zusammengesetzt, wie mehr im Detail in Fig. 4 dargestellt ist. Die äussere Wandung des Innenraumes wird vom Gehäusemantel 8 gebildet, der exponentialtrichterförmig so ausgebildet ist, dass sich sein Durchmesser in Richtung zum Pulserkopf 7 hin stetig erweitert. Bohrungen in der Isolierstütze und im Material des Exponentialtrichters sorgen für einen ausreichenden Gasaustausch.

Der Gehäusemantel 8 geht in den Aussenleiter 9 des Pulserkopfes 7, der Innenkörper 4 in den Innenleiter 10 des Pulserkopfes 7 über. Der Pulserkopf 7 bildet damit den Übergang zwischen dem Pulserrohr 1 und dem anzuschliessenden Koaxialkabel 2 und dient dazu, die unterschiedlichen Abmessungen auf der einen und auf der anderen Seite ohne unerwünschte Auswirkungen auf die Funktion des Generators aufeinander zu adaptieren. Das Koaxialkabel 2 führt zu einer kapazitiven Last C_L , die als solche hier nicht dargestellt ist.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Mantelgebilde 3 wird der kapazitive Speicher C_{sp} durch reusenartig angeordnete, parallellie-

gende Stabkondensatoren 11 gebildet. Ihre Befestigung an den Enden ist nicht dargestellt und kann in im Belieben eines Fachmannes liegender Weise erfolgen. Wesentlich ist allerdings aus funktionellen Gründen ein symmetrischer Aufbau und nach Möglichkeit ein Luftspalt zwischen einem Stabkondensator 11 und der Aussenfläche des zylindrischen Mantelgebildes 3, um eine wirkungsvolle Kühlung zu gewährleisten.

Bei der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform eines Mantelgebildes 3 ist der Sockelboden 5 mit einem Kranz 15 versehen, der koaxial und über den Gehäusemantel 8 geführt wird. Die den kapazitiven Speicher C_{sp} bildenden Kondensatorflächen sind dementsprechend auf der Aussenfläche 12 des Gehäusemantels 8 bzw. auf der Innenfläche 14 des Kranzes angebracht. Der Spalt dazwischen wird mit einem geeigneten Dielektrikum ausgefüllt. Für Kühlzwecke sind sowohl am Kranz 15 als auch am Gehäusemantel 8 Kühlrippen 16 dargestellt. Da die beiden tragenden Teile für die Kühlrippen 16 unterschiedliches Potential aufweisen, muss z.B. durch Formgebung an den Kanten der Kühlrippen 16, vorzugsweise durch abgerundete Kanten, verhindert werden, dass sich unerwünschte Felder zwischen den Kühlrippen 16 ausbilden. Die Kühlrippen 16 können auch abwechselnd jeweils auf Lücke angebracht werden.

Der in Fig. 4 dargestellte Aufbau eines Abschlusswiderstandes R aus keramischen Teilwiderständen 17 gibt nicht alle Details wieder. So wurde auf die Darstellung von Muttern, Druckscheiben, Federringen usw. verzichtet. Die Teilwiderstände 17 werden auf einem Zugstab aufgereiht, an dem auch an der Stirnfläche 6 (s. Fig. 1) die Elektrode A und an der gegenüberliegenden Stirnfläche der Innenleiter 10 des Pulserkopfes 7 befestigt werden. Zwischen den keramischen Teilwiderständen 17 befinden sich Indiumfolien 19, die eine hervorragend gute und zuverlässige Kontaktierung zwischen den einzelnen Teilwiderständen 17 gewährleisten.

Auch bei der in Fig. 5 dargestellten Ausführungsform für einen lösbaren, gasdichten Anschluss eines Koaxialkabels 2 an den Pulserkopf 7 sind aus Gründen einer besseren Übersichtlichkeit solche Einzelheiten weggelassen, die für Zwecke der Erfindung nicht so wesentlich sind. Vom Pulserkopf 7 ist dessen Aussenleiter 9 als Kupplungsteil 21 ausgebildet, d.h. zunächst z.B. mit einem Aussengewinde versehen. Für einen O-Ring 28 zur Abdichtung ist eine Fase eingedreht. Weiterhin ist in der Stirnfläche eine Nut 24 vorgesehen, deren Breite (in radialer

Richtung) grösser ist als ihre Tiefe (in axialer Richtung). Eine dort eingelegte Wendelfeder 25 wird beim Schliessen etwas zusammengedrückt, so dass jede Windung der Wendelfeder 25 vier Kontaktpunkte aufweist.

Nicht dargestellt ist übrigens auch ein Füllstutzen für Schutzgas, das zweckmässigerweise von hier aus in das Pulserrohr 1 eingelassen wird.

Das Gegenstück für den Anschluss, den Kupplungsteil 22, bilden im wesentlichen zwei Druckscheiben 26, 27, die miteinander durch Schrauben oder dergleichen verbunden werden, aus gut leitendem Werkstoff, z.B. Messing, bestehen und zwischen denen der Aussenleiter des Koaxialkabels 2, nach aussen aufgebördelt, eingepresst wird. Mit einer Überwurfmutter 23 werden die Kupplungsteile 21, 22 zusammengezogen, wobei z.B. zwischen der Druckscheibe 26 und der Überwurfmutter 23 noch ein Ringkörper aus geeignetem Kunststoff vorgesehen sein sollte und sowohl als Führungskörper, insbesondere aber auch als Gleitscheibe dient.

In Fig. 6 ist aus dem Prinzipschaltbild des Stosskreises für einen Hochspannungs-Rechteckimpuls-Generator dessen Wirkungsweise zu erkennen. Der kapazitive Speicher C_{sp} wird über den Vorwiderstand R_v von der Gleichspannungsquelle gespeist. Durch einen Triggerimpuls (s. a. Fig. 7), der von einem Triggerpuls-generator P_1 abgegeben wird, wird die Schaltfunkenstrecke S_1 geschlossen, und die Ladung des kapazitiven Speichers C_{sp} gelangt stossartig über den Widerstand R und das Koaxialkabel zur kapazitiven Last C_L . Der Widerstand R ist gleich dem Wellenwiderstand Z des Koaxialkabels. Die Spannung an der kapazitiven Last U_{CL} steht an, bis vom Triggerimpuls-generator P_2 (s. a. Fig. 7) die Schaltfunkenstrecke S_2 geschlossen wird und den Prüfling (C_L) kurzschliesst. Die Funken der Schaltfunkenstrecken S_1 und S_2 erlöschen und öffnen den betreffenden Strompfad, sobald die Spannung entsprechend abgesunken ist. Sie können nach der Entionisierungszeit wieder gezündet werden.

Die Stosskreisinduktivität hängt im wesentlichen ab von der Stromschleife des Stossspannungskreises und der Eigeninduktivität des Generators. Um die hiervon herrührenden Schwierigkeiten gering zu halten, empfiehlt sich auf jeden Fall ein räumlich gedrängter Aufbau. Bei koaxialem Aufbau wird darüber hinaus erreicht, dass infolge der Symmetrien eine Kompensation von Induktivitäten wesentlicher Strompfade herbeigeführt wird.

