



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 037 232 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.09.2000 Patentblatt 2000/38

(51) Int. Cl.⁷: **H01H 33/66**

(21) Anmeldenummer: **00104869.3**

(22) Anmeldetag: **07.03.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• **Betz, Thomas, Dipl.-Ing.**
63505 Langenselbold (DE)
• **Heinemeyer, Ralf, Dr.-Ing.**
40882 Ratingen (DE)
• **König, Dieter, Prof. Dr.-Ing.**
64285 Darmstadt (DE)

(30) Priorität: **17.03.1999 DE 19912022**

(71) Anmelder: **ABB PATENT GmbH**
68309 Mannheim (DE)

(74) Vertreter: **Miller, Toivo et al**
ABB Patent GmbH
Postfach 10 03 51
68128 Mannheim (DE)

(54) **Hochspannungsschalgerät mit Serienschaltung von mindestens zwei Vakuumschaltkammern und Verfahren zum Betrieb des Hochspannungsschalgerätes**

(57) Es wird ein Hochspannungsschalgerät mit Serienschaltung von mindestens zwei Vakuumschaltkammern vorgeschlagen, bei dem die in Serie angeordneten Vakuumschaltkammern (1, 2) hinsichtlich ihrer Baugröße und/oder Kontaktstückgestaltung, wie Kontaktstückdurchmesser, Kontaktabstand der Kontaktstücke, Kontaktstückarten unterschiedlich ausgebildet sind. Es sind mindestens eine Vakuumschaltkammer erster Art und mindestens eine Vakuumschaltkammer zweiter Art vorgesehen. Die Auswahl der Vakuumschaltkammern (1, 2) erfolgt derartig, daß Wieder- und Rückzündungen einer Vakuumschaltkammer erster Art von mindestens einer anderen Vakuumschaltkammer zweiter Art beherrscht werden.

Als zusätzliches Verfahren zum Betrieb des Hochspannungsschalgerätes kommt das zeitlich versetzte Öffnen der Kontaktstücke von mindestens zwei Vakuumschaltkammern (1, 2) zur Anwendung.

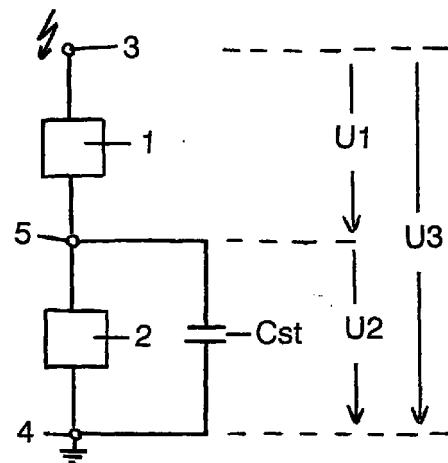


Fig. 1

EP 1 037 232 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Hochspannungsschaltgerät mit Serienschaltung von mindestens zwei Vakuumschaltkammern gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie auf ein Verfahren zum Betrieb des Hochspannungsschaltgerätes. Die Erfindung kann beispielsweise bei gasisolierten Schaltanlagen verwendet werden. Unter dem Begriff "Hochspannung" wird in diesem Zusammenhang der Spannungsbereich über 1000 V verstanden.

[0002] Bei Hochspannungsschaltgeräten wird die Serienanordnung von Vakuumschaltkammern in Spezialfällen unter Zugrundelegung zweier Grundprinzipien angewendet, und zwar in einer ungesteuerten Ausführung gemäß H. Fink, E. Sonnenschein, SF6-isolierte 52-kV-Mittelspannungs-Schaltanlage mit Vakuumschalter, etz, Bd. 115 (1994) H. 11, S. 622-626 und unter Einsatz von Steuerkondensatoren. Bei der ungesteuerten Ausführung steht der Einsatz des Vakuumschaltprinzips in Spannungsebenen über 36 kV im Vordergrund, realisiert durch eine Reihenanordnung zweier auf die Bemessungsspannung von 36 kV limitierter Vakuumschaltkammern (Standardkammern). Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten wird dabei eine durch Streuphänomene (Streukapazitäten) resultierende, unvermeidbare Versteuerung hinsichtlich der Potentialaufteilung in Kauf genommen. Die Auslegung der Reihenanordnung muß daher nach der aufgrund der inhomogenen Spannungsverteilung am stärksten beanspruchten Vakuumschaltkammer erfolgen, während die andere Vakuumschaltkammer einer geringeren Spannungsbeanspruchung ausgesetzt ist und damit nicht optimal ausgelastet wird.

[0003] Ein Beispiel für eine mit Steuerkondensatoren ausgeführte Reihenanordnung zweier Vakuumschaltkammern stellt der Einsatz in der Bahnstromversorgung mit einer Frequenz von 16 2/3 Hz dar. Im Vergleich zu den bei 50 Hz / 60 Hz auftretenden Lichtbogenzeiten von 10 ms / 8.3 ms beansprucht man die Kontaktstrecken bei 16 2/3 Hz mit Lichtbogenzeiten von 30 ms. Die zugeordnete vergleichsweise hohe thermische Beanspruchung und der resultierende stark erhöhte Abbrand führt zu einer starken Reduzierung der Spannungsfestigkeit im Ausschaltfall. Diesem Effekt wirkt man dadurch entgegen, daß man für Bemessungsspannungen von z.B. 17.5 kV zwei Vakuumschaltkammern in Reihe schaltet und zusätzlich kapazitiv besteuert.

[0004] Die bisherige Ausführung von Reihenanordnungen zweier oder mehrerer Vakuumschaltkammern setzt grundsätzlich den Einsatz gleichartiger Schaltkammern voraus, die jeweils simultan ein- und ausgeschaltet werden.

[0005] Die Integration der Reihenanordnung zweier Vakuumschaltkammern als Herzstück eines Hochspannungsschaltgerätes erfordert speziell beim Einsatz innerhalb einer gasisolierten Schaltanlage eine kapazi-

tive Steuerung. Hintergrund dieser Maßnahme ist eine Linearisierung der Spannungsverteilung über den beiden Vakuumschaltkammern, wobei die Steuerkapazitäten jedoch das Löschvermögen nachteilig beeinflussen können, wie in T. Betz, D. Koenig, Influence of grading capacitors on the breaking capability of two vacuum circuit-breakers in series, IEEE 18 th Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, pp. 679-683, Eindhoven, The Netherlands, August 17-21, 1998 behandelt ist.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Hochspannungsschaltgerät mit Serienschaltung von mindestens zwei Vakuumschaltkammern der eingangs genannten Art anzugeben, das hinsichtlich der Spannungsbelastung optimal auslastbar ist. Dabei sollen die aufgeführten Maßnahmen gewährleisten, daß die Reihenanordnung die je nach Geometrie, Einsatz- und Umgebungsbedingungen unterschiedlich ausfallenden Einflüsse auf das Ausschaltverhalten zu kompensieren, ohne von außen mit Hilfe von Steuerkondensatoren starr steuern zu müssen.

[0007] Des weiteren soll ein Verfahren zum Betrieb des Hochspannungsschaltgerätes angegeben werden.

[0008] Diese Aufgabe wird bezüglich des Hochspannungsschaltgerätes in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffes erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

[0009] Die Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens zum Betrieb des Hochspannungsschaltgerätes durch die im Anspruch 6 angegebenen Merkmale gelöst.

[0010] Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin, daß die Spannungsverteilung auf der Basis einer natürlichen, ausschließlich durch die Eigen- und Streukapazitäten beeinflussten Spannungsverteilung und ohne zusätzliche Steuerkapazitäten erreicht wird. Dadurch entfallen die bei Wieder- und Rückzündungen einer Vakuumschaltkammer entstehenden und über die Steuerkapazitäten fließenden Ausgleichsströme, deren Amplituden mit größer werdender Steuerkapazität ansteigen, damit zu einer Aufheizung der Kontaktstücke der Vakuumschaltkammern führen und schließlich das Ausschaltvermögen verringern.

[0011] Als besonderer Vorteil ergibt sich die Möglichkeit, die Aufgabe zur Beherrschung von Schaltfällen (Kurzschlußausschaltvermögen, Einschaltvermögen) unabhängig von der Aufgabe zur Beherrschung der dielektrischen Anforderungen durch geeignete Wahl der Vakuumschaltkammern lösen zu können.

[0012] Durch zusätzliche Maßnahmen an der Antriebseinheit kann das Lichtbogenverhalten direkt beeinflusst werden und ermöglicht somit die Einführung eines separaten Freiheitsgrades zur Auslegung sowohl des dielektrischen Verhaltens als auch des Ausschaltverhaltens bei Lichtbogeneinfluß.

[0013] Die vorgeschlagenen Maßnahmen führen durch Kombination verschiedener Vakuumschaltkam-

mern mit unterschiedlicher Baugröße (unterschiedliche Nennspannung, unterschiedlicher Ausschaltstrom) und/oder unterschiedlicher Kontaktstückgestaltung (unterschiedlicher Kontaktstückdurchmesser, unterschiedlicher Kontaktstückabstand der Kontaktstücke, unterschiedliche Kontaktstückarten) und allgemein unterschiedlichen Eigenkapazitäten zu unterschiedlichem Lichtbogenverhalten. Durch gezielte Nutzung dieses Effektes ist die Auslegungsvielfalt zur Beherrschung der einzelnen Schaltfälle im Vergleich zu bekannten Anordnungen deutlich steigerungsfähig. Verwendet man beispielsweise zwei geeignete unterschiedliche Vakuumschaltkammern mit unterschiedlichen Kontaktstückdurchmessern in Reihe, so können die unterschiedlichen Eigenkapazitäten der Vakuumschaltkammern und das unterschiedliche Lichtbogenverhalten vorteilhaft mit dem Ziel einer Erhöhung des Schaltvermögens kombiniert werden.

[0014] Hintergrund des Einsatzes von Reihenschaltungen von Vakuumschaltkammern ist der Wunsch nach Nutzung sowohl der technischen Vorteile des Vakuumleistungsschalters in Form eines hohen di/dt - und du/dt -Ausschaltvermögens (di/dt = Stromsteilheit, du/dt = Spannungssteilheit) als auch der wirtschaftlichen Vorteile wie Wartungsfreiheit, geringe Antriebsenergie und kompakte Bauweise. Diese Vorteile treten in ausgeprägter Form insbesondere bei Vakuumschaltkammern mit geringen Kontaktabständen der Kontaktstücke auf und können durch serielle Verknüpfung zweier oder mehrerer Vakuumschaltkammern und damit Schaltstrecken dahingehend genutzt werden, daß Vakuumschaltkammern über den 36-kV-Spannungsbereich hinaus auch bei höheren Nennspannungen zum Einsatz kommen. Damit ergeben sich mögliche Alternativen zu dem bisher im Spannungsbereich über 36 kV dominierenden Löschmedium Schwefelhexafluorid (SF₆), die auch unter Umweltgesichtspunkten von Interesse sind.

[0015] Weitere Vorteile sind aus der nachstehenden Beschreibung ersichtlich.

[0016] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

[0017] Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele erläutert. Es zeigen:

Fig.1 ein Prinzipschaltbild der Serienschaltung von Vakuumschaltkammern für Hochspannungsschaltgeräte,

Fig. 2 ein vereinfachtes Ersatzschaltbild zur Potentialaufteilung,

Fig. 3 ein Spannungs/Zeit-Diagramm zur Erläuterung des Phänomens einer Spannungsübernahme durch eine Vakuumschaltkammer bei einer Wiederezündung der weiteren Vakuumschaltkammer.

[0018] Ein Hochspannungsschaltgerät hat zwei Hauptaufgaben zu bewältigen. Einerseits muß es den dielektrischen Beanspruchungen bei geöffneten Kontaktstücken standhalten, andererseits die thermischen und mechanischen Auswirkungen bei der Ausschaltung eines Kurzschlußlichtbogens beherrschen und nach erfolgreicher Löschung dieses Kurzschlußstromes der wiederkehrenden Spannung in Form eines transienten Einschwingvorganges widerstehen. Der zugehörige Zeitraum erstreckt sich über einige 100 Mikrosekunden und wird im Falle der Reihenanordnung nachweislich durch die Wahl der kapazitiven Beschaltung und die Plasmavorgänge im Inneren der Schaltkammer geprägt. Eine gezielte Einflußnahme auf die nach Beendigung des Lichtbogenzeitraumes folgenden transienten Vorgänge soll durch unterschiedliche Ausgestaltung der Vakuumschaltkammern und der Kontaktstücke, durch Maßnahmen am Antrieb und durch Nutzung unterschiedlicher Lichtbogencharakteristiken erfolgen. Hierbei soll die Fähigkeit einer Reihenschaltung besonders ausgenutzt werden, daß im Falle der Wiederezündung einer Schaltkammer die nicht betroffene Schaltkammer die gesamte Spannungsbeanspruchung übernehmen kann. Dies wird im folgenden als Übernahmevergange bezeichnet und stellt einen besonderen Vorteil für das kapazitive Schalten zur Beherrschung von Rückzündungen dar.

[0019] In Fig. 1 ist ein Prinzipschaltbild der Serienschaltung von Vakuumschaltkammern für Hochspannungsschaltgeräte am Beispiel eines Schalterpols dargestellt. Eine erste Vakuumschaltkammer 1 und eine zweite Vakuumschaltkammer 2 liegen in Reihe zwischen einem hochspannungsseitigen Anschluß 3 und einem erdseitigen Anschluß 4. Zwischen dem gemeinsamen Verbindungspunkt 5 beider Vakuumschaltkammern 1, 2 und dem erdseitigen Anschluß 4 tritt eine zu berücksichtigende Streukapazität C_{st} auf.

[0020] In Fig. 2 ist ein vereinfachtes Ersatzschaltbild zur Potentialaufteilung dargestellt. Wie zu erkennen ist, liegt die Eigenkapazität CE_1 der ersten Vakuumschaltkammer 1 in Reihe zur aus der Eigenkapazität CE_2 der zweiten Vakuumschaltkammer 2 und der Streukapazität C_{st} gebildeten Parallelschaltung. Sowohl in Fig. 1 als auch in Fig. 2 sind die Teileinschwingspannung U_1 an der ersten Vakuumschaltkammer 1, die Teileinschwingspannung U_2 an der zweiten Vakuumschaltkammer 2 und die Gesamtentschwingspannung $U_3 = U_1 + U_2$ angegeben.

[0021] Die Erfindung basiert auf dem Prinzip einer Reihenanordnung zweier oder mehrerer unterschiedlicher Vakuumschaltkammern 1, 2 als Herzstück eines Hochspannungsschaltgerätes. Durch den Einsatz unterschiedlicher Vakuumschaltkammertypen innerhalb eines Schalterpoles können sowohl die Eigenkapazitäten als auch das Lichtbogenverhalten der beiden unterschiedlichen Vakuumschaltkammern hinsichtlich der Spannungsbeanspruchung und des Löschvermögens der Serienanordnung in vorteilhafter Weise kombi-

niert werden.

[0022] Ein spezielles Merkmal der Erfindung ist die Ausgestaltung der am hochspannungsseitigen Anschluß 3 liegenden ersten Vakuumschaltkammer 1 mit einem größeren Kontaktstückdurchmesser und damit einer erhöhten Eigenkapazität CE1. Die mit dem erdseitigen Anschluß 4 verbundene zweite Vakuumschaltkammer 2 weist demgegenüber einen vergleichsweise geringeren Kontaktstückdurchmesser mit dementsprechend vergleichsweise geringerer Eigenkapazität CE2 auf, wird jedoch im eingebauten Zustand ergänzt durch die gegen Erdpotential wirksame Streukapazität Cst. Bei geeigneter Wahl der Vakuumschaltkammertypen kann daher dieser Einfluß der Streukapazitäten minimiert bzw. vollständig eliminiert werden. Die Bedingung hierzu ist:

$$CE1 \approx CE2 + Cst.$$

[0023] Die Kompensation der wirksamen Streukapazitäten durch geeignete Wahl der Eigenkapazitäten der Vakuumschaltkammern bewirkt eine Linearisierung der Potentialaufteilung eines ungesteuerten Schalterpoles, was insbesondere beim Einsatz des Hochspannungsschaltgerätes in einer gasisolierten Schaltanlage von großem Vorteil ist, da in diesem Einsatzfall höhere Streukapazitäten wirksam werden.

[0024] Ein weiterer Vorteil der Reihenanordnung von mindestens zwei Vakuumschaltkammern 1, 2 liegt darin, daß eine Rückzündung einer Vakuumschaltkammer nicht zwangsläufig zur Rückzündung des gesamten Schalterpoles führt. Dies ist auf die zum Rückzündungszeitpunkt weit fortgeschrittene Spannungsfestigkeit der nicht betroffenen Schaltkammer zurückzuführen. Speziell im Fall des kapazitiven Schaltens ergibt sich auf Grund der geeigneten Auswahl der in Reihe geschalteten, unterschiedlichen Vakuumschaltkammern die optimierte Fähigkeit der Spannungsübernahme.

[0025] Ein unterschiedliches Lichtbogenverhalten kann durch zeitlich versetzte Öffnung der Kontaktstücke von mindestens zwei Vakuumschaltkammern erzwungen werden. Bei einer aus zwei Vakuumschaltkammern bestehenden Reihenschaltung können sowohl die Kontaktstücke der oberen Vakuumschaltkammer 1 als auch die der unteren Vakuumschaltkammer 2 zeitlich verzögert geöffnet werden. Bei zeitlich versetzter Ein- und Ausschaltung der Vakuumschaltkammern 1, 2 ergibt sich in gewünschter Weise eine gezielte Verteilung der Schaltbeanspruchung auf beide Vakuumschaltkammern, ausgedrückt durch den sich durch diese Maßnahme an der jeweiligen Vakuumschaltkammer einstellenden Anteil der nach einer Schaithandlung wiederkehrenden Spannung. Weiterhin kann bei zeitlich versetzter Ein- und Ausschaltung der Vakuumschaltkammern 1, 2 die Spannungsverteilung bei reinen dielektrischen Spannungsbeanspruchungen in gewünschter günstiger Weise beeinflußt werden.

[0026] Mehrfache Wiederzündungen, die vorwiegend bei geringen Kontaktabständen an der oberen Vakuumschaltkammer 1 auftreten, weisen einen konditionierenden Effekt auf das Löschverhalten der unteren Vakuumschaltkammer 2 auf und führen zu einer Erhöhung der Spannungsfestigkeit im Vergleich zu einer Anordnung mit lediglich einer Vakuumschaltkammer.

[0027] Als besondere Eigenschaft einer Reihenanordnung von mindestens zwei Vakuumschaltkammern ergibt sich speziell für das kapazitive Schalten der Vorteil, daß Wieder- und Rückzündungen einer Vakuumschaltkammer von der anderen Vakuumschaltkammer (oder mehreren anderen Vakuumschaltkammern) beherrscht werden. Hierbei steht nicht so sehr die Ertüchtigung des Vakuumschaltprinzips zur Erzielung höherer Bemessungsspannungen im Vordergrund, sondern die Nutzung der technischen Vorteile einer Reihenanordnung von mindestens zwei Vakuumschaltkammern für einen speziellen Schaltfall, der, bezogen auf die im 36-kV-Spannungsbereich üblicherweise geforderte Bemessungsspannung, bereits von einer einzigen Vakuumschaltkammer beherrscht werden könnte.

[0028] In Fig. 3 ist hierzu ein Spannungs/Zeit-Diagramm zur Erläuterung des Phänomens einer Spannungsübernahme durch eine Vakuumschaltkammer bei einer Wiederzündung der weiteren Vakuumschaltkammer dargestellt. Es ist der Verlauf der Einschwingspannungen U in Abhängigkeit der Zeit t zu erkennen. Zum Zeitpunkt 0 setzt die nach erfolgreicher Lichtbogenlöschung wiederkehrende Netzspannung in Form einer transienten Einschwingspannung U3 ein. Über der Reihenanordnung teilt sich die gepunktet dargestellte Gesamteinschwingspannung U3 so auf, daß eine strichpunktiert dargestellte Teileinschwingspannung U1 und eine Teileinschwingspannung U2 (durchgezogene Linie) entsteht. Zum Zeitpunkt t1 tritt eine Wiederzündung bei der ersten (oberen) Vakuumschaltkammer 1 auf. Die zweite (untere) Vakuumschaltkammer 2 übernimmt zu diesem Zeitpunkt t1 die gesamte Spannungsbeanspruchung, d. h. die zu diesem Zeitpunkt wirksame Gesamteinschwingspannung U3. Anschließend verfestigt sich die obere Vakuumschaltkammer 1 und kann wieder einen geringen Anteil der Gesamtspannung U3 übernehmen.

[0029] Das Ausschaltverhalten der Reihenschaltung kann unter Berücksichtigung der Potentialaufteilung auf das singuläre Verhalten der einzelnen Vakuumschaltkammern zurückgeführt werden. Die Potentialaufteilung wird in den ersten Mikrosekunden der Einschwingspannung infolge von Effekten des Nachstromlichtbogens durch ohmsche (Plasma-) Widerstände bestimmt, die den Vorgang der Wiederverfestigung innerhalb der Schaltstrecke beschreiben. Nach einigen Mikrosekunden ist dieser Plasmawiderstand bereits so stark angewachsen, daß die Eigen- und Streukapazitäten die Spannungsaufteilung über beide Schaltstrecken bestimmen. Die Spannungsauftei-

lung wird durch die Streukapazität Cst der (unteren) Vakuumschaltkammer 2 gegen Erde maßgeblich beeinflusst, d. h. die Streukapazität Ost wirkt im Sinne einer Vorsteuerung (jedoch ohne deren vorstehend erläuterten Nachteile).

5

nungsseitigen Anschluß (3) liegenden Vakuumschaltkammer (1) zeitlich verzögert geöffnet werden.

Patentansprüche

1. Hochspannungsschaltgerät mit Serienschaltung von mindestens zwei Vakuumschaltkammern, dadurch gekennzeichnet, daß die in Serie angeordneten Vakuumschaltkammern (1, 2) hinsichtlich ihrer Baugröße und/oder Kontaktstückgestaltung, wie Kontaktstückdurchmesser, Kontaktabstand der Kontaktstücke, Kontaktstückarten unterschiedlich ausgebildet sind, wobei mindestens eine Vakuumschaltkammer erster Art und mindestens eine Vakuumschaltkammer zweiter Art vorgesehen sind und daß die Auswahl der Vakuumschaltkammern (1, 2) derartig erfolgt, daß Wieder- und Rückzündungen einer Vakuumschaltkammer erster Art von mindestens einer anderen Vakuumschaltkammer zweiter Art beherrscht werden. 10
15
20
2. Hochspannungsschaltgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die am hochspannungsseitigen Anschluß (3) liegende Vakuumschaltkammer (1) eine erhöhte Eigenkapazität (CE1) aufweist als die mit dem erdseitigen Anschluß (4) verbundene Vakuumschaltkammer (2). 25
30
3. Hochspannungsschaltgerät nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe der Eigenkapazität (CE2) der mit dem erdseitigen Anschluß (4) verbundenen Vakuumschaltkammer (2) und der gegen Erdpotential wirksamen Streukapazität (Cst) etwa der Eigenkapazität (CE1) der am hochspannungsseitigen Anschluß (3) liegenden Vakuumschaltkammer (1) ist. 35
40
4. Hochspannungsschaltgerät nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Einbau in eine gasisolierte Schaltanlage. 45
5. Hochspannungsschaltgerät nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolation der Löschkammer gegen das Gehäuse durch SF₆, N₂, Luft oder andere gasförmige oder flüssige Isolierstoffe erfolgt. 50
6. Verfahren zum Betrieb des Hochspannungsschaltgerätes nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch das zeitlich versetzte Öffnen der Kontaktstücke von mindestens zwei Vakuumschaltkammern (1, 2). 55
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontaktstücke der am hochspan-

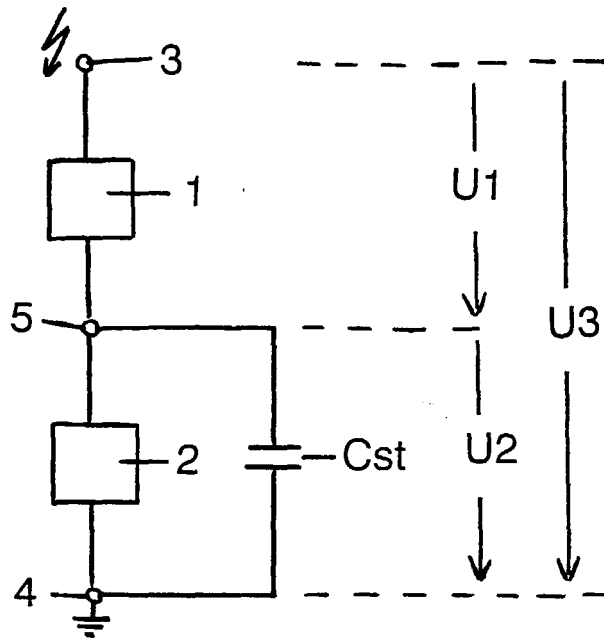


Fig. 1

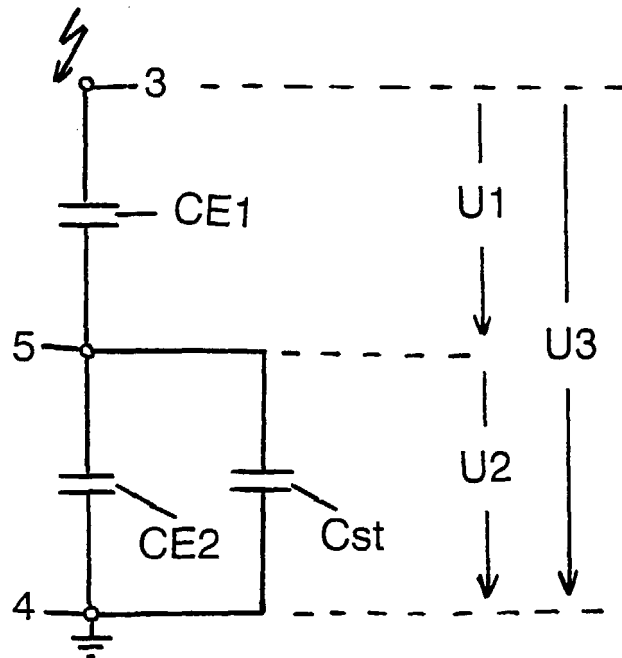


Fig. 2

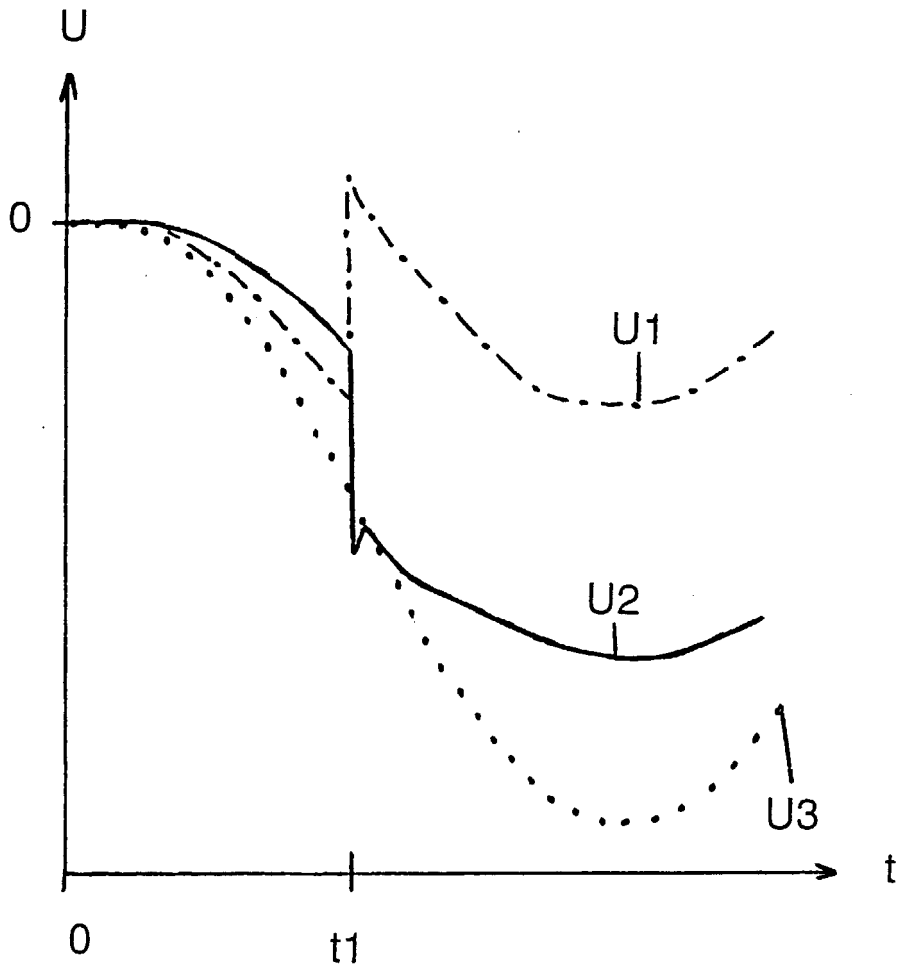


Fig. 3