

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 859 377 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
19.08.1998 Patentblatt 1998/34

(51) Int. Cl.⁶: H01C 7/10

(21) Anmeldenummer: 97810970.0

(22) Anmeldetag: 11.12.1997

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

- Kluge, Wolfgang
5405 Baden-Dättwil (CH)
- Rudolph, René
8052 Zürich (CH)
- Schüler, Klaus Christian
8967 Widen (CH)

(30) Priorität: 16.01.1997 DE 19701243

(71) Anmelder: Asea Brown Boveri AG
5401 Baden (CH)

(72) Erfinder:
• Hagemeister, Michael
8002 Zürich (CH)

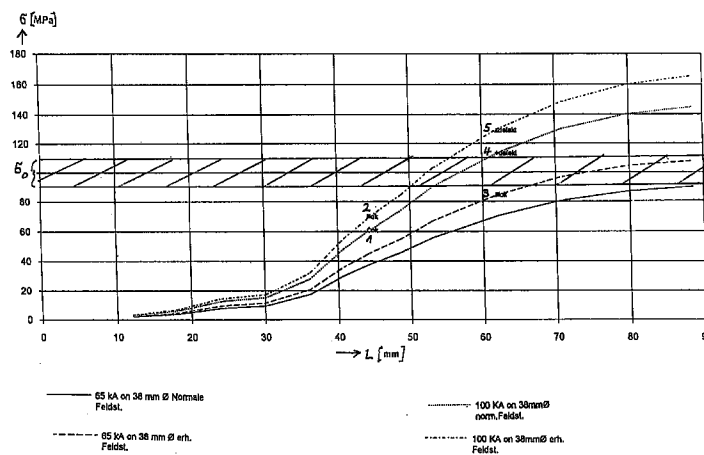
(74) Vertreter: Kaiser, Helmut et al
c/o Asea Brown Boveri AG,
Immaterialgüterrecht (TEI),
Postfach
5401 Baden (CH)

(54) Säulenförmig ausgebildeter, hochstromfester Widerstand, insbesondere Varistor auf der Basis eines Metalloxids, und Verfahren zur Herstellung eines solchen Widerstands

(57) Der Widerstand ist säulenförmig ausgebildet und weist einen zwischen zwei parallel ausgerichteten, ebenen Elektroden angeordneten zylinderförmigen Widerstandskörper aus einem keramischen Werkstoff auf. Vorzugsweise ist der Widerstand ein Varistor auf der Basis eines Metalloxids und dient dann als spannungsbegrenzendes Element in einem Überspannungsableiter.

Länge des Widerstands werden möglichst gross gewählt. Jedoch ist die Länge des Widerstands höchstens so gross, dass bei Belastung des Widerstands in einem elektrischen Feld vorgegebener Grösse mit mindestens einem hochenergetischen Stromimpuls definierter Amplitude, Form und Dauer eine Beschädigung des keramischen Widerstandskörpers infolge thermisch erzeugter Druckwellen vermieden wird.

Die Festigkeit des keramischen Materials und die



EP 0 859 377 A2

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

Bei der Erfindung wird ausgegangen von einem säulenförmig ausgebildeten Widerstand nach dem Oberbegriff von Patentanspruch 1. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Widerstands.

Ein derartiger Widerstand wird in Mittel- oder Hochspannungsanlagen für Mess-, Schutz- oder Steueraufgaben eingesetzt. Im allgemeinen ist dieser Widerstand als nichtlinearer Widerstand (Varistor) ausgebildet und weist einen zwischen zwei parallel ausgerichteten Elektroden angeordneten, zylinderförmigen Widerstandskörper aus einem keramischen Werkstoff auf. Der keramische Werkstoff besteht im allgemeinen aus einem gezielt mit ausgewählten Elementen, wie Bi, Sb, Co und Mn, dotierten Zinkoxid und wird durch Dichtsintern eines Presskörpers bei Temperaturen zwischen 1000 und 1300°C hergestellt.

Der Varistor wird bevorzugt in Überspannungsableitern verwendet und muss so spezifiziert sein, dass er durch Blitzeinschläge oder Schalthandlungen entstehende Stromimpulse von 65 oder 100 kA schadlos führen kann. Solche Stromimpulse werden im Zuge des Fertigungsprozesses an die Elektroden des Varistors angelegt, um deren Hochstromfestigkeit zu überprüfen. Die Amplitude, die Form und die Dauer typischer Stromimpulse und Vorrichtungen zur Durchführung von Prüfungen mit solchen Stromimpulsen sind beispielsweise in der IEC-Norm 99-4, Part 4: Metaloxide surge arresters without gaps for a.c., first edition 1991-11, Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse, beschrieben.

STAND DER TECHNIK

Ein Widerstand der eingangs genannten Art ist in EP 0 196 370 A1 angegeben. Dieser Widerstand weist einen zylinderförmigen, keramischen Widerstandskörper auf der Basis von dotiertem Zinkoxid auf. Die zueinander parallelen, ebenen Stirnflächen des Widerstandskörpers sind metallisiert und stehen in galvanischer Verbindung mit zwei Anschlussarmaturen, von denen die eine auf Hochspannungspotential und die andere auf Erdpotential geführt ist. Der Widerstand ist Teil eines Überspannungsableiters mit nur einem Widerstand. Da dieser Widerstand die Anschlussarmaturen trägt, kann ein Ableitergehäuse entfallen. Der Widerstand weist eine gegenüber seinem Durchmesser wesentlich grössere Länge auf und kann daher ohne weiteres mit Spannungen von mehr als 10 kV belastet werden. Treten dann jedoch durch Blitzstoss oder Schalthandlungen erzeugte Hochstromimpulse auf, so ist ein Versagen des Widerstands und damit auch des Überspannungsableiters nicht auszuschliessen.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Der Erfindung, wie sie in den Patentansprüchen 1 und 4 angegeben ist, liegt die Aufgabe zugrunde, einen Widerstand der eingangs genannten Art anzugeben, welcher sich durch eine grosse Länge auszeichnet, und bei dem nach einer Belastung mit Stromimpulsen hoher Energie ein Versagen mit Sicherheit auszuschliessen ist, sowie ein Verfahren anzugeben, mit dem ein derartiger Widerstand in einfacher und kostengünstiger Weise gefertigt werden kann.

Der erfindungsgemässe Widerstand weist bei einem relativ kleinen Durchmesser eine grosse Länge auf und kann mit hochenergetischen Stromimpulsen belastet werden, ohne dass die Festigkeit seines keramischen Werkstoffes überschritten wird. Diese für eine preiswerte Fertigung eines den Widerstand enthaltenden Gerätes, vorzugsweise eines Überspannungsableiters, günstige Konfektionierung des Widerstands beruht auf der Wirkung, dass ein von einem hochenergetischen Stromimpuls ausgelöster thermischer Impuls zu einer rasche Erwärmung des keramischen Werkstoffes führt. Der impulsartig erwärmte keramische Werkstoff dehnt sich thermisch stark aus. Hierzu benötigt er eine durch seine Schallgeschwindigkeit bestimmte Zeit. Liegt diese Zeit in der Grössenordnung der Dauer des Stromimpulses, so bilden sich in der Keramik starke Spannungen aus, welche bei einem langen Widerstand überwiegend in axialer Richtung wirkende Zugkräfte bilden, die die Festigkeit des keramischen Werkstoffes oberhalb einer bestimmten Länge des Widerstands überschreiten. Daher darf bei einer vorgegebenen Festigkeit des keramischen Werkstoffes und bei einer vorgegebenen Impulsbelastung die Länge des Widerstands einen bestimmten Wert nicht überschreiten. Da mit zunehmendem Volumen des Widerstands die thermischen Wirkungen des Stromimpulses im allgemeinen reduziert werden, kann der Widerstand mit zunehmendem Durchmesser bei gleicher Impulsbelastung länger gemacht werden.

Ein bevorzugtes Verfahren, um einen Widerstand nach der Erfindung herzustellen, ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet:

Es wird ein Kennlinienfeld ermittelt für Widerstände aus dem gleichen keramischen Werkstoff und mit gleichen Durchmessern, aber mit unterschiedlichen Längen.

Im Kennlinienfeld werden durch Belastung mit mindestens einem hochenergetischen Stromimpuls im keramischen Werkstoff erzeugte mechanische Spannungen in Abhängigkeit von der Länge der Widerstände angegeben.

Jeder Kennlinie werden als elektrische Kenngrössen eine vorgegebene elektrische Feldstärke und mindestens ein

Stromimpuls definierter Amplitude, Form und Dauer zugeordnet.

Es werden entsprechend den Widerständen des Kennlinienfelds beschaffene und bemessene Probewiderstände mit den einer Kennlinie zugeordneten elektrischen Kenngrößen belastet.

Schliesslich werden die Probewiderstände nach der Belastung mit den elektrischen Kenngrößen auf ihre Weiterverwendbarkeit analysiert.

Bei der praktischen Durchführung dieses Verfahrens sind einer der Kennlinien zwei Probewiderstände unterschiedlicher Länge zuzuordnen, von denen nach der Belastung mit den elektrischen Kenngrößen ein erster intakt und ein zweiter defekt ist, ist ferner zwischen die beiden Probewiderstände als Normiergrösse die Festigkeit des keramischen Werkstoffs einzutragen, und ist sodann ein unterhalb der Normiergrösse gelegener Bereich des Kennlinienfelds auszuwählen zur Bestimmung einer noch zulässigen mechanische Spannungsbelastbarkeit und damit zur Bestimmung einer noch zulässigen Länge des mit den elektrischen Kenngrößen belastbaren Widerstands.

WEG ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in einer Figur näher erläuterten Ausführungsbeispiels beschrieben. Hierbei zeigt die Figur ein Diagramm, in dem aufgrund einer impulsartigen Stromwelle in säulenförmig ausgebildeten Probewiderständen auftretende Zugspannungen σ [MPa] in Abhängigkeit von der Länge L [mm] der Probewiderstände dargestellt sind.

Die in der Figur angegebenen Probewiderstände wurden wie folgt hergestellt:

Ca. 97 Mol% Zn, ca. 0,5 Mol% Bi_2O_3 , ca. 1,0 Mol% Sb_2O_3 , ca. 0,5 Mol% Co_2O_3 , ca. 0,5 Mol% MnO_2 und ca. 0,5 Mol% Cr_2O_3 wurden in einer Kugelmühle gemischt und zu einer homogenen Pulvermischung mit Partikeldurchmessern zwischen ca. 1 und ca. 5 μm gemahlen. Die Pulvermischung wurde in destilliertem Wasser aufgeschlämmt. Um die Viskosität der ca. 60 Gew.% aufweisenden Aufschlämmung herabzusetzen, wurde ca. 1 Gew.% eines alkaliarmen Verflüssigers zugesetzt. Zur Verbesserung der Plastizität der späteren Trockenmasse wurde ferner ca. 1 Gew.% eines organischen Binders zugesetzt.

Die Aufschlämmung wurde nun in einem Sprühtrockner in ein rieselfähiges trockenes Granulat übergeführt. Die durchschnittliche Grösse der dabei erzeugten Körner lag bei ca. 100 μm . Aus dem Granulat wurden in hohlzylinderförmigen Metallformen uniaxial sowie in hohlzylinderförmigen, elastischen Pressformen isostatisch mit einem Druck von jeweils ca. 100 MPa zylinderförmige Presskörper mit einem Durchmesser von ca. 47 mm und einer Länge von ca. 59 mm bzw. 80 mm geformt. Diese Presskörper wurden bei einer Temperatur von ca. 1200°C während ca. 2 h zu säulenförmig ausgebildeten, zylindrischen Widerstandskörpern von 38 mm Durchmesser und 46 mm bzw. 64 mm Länge gesintert und auf den Stirnseiten durch Flammsspritzen oder durch Lichtbogenauftrag mit Aluminiumelektroden versehen.

Aus mehreren der solchermassen gefertigten Probewiderstände wurden Materialproben aus dem keramischen Werkstoff des Widerstandskörpers mit den Massen $4 \times 3 \times 45 \text{ mm}^3$ herausgeschnitten. An diesen Probekörpern wurden Biegeversuche durchgeführt. Anhand dieser Biegeversuchen wurde eine mittlere Bruchfestigkeit des keramischen Werkstoffs von ca. $100 \pm 10 \text{ MPa}$ ermittelt.

Die verbleibenden Probewiderständen wurden in einer Prüfvorrichtung jeweils mit zwei $4/10 \mu\text{s}$ Stromwellen mit einer Amplitude von 65 bzw. 100 kA bei einer elektrischen Feldstärken von ca. 500 V/mm bzw. ca. 600 V/mm impulsartig belastet. Danach wurden die Probewiderstände durch Augenschein begutachtet. Ferner wurden von den Probekörpern Bruchbilder angefertigt.

Die hieraus gewonnenen Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben und in das vorgenannte Diagramm eingetragen.

Probe	Durchmesser [mm]	Länge [mm]	Beschaffenheit	Feldstärke [V/mm]	Stromimpuls
1	38	46	ok	500	$2 \times 4/10 \mu\text{s}/100 \text{ kA}$
2	38	46	ok	600	$2 \times 4/10 \mu\text{s}/100 \text{ kA}$
3	38	64	ok	500	$2 \times 4/10 \mu\text{s}/65 \text{ kA}$
4	38	64	defekt	500	$2 \times 4/10 \mu\text{s}/100 \text{ kA}$
5	38	64	defekt	600	$2 \times 4/10 \mu\text{s}/100 \text{ kA}$

Aus Simulationsrechnungen wurden vier Kennlinien ermittelt, welche im Diagramm durchgezogen, gestrichelt, punktiert bzw. strichpunktiert eingetragen sind. In diesen Kennlinien ist die infolge thermisch induzierter Druckwellen

im keramischen Werkstoff bei der impulsartigen Belastung der Probewiderstände auftretende Spannungsbelastung σ in Abhängigkeit von der Länge L der Widerstände dargestellt. Die Modellrechnungen basierten darauf, dass das Anlegen eines hochenergetischen Stromimpulses T die gleiche Wirkung hat, wie ein an die Oberfläche der Probewiderstände gelegtes gleichförmiges Druckfeld $p(t)$, dessen Abhängigkeit von der Zeit t durch die nachfolgend angegebene Gleichung bestimmt ist:

$$p(t) = - [(E \cdot \alpha / (1 - 2 \cdot \nu))] \cdot (T_{av}(t) - T_0),$$

wobei E den Elastizitätsmodul, α den linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten, ν die Poissonsche Konstante, T_0 eine Referenztemperatur und T_{av} den über den Widerstand räumlich gemittelten thermische Impuls T bedeuten.

Der Flankenanstieg und die Amplitude des thermischen Impulses $T_{av}(t)$ wurden so bestimmt, dass sie der thermischen Wirkung der 4/10 $\mu\text{s}/65 \text{ kA}$ bzw. 4/10 $\mu\text{s}/100 \text{ kA}$ Stromwelle in den Probewiderständen entsprechen. Für den Flankenanstieg des thermischen Impulses wurde eine Zeit von ca. 20 μs und für seine Amplitude bei einer Feldstärke von 500 kV/mm und einer Stromstärke von 100 kA eine Temperatur von 100°C angenommen. Die den simulierten Impuls aufnehmenden Widerstände wiesen die gleichen Abmessungen und Materialdaten wie die Probewiderstände auf, d.h. einen Durchmesser von 38 mm, eine Dichte von 5,6 g/cm, einen linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten von $5,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ sowie einen E-Modul von $1,10 \cdot 10^{11}$.

Das Druckfeld ist negativ und induziert die im Diagramm angegebenen Zugkräfte σ , welche mit zunehmender Länge L der Probewiderstände ersichtlich zunehmen. Solange diese Zugkräfte geringer sind als die Festigkeit σ_0 des keramischen Werkstoffs, treten im keramischen Werkstoff keine Defekte auf.

In die Kennlinien ist der Zustand der Probewiderstände nach der impulsartigen Belastung mit den Stromwellen eingetragen. Hieraus ist ersichtlich, dass Probewiderstände mit einem vorgegebenen Durchmesser, welche mit einer starken Stromwelle impulsartig belastet werden, eine bestimmte Länge nicht überschreiten dürfen, da sonst eine die Festigkeit σ_0 der Widerstände überschreitende Spannungsbelastung auftritt, welche zu einem Defekt (vorzugsweise Bruch quer zu den Elektroden) der Widerstände führt.

In das Diagramm ist daher auch die mechanische Spannungsfestigkeit σ_0 der Widerstände eingetragen. Diese Festigkeit ist für Kalibrierzwecke so gelegt, dass sie zwischen den defekten und nicht defekten Probewiderständen zu liegen kommt. Aus dem Diagramm kann nun in einfacher Weise entnommen werden, welche Länge ein zu fertigender Widerstand bei einer bestimmten Impulsbelastung haben darf. Beispielsweise sollte ein 80 mm langer Widerstand von 38 mm Durchmesser bei normaler elektrischer Stärke (500 V/mm) lediglich mit einer 4/10 $\mu\text{s}/65 \text{ kA}$ Stromwelle impulsartig belastet werden. Soll ein Widerstand hingegen bei erhöhter elektrischer Feldstärke (600 V/mm) mit einer 4/10 $\mu\text{s}/100 \text{ kA}$ Stromwelle impulsartig belastet werden, so darf bei einem Durchmesser von 38 mm der Widerstand allenfalls eine Länge von 50 mm aufweisen. Diese durch eine vorgegebene Impulsbelastung und eine vorgegebene Festigkeit des keramischen Werkstoffs bestimmte noch tolerierbare obere Grenzlänge darf vom herzustellenden Widerstand nicht überschritten werden, da sonst Beschädigungen nicht auszuschliessen sind. Um solchen Beschädigungen besonders wirkungsvoll vorzubeugen, empfiehlt es sich, die Länge des Widerstands bis zu 50%, vorzugsweise bis zu 30%, kleiner als die Grenzlänge zu wählen.

Vorzugsweise ist die Länge des Widerstandes grösser als sein Durchmesser. Im Spannungsbereich zwischen 5 und 50 kV einsetzbare Überspannungsableiter benötigen dann lediglich einen einzigen Widerstand (Varistor auf der Basis von Metalloxid) und können dann besonders kostengünstig gefertigt werden. Bei Durchmessern zwischen 35 bis 45 mm sollte die Länge des Varistors dann etwa das 1,3- und höchstens das 1,7-fache seines Durchmessers betragen. Durch Erhöhung des Durchmessers wird bei gleichbleibender Länge auf Kosten der Wirtschaftlichkeit die Impulsfestigkeit des Widerstands verbessert, da die durch den Stromimpuls in den Widerstandskörper eingebrachte Energie in der nun grösseren Masse des keramischen Widerstandskörpers besser verteilt wird.

Patentansprüche

1. Säulenförmig ausgebildeter Widerstand, insbesondere Varistor auf der Basis eines Metalloxids, mit einem zwischen zwei parallel ausgerichteten, ebenen Elektroden angeordneten, zylinderförmigen Widerstandskörper aus einem keramischen Werkstoff, welcher in einem elektrischen Feld vorgegebener Grösse mit mindestens einem hochenergetischen Stromimpuls definierter Amplitude, Form und Dauer belastbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die durch den Abstand der beiden Elektroden definierte Länge des Widerstands geringer ist als eine durch die Stärke der Impulsbelastung und die Festigkeit des keramischen Werkstoffs bestimmte noch tolerierbare obere Grenzlänge, bei der bei Belastung mit dem mindestens einen Stromimpuls eine Beschädigung des keramischen Widerstandskörpers noch vermieden wird.
2. Widerstand nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge des Widerstands höchstens bis zu 50%, vorzugsweise bis zu 30%, geringer ist als die Grenzlänge.

3. Widerstand nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für Anwendungen im Spannungsbereich zwischen 5 und 50. kV und für eine Sinterkeramik auf der Basis von sprühgetrocknetem Metalloxidpulver der Durchmesser des Widerstands kleiner als seine Länge gewählt ist.

4. Widerstand nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge des Widerstands mindestens das 1,3 und höchstens das 1,7-fache seines Durchmessers beträgt.

5. Verfahren zur Herstellung eines mit mindestens einem hochenergetischen Stromimpuls definierter Amplitude, Form und Dauer in einem elektrischen Feld vorgegebener Grösse belastbaren Widerstands nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der keramische Werkstoff in einem Sintervorgang aus einem vorkonfektionierten Presskörper gebildet wird, dadurch gekennzeichnet,

- dass ein Kennlinienfeld für Widerstände aus dem gleichen keramischen Werkstoff und mit gleichen Durchmessern, aber mit unterschiedlichen Längen ermittelt wird, in dem die durch Belastung mit mindestens einem hochenergetischen Stromimpuls im keramischen Werkstoff erzeugte mechanische Spannung (σ) in Abhängigkeit von der Länge (L) der Widerstände angegeben ist, und bei dem jeder Kennlinie als elektrische Kenngrössen eine vorgegebene elektrische Feldstärke und mindestens ein Stromimpuls definierter Amplitude, Form und Dauer zugeordnet sind,
- dass entsprechend den Widerständen des Kennlinienfeldes beschaffene und bemessene Probewiderstände mit den einer Kennlinie zugeordneten elektrischen Kenngrössen belastet werden, und
- dass die Probewiderstände nach der Belastung mit den elektrischen Kenngrössen auf ihre Weiterverwendbarkeit analysiert werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,

- dass mindestens einer Kennlinie zwei Probewiderstände unterschiedlicher Länge zugeordnet werden, von denen nach der Belastung mit den elektrischen Kenngrössen einer erster intakt und ein zweiter defekt ist,
- dass zwischen den beiden Probewiderständen als Normiergrösse die Festigkeit (σ_0) des keramischen Werkstoffs eingetragen wird,
- und dass unterhalb der Normiergrösse gelegene Bereiche des Kennlinienfeldes ausgewählt werden zur Bestimmung noch zulässiger mechanischer Spannungsbelastbarkeit und damit zur Bestimmung der noch tolerierbaren oberen Grenzlänge des mit den elektrischen Kenngrössen belastbaren Widerstands.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kennlinie aus dem zeitlichen Verlauf einer Druckwelle errechnet wird, welche sich im Widerstand aufgrund eines vom Stromimpuls erzeugten thermischen Impulses T bildet.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der zeitliche Verlauf der Druckwelle im wesentlichen durch folgende Gleichung bestimmt wird:

$$p(t) = - [(E \cdot \alpha / (1 - 2 \cdot \nu))] \cdot (T_{av}(t) - T_0),$$

wobei E den Elastizitätsmodul, α den linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten, ν die Poissonsche Konstante, T_0 eine Referenztemperatur und T_{av} den über den Widerstand räumlich gemittelten thermischen Impuls T bedeuten.

