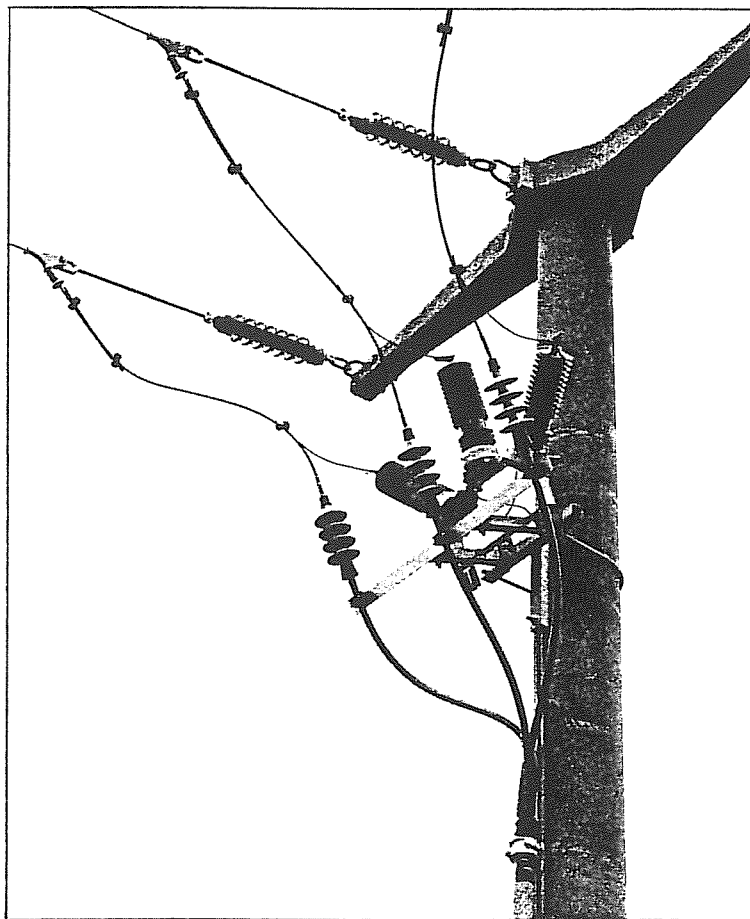


*Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)
Commission d'étude des questions relatives
à la haute tension (CEH)*

ÜBERSPANNUNGSABLEITER IM MITTELSPANNUNGSNETZ



Ableitereinsatz zum Schutz eines 16 kV Kabels (Bild Sprecher Energie, Oberentfelden)

***FKH-Fachtagung
17. November 1992
Kursaal, Bern***

ÜBERSPANNUNGSABLEITER IM MITTELSPANNUNGSNETZ

**FKH-Fachtagung
17. November 1992
Kursaal, Bern**

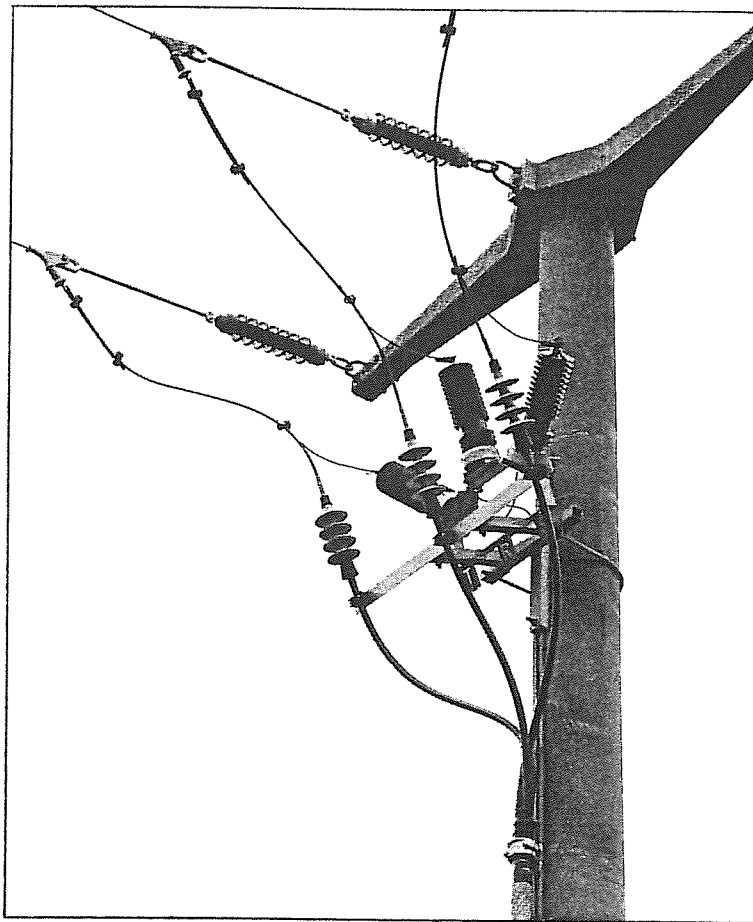
ZUSAMMENFASSUNG DER REFERATE

Veranstalter:

**Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)
Leutschenbachstrasse 69, 8050 Zürich**

*Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)
Commission d'étude des questions relatives
à la haute tension (CEH)*

ÜBERSPANNUNGSABLEITER IM MITTELSPANNUNGSNETZ



Ableitereinsatz zum Schutz eines 16 kV Kabels (Bild Sprecher Energie, Oberentfelden)

***FKH-Fachtagung
17. November 1992
Kursaal, Bern***

ÜBERSPANNUNGSABLEITER IM MITTELSPANNUNGSNETZ

Mit dieser von der Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH) organisierten Fachtagung sollen Mitarbeiter von FKH-Mitgliedunternehmen sowie auch andere Interessenten aus Kreisen der EW's, Industrie und Hochschulen über den Stand der Technik und die Anwendungspraxis von Überspannungsableitern in MS-Verteilnetzen informiert werden.

Ziel der Tagung ist es, Ableitertypen und neue Konstruktionen sowie Einsatzmöglichkeiten, Auswahlkriterien und Betriebserfahrungen vorzustellen und zu diskutieren.

TAGUNGSPROGRAMM

(Die Referate beinhalten jeweils eine kurze Diskussion)

- ab 10.00 **Empfang der Teilnehmer**
Kaffee und Erfrischungen, Abgabe der Tagungsunterlagen
- 10.30 **Begrüssung**
Dr. F. Schwab, Aare-Tessin AG für Elektrizität, ATEL, Olten
Präsident der FKH, Vorsitzender der Fachkommission 37 des CES
- 10.40 **Metalloxid-Ableiter, Technologie und Konstruktionen**
R. Rudolph, ABB Hochspannungstechnik AG, Baden
- 11.10 **Funkenstreckenableiter mit SiC-Widerständen - Funktion,
Konstruktion, Einsatzmöglichkeiten**
W. Lacher, Sprecher Energie AG, Oberentfelden
- 11.40 **MO-Ableiter in Kunststoffgehäuse - Sonderanwendungen
bei Innenraumanlagen**
N. Mikli, Raychem GmbH, Ottobrunn
- 12.00 **Integration von Ableiter in MS-Anlagen - Sicht des Anlagenbauers**
H. Doessegger, Stationenbau AG, Villmergen
- 12.30 **Gemeinsames Mittagessen in der Kursaal-Konzerthalle**
- 14.00 **Überspannungsschutzkonzeption im MS-Verteilnetz**
Dr. G. Biasiutti, Bernische Kraftwerke AG, BKW, Bern
- 14.30 **Einsatz von Überspannungsableitern im gelöschten Netz:
Konzepte und Erfahrungen aus betrieblicher Sicht**
B. Lienhard, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, EKZ, Zürich

- 15.00 **Kurze Pause**
- 15.10 **Berechnungsbeispiele zum optimalen Einsatz von
Überspannungsableitern im MS-Netz**
G. Köppl, Koepl Power Experts, Lupfig
- 15.30 **Prüfverfahren und Evaluationstests für MS-Ableiter**
Dr. Th. Aschwanden, Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH
- 15.50 **Schlussdiskussion**
Leitung: Dr. F. Schwab, Aare-Tessin AG für Elektrizität, ATEL, Olten
- ca. 16.10 **Ende der Veranstaltung**

ORGANISATION

- Tagungsort:** KURSAAL Bern
 Kongresszentrum
 Schänzlistrasse 71-77
 3013 Bern
- Tagungsleitung:** Dr. Th. Aschwanden, FKH

Metalloxid-Ableiter, Technologie und Konstruktion

R. Rudolph

ABB Hochspannungstechnik AG
Bereich Überspannungsableiter, 5430 Wettingen

Der Aktivteil der Metalloxid-Ableiter besteht aus der Serieschaltung von Metalloxid-Widerständen. Diese besitzen eine extrem nichtlineare Strom-Spannungs-Kennlinie, das heisst, die Spannung am Widerstand nimmt mit dem Strom nur geringfügig zu. Bei einer Erhöhung des Stromes um beispielsweise den Faktor 100'000 steigt die Spannung um weniger als 50 %.

Die Widerstände bestehen zu 90 % aus Zinkoxid. Dazu kommen bis zu 10 und mehr weitere Oxide als Dotierelemente. Der Anteil dieser Elemente reicht vom ppm- bis in den Prozentbereich. Für die Qualität der fertigen Widerstände ist die Homogenität der Mischung von grösster Bedeutung. Die pulverförmigen Oxide werden daher in deionisiertem Wasser gemischt. Damit ist Gewähr gegeben, dass Dotierelemente von nur wenigen Gramm in der Gesamtmasse von über 1'000 kg gleichmässig verteilt sind. In einem Sprühtrockner wird der Masse das Wasser entzogen. Das trockene Granulat wird anschliessend zu Scheiben verpresst.

Im Sinterofen werden die Rohlinge bei ca. 1'250 °C zu festen Keramikkörpern gesintert. Damit die erwünschte nichtlineare Kennlinie erreicht wird, müssen die Rohlinge in dieser Sinterphase einem vorgegebenen zeitlichen Temperaturverlauf unterworfen werden. Dies geschieht in einem Durchlaufofen, dessen örtliches Temperaturprofil auf einige °C genau geregelt ist.

Gebrauchsfertige Widerstände erhält man schliesslich nach Anbringen von gut leitfähigen, metallischen Kontakten auf den Strinflächen sowie durch Beschichten der Mantelflächen mit einem von Umwelteinflüssen schützenden Ueberzug.

Im Gegensatz zum konventionellen Ableiter benötigt der Metalloxid-Ableiter dank der extrem nichtlinearen Kennlinie der Widerstände keine Funkenstrecken. Die Anzahl der übereinandergestapelten Widerstände ist proportional zur Dauerbetriebsspannung des Ableiters.

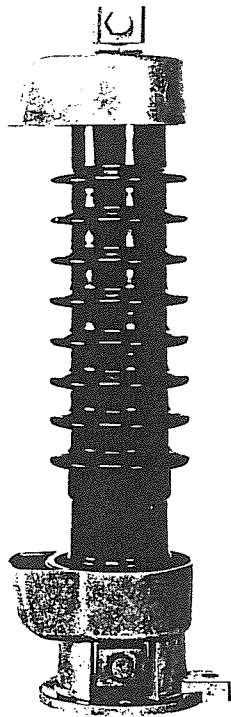
Das Gehäuse kann wie beim konventionellen Ableiter aus Porzellan sein. Dank des einfachen funkenstreckenlosen Aufbaus des Aktivteils kann die äussere Isolation des Metalloxid-Ableiters aber auch aus Silikonkunststoff bestehen.

Die Widerstandssäule wird direkt in Kunststoff vergossen, wobei ein Haftvermittler (Primer) die optimale mechanische Haftung des Silikons am Aktivteil gewährleistet.

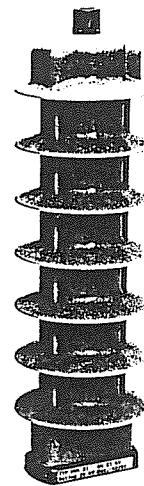
Gegenüber dem Porzellangehäuse ist die äussere Isolation aus Silikon in mancher Hinsicht vorteilhafter:

*FKH-Fachtagung: UEBERSPANNUNGSABLEITER IM MITTELSPANNUNGSNETZ
17. November 1992, Bern*

- 40 bis 60 % kleineres Gewicht:
Erleichterung bei Transport, Handhabung und Montage
- flexible Silikonisolation:
keine Bruchgefahr bei Transport, Handhabung, Vibration und Erdbeben
- keine Expulsionsgefahr bei Ueberlastung des Ableiters
- 10 bis 35 % geringere Bauhöhe
- besseres Isoliermaterial bei extremen Umweltbedingungen
wie Industrieverschmutzung und Salznebel
- wasserabweisend und damit selbstreinigend.



MWB 24
(Porzellan)



MWK 24
(Silikon)

Funkenstreckenableiter mit SiC-Widerständen

W. Lacher

Sprecher Energie
Hochspannungsgeräte
Kirchfeld 5, 5036 Oberentfelden

Funkenstreckenableiter sind ein zuverlässiges Mittel für den Überspannungsschutz in elektrischen Anlagen. Sie haben sich in langjährigem Betrieb gut bewährt und werden heute noch häufig eingesetzt, vor allem in Mittelspannungsnetzen.

Die Hauptfunktionen

Die Betriebszustände eines Funkenstreckenableiters lassen sich in vier Bereiche unterteilen (Bild 1). Die Bereiche A und B entsprechen dem Dauerbetrieb, die Bereiche C und D dem Ableitvorgang.

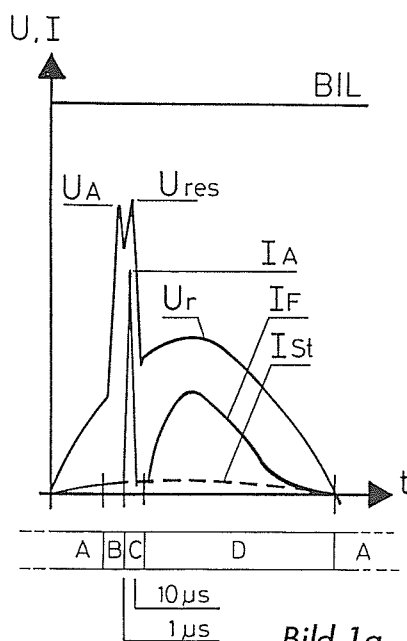


Bild 1a

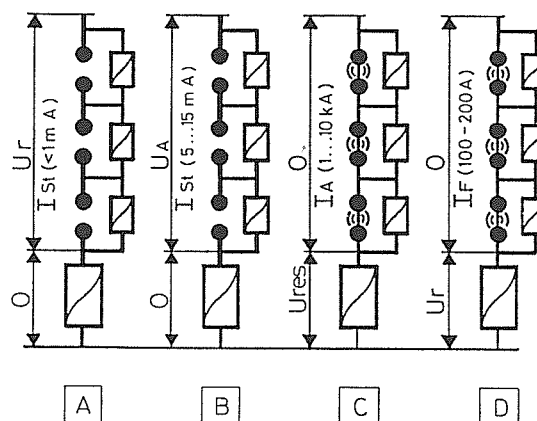


Bild 1b

Bild1 Die Betriebszustände eines Funkenstreckenableiters.

Bild 1a: Strom und Spannung in Funktion der Zeit

Bild 1b: Schematische Darstellung der Funkenstrecken mit den parallelgeschalteten Steuerwiderständen und den seriegeschalteten Ableiterwiderständen.

- Bereich A: Normaler Betriebszustand
- Bereich B: Eine Ueberspannung tritt auf
- Bereich C: Ableitvorgang
- Bereich D: Die Ueberspannung ist abgeklungen.

Bereich A: Normaler Betriebszustand

Die Betriebsspannung des Ableiters, welche kleiner oder gleich gross wie die Ableiter-nennspannung sein soll, liegt an den Funkenstrecken. Ein Steuerstrom von weniger als 1 mA fliesst durch die Steuerwiderstände. Er bewirkt eine gleichmässige Spannungsverteilung.

Bereich B: Eine Ueberspannung tritt auf

Der Steuerstrom steigt wegen der nichtlinearen Charakteristik der Steuerwiderstände stark an. Die ohmische Vorionisation setzt ein.

Bereich C: Ableitvorgang

Sobald die Ansprechspannung (U_A) erreicht wird, spricht der Ableiter an. Er wird niederohmig, der Ableitstrom (I_A) kann durch den Ableiter fliessen. Sein Betrag hängt von den Eigenschaften der Leitung ab, er liegt normalerweise im Bereich von 1...10 kA. An den nichtlinearen Ableitwiderständen entsteht ein Spannungsabfall, Restspannung (U_{res}) genannt.

Bereich D: Die Ueberspannung ist abgeklungen

Die Funkenstrecken bleiben vorerst noch in leitendem Zustand. Unter dem Einfluss der Betriebsspannung fliesst der Folgestrom. Er wird von den nichtlinearen Ableitwiderständen auf einen Wert begrenzt, der den Funkenstrecken ermöglicht, im nächsten Nulldurchgang der Spannung sicher zu löschen. Anschliessend geht der Ableiter wieder in den normalen Betriebszustand zurück (Bereich A).

Die Strom-Spannungs-Kennlinien

Die Kennlinien für die typischen Betriebszustände sind in Bild 2 ersichtlich. Im Dauerbetrieb arbeitet der Funkenstreckenableiter auf seiner hochohmigen Kennlinie (im mA-Bereich), vorgegeben durch die Charakteristik der Steuerwiderstände. Mit dem Ansprechen der Funkenstrecken (Niveau U_A) erfolgt der Wechsel auf die niederohmige Kennlinie der Ableitwiderstände (im kA-Bereich). Mit dem Löschen kehrt der Ableiter in seinen hochohmigen Zustand zurück. Steuer- und Ableitwiderstände weisen eine nichtlineare I-U-Charakteristik auf.

Im Dauerbetrieb verfügt der Funkenstreckenableiter über eine gewisse Sicherheit gegen Ueberlastung durch betriebsfrequente Vorgänge. Sollte es vorkommen, dass die betriebsfrequente Spannung an den Ableiterklemmen grösser wird als die Ableiter-Nennspannung, so bleibt der Ableiter in seinem hochohmigen Zustand und wird nicht beschädigt. Erst wenn eine zusätzliche Ueberspannung auftritt, spricht der Ableiter an und kann überlastet werden.

Transiente Ueberspannungen können ein sehr grosses du/dt aufweisen. Es ist daher wichtig, dass die Funkenstrecken eines Ableiters sehr schnell und ohne Zeitverzug ansprechen. Messreihen in der Front von Blitzstossspannungen zeigen, dass ausgereifte Konstruktionen dieses Ziel erreichen.

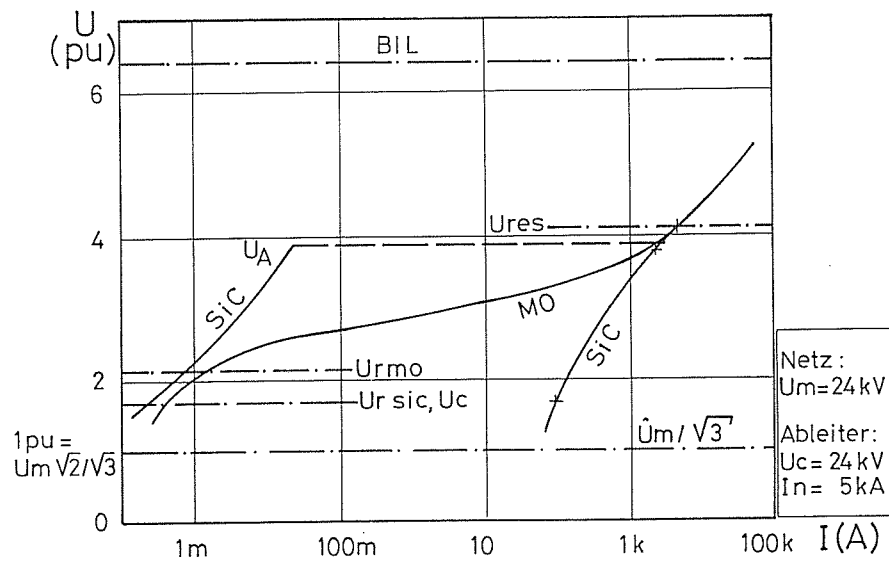


Bild 2: Strom-Spannungs-Kennlinien für Ableiter im 24 kV Netz.

SiC: Funkenstreckenableiter
MO: Metalloxidableiter
 U_A : Ansprechspannung
 U_r : Nennspannung
 U_c : Dauerbetriebsspannung
 U_{res} : Restspannung
BIL: Stosshaltespannung der Anlage.

Konstruktive Merkmale

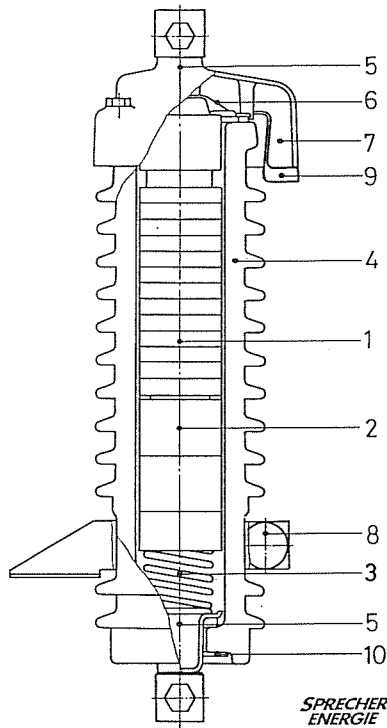


Bild 3:

**Schnitt durch einen Ableiter
für Mittelspannungsnetze
(Typ BHF9CC).**

Bild 3 zeigt den Schnitt durch einen Funkenstreckenableiter. Die Steuerwiderstände (1) und die Ableitwiderstände (2) werden aus keramisch gebundenem SiC gefertigt. Je nach Nennspannung des Ableiters wird eine bestimmte Anzahl Funkenstrecken und Ableitwiderstände stapelartig eingebaut.

Die Druckfeder (3) sorgt für mechanische Stabilität und erzeugt den erforderlichen Kontaktdruck. Das Porzellangehäuse (4) ist hermetisch abgedichtet und mit trockenem Stickstoff gefüllt. Dadurch bleiben die Ansprechwerte sehr konstant. Die Armaturen (5) sind aus korrosionsbeständigem Aluminium gefertigt.

Die obere Armatur hat eine Druckentlastungseinrichtung eingebaut. Im Falle einer Ueberlastung öffnet die Membrane (6) bei 3...4 bar Überdruck. Das Porzellan hat einen Prüfdruck von 40 bar. Die ausströmenden heißen Gase werden von der Umlenkduße gegen die Befestigungsschelle (8) hin geblasen. Ein äußerer Lichtbogen zündet und verhindert einen weiteren Aufbau des Druckes im Innern des Porzellans. Bei diesem Vorgang wird der Ausblasanzeiger (9) abgeworfen. Dadurch wird ein defekter Ableiter optisch erkennbar.

Die Befestigung des Ableiters erfolgt über eine Schelle (8), die am Porzellan festgeklemmt wird.

Der Einsatz von Funkenstreckenableitern

Funkenstreckenableiter sind in den europäischen Mittelspannungsnetzen weit verbreitet. Sie werden auch in Hochspannungsnetzen bis zu ca. 145-kV max. Betriebsspannung eingesetzt. Die Betriebserfahrungen sind sehr gut.

Die Schutzwirkung

Die Schutzwirkung von Funkenstreckenableitern kann am Beispiel einer kleinen Trafostation gezeigt werden (Bild 4). Diese ist über ein 300 m langes Kabel mit einer Freileitung (Betonmasten) verbunden. Es wurde ein Blitzschlag in die Freileitung, 300 m entfernt vom Kabelendverschluss simuliert.

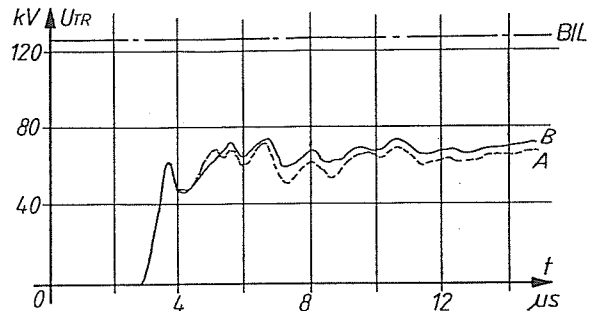
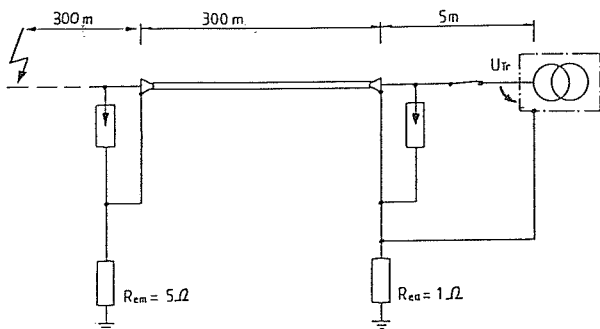


Bild 4:

Schutz einer kleinen Trafostation,
 max. Betriebsspannung 21 kV.
 Blitzschlag in die Freileitung
 in einer Distanz von 300 m.

Bild 5:

Berechneter Verlauf der Ueberspannung an den
 Trafoklemmen, Anordnung nach Bild 4.

- A: Schutz mit Ableitern BHF 9CC
 $U_r = 21 \text{ kV}$
 B: Schutz mit MO-Ableitern
 $U_c = 20.8 \text{ kV}$
 BIL: Stosshaltespannung der Apparate.

Der berechnete Verlauf der Ueberspannung an den Trafoklemmen ist in Bild 5 dargestellt. Nach einer Verzögerung von ca. $3 \mu\text{s}$, bedingt durch die Wellenlaufzeit, steigt die transiente Spannung schnell an und wird auf einen Wert von etwas weniger als 80 kV begrenzt. Die Stosshaltespannung der Apparate (BIL) beträgt 125 kV. Die Schutzwirkung von Funkenstreckenableitern und auch die von MO-Ableitern ist gut.

Die Betriebserfahrung

Die Betriebserfahrung mit Funkenstreckenableitern kann auf der Basis langjährigen Einsatzes als sehr gut beurteilt werden. Siehe zum Beispiel *Elektrizitätswirtschaft, Vol. 91 (1992), Heft 7, S. 343-350*, wo unter anderm auch VDEW-Zahlen gezeigt werden. Basierend auf einer Stückzahl von ca. 300'000 Ableitern und einer Beobachtungsdauer von 11 Jahren wird eine mittlere jährliche Ausfallrate von ca. 0.2 % der installierten Ableiter ausgewiesen. Dies wird als sehr gut beurteilt.

Zusammenfassung

- Funkenstreckenableiter bieten einen zuverlässigen Ueberspannungsschutz in elektrischen Anlagen, besonders in Mittelspannungsnetzen.
- Die Schutzwirkung ist bei ausgereiften Konstruktionen sehr gut.
- Im langjährigen Einsatz wird über sehr gute Betriebserfahrungen berichtet.

Es kann gefolgert werden, dass qualitativ hochstehende Funkenstreckenableiter nach wie vor ein gutes Mittel zum Überspannungsschutz in elektrischen Anlagen sind.

MO-Ableiter in Kunststoffgehäuse, Sonderanwendungen bei Innenraumanlagen

N. Mikli

Raychem GmbH
Bereich Überspannungsableiter Europa
Haidgraben 6, D-8012 Ottobrunn

Die Herstellung von ZnO Varistoren im kommerziellen Sinne wurde bisher weltweit i. W. nach einem im Jahre 1968 in Japan entwickelten Verfahren durchgeführt. Eine grundlegende Veränderung der Herstellung dotierten ZnO-Pulvers gelang Mitte der 80er Jahre in den Laboratorien der Firma Raychem in Kalifornien. Damit war eine weitere Verbesserung wichtiger technischer Parameter der ZnO-Varistoren möglich. Das Verfahren wird seit 4 Jahren erfolgreich zur kommerziellen Herstellung von Scheiben für den Einsatz in Überspannungsableitern eingesetzt. In dem Referat wird auf Einzelheiten der erzielten Verbesserungen eingegangen.

Moderne Überspannungsableiter für den Einsatz in Mittelspannungsnetzen müssen den weitergehenden Erwartungen der Betreiber entsprechen. Mit der Entwicklung kunststoffummantelter Ableiter können viele dieser Forderungen erfüllt werden. Das Referat befasst sich auch mit den Konstruktionsmerkmalen dieser Ableiter sowie ihrem Verhalten im Betrieb unter extremen Bedingungen. Hierzu gehört auch das Verhalten im Falle eines inneren Fehlers, bzw. ein durch das Netz verursachtes Versagen der Ableiter.

Über die derzeitigen Normen hinausgehende Prüfverfahren zur Voraussage der Langzeitstabilität und inzwischen gewonnene Erfahrungen beim praktischen Einsatz werden besprochen.

Bei Verteilernetzen mit Kabel- und Freileitungsanteilen wird die Frage nach dem optimalen Einsatz von Überspannungsableitern heute diskutiert. Neben der Auslegung der Ableiter-Kenngrößen, bzw. der Abstimmung von Ableitern untereinander (Stichwort: Fehlerverhalten bei Spannungsübertritt), werden die Kriterien und Einsatzmöglichkeiten der Ableiter bei den unterschiedlichen Anlagebauformen (Luft-Feststoff-, SF₆-isolierte Anlagen) aufgezeigt. Hierbei wird verdeutlicht, dass sich eine moderne Ableiter-Technologie den Forderungen des Anlagenbaus nach kompakter Bauweise durchaus anpassen kann. Einige Beispiele aus Anwendungen in der Schweiz veranschaulichen diese Möglichkeiten.

Bei SF₆-isolierten Lastschaltanlagen werden eine Reihe von Systemen zum Überspannungsschutz angeboten. In dem Referat werden, unter Einbezug der Wirtschaftlichkeit, die spezifischen Merkmale dieser Lösungen gegenübergestellt.

Integration von Ableitern in MS-Anlagen, Sicht des Anlagenbauers

H. Doessegger

Stationenbau AG
Schützenhausstrasse 2, 5612 Villmergen

1. Einsatzort von Ableitern

Zur Bearbeitung der Frage nach dem Einbauort von Ableitern brauchen Netzbetreiber und Anlagenbauer das Schema des zu schützenden Netzes mit Angaben über Lagen und Längen von Kabeln und Freileitungen, die Kenntnis der wichtigsten Schaltzustände sowie die Art der zu schützenden Station (Maststation, TS im Freileitungs- oder Kabelnetz). Es wird aufgezeigt, wo Ableiter eingesetzt werden und auf die verschiedenen Praktiken der Elektrizitätswerke der Schweiz hingewiesen. Einige Beispiele aus Unterwerken und Trafostationen illustrieren die Ausführungen.

2. Auswahlkriterien

Die Auswahlkriterien für Ableiter werden kurz vorgestellt. Es sind dies:

- Metalloxid- oder Funkenstreckenableiter
- maximale Betriebsspannung des Netzes
- Sternpunktbehandlung
- Betriebsdauer kritischer Schaltzustände (Erdschluss)
- angestrebtes Schutzniveau
- Logistik (gleiche Typen für Freiluft und Innenraum, Lagerhaltung, Montage)
- Explosionssicherheit
- Qualität
- Preis
- Politische Ueberlegungen

3. MO-Ableiter der Firma Stationenbau AG

Beispiel eines Metalloxidableiters für Nennspannungen bis 33 kV und Nennableitströme von 10 kA, mit Polymergehäuse, für Innenraum- und Freiluftaufstellung. Hersteller: JOSLYN, USA.

4. Probleme beim Einsatz von Ableitern

Für den Anlagenbauer gibt es zwei Hauptprobleme beim Einsatz von Ableitern. Einerseits gibt der Trend zu immer kleiner werdenden MS-Anlagen Platzprobleme im Bereich der Kabelanschlussräume, in denen neben den Kabelendverschlüssen, Erdungseinrichtungen und Wandlern auch die Ableiter montiert werden müssen. Ein zweites Problem ist der immer noch sehr hohe Preis für steckbare, gekapselte Ableiter. Dieser verhindert teilweise den Bau sehr kompakter Trafostationen mit SF₆-Lastschaltanlagen, da diese durch die Ableiter unverhältnismässig verteuert werden.

5. Trends

Die verstärkte Verkabelung der Netze reduziert die notwendige Ableiterzahl. Metalloxid-Ableiter verdrängen die konventionellen Funkenstrecken-Typen. Der Markt wird geöffnet für ausländische Produkte, vor allem aus den USA. Schweizerische Spezialitäten werden aus Preisgründen langfristig vom Markt verschwinden (Beispiel: SF₆-Lastschaltanlagen mit Ableitern als CH-Unikum).

Ueberspannungsschutzkonzept für das Mittelspannungsverteilstnetz

G. Biasiutti

Bernische Kraftwerke AG, BKW
Postfach, 3000 Bern 25

Das Grundkonzept für den Ableitereinsatz im 16-kV-Verteilnetz der BKW legt generell folgende Einbauorte fest: Transformatoren in Unterstationen (50/16-kV oder 132/16-kV) ober- und unterspannungsseitig, Kabelanlagen an beiden Endverschlüssen und in reinen Kabelanlagen bis zur zweiten Station nach der Freileitung, Netztransformatoren oberspannungsseitig sowie teilweise Freileitungstrenner auf Holzstangen. In gemischten Kabel- und Freileitungsnetzen werden gekapselte Anlagen nur mit konventioneller Anschluss Technik eingesetzt; Ableiter mit Kapselung und Steckanschluss werden aus technischen und preislichen Gründen nicht verwendet.

Dank des konsequenten Einsatzes von Ableitern sind Schäden an Betriebsmitteln im Verteilnetz infolge Überspannungen selten geworden. An Ableitern selber treten pro Jahr aber etwa 30 bis 40 Schäden durch Überlastung auf. Etwa die Hälfte davon sind die Folge von Systemberührungen oder induktiven Systembeeinflussungen bei parallelgeführten 50/16-kV- oder 132/16-kV-Leitungen. Dabei sind oft Ableiter innerhalb von Unterstationen und Trafostationen betroffen, so dass immer wieder erhebliche Folgeschäden durch Lichtbogen- und Splittereinwirkungen entstehen.

Die Metalloxidableiter (MO) bieten nun Möglichkeiten, das Risiko solcher Schäden einzugrenzen: Durch den Einsatz von Opferableitern mit einer gegenüber den anderen MO-Ableitern um 2 kV reduzierten Nennspannung werden an geeigneten Orten im Freileitungsnetz - für den Fall von Spannungsübertritten - Sollbruchstellen geschaffen. Die funkenstreckenlose Technik ist die Grundlage für diesen "Berührungsschutz". Ableiter mit Funkenstrecken werden dagegen bei einer Systembeeinflussung hauptsächlich durch die transienten Vorgänge in den leitfähigen Zustand versetzt und können deshalb nicht wirkungsvoll "gestaffelt" werden.

Abgesehen von der Möglichkeit zum Aufbau des beschriebenen Berührungsschutzes, werden in den Metalloxidableitern folgende wesentliche Vorteile gesehen: Robustheit dank grossem Energieaufnahmevermögen, Explosionssicherheit dank Kunststoffmantel anstatt Porzellan Gehäuse, Kompaktheit (Einbau in gekapselte Anlagen) und Handlichkeit. Eine Verbesserung des Schutzniveaus gegenüber den klassischen Funkenstreckenableitern kann dagegen im Mittelspannungsnetz nicht erreicht werden.

Die Umstellung auf die neue Ableitertechnologie erfolgt bei der BKW sukzessive und in erster Linie in Teilnetzen mit parallelgeführten Systemen. In Teilnetzen ohne Gefahr eines Spannungsübertritts bieten Funkenstreckenableiter einen vollwertigen Schutz.

Die Produkte-Evaluation bei den Metalloxidableitern erfolgte aufgrund einer vergleichenden Prüfung bei der FKH (siehe Referat Aschwanden).

Einsatz von Überspannungsableitern im gelöschten Netz: Konzepte und Erfahrungen aus betrieblicher Sicht

B. Lienhard

Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, EKZ
Dreikönigstrasse 18, 8022 Zürich

Auch in gelöschten Netzen konnte durch die jahrzehntelange Verwendung von Überspannungsableitern eine hohe Schutzwirkung gegen unzulässig hohe Spannungen erreicht werden. Der derzeit in unseren Netzen vornehmlich eingesetzte SiC-Ableiter leistet dabei gute Dienste.

Für den Netzbetrieb geht es insbesondere darum, die durch falsch gewählte und daher frühzeitig alternde Schutzgeräte auf ein Mindestmass zu beschränken und gleichzeitig einen optimalen Anlagenschutz sicherzustellen.

Im Erdschlussfall erhöhen sich bekanntlich die Spannungen zwischen einem einzelnen Phasenleiter und Erde auf das 1.73 bis 1.85-fache der normalen Betriebsspannung. Als Folge von stetigen Wiederzündungen beim intermittierenden Erdschluss treten zudem hohe Spannungsschwingungen auf.

Gelöschte Netze werden auch bei erdschlussbehafteten Leitungsabschnitten weiterbetrieben und auch oft erst nach erfolgter Lokalisierung des Störungsortes spannungsfrei geschaltet. Die durch Erdschlüsse auftretenden Überspannungen können dabei während Minuten, in einigen Fällen sogar während Stunden auftreten.

Da Metalloxid-Ableiter (MO) durch länger anstehende, höhere Spannungen thermisch überlastet werden können, erfolgt deren Einsatz nur zögernd. In der Zwischenzeit werden MO-Ableiter im Zusammenhang mit dem Bau von Kompaktanlagen eingesetzt. Bis anhin gibt es keine Gründe für Beanstandungen.

Die Auswahl der MO-Ableiter erfolgt so, dass die Bemessungsspannung U_c über den bei Erdschlüssen dauernd auftretenden Spannungen liegt.

Unsererseits ist die Frage, ob MO- und SiC-Ableiter kombiniert eingesetzt werden können, noch nicht abschliessend geklärt. Es bestehen Bedenken, dass MO-Ableiter die Schutzfunktionen hauptsächlich alleine übernehmen könnten.

Berechnungsbeispiele zum optimalen Einsatz von Ueberspannungsableitern im MS-Netz

G. Köppel

KOEPPEL POWER EXPERTS
Flachsacherstrasse 441, 5242 Lupfig

Optimaler Einsatz von Überspannungsableitern bedeutet im wesentlichen:

- Bestimmung des Aufstellungsorts
- Auswahl des Ableitertyps und der Ableiterdaten

Zu beiden Punkten geben die Hersteller detaillierte Richtlinien und Hinweise. Hält man sich an diese Empfehlungen, hat man in der Regel einen ausreichenden Schutz seines Materials.

Unsicherheiten entstehen dann, wenn man Ableiter einsparen will oder sie nicht an der gewünschten Stelle plazieren kann (z.B. direkte Kabeleinführung am Trafo). Hier kann eine Simulationsrechnung eine wertvolle Entscheidungshilfe sein. Auch bei besonders wichtigen (grossen, teuren) Objekten kann eine solche Simulationsrechnung zur Überprüfung des gewählten Konzepts angebracht sein.

Generell sind Überspannungsableiter wenig geeignet für den Schutz gegen 50 Hz-Überspannungen (temporäre Überspannungen). Da Schaltüberspannungen im MS-Netz - von Ausnahmen abgesehen - nicht sehr kritisch sind, ist die Hauptfunktion der Überspannungsableiter der Schutz gegen Blitzüberspannungen, die auf einer Freileitung in eine Station einziehen.

Dabei sind 3 Fälle zu analysieren:

- Ferneinschlag auf einen Phasenleiter (Überschlagspannung der Isolatoren wird nicht überschritten).
- Naheinschlag in Mast oder Erdseil mit rückwärtigem Ueberschlag auf einen oder mehrere Leiter.
- Naheinschlag in einen Phasenleiter (shielding failure).

Die entsprechenden Blitzparameter sind zu bestimmen bzw. festzulegen. Als nächstes ist die kritische Anlagenkonfiguration zu finden, die aber noch realistisch sein sollte. Meist ist sie dann gegeben, wenn ausser der Leitung, auf der die Blitzwelle einzieht, keine anderen Leitungen oder Kabel angeschlossen sind und die Welle in der Anlage bzw. am Trafo reflektiert wird.

Für Blitzspannungsuntersuchungen wird man natürlich auch entsprechende Modelle der Netzelemente wählen, d.h. Wellenwiderstands- und Laufzeitmodelle für Leitungen, Kabel,

Sammelschienen, Maste (wogegen für Schaltspannungsuntersuchungen meist L, R, C-Modelle genügen). Auch das Transformatormodell ändert sich mit dem zu untersuchenden Frequenzbereich.

Es werden zwei Berechnungsbeispiele aus der Praxis vorgestellt, welche mit dem Electromagnetic Transients Program (EMTP) berechnet wurden:

Im ersten Beispiel geht es um Blitzüberspannungen, die in eine Anlage einziehen und durch Ableiter begrenzt werden. Die Spannungsreaktionen an Schaltanlage und Transformator sowie die Spannungsübertragung auf die offene US-Seite des Trafos werden anhand von Plots gezeigt, sowohl für den Ferneinschlag, als auch für den rückwärtigen Überschlag. Die daraus zu ziehenden Konsequenzen werden diskutiert.

In einem zweiten Beispiel wird die Simulation von Schaltüberspannungen am Fall des Abreissens kleiner induktiver Ströme behandelt.

Im Zusammenhang mit Ableitern, Blitz-Überspannungsuntersuchungen und Modellierung sei auf die folgenden neueren Publikationen der CIGRE hingewiesen:

- *Metal Oxide Surge Arresters in AC Systems*,
(Working Group 06 of Study Committee 33),
CIGRE Publication 60, April 1991.
- *Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines*,
(Working Group 01 of Study Committee 33)
CIGRE Publication 63, October 1991.
- *Guidelines for Representation of Network Elements when Calculating Transients*,
(Working Group 33.02)
CIGRE Publication, 1990.

Prüfverfahren und Evaluationstests für MS-Ableiter

Th. Aschwanden

Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH
Leutschenbachstrasse 69, 8050 Zürich

1. Standard-Prüfungen

Bei der *Typprüfung* eines Überspannungsableiters sollen in erster Linie die elektrischen, thermischen und mechanischen Spezifikationen einer bestimmten Ableiter-Konstruktion nachgewiesen und dokumentiert werden. Die im Herstellerwerk durchgeführten *Stückprüfungen* haben insbesondere das Ziel, eine gleichbleibende Qualität der produzierten Ableiter sicherzustellen. Die Frage der Qualitätssicherung steht auch bei einer *Abnahmeprüfung* im Vordergrund.

Diese oben erwähnten Ableiterprüfungen werden in Europa fast ausnahmslos nach den international anerkannten IEC-Prüfvorschriften durchgeführt. Die Prüfverfahren und Modalitäten sind auf die heute gebräuchlichen Ableiter-Konstruktionsprinzipien abgestimmt:

Ableiter mit Silizium-Karbid Widerständen (SiC) und Funkenstrecken [1]
Metalloxid-Ableiter (MO) ohne Funkenstrecken [2].

Es ist zu beachten, dass MO-Ableiter in den USA nach den dort landesüblichen Normen hergestellt und geprüft werden [3]. Es wird darauf hingewiesen, dass die entsprechenden ANSI/IEEE-Prüfvorschriften in wesentlichen Punkten von der IEC-Publikation 99-4 abweichen [4].

Bei beiden Ableitertypen (SiC und MO) muss die *Restspannung* (U_{res}) als wichtige Kenngrösse, sowohl zur Überwachung der Produktequalität, als auch für die Auswahl und für den gezielten Einsatz eines Ableiters im Netz, genau spezifiziert und in Typ- und Stückprüfungen entsprechend überprüft werden. Die Restspannung ist definiert als Maximalwert der Spannung, welche beim Fliessen des Nenn-Ableitstroms der Impulsform 8/20 μs über dem Prüfling gemessen wird.

Bei den Prüfungen von SiC-Ableitern stehen neben der Restspannung insbesondere das Ansprech- und Löschverhalten der eingebauten Funkenstrecken im Vordergrund des Interesses. Bei SiC-Ableitern ohne magnetische Beblasung der Funkenstrecken, d.h. bei den meisten SiC-Ableitern für Mittelspannungsnetze fliesst nach dem eigentlichen Ableit-Stossstrom ein Folgestrom, welcher erst beim nächsten Nulldurchgang der anstehenden Netzspannung gelöscht werden kann. In der sogenannten *Arbeitsprüfung* wird im Rahmen einer Typprüfung bei SiC-Ableitern u.a. nachgewiesen, dass bei einer Belastung mit dem Nenn-Ableitstossstrom der Folgestrom bei anliegender Netzspannung (U_T) sicher unterbrochen werden kann.

Die aufwendige Überprüfung des Verhaltens der Funkenstrecken entfällt bei der Prüfung von MO-Ableitern. Dafür werden vor allem die thermischen Eigenschaften und das Energieaufnahmevermögen der einzelnen MO-Widerstände und/oder einer fertig zusammengebauten Ableitereinheit sehr genau überprüft.

Die entsprechende Arbeitsprüfung bei einem MO-Ableiter im Rahmen einer Typprüfung nach IEC 99-4 ist umfangreich und umfasst bei einem 10-kA-Ableiter (Leitungsentladungsklasse 2 und 3) mindestens folgende Prüfungen:

1. Restspannungs-Prüfung bei Nenn-Ableitstossstrom mit Stossform 8/20 μ s
2. Konditionierung mit 20 Stoss-Strömen 8/20 μ s bei anstehender Betriebsspannung ($1.2 U_C$)
3. Konditionierung mit zwei Hochstrom-Stössen (4/10 μ s)
4. Aufheizen des Ableiters auf 60 °C
5. Beanspruchung mit zwei Langwellen-Stromstössen zur Simulation von Leitungsentladungen
6. unmittelbar anschliessend (innerhalb von maximal 100 ms) Kontrolle der thermischen Stabilität bei:
 - a) temporärer Überspannung (U_T) für 10 s (unmittelbar anschliessend daran)
 - b) maximal zulässiger Betriebsspannung (U_C) für 30 min
7. Schlusskontrolle mit Restspannungsmessung.

2. Sonderprüfungen

Neben der Überprüfung der Spezifikationen eines MS-Ableiters im Neuzustand, ist auch dessen *Langzeitbeständigkeit unter erschwerten Betriebsbedingungen* von grossem Interesse. Währenddem für SiC-Ableiter eine IEC-Vorschrift für künstliche Verschmutzungs-Prüfungen existiert [5], sind systematische Untersuchungen zum Fremdschicht-Verhalten von MO-Ableitern erst in jüngster Zeit durchgeführt worden (siehe z.B. [6], [7], [8]).

Es ist bekannt, dass infolge von Oberflächenentladungen auf verschmutzten Ableitergehäusen auch im Inneren des Ableiters Entladungen auftreten können, (z.B. zwischen Porzellan-Innenwand und Metall-Oxid-Scheiben). Bei gewissen Konstruktionen von MO-Ableitern zersetzen diese Entladungen die Luft, welche die MO-Scheiben umgeben, so dass der Sauerstoffgehalt im Ableiterinneren stark abnimmt. Infolge dieser veränderten Umgebungsbedingungen wurde beobachtet, dass sich die Charakteristik der Ableiterkennlinie signifikant verschiebt. Dieser Alterungseffekt kann u.U. zu einer thermischen Zerstörung des Ableiters führen.

3. Evaluationstests für MS-Ableiter

Im Zusammenhang mit der Einführung von MO-Ableitern im Mittelspannungsnetz eines grossen Elektrizitätswerks hat die FKH zusammen mit zwei FKH-Mitgliedunternehmen einen einfachen Evaluationstest ausgearbeitet und durchgeführt. Diese Vergleichsprüfung wurde an drei unterschiedlichen Fabrikaten von kommerziell erhältlichen Metalloxid-Ableitern durchgeführt: I_N : 10 kA, U_C / U_T : 17 (18) / 21 kV.

Mit den Evaluationstests sollte einerseits mit vernünftigem Versuchsaufwand eine Überprüfung der Hauptspezifikationen der Prüflinge vorgenommen werden, andererseits zielten die Prüfungen darauf ab, das Energieaufnahme-Vermögen bzw. das Stehvermögen bei temporärer Überspannung (50 Hz) zu ermitteln und zu vergleichen. Um Exemplarstreuungen festzustellen, wurden von jedem Produkt drei Prüflinge untersucht.

Das Programm der durchgeführten Evaluationstests, welche innerhalb von 2 Arbeitstagen abgewickelt werden konnte, umfasst folgende Prüfungen:

1. Restspannungsmessung bei Stoss-Strom 8/20 μ s, 10 kA
2. Konditionierung mit 20 Stössen 8/20 μ s, 10 kA, Kadenz: 1 Stoss/min
3. Überprüfung der Restspannung
4. Ermittlung der Energieaufnahme und der Zeit bis zum Erreichen der thermischen Instabilität (thermal runaway) bei betriebsfrequenter Wechselspannung bei einem zu Beginn der Prüfung eingestellten Ableiterstrom von 10 mA bei ca. 1.4 U_c .
5. Abkühlen auf Umgebungstemperatur
6. Funktionskontrolle nach thermischem Überlastversuch: Beanspruchung mit Norm-Stromstoss (8/20 μ s, 10 kA) und Restspannungsmessung.

Die wichtigsten Resultate dieser Prüfungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Restspannung: Die nach der Konditionierung gemessenen Werte nahmen bei allen Prüflingen zu. Die Zunahme bzw. Stabilität ist produktespezifisch und liegt zwischen + 0.6% ... + 5.6%. Die Exemplarstreuungen beim gleichen Fabrikat sind < 1%.
- Energieaufnahme: Die an den 3 Versuchsmustern bis zum thermischen Versagen ermittelten Energien liegen zwischen 330 kJ und 588 kJ. Die entsprechenden Stehzeiten betrugen zwischen 347 s und 673 s.
- Berstverhalten: Bei den AC-Überlastversuchen sind infolge Strombegrenzung an den Ableitergehäusen nur geringfügige Veränderungen aufgetreten (max. Ableiterstrom: 2A). Die Exemplare des Fabrikats mit Porzellangehäuse hielten der Stoss-Strombeanspruchung nach dem Überlastversuch (Prüfung Nr. 6) nicht stand und wurden dabei total zerstört indem das Gehäuse zersprang (Splitterbereich grösser als 10 m).

4. Literaturhinweise

- [1] IEC-Publikation 99-1: *Non-linear resistor type gapped surge arrester for a.c. systems*, 3. Auflage, 1991.
- [2] IEC-Publikation 99-4: *Metal-oxid surge arrester without gaps for a.c. systems*, 1. Auflage, 1991.
- [3] U.S. Standard ANSI/IEEE C62.11: *Standard for metal oxide surge arresters for alternating-current power circuits*, Ausgabe 1987.

- [4] J. Osterhout: *Comparison of IEC and U.S. standard for metal oxid surge arresters*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7 (1992), Nr.4, S. 2002-2011.
- [5] IEC-Publication 99-3: *Artificial pollution of surge arresters*, 1. Auflage, 1990.
- [6] FGH-Bericht Nr. 1-272: *Thermisches Verhalten und Einflüsse auf die Langzeitbeständigkeit von Metall-Oxid-Ableitern bei leitfähigen Oberflächen-Ablagerungen*, Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik, Mannheim, 1990.
- [7] Chaudury V., R.S. Gorur, M. Dyer, R.S. Thallam: *Electrical performance of polymer housed zinc oxide arresters under contaminated conditions*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6 (1991), Nr. 2, S. 696-705.
- [8] Vitet S, L. Stenström, A. Schei, J. Lundquist: *Thermal stress on ZnO arresters in polluted conditions*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, Nr. 4, S. 2012-2022 (Part 1), S. 2023-2036 (Part 2).

*FKH-Fachtagung: UEBERSPANNUNGSABLEITER IN MITTELSPANNUNGSNETZ
17. November 1992, Bern*

Teilnehmerliste

Name	Vorname	Firma	Adresse
Achermann	Hans	EGL	4335 Laufenburg
Aerni	Mario	BKW	3000 Bern 25
Aeschbacher	Peter	Siemens-Albis AG	8047 Zürich
Amrein	Franz	CKW	6003 Luzern
Andrist	Beat	Elektra Baselland	4410 Liestal
Arnold	Peter Max	SAK	9001 St. Gallen
Aschwanden Dr.	Thomas	FKH	8050 Zürich
Bachmann	Paul	EW Wynau	4900 Langenthal
Balb	Günther	KW Ryburg-Schwörstadt	4310 Rheinfelden
Besold	Franz	ABB Hochspannungstechnik AG	5430 Wettingen
Biasiutti Dr.	Gianni	BKW	3000 Bern 25
Bislin	Bernhard	EW Bündner Oberland	7130 Ilanz
Bissig	Andreas	Dätwyler AG	6460 Altdorf
Bissig Dr.	Hermann	Dätwyler AG	6460 Altdorf
Borra	Danilo	EOS	1001 Lausanne
Bossart	Werner	EW Altdorf	6460 Altdorf
Bouvard	Jules	NOK	5401 Baden
Bracher	Hans-Rudolf	NOK	5401 Baden
Braun	Dieter	ABB Mittelspannungstechnik AG	8050 Zürich
Bräunlich Dr.	Reinhold	FKH	8050 Zürich
Brügger	Fritz	CKW	6002 Luzern
Bürki	Heinz	Stationenbau AG	5612 Villmergen
Bürkler	Alfred	SAK	9001 St. Gallen
Büsch Dr.	Werner	Sprecher Energie	5036 Oberentfelden
Bützberger	Bertrand	Alusuisse	3965 Chippis
Cavelti	Toni	EW Bündner Oberland	7130 Ilanz
Cella	Siegfried	ABB Mittelspannungstechnik AG	8050 Zürich
Chatelain	Michel	ESTI	8034 Zürich
Christensen	Kim	Sprecher Energie	5034 Suhr
Collet	Claude	CVE	1110 Morges
Crameri	Dario	EGL	4335 Laufenburg
Dobler	Paul	EW des Kt. Thurgau	9320 Arbon
Doessegger	Hugo	Stationenbau AG	5612 Villmergen
Domenig	Max	AG Bündner KW	7250 Klosters
Drechsler	Jorg	Câbleries et Tréfileries de Cossonay	1305 Cossonay
Dürsteler	Max	Industrielle Betriebe Aarau	5001 Aarau
Ecknauer	Erwin	NOK	5401 Baden
Eggnauer	René	Elektra Birseck	4142 Münchenstein
Elmiger	Ernst	pens. NOK	5400 Ennetbaden
Fransioli	Gino	Maggia + Blenio KW	6600 Locarno
Fuhr Dr.	Jitka	ABB Research Center	5405 Baden-Dättwil
Gantenbein	Erwin	EW-Flims	7017 Flims-Dorf
Gantenbein	Fritz	BKW	3000 Bern 25
Geiser	Rudolf	EW Wynau	4900 Langenthal
Girod	Jean-Pierre	Industrielle Betriebe Aarau	5001 Aarau

Greminger	Markus	P. Keller, Ing.Büro AG	8600 Dübendorf
Guscetti	Charly	Soc. Elettrica Sopracenerina	6600 Locarno
Gysel	Thomas	NOK	5400 Baden
Gysi	Rudolf	NOK	5400 Baden
Häni	Martin	R. Ziegler Planungsbüro	9556 Affeltrangen
Häni	Samuel	BKW	3000 Bern 25
Heinemann	Thomas	Sprecher Energie	5036 Oberentfelden
Heiz	Jürg	Wasserwerk Zug	6301 Zug
Heizmann	Ernst	EW Kt. Schaffhausen	8201 Schaffhausen
Hermann Dr.	Wolfgang	ABB Mittelspannungstechnik AG	8050 Zürich
Huber	Urs	ESTI	8034 Zürich
Ianoz Prof. Dr.	Michel	EPFL	1015 Ecublens
Imfeld	Peter	Sprecher Energie	5036 Oberentfleden
Jenni	Werner	Brugg Kabel AG	5200 Brugg
Joss	Peter	ATEL	4600 Olten
Knaak	Jürgen	EW des Kt. Thurgaus	9320 Arbon
Köppel	Georg	Koeppel Power Experts	5242 Lupfig
Kopainsky Dr.	Jürgen	Elektra Birseck	4142 Münchenstein
Krebs	Peter	AEW	5001 Aarau
Kübler	Andreas	Dätwyler AG	6460 Altdorf
Küpferle	Arnold	ABB	3000 Bern 15
Lacher	Walter	Sprecher Energie	5036 Oberentfelden
Läderach	Serge	EGL	4335 Laufenburg
Lehmann	Pierre-André	Alpha Elektromechanik AG	2560 Nidau
Lehner	Markus	EWZ	8023 Zürich
Levet	Michel	VSE	8023 Zürich
Lienhard	Beat	EKZ	8022 Zürich
Lüdin	Werner	KW Birsfelden	4127 Birsfelden
Luterbach	Urs	BKW	3000 Bern 25
Mahler	Eduard	AEW	5001 Aarau
Marchiondi	Mario	AEW	5001 Aarau
Marti	Roland	FKH	8050 Zürich
Mauthe	Gerhard	ABB Medium Voltage Management	8050 Zürich
Mikli	Norbert	Raychem GmbH	D-8012 Ottobrunn
Minkner Dr.	Ruthard	Emil Haefely & Cie. AG	4000 Basel
Miotti	Bruno	Sprecher Energie	5034 Suhr
Möckli	Rolf	Gardy SA	1211 Genève
Moser	Willy	SEL	1000 Lausanne
Müller	Pierre	EOS	1001 Lausanne
Niederberger	Hans-Rudolf	CKW	6002 Luzern
Nünlist	Peter	FKH	4658 Däniken
Nussberger	Huldreich	SBB Bau II	8021 Zürich
Ormond	Pierre-André	CVE	1110 Morges
Pfyl	Walter	EW Höfe	8808 Pfäffikon
Pickel	Hans-Ulrich	Student	9000 St. Gallen
Rahm	Rudolf	AEW	5001 Aarau
Reber	Peter	Alusuisse AG	3965 Chippis
Renner	Gustavo	Tettex Instruments AG	8953 Dietikon
Richli	Rudolf	Industrielle Betriebe Aarau	5001 Aarau
Ried	Kurt	Elektra Baselland	4410 Liestal
Rieder	Hans	KW Ryburg-Schwörstadt	4310 Rheinfelden

Rieger	Roman	ESTI	9402 Mörschwil
Rist	Hans	EWZ	8023 Zürich
Ritter	Luigi	EWZ	8023 Zürich
Rudolph	René	ABB Hochspannungstechnik AG	5401 Baden
Rütschi	Heidi	FKH	8050 Zürich
Rupp	Hans	GD PPT	3030 Bern
Ryser	Jean-Pierre	GD PTT	3030 Bern
Sallaz	Hansjörg	BKW	2560 Nidau
Sanders	Mathias	ABB Hochspannungstechnik AG	8050 Zürich
Sarbach	Ewald	Studer AG	4658 Däniken
Sauvain	Hubert	EMC Fribourg	1728 Rossens
Saxer	Peter	SAK	9001 St. Gallen
Sigg	Max	SBB Direktion Kraftwerke	3052 Zollikofen
Spies	Walter	Siemens	D-8520 Erlangen
Suremann	Max	GD PTT	3030 Bern
Sutterlüti	Konrad	SAK	9001 St. Gallen
Schäfer	Georg	Elektra Birseck	4142 Münchenstein
Schaufelberger	Jost	Furka Oberalp Bahn	3900 Brig
Scheidegger	Robert	Ges. des Aare u. Emmentals	4503 Solothurn
Schenker	Heinz	Verband Aarg. Stromkonsumenten	5200 Brugg
Schleipen	Michael	Moser Glaser & Co. AG	4132 Muttenz
Schlotterbeck	Mike	ABB Proelektra AG	9500 Wil
Schmid	Max	Câbleries et Tréfileries de Cossonay	1305 Cossonay-Gare
Schmid	Kurt	Kull AG	4552 Derendingen
Schmid	Roland	SAK	9001 St. Gallen
Schneebeli	Heinz	Dätwyler AG	6460 Altdorf
Schneider	Ernst	ITR	8640 Rapperswil
Schnyder Dr.	Gilbert	Amstein + Walthert AG	8050 Zürich
Schönenberger	Mario	NOK	5401 Baden
Schranz	Heinrich	ATEL	4600 Olten
Schwab Dr.	Fred	ATEL	4600 Olten
Schwager	Fredy	Siemens-Albis AG	8047 Zürich
Schwarz	Matthias	Brugg Kabel AG	5200 Brugg
Schwegler	Heinrich	ABB Hochspannungstechnik AG	5430 Wetztingen
Stadler	Dionys	EW des Kantons Thurgau	9320 Arbon
Strauss	Peter	AEW	5001 Aarau
Strehler	Adolf	BKW	3000 Bern 25
Taufenecker	Rudolf	BKW	4705 Wangen a.A.
Therry	Serge	ABB Sécheron SA	1217 Genève
Uehlinger	Roland	Sprecher Energie	5036 Oberentfelden
Vorwerk	Hans-Joachim	BKW	3000 Bern 25
Wehrli	Jörg	EKZ	8004 Zürich
Wernli	Peter	EW Stadt Bern	3000 Bern
Wiget	Max	Gemeindewerke Wallisellen	8304 Wallisellen
Wirth	Peter	W + W Partner AG	7500 St. Moritz
Wüthrich	Armin	Elektro-Raetus AG	7000 Chur
Wyler	Charles	Câbles Cortaillod SA	2016 Cortaillod
Zaengl Prof. Dr.	Walter	FG Hochspannungstechnik, ETHZ	8092 Zürich
Ziegler	Richard	Planungsbüro f. EW Verteilungsnetze	9556 Affeltrangen
Zimmermann	Hanspeter	Herzog + Sonderegger	5033 Buchs
Zimmermann Dr.	Heinrich	Brugg Kabel AG	5200 Brugg

