Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 89 (1998)

Heft: 7

Artikel: Metalloxid : ein fast idealer Überspannungsableiter

Autor: Schmidt, Walter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902060

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das elektrische Verhalten von Metalloxidableitern entspricht in nahezu idealer Weise den Anforderungen, die an einen Überspannungsableiter gestellt werden. In den beiden letzten Jahrzehnten wurden daher zunehmend solche Ableiter eingesetzt. Neuere Konstruktionen der Ableiter ersetzen die alte Porzellanisolation durch Polymerkunststoffe und ermöglichen einen explosionssicheren Betrieb.

Metalloxid – ein fast idealer Überspannungsableiter

■ Walter Schmidt

Die Überspannungsableitertechnik hat sich in den letzten 25 Jahren massgeblich verändert. Die Funkenstreckenableiter (FS) mit Siliziumkarbidwiderständen wurden zunächst durch die systematische Einführung der magnetischen Beblasung wesentlich verbessert. Seit nunmehr 18 Jahren werden zunehmend auch in Europa funkenstreckenlose Ableiter mit stark nichtlinearen Metalloxid(MO)-Widerständen auf Zinkoxid-Basis (ZnO) auf allen Spannungsebenen eingesetzt.

Ein weiterer Schritt in der Ableitertechnik war dann die in den letzten zehn Jahren eingeführte Polymer-Kunststoffisolation, die erstmals den Einsatz porzellanfreier explosionssicherer Ableiter ermöglichte. Die Kernelemente dieser funkenstreckenlosen Ableiter, die MO-Widerstände, wurden in den letzten zehn Jahren kontinuierlich verbessert. Die hervorragenden Schutzeigenschaften sind gekennzeichnet durch niedrige, im Betrieb unveränderte Schutzpegel. Die sehr hohe Lebensdauer und Zuverlässigkeit der MO-Widerstände ergeben in Verbindung mit neuen wirtschaftlichen Konstruktionsprinzipien einen fast idealen Überspannungsableiter.

MO-Ableiter haben sich weltweit hervorragend zum Schutz der übrigen Betriebsmittel bewährt und die Verfügbarkeit elektrischer Energie weiter verbessert.

Funkenstrecken(FS)- und Metalloxid(MO)-Ableiter

In Tabelle I sind zum Vergleich wesentliche Eigenschaften beider Ableiter zusammengestellt.

Ein bedeutender Nachteil des FS-Ableiters ergibt sich aus den physikalischen Eigenschaften der Funkenstrecke. Die Ansprechspannung der FS-Ableiter ist gekennzeichnet durch eine relativ grosse Streuung von etwa 15%. Der während des Ansprechens fliessende Strom erodiert zudem die Funkenstrecken des Ableiters und ist mit einem mehr oder weniger starken Spannungszusammenbruch verbunden.

Der letztgenannte Effekt und die Streuung werden durch Bild 1 beim direkten Vergleich der Überspannungsbegrenzung eines FS- und eines MO-Ableiters verdeutlicht.

Die Begrenzung der Überspannung positiver und negativer Polarität ist beim FS-Ableiter durch eine deutlich grössere Abhängigkeit von der Steilheit der Impulse und durch einen nachfolgenden Spannungszusammenbruch gekennzeichnet. Der MO-Ableiter begrenzt dagegen die Überspannungen weitestgehend unbeeinflusst von der Steilheit auf stets annähernd gleich grosse Restspannungen ohne einen nachfolgenden Spannungszusammenbruch.

Bei Überspannungen als Folge von direktem Blitzeinschlag oder rückwärtigem Überschlag mit steiler Front bietet der MO-Ableiter optimalen Schutz gegen

Adresse des Autors
Walter Schmidt, dipl. Ing., ABB Hochspannungstechnik AG, Jurastrasse 45
5430 Wettingen

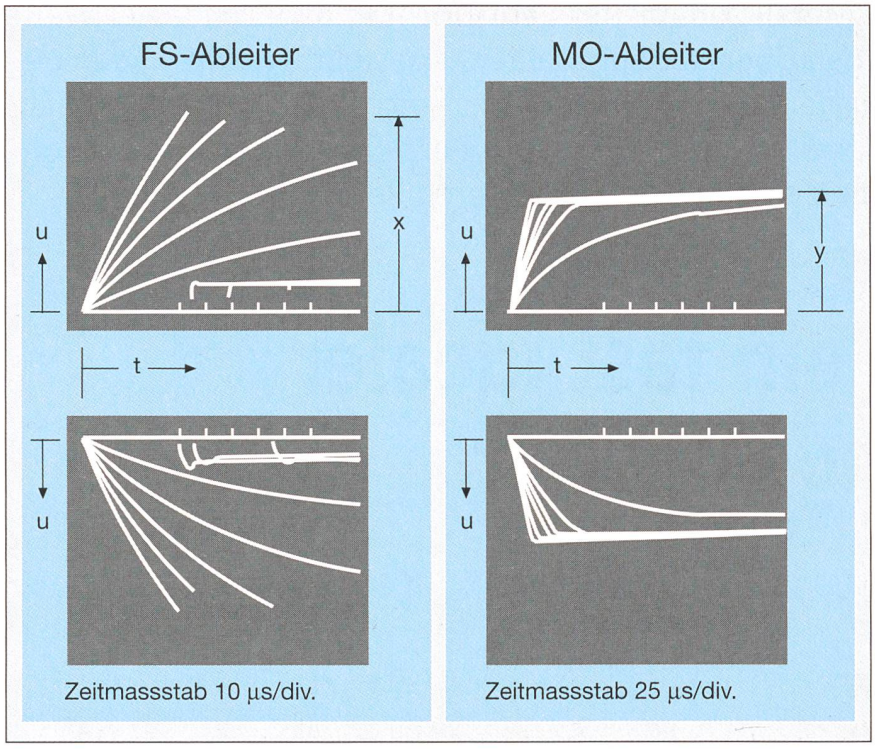


Bild 1 Prinzipielles Verhalten von FS- und MO-Ableitern

Impulsalterung zum Beispiel von modernen Trockentransformatoren und PE-Kabeln.

Alle Spannungen unterhalb des Ansprechwertes unterlaufen FS-Ableiter, womit die Gefahr reflektierter Überspannungen besteht. MO-Ableiter begrenzen hingegen, sobald der Kniebereich der Kennlinie überschritten wird (Bild 2). Speziell im Schaltspannungsbereich sind bei MO-Ableitern die Spannungsbegrenzungspegel deutlich günstiger als bei FS-Ableitern.

MO-Ableiter haben bei gleichem oder sogar verringertem Bauvolumen generell eine höhere Energieaufnahmefähigkeit als FS-Ableiter. Bei temporären betriebsfrequenten Überspannungen sind MO-Ableiter in der Lage, oberhalb der Dauerbetriebsspannung Energie aufzunehmen. Durch Parallelschaltung gleichartiger MO-Ableiter im gleichen Leitungszweig kann die Energieaufnahme praktisch bei allen Wellenformen erhöht werden. Dies sind die wichtigsten Gründe, warum heutzutage FS-Ableiter mehr und mehr durch MO-Ableiter ersetzt werden.

Metalloxidwiderstände, der Kern moderner Ableiter

Prinzipielles Verhalten

Metalloxid-Keramikwiderstände, die man als nichtlineare Widerstände, auch als Varistoren bezeichnet, bilden das Aktivteil aller funkenstreckenlosen Ableiter.

Das Verhalten der realen MO-Widerstände wird in Bild 2 beschrieben und mit dem eines idealen Ableiterverhaltens verglichen. Die Darstellung der Kennlinie demonstriert, dass die Entwicklung der letzten Jahre zu Metalloxiden geführt hat, die dem idealen Ableiter bereits sehr nahe kommen.

Im Betrieb muss während der Beanspruchung mit der Dauerspannung der Höchstwert der Spannung – bei Wechselspannung ist das der Scheitelwert – immer unterhalb des Kniebereiches liegen. In diesem Bereich ist der Widerstand sehr hochohmig.

Beim Auftreten von Überspannungen geht im Bereich des Kennlinienknies der vorher hochohmige Widerstand sehr rasch vom nichtleitenden in den leitenden Zustand über. Der MO-Widerstand wird niederohmig. Bei diesem Vorgang ändert sich der elektrische Widerstand des Ableiters um etwa acht Grössenordnungen.

Die mit dem Vorgang verbundene Energieaufnahme führt zur Erwärmung des MO-Widerstandes. Der Effekt der Überspannungsbegrenzung läuft auch bei steilem Spannungsanstieg sehr rasch ab und ist voll reversibel. Beim Absinken der Spannung unter den Kniebereich wird der Widerstand wieder hochohmig und daher nahezu nichtleitend. In diesem Bereich hat der Ableiter Kondensatoreigenschaften.

Es ist keine analytisch geschlossene Formel zur Beschreibung des Strom-Spannungs-Verhaltens des MO-Ableiters bekannt. Für die Charakteristik lässt sich die empirische Funktion $U = k \cdot I^{\alpha(U)}$ anwenden. k ist eine Konstante, während der Exponent α den Grad der Nicht-

MO-Ableiter	FS-Ableiter
– Kein Ansprechen, Strom fliesst entsprechend U-I-Kennlinie	– Ansprechen, anschliessend 50-Hz-Folgestrom
– Kein Streuungen in den Restspannungen Typisch: ± 3%	– Übliche Streuungen von Funkenstrecken, Beeinflussung durch Spannungsversteuerung möglich Streuband bis zu 15%
– Gutes Steilstossverhalten Beispiel: Nur ca. 10% Zunahme der Restspannung bei 1/3 µs im Vergleich zu Stromstoss zu 8/20 µs	– Starke Zunahme (>25%) der Ansprechspannung bei sehr steilen Stossspannungen
– Temporäre 50-Hz-Belastung oberhalb U_c möglich	– U_{50Hz} < Nennspannung
– Energieaufnahmevermögen kann durch Parallelschalten von MO-Säulen erhöht werden	– Begrenztes Energieaufnahmevermögen, -->Parallelschaltung nicht wirksam
	– Spannungen unter dem Ansprechwert unterlaufen den Ableiter (Gefahr reflektierter Wellen)
– Einfacher Aktivteil	– Komplizierter Aufbau des Aktivteils: FS+Widerstand (Steuerwiderstand +Kapazität)
– Alterung vernachlässigbar	– Alterung der Funkstrecken infolge Abbrand oder Perlenbildung

Tabelle I Vergleich zwischen Metalloxid(MO)- und Funkenstrecken-Ableitern

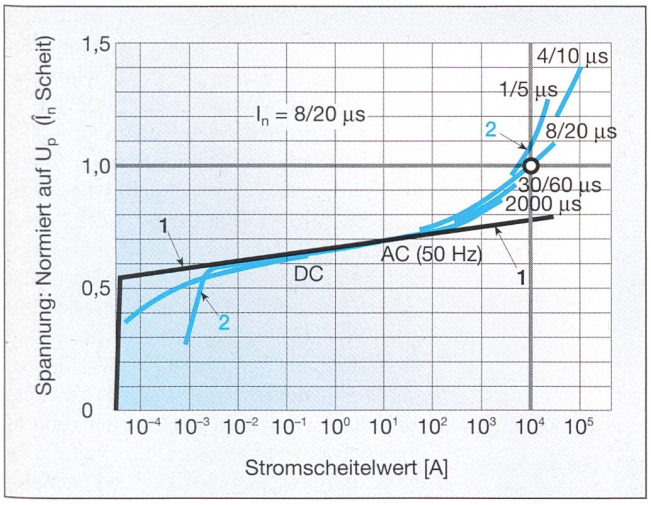


Bild 2 Strom-Spannungs-Kennlinien
1 idealer Ableiter
2 realer MO-Ableiter

linearität repräsentiert. Für α sind Werte bis zu 100 bekannt. Ein ausschliesslich rein ohmscher Widerstand hätte natürlich einen Wert 1.

Herstellungsprozess

Der Herstellungsprozess solcher Widerstände wird in [1] detailliert beschrieben. Bild 3 zeigt schematisch die einzelnen Prozessschritte.

Als Ausgangsmaterial wird pulverförmiges, sehr feinkörniges Zinkoxid (ZnO) verwendet und in Wasser gelöst. Diesem ZnO, mit einer Partikelgrösse um 1 µm, werden rund zehn Metalldotierelemente (Bi, Sb, Co, Mn) in Form feiner Oxidpulver zugemischt. Ihr Gewichtsanteil liegt bei 10%. Der Anteil einzelner Komponenten reicht von einigen ppm bis zu einigen Prozent. Die Reinheit und Feinheit dieser Mischung ist von grösster Bedeutung für die Qualität der fertigen MO-Widerstände.

Die wässrige Aufschlämmung der gut gemischten Bestandteile wird in einem Sprühtrockner zu trockenem Granulat weiterverarbeitet.

Im nächsten Fertigungsschritt wird das Granulat zu scheibenförmigen Rohkörpern verpresst. Diese Presslinge werden in einem Sinterofen bei rund 1200 °C gesintert. Dabei verdichtet sich das Pulver zu einem kompakten Keramikkörper.

Die Weiterverarbeitung der Keramikblöcke zu fertigen MO-Widerständen geschieht durch Aufsprühen von gut leitfähigen Metallelektroden auf die Stirnflächen und durch Beschichten der Mantelflächen mit einem dichten Glasüberzug.

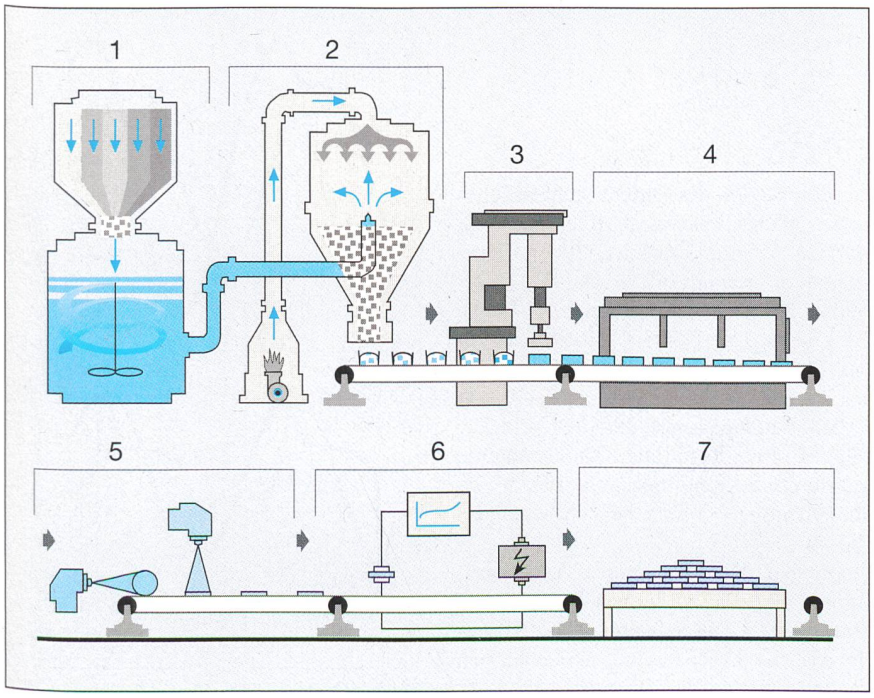


Bild 3 Schema des Herstellungsprozesses von MO-Ableitern

Den Schluss des Fertigungsprozesses bildet eine elektrische Stückprüfung. Daran anschliessend werden die MO-Widerstände mit den wichtigsten kennzeichnenden Daten (zum Beispiel der Restspannung bei Impulsstrom) und der Fertigungslos-Nummer bedruckt.

Der vorstehend nur kurz und vereinfachend dargestellte Prozess benötigt ein sehr detailliertes Wissen. Die intensiven Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der letzten 15 Jahre führten zu einem tieferen Verständnis der Varistorphysik und zu einer kontinuierlichen Prozessverbesserung bei der Fabrikation.

Die elektrischen Eigenschaften der MO-Widerstände sind direkt von der Mikrostruktur abhängig. Eine mikroskopische Untersuchung der MO-Widerstände zeigt, dass die Keramik aus einer Vielzahl von dicht gepackten ZnO-Körnern besteht. Die Grösse eines solchen Korns ist etwa 20 µm. Der Kern des Korns besteht aus ZnO und ist elektrisch sehr gut leitend (1 Ωcm). Die Bindungen zwischen den Körnern werden durch eine Grenzschicht von nicht mehr als 0,2 µm Dicke gebildet.

Jedes dieser Körner bildet, verbunden mit einem anderen Korn, einen Mikrovaristor mit einer Korngrenzen-Durchbruchspannung von etwa 3,5 V. Die Mikrovaristoren innerhalb eines makroskopischen Keramikkörpers bilden ein unregelmässiges Gitter von parallel und in Reihe geschalteten Widerständen. Da an jedem einzelnen Mikrovaristor etwa 3,5 V abfallen können, bevor es zum Durchbruch kommt, wird die maximale Durchbruchspannung von der Höhe des Keramikkörpers bestimmt. Der Durchmesser des MO-Widerstandes legt dagegen den maximal zulässigen Strom des Ableiters fest.

Diese Eigenschaften erlauben es, Keramikkörper für grosse elektrische Anforderungen zu fertigen. Übliche Durchmesser für MO-Widerstände sind 30, 38, 42, 47, 62, 75, 96 und 108 mm, mit Höhen bis zu mehr als 46 mm (siehe auch Tabelle II). Eine Auswahl solcher Widerstände zeigt Bild 4.

MO-Ableiter-Auslegung und Schutz

Die Strom-Spannungs-Kennlinie eines modernen Mittelspannungsableiters ist in Bild 5 dargestellt. Die Kennlinie zeigt ähnlich wie Bild 2 die Restspannungen in Abhängigkeit vom Strom für verschiedene Wellenformen. Die nachstehenden Ausführungen gelten sinngemäss für alle MO-Ableiter.

In der Darstellung wurden die Bezeichnungen wie in Tabelle II nach IEC

Ableiter-Dauerspannung Operating Voltage	U_c	
Ableiter-Bemessungsspannung Rated Voltage	U_r	
Blitzstossstrom: **Ableitstossstrom** Impulse Current	8/20 µs	I_B
Nennableitstossstrom	8/20 µs	I_n 2,5 bis 20 kA
Hochstossstrom High Impulse Current	4/10 µs	I_{HC} 65 bis 100 kA

Tabelle II MO-Ableiter-Terminologie

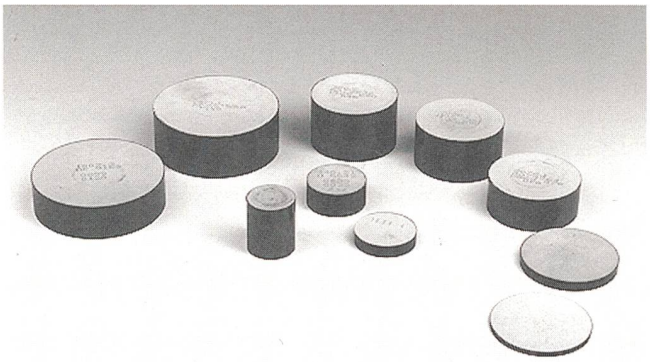


Bild 4 Metalloxidwiderstände für Hoch- und Mittelspannungsableiter

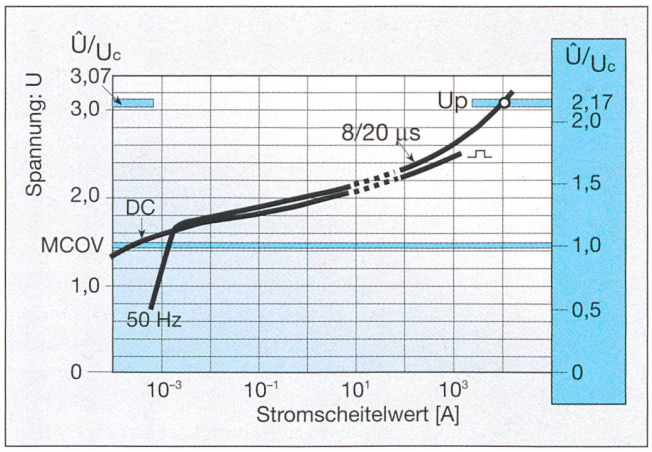


Bild 5 Schutzkennlinie eines Mittelspannungsableiters

99.4 (199 111) [2] gewählt. Die Spannungen sind dabei als «Per Unit»-Werte auf die Restspannung bei einem Nennstossstrom U_p der genormten Wellenform 8/20 µs bezogen.

Der komplette Ableiter besteht aus einer Serienschaltung von einzelnen MO-Widerständen mit typischerweise 1 bis 5 kV Dauerbetriebsspannung (Effektivwert).

Die Dauerbetriebsspannug U_c muss so gewählt werden, dass einerseits im Betrieb kein zu hoher Strom fliesst, weil der Ableiter sonst thermisch zerstört würde, und andererseits bei Überspannungen die Begrenzung so früh wie möglich einsetzt.

Die Spannung U_c liegt deshalb deutlich unter der «Ansprechschwelle», das heisst unterhalb des Knies der Kennlinie, das den Beginn des Durchbruchbereiches kennzeichnet. In diesem Bereich verhält sich der Ableiter kapazitiv. Bei Betriebsspannung beträgt die effektive Dauerfeldstärke am MO-Widerstand etwa 1,2 kV/cm. Der Übergang in den leitenden Bereich erfolgt beim 1,4fachen dieses Wertes.

Bild 6 demonstriert, dass erst beim Erreichen der Kennlinien-Kniespannung ein durch die Kennlinie geformter nichtsinusförmiger ohmscher Stromanteil fliesst.

Die bei der sogenannten Arbeitsprüfung eines MO-Ableiters verwendete überhöhte Wechselspannung U_r (Effektivwert) liegt meist beim 1,25fachen von U_c und darf bei der Typenprüfung nicht länger als 10 Sekunden anliegen. Länger andauernde Belastungen oberhalb der Kniespannung können den Ableiter thermisch zerstören, falls die im Ableiter entstehende Wärme nicht mehr rasch genug nach aussen abgegeben werden kann.

Die thermische Stabilität eines Ableiters wird bei der sogenannten Arbeitsprüfung überprüft. Nach der Norm IEC 99.4 wird im Typenversuch, abhängig von der Ableiterklasse, die Energie entweder mit Hochstromstoss (Klasse 1) oder mit einer Anzahl Rechteck-Stossstromwellen (Klassen 2 bis 5) eingebracht. Dies ist bei der Dimensionierung eines MO-Ableiters zu berücksichtigen. Die Höhe der zulässigen betriebsfrequenten Überspannungen wird meistens auf die Betriebsspannung bezogen als sogenannte T-Kurve über der Belastungsdauer dargestellt und für jeden Ableitertyp angegeben.

Die Darstellung der Ableiterkennlinie nach Bild 5 illustriert hingegen das Verhalten bei Impulsüberspannungen. Deutlich ist zu erkennen, dass der Einfluss der verschiedenen Wellenformen auf die Restspannungen bei Strömen gleicher Grössenordnung nicht sehr gross ist. Während die Kennlinie im Schaltspannungsbereich sehr wenig ansteigt, ist im Bereich der sehr hohen Stossströme um 100 kA wieder ein deutlicher Anstieg der Kurve messbar. Die Beanspruchungen der Ableiter im Betrieb werden durch die standardisierten Stossstrom-Impuls-Wellenformen nachgebildet. Für diese Strom-Wellenformen sind die Restspannungen beim Stossstrom für 10 kA der Wellenform 8/20 µs auf die Wechselspannung bezogen.

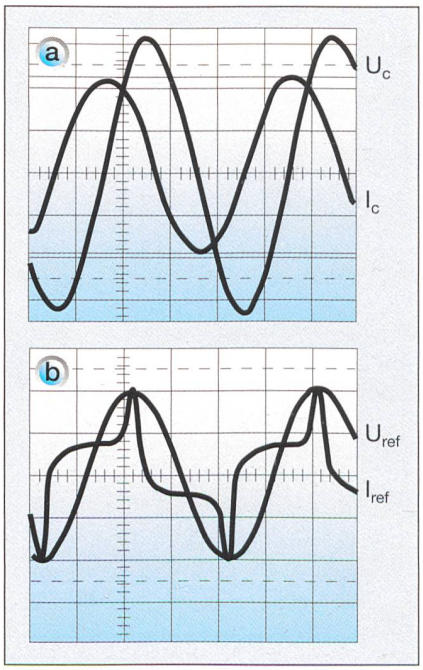


Bild 6 MO-Ableiter-Verhalten bei sinusförmiger Wechselspannung

		Mittelspannungsableiter							
		Hochspannungsableiter							
Nennableitstossstrom (Blitzstossstrom) BS	I_n [kA]	5	10	10	10	10	20	20	40
Hochstossstrom HS	I_{HC} [kA]	65	100	100	100	100	100	100	100
Rechteckstossstrom RW	(2 ms) [A]	150	250	450	550	1000	1350	1800	2000
Leistungsentladungsklasse			1		2	3	4	5	
MO-Widerstand	∅ [mm]	32	38	42	47	62	75	96	108
Energie bei RW und U_c	[kJ]	–2,5	–4,2		–5,5	–9	–13,3	–20	–30

Tabelle III Typische Daten von MO-Ableitern

Es ergeben sich beim physikalisch richtigen Bezug auf den Scheitelwert der zulässigen Dauerwechselspannung U_c für einen Mittelspannungsableiter der stärkeren Klasse 2 folgende Schutzverhältnisse:

- Steilimpulsstrom 1/..µs mit etwa 20 µs bis zum Halbwert: Stromscheitelwerte 2,5 bis 5 kA. Schutz beim 1,8- bis 2,4fachen des U_c-Scheitels. Diese Wellenformen entstehen zum Beispiel beim Trennerschalten.
- Nennstossstrom 8/20 µs: Stromscheitelwerte 2,5 bis 20 kA. Schutz beim 1,7- bis 2,2fachen des U_c-Scheitels. Diese Wellenform simuliert die am häufigsten auftretenden Blitzbeanspruchungen.
- Hochstossstrom 4/10 µs: Stromscheitelwerte 30 bis 100 kA. Schutzbereich beim 2,3- bis 2,9fachen des U_c-Scheitels. Die Wellenform simuliert seltenere steile und direkte Blitzeinschläge.
- Schaltstossstrom 30/60 µs: Stromscheitelwerte 125 bis 3000 A. Schutzbereich beim 1,5- bis 1,8fachen des U_c-Scheitels. Die Welle simuliert Schaltvorgänge allgemeiner Art.

Diese Schutzbereiche sind ohne Einschränkung für Netze mit wirksamer Sternpunkterdung gültig. Für ein Netz mit isoliertem Sternpunkt oder Erdschlusskompensation sind die Werte etwa um das 1,4fache höher und daher etwas ungünstiger. Daten moderner Ableiter sind in Tabelle III zusammengestellt.

Moderne MO-Ableiter-Konstruktionen

Während der Einführung der MO-Ableiter glichen die Ableiterkonstruktionen denen der älteren FS-Ableiter. Der Aktivteil der MO-Ableiter wurde in Porzellanisolatoren untergebracht und durch geeignete Abstandshalter im Inneren fixiert.

Abgesehen vom günstigeren Schutzverhalten wiesen diese Ableiter alle Nachteile der FS-Ableiter mit Porzellanisolation auf. Es sei hier nur erwähnt, dass diese Ableiter trotz Verwendung überprüfter Druckentlastungsvorrichtungen bei Überlastung gelegentlich explodierten.

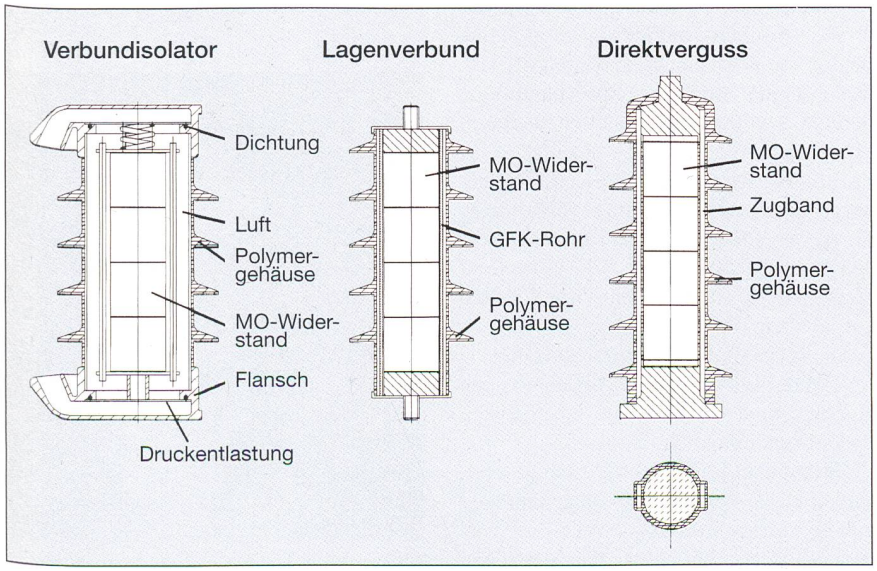


Bild 7 Moderne MO-Ableiter-Konstruktionen für Hoch- und Mittelspannung

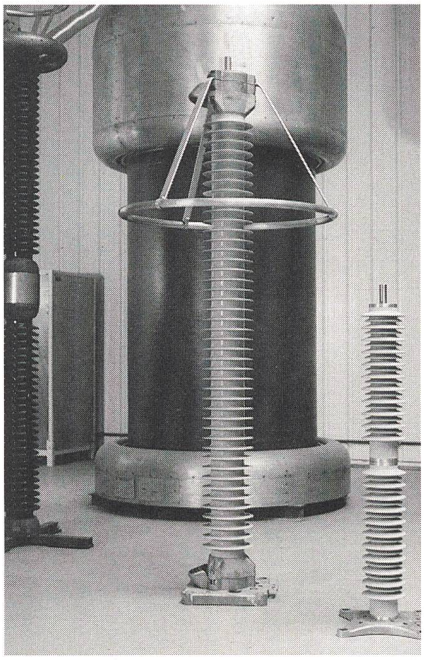


Bild 8 Hochspannungsableiter
Mitte GFK-Verbundisolator mit Silikonisolation
rechts Integralkonstruktion mit Silikonverguss

Moderne Konstruktionen unter Verwendung von Polymermaterialien haben diesen und weitere Nachteile nicht mehr. Bild 7 gibt eine Übersicht der heute gebräuchlichen Basiskonstruktionen. Es sind dies die Ableiter mit folgenden Isolatorhüllen:

- Faserverstärkter (Gfk) Rohr-Verbundisolator mit äusserer Polymerisolation aus Silikonelast oder EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Monomer) (Bild 7 a). Der MO-Aktivteil befindet sich im Inneren eines Gfk-Rohres. Der äussere Isolator wird entweder direkt aufgegossen und chemisch mit dem Rohr verbunden oder aufgezogen und heiss aufgeschrumpft. Am Flansch des Rohres ist an beiden Seiten des Isolators eine dichte Druckentlastungsvorrichtung eingebaut, die bei Überlastung öffnet, um ein Bersten des Gfk-Rohres zu verhüten. Konstruktionen dieser Art können für Betriebsspannungen bis etwa 200 kV einteilig gebaut werden. Die Festigkeit des Gfk-Rohres erlaubt es, die gleichen mechanischen Daten (Biegefestigkeit) wie mit Porzellanen zu erreichen. Weil das Innere des Ableiters wie das der FS-Ableiter am MO-Aktivteil Luft enthält, ist auf strenge Teilentladungsfreiheit zu achten, um die Lebensdauer nicht zu beeinträchtigen. Bei sehr starker äusserer Verschmutzung des Isolators sind je nach Konstruktion innere Teilentladungen nicht gänzlich auszuschliessen.

Diese Ableiter haben sich bisher in über zehn Betriebsjahren bewährt und

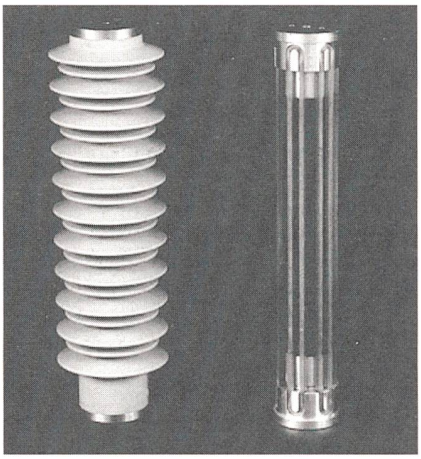


Bild 9 Silikonvergossene Integralkonstruktion
rechts: unvergossener Aktivteil

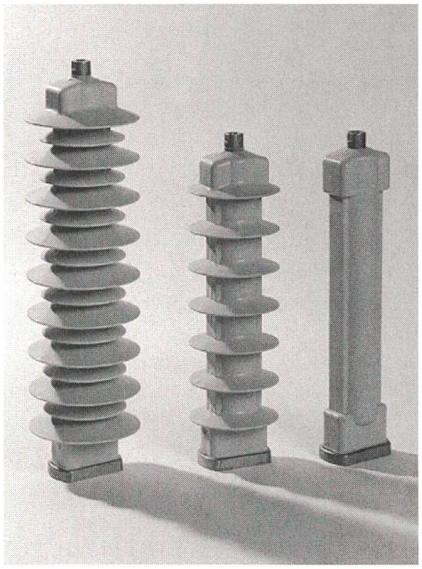


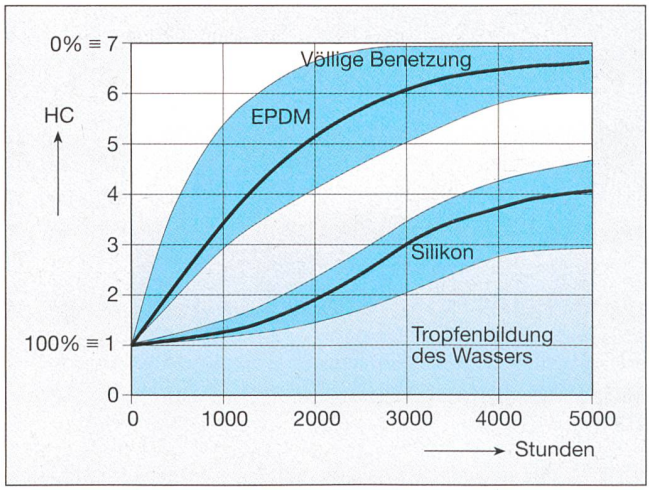
Bild 10 Überspannungsableiter mit Silikonisolation mit verlängertem und normalem Kriechweg sowie für Innenräume

sind auch in der Schweiz bis zu Betriebsspannungen von 420 kV im Einsatz.

Bild 8 zeigt in der Mitte einen solchen Hochspannungsableiter vom Typ MKL mit Steuerring für 170-kV-Dauerbetriebsspannung U_c.

- Faserverstärkter Rohrisolator mit Vollverguss und äusserer Polymerisation, vorzugsweise aus EPDM. (Bild 7 b). Der MO-Aktivteil befindet sich im Inneren eines Rohres, das zum Beispiel aus Gfk gefertigt sein kann. Der Spalt zwischen dem Rohr und dem MO-Aktivteil wird anschliessend mit einer geeigneten Masse möglichst vollständig luftfrei vergossen. Die äussere Isolation wird von einem Überzugsisolator gebildet, oder dieser wird heiss aufgeschrumpft. Der Aufbau des Ableiters in verschiedenen konzentrischen Schichten hat den Nachteil, dass Lufteinschlüsse nicht auszuschliessen sind. Konstruktionen dieser Art werden bei Spannungen von bis zu 72 kV eingesetzt. In Ausnahmefällen werden sie aber auch als Reihenparallelschaltungen für höhere Systemspannungen ausgelegt.

Bild 11 Hydrophobie (HC) von EPDM- und Silikon-Isolation während eines 5000-h-Alterungstests



Integralkonstruktion mit faserverstärkter Halterung und Vollverguss

Dieses robuste Konstruktionsprinzip (Bild 7 c) besteht aus zwei Elektroden, die miteinander durch zwei oder mehrere faserverstärkte Elemente verbunden sind. Es entsteht ein relativ steifer Käfig oder Rahmen. Im Inneren werden die MO-Widerstände angeordnet. Zusätzliche Metallzylinderstücke füllen den Innenteil völlig aus. Eine Druckschraube im Zentrum einer der Elektroden wird von aussen mit einem definierten Drehmoment angezogen und in der Endstellung gesichert. Die Anordnung wird nach Einlegen in eine Form bei hoher Temperatur vollständig mit Silikongummi vergossen. Es entsteht ein monolithischer Block-Überspannungsableiter. Die Konstruktion mit ihren typischen Ausführungsmerkmalen wurde von ABB Schweiz patentiert. Solche Ableiter sind im Mittelspannungsbereich seit über zehn Jahren weltweit erfolgreich im Einsatz.

Bild 9 zeigt einen nach dieser Technik aufgebauten Ableiter vom Typ Polim-H für U_c=44 kV vor und nach dem Vergiessen mit Silikongummi. Bild 10 enthält eine Auswahl nach diesem Grundprinzip aufgebauter Ableiter.

Die sehr flexible Bauweise gestattet es, im mehrteiligen Baukastenverfahren auch Hochspannungsableiter bis zu höchsten Systemspannungen aufzubauen.

Silikonkautschuk, auch Silikongummi, Silikonelast oder kurz Silikon genannt, ist ein hervorragendes Isoliermaterial. Vergleiche mit traditionellen Isolatoren wie Porzellan, Glas und auch anderen Kunststoffen (z.B. EPDM) verdeutlichen die Überlegenheit des Silikons.

Wie bereits erwähnt, wird bei der vorgestellten Integralkonstruktion die Silikonisolierhülle durch Vergiessen oder Druckinjektion heiss haftend aufvulkanisiert. Durch verschiedene Formen kann dabei der Isolator der Struktur des MO-Ableiters optimal angepasst werden. Es entsteht ein luftspaltfreier Ableiterisolator mit folgenden vorteilhaften Eigenschaften:

- Kein Kohlenwasserstoff in der chemischen Hauptbindung. Dies verhilft der Isolation zu einer ausgezeichneten Beständigkeit bei starker Oberflächenverschmutzung und verhindert karbonisierende Kriechspuren.
- Hydrophobie. Wasser benetzt die Isolatoroberfläche nicht, sondern formt lediglich einzelne, isolierte Tropfen, die durch Schwerkraft und Wind von der Oberfläche abperlen.
- Schmutzablagerungen auf der Isolatoroberfläche werden durch die Diffusion von Molekülkomplexen aus der Silikonisolation ebenfalls hydrophobiert,

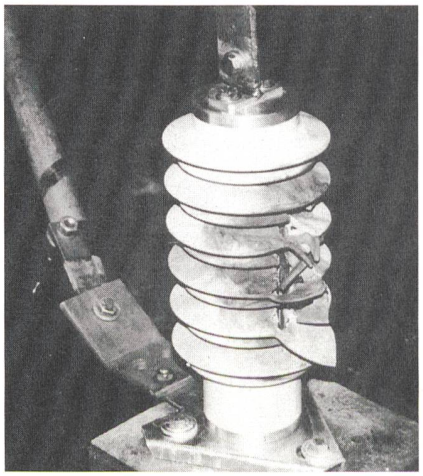


Bild 12 Überlastversuch an einem direktvergossenen Ableiter mit Silikonisolation

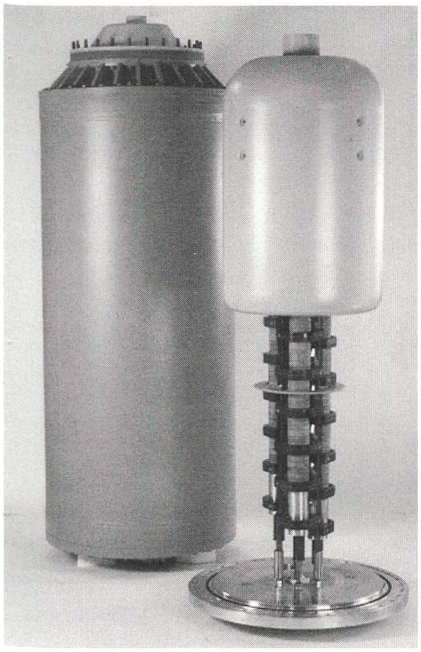


Bild 13 GIS-Überspannungsableiter mit U = 340 kV
links: kompletter Ableiter; rechts: Aktivteil mit Feldsteuerhaube

so dass trotz Oberflächenverschmutzung geringere Leckströme auftreten [3, 4].

- In Versuchen, wie dem 5000-h-Alterungstest nach IEC 1109, verringerte sich die Hydrophobie des Silikons um 50%, während sie bei EPDM gegen Versuchsende fast vollständig verlorengeht (Bild 11). Ausserdem regenerierte sich das Silikon nach einigen Stunden Trockenzeit.
- Versuche mit Salzwassernebel nach IEC 507 zeigten, dass die Silikonisolation im Vergleich zu Porzellanisolatoren bei gleicher Salzverschmutzung im Mittel 30% kürzere Kriechwege benötigt [4].

Die vorgestellten modernen MO-Ableiter mit Kunststoffisolation der Typen MKL, MWK oder Polim werden deshalb ausschliesslich mit der hochwertigen Silikonisolation ausgeführt.

Sicherheit bei Überlastung der Ableiter mit Silikonisolation

Bei Überlastung im Betrieb bildet sich im Ableiter ein Lichtbogen. Seit einigen Jahren wird verlangt, dass es unter diesen Verhältnissen nicht zu einer Explosion des Gehäuses kommen darf. Die Integralkonstruktion des Ableiters (Bild 7c) erfüllt diese Anforderung.

Das Ergebnis eines wirklichkeitsnahen Überlastungsversuchs ist in Bild 12 gezeigt. Erkennbar führte die Belastung zu einer Lichtbogeneinwirkung, ohne allerdings eine Explosion des Ableiters zu verursachen [4].

Überspannungsableiter für GIS-Anlagen

Die Ableiter für den direkten Einbau in gasisolierten Anlagen (GIS) mit SF_6-Isolation bestehen aus einer Reihenschaltung von MO-Widerstands-Stapeln in einer gasdichten Metallkapselung.

Eine gleichmässige Spannungsverteilung entlang des Ableiteraktivteils in der Metallumhüllung wird in axialer und radialer Richtung durch eine Kopfsteuerhaube auf der Hochspannungsseite erreicht. Die MO-Widerstände sind für Ableiter mit höheren Systemspannungen auf mehrere Säulen innerhalb der Metallumhüllung verteilt. Auf diese Weise kann die Baulänge des Ableiters erheblich verkleinert werden. Ein typischer Vertreter solcher Ableiter für eine 420-kV-Schaltanlage ist in Bild 13 zu sehen.

Es stehen für alle Anwendungen von 44 kV bis 800 kV und sogar darüber hinaus MO-Ableiter zur Verfügung. Ähnliche, teilweise gekapselte Ableiterbauformen werden auch bei modernen Mittelspannungsanlagen bis zu etwa 44-kV-Systemspannung mit genormten Konus-Steckanschlüssen verwendet.

Ableiterkonstruktionen der Zukunft

Integration der Schutzfunktion

Die Weiterentwicklung der Ableitertechnik geht ohne Zweifel in Richtung einer stärkeren Integration der Schutzfunktion in Apparate und Baugruppen.

Eine erste Vorstellung dieser Art verdeutlicht Bild 14. Der Ableiter als Schutzelement ist so nahe wie möglich an die Transformatordurchführung herangerückt. Natürlich ist dabei die Frage der optimalen Nähe durch Feldrechnungen sorgfältig zu klären, um mögliche negative gegenseitige Beeinflussungen auszuschliessen. Im illustrierten Fall zeigt sich, dass bis zu einem Mittelachsenabstand von 750 mm an der feingesteuerten Durchführung vom Ableiter keine wesentlichen Erhöhungen der Feldstärke im Vergleich zu einer entfernteren Anordnung auftritt. Diese Integration ergibt ausser einer verbesserten Sicherheit gegen Bersten durch konsequenten Einsatz von Silikonisolatoren den Vorteil eines verbesserten Trafoschutzes.

Weitere Beispiele dieser Art bieten sich im Mittelspannungs-, aber auch im Hochspannungsbereich durch konsequente Integration der MO-Widerstände in Durchführungen, Kabelendverschlüsse und auch in das Innere von Transfor-

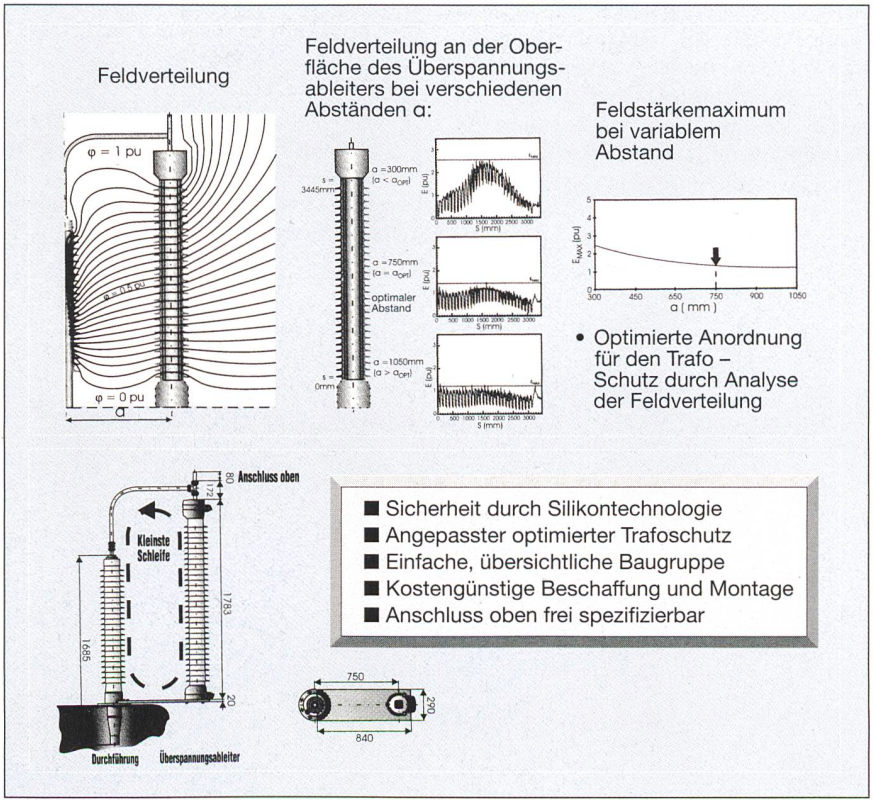


Bild 14 Durchführungsableitersystem
oben: Feldverteilung; unten: Vorteile der Lösung

Spannungs-beanspruchungs-probleme 1 und 2	1. ungleichförmige Feldbeanspruchung	2. transiente Überspannungen
Lösungen	1. Feldsteuerung	2. Überspannungs-reduktion
Technische Möglichkeiten	1. Isolation mit nicht-linearer Impedanz	2. MO-Ableiter
Synergie	1. + 2. Dynamische Isolation mit integrierter MO-Funktion	

Tabelle IV Dynamische Isolation

matoren. Dahingehende Entwicklungen sind bereits angelaufen und zeichnen sich weltweit in verstärktem Masse ab.

Die sich selbst schützende dynamische Isolation?

Es stellt sich die Frage, wie die Entwicklung weitergehen wird. Man könnte sich vorstellen, dass sie in Zukunft zu einer dynamischen, sich selbst schützenden Isolation führt.

Dazu sind in Tabelle IV die entsprechenden Vorstellungen verdeutlicht. Die heutige Isolation in der elektrischen Energietechnik wird durch ungleichmässige Feldbeanspruchung gekennzeichnet. Damit bei Beanspruchung durch transiente Überspannungen die Isolation der Beanspruchung standhält, ist einerseits durch Feldsteuerung die lokale Beanspruchung zu reduzieren, andererseits sind durch Ableiter die Überspannungen zu reduzieren. Der MO-Ableiter stellt jedoch an und für sich einen Isolator mit nichtlinearer Impedanz dar. Heute schützt der Ableiter seine Umgebung. Es liegt nahe, die Isoliereigenschaft mit der Schutzeigenschaft zu einer «dynamischen» Isolation zu verschmelzen. Das Ergebnis wäre eine interaktive Isolation, die sich selbst schützt. Auf diese Weise könnten die heute noch hohen Isolationspegel deutlicher reduziert und die Wirtschaftlichkeit und Systemzuverlässigkeit weiter verbessert werden.

Derzeit sind solche Isolationen noch im Stadium der Forschung, doch könnten hier die Zukunftsperspektiven eines wirksamen Überspannungsschutzes liegen.

Literatur

[1] *F. Greuter, R. Perkins, M. Rosinelli, F. Schmückle:* Der Metalloxid-Widerstand: Kernelement moderner Überspannungsableiter. ABB Technik (1989)1, S. 35 bis 42.

[2] IEC Publication 994, 199 111: Metaloxide surge arresters without gaps for a.c. systems. Deutsche Fassung: DIN EN 60099/VDE 0675.

[3] *M. Kocher:* Erfahrungen mit Silikonverbundisolatoren in den Tunneln der BLS Lötschbergbahn. Elektrische Bahnen 94(1996)11, S. 321–324.

[4] *W. Schmidt:* Die neuen POLIM-Überspannungsableiter mit Silikonisolation für Mittelspannungsnetze. ABB Technik (1996)2.

L'oxyde métallique – un parafoudre quasi-idéal

La tenue électrique des parafoudres à oxyde métallique répond de manière quasiment idéale aux exigences que l'on pose à un parafoudre. La caractéristique non linéaire de ces parafoudres céramiques repose sur leur structure granulaire microscopique. A chaque joint de grain à l'intérieur de la céramique d'oxyde métallique se forme une barrière de potentiel, qui ne peut être franchie qu'à partir de tensions de quelque 3,5 V. Le parafoudre ne devient conducteur et ne limite les surtensions produites que lorsqu'une telle tension est appliquée à tous les joints des grains.

Ces deux dernières décennies on a utilisé un nombre croissant de parafoudres à oxyde métallique. L'article explique les fondements physiques de ces parafoudres et en illustre le processus de fabrication. Puis sont présentées quelques formes constructives modernes à isolation polymère, qui permettent un fonctionnement à l'épreuve de l'explosion.

Der SEV auf dem Internet / L'ASE sur l'Internet:
http://www.sev.ch