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: 80 (1989)

Heft: 9

Artikel: Metalloxid-Überspannungsableiter im Mittelspannungsnetz

Autor: Bracher, H. R. / Mayer, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903672

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: 02.07.2025

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

Metalloxid-Überspannungsableiter im Mittelspannungsnetz

H.R. Bracher, A. Mayer,

Funkenstreckenlose Überspannungsableiter auf der Basis von Metalloxid-Varistorwiderständen werden in rasch ansteigender Zahl in Mittelspannungs-Verteilnetzen eingesetzt. Die Gründe für den raschen Übergang auf die neue Technik werden dargelegt, und die wichtigsten Eigenschaften der Metalloxid-Ableiter beschrieben. Das nun erreichbare tiefe Schutzniveau für die Isolation der Verteilnetze, Kabelnetze eingeschlossen, wird das Betriebsverhalten der Netze verbessern und die Lebensdauer von Kabeln und anderen Betriebsmitteln erhöhen.

Les parafoudres aux varistances à oxydes de métaux sont utilisés en nombre croissant sur les réseaux à moyenne tension. Dans cet article les propriétés de cette nouvelle génération de parafoudres sont décrites et les raisons pour la transition à la technologie d'oxydes de métaux sont expliquées. Par le niveau de protection plus bas le comportement des réseaux en service peut être amélioré, et la durée de vie des câbles et d'autres équipements peut être augmentée.

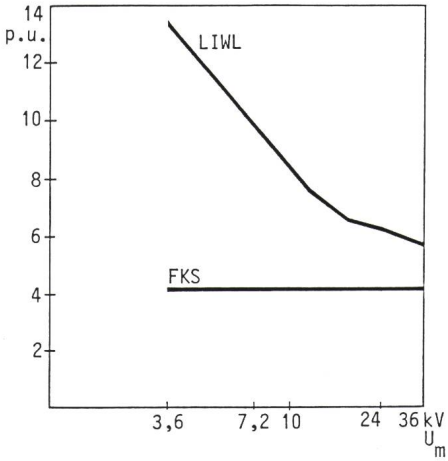
Adresse der Autoren

Hans Rudolf Bracher, Projektleiter Verkauf und *Albert Mayer*, dipl. Ing. SIA, Asea Brown Boveri AG, 5401 Baden.

In den letzten zwanzig Jahren hat sich die Technik der Überspannungsableiter zweimal grundlegend geändert. Den relativ einfachen Ableitern mit Plattenfunkenstrecken und SiC-Widerständen folgten die hochentwickelten Ableiter mit magnetisch beblasenen Funkenstrecken. Sie enthielten aber immer noch die Serieschaltung mit Siliziumkarbid-(SiC-)Widerständen. Die heutige dritte Generation, die funkenstreckenlosen Ableiter auf der Basis von stark nichtlinearen Metalloxid-Widerständen, auch ZnO-Widerstände genannt, findet dank ihren hervorragenden Eigenschaften rasch Eingang in alle Spannungsebenen. Bei Neuinstallationen mit Spannungen über 50 kV werden auf der ganzen Welt fast ausschliesslich Metalloxid-Überspannungsableiter eingesetzt. Ihr hohes Energieaufnahmevermögen, gepaart mit Stabilität des Schutzverhaltens, vor allem aber das tiefe Schutzniveau, wirken nicht nur theoretisch überzeugend, sondern wurden in zehnjähriger Betriebserfahrung weltweit bestätigt [1].

In den Verteilspannungsebenen unter 36 kV haben sich die einfachen Plattenfunkenstrecken-Ableiter länger gehalten. Drei Gründe sind dafür massgebend, wie im folgenden gezeigt wird:

Die Figur 1 zeigt die niedrigsten genormten Haltespannungen von Mittelspannungsnetzen über der Nennspannung dieser Netze. Zwischen dem Scheitelwert der betriebsfrequenten Spannung und der Isolationshaltespannung (LIWL) besteht, anders als bei Hochspannungen über 50 kV, ein sehr grosser Abstand. Das ebenfalls eingetragene Schutzniveau von Funkenstreckenableitern FKS zeigt bequeme Sicherheitsabstände. Es bestand also kein dringender technischer Zwang, das Schutzniveau der Ableiter zu senken. Die hohen Werte des Schutzniveaus der Plattenfunkenstrekken reichten aus.

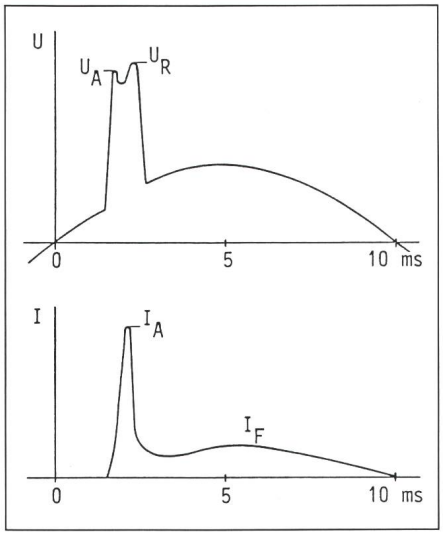


Figur 1 Niedrigste genormte Isolations-Haltespannung (LIWL) und typisches Schutzniveau von Funkenstrecken-Ableitern (FKS) bei verschiedenen Netzspannungen U_m.

p.u. per unit: 1 p.u. = $\sqrt{2} \cdot U_m / \sqrt{3}$ = Scheitelwert der Leiter-Erdspannung.

Der Abstand zwischen den Kurven LIWL und FKS wird gewöhnlich als Sicherheitsabstand bezeichnet.

Eine zweite Tatsache ist, dass Netze der Mittelspannungsverteilung in vielen Ländern mit nicht wirksam geerdeten Sternpunkten betrieben werden. Um Erdkurzschlussströme klein zu halten, werden die Sternpunkte der Transformatoren entweder mit linearen Widerständen oder bei Erdschlusslöschung über Drosselspulen geerdet. Im Falle eines einpoligen Erdschlusses in einem derartigen Netz kann dieses mindestens einige Zeit ohne Ausschaltung weiterbetrieben werden. Man nimmt dann Unsymmetrien der Spannungen, die Gefahr eines Doppelerdschlusses und langandauernde lokale



Figur 2 Spannungs- und Stromverlauf bei einem Ableitvorgang in einem Ableiter mit Plattenfunkenstrecken

U_A Ansprechspannung
U_R Restspannung
I_A Ableitstrom
I_F Folgestrom

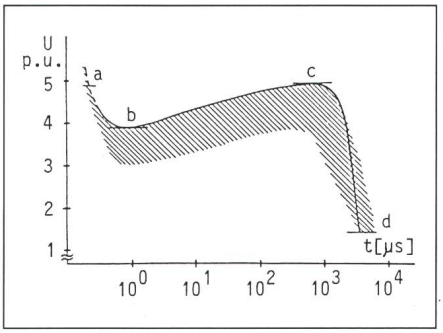
kleine Erdschlussströme in Kauf. Die gesunden, nicht erdschlussbehafteten Phasen eines solchen Netzes nehmen im Erdschlussfall nahezu verkettete Spannung an. Überspannungsableiter, also auch funkenstreckenlose MO-Ableiter, müssen dann für verkettete Spannung ausgelegt sein. Damit ergibt sich für MO-Ableiter ein Schutzniveau, das im Vergleich zu konventionellen FKS-Ableitern nicht mehr so vorteilhaft ist wie bei Netzen mit wirksam geerdeten Sternpunkten.

Ein dritter Grund liegt bei den grösseren Anschaffungskosten der Metalloxid-Ableiter. Er verliert allerdings zunehmend an Bedeutung, und der Netzbetreiber sieht sich mit der Tatsache konfrontiert, dass die Auswechselkosten, die von wenig zuverlässigen «Billigableitern» verursacht werden, stark ansteigen, so dass eine längere durchschnittliche Betriebszeit und eine erhöhte Betriebstüchtigkeit der neuen Typen sich in den Unterhaltskosten des Netzes bald einmal bemerkbar machen.

Auch die beiden erstgenannten Gründe – grosser Abstand der Isolationshaltespannung von der Betriebsspannung und niedrige Erdkurzschlussströme – verlieren zunehmend an Bedeutung, weil wirtschaftliche Kriterien für ein Überdenken der Technik sprechen. Die hohe Isolationsfestigkeit der Mittelspannungsnetze wurde nämlich nicht zuletzt wegen der Alterung der Isolation, besonders bei Kabeln und Transformatoren, und auch wegen der Verschmutzung der Freiluftisolation gefordert. Von einem tieferen Schutzniveau der Ableiter und damit von einer geringeren Beanspruchung der Isolation durch Spannungsspitzen lässt sich also mit Recht eine längere Lebensdauer der Isolation und damit der Betriebsmittel und eine Verringerung der Verschmutzungsüberschläge erwarten. Wenn diese beiden Effekte auch nicht sofort mit Zahlen belegt werden können, so sprechen die Betriebserfahrungen der letzten Jahre doch schon sehr deutlich für diese Argumente.

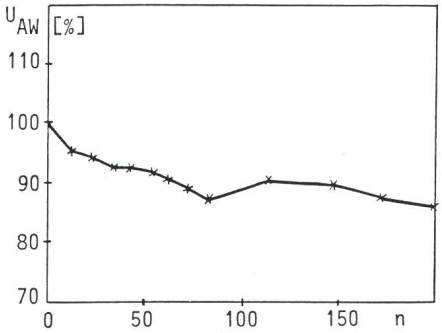
Funkenstrecken- und Metalloxidableiter

Der technische Vergleich von FKS- und MO-Ableitern konzentriert sich auf die beiden Schwerpunkte Schutzniveau und Energieaufnahmevermögen. Das *Schutzniveau* eines Überspannungsableiters wird durch die höchstmögliche Spannung an den Klemmen definiert. Beim FKS-Ableiter war dies die «Ansprechspannung», bei der die Funkenstrecken zündeten, oder es konnte die Restspannung sein, d.h. der Spannungsabfall über den Ableitern beim Durchgang eines Ableitstromes. Da bei den Plattenfunkenstrecken die in Serie liegenden SiC-Widerstände relativ hochohmig sein müssen, damit die Funkenstrekken im nächsten betriebsfrequenten Nulldurchgang den Folgestrom löschen können, ist auch die Restspannung, besonders bei höheren Strömen, grösser als die Ansprechspannung. In Figur 2 ist schematisch ein solcher Ab-



Figur 3 Typischer Verlauf der Ansprechspannungen bei einem konventionellen Ableiter mit Plattenfunkenstrecken in Funktion der Ansprechzeit *t*

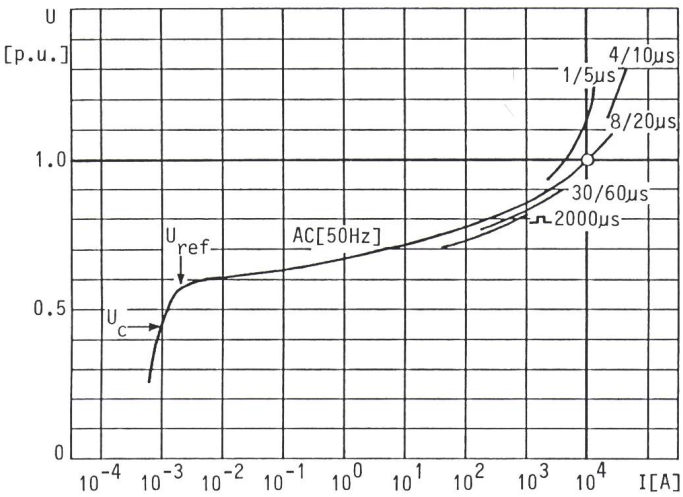
Streuband
a,b,c,d nach IEC definierte Ansprechspannungen
p.u. wie Fig. 1



Figur 4 Veränderung der 50-Hz-Ansprechspannung U_{AW} nach einer Anzahl *n* von Ableitvorgängen mit Schaltspannungswellen der Wellenform 300/3000 µs

leitvorgang wiedergegeben. Bei gut dimensionierten FKS-Ableitern ist freilich die Restspannung meist ungefähr gleich gross wie die Ansprechspannung. Ansprechspannung und Restspannung sind aber abhängig von der Wellenform. Das Schutzniveau ist daher, wie in Figur 3 dargestellt, eine Kurve, wobei in den Angaben der Hersteller die Punkte a, b, c Maximalwerte, die 50-Hz-Ansprechspannung (Punkt d) aber ein Minimalwert ist. Abhängig von den Herstellungstoleranzen, vor allem der Funkenstrecken, erhält man in der Praxis immer ein Streuband, wie es in Figur 3 angedeutet ist.

Dieses liegt, wie in Figur 1 dargestellt, relativ hoch über der Nennspannung des Netzes. Schaltspannungen brachten daher die FKS selten zum Ansprechen. Dies bedeutete für den Ableiter einen Vorteil, da die zwar nicht sehr hohen, aber meist einige Millisekunden langen Schaltspannungen an Funkenstrecken starken Abbrand verursachten und damit die Ansprechgenauigkeit erheblich beeinträchtigten. Die Figur 4 zeigt Versuchsergebnisse mit Schaltspannungswellen, die diese Erkenntnis bestätigen. Bei funkenstreckenlosen MO-Ableitern spricht man nicht mehr von Ansprechspannung. Dies zeigt die in Figur 5 schematisch dargestellte Spannungs-Strom-Kennlinie eines Metalloxidwiderstandes oder eines MO-Ableiters. Der Ableiter wird normalerweise so ausgewählt, dass die höchste Phase-Erde-Betriebsspannung eines Netzes etwas unter U_c liegt. Steigt die Spannung an den Klemmen und erreicht den Wert U_{ref}, so beginnt der Ableiter gut zu leiten, er wird niederohmig, und die Spannung an den Klemmen steigt nicht mehr stark an. In Figur 5 ist auch die Abhängigkeit der



Figur 5
Typische Strom-Spannungs-Kennlinie von MO-Überspannungsableitern für Mittelspannung

Die Spannung U ist bezogen auf den Scheitelwert der Restspannung bei 10 kA Ableitstrom (1 p.u.), U_c ist die Dauerspannung, bei U_{ref} liegt die sog. Referenzspannung. Die Zahlen 1/5 µs, 4/10 µs, 8/20 µs usw. geben die Wellenform des Ableitstromes an.

Restspannung von der Wellenform einer Überspannung angedeutet. Sie ist – im Gegensatz zum FKS-Ableiter – nur noch gering. Dagegen ist das Schutzniveau jetzt eindeutig eine Funktion des Ableitstromes, der durch die MO-Widerstände fliesst.

Will man nun das Schutzniveau eines FKS-Ableiters mit dem eines MO-Ableiters vergleichen, so kann man dies immer nur bei einem bestimmten Strom tun. In Figur 6 ist ein solcher Vergleich für einen Ableitstrom von 10 kA dargestellt. Der Typ WG 24 mit 10 kA Nennableitstrom wird einem MO-Ableiter Typ MWB 24 mit ebenfalls 10 kA Nennableitstrom gegenübergestellt. Die deutliche Verbesserung des Schutzniveaus durch den MO-Typ liegt vor allem bei sehr steilen Überspannungswellen und bei den sogenannten Schaltüberspannungen mit Anstiegszeiten, die grösser als 30 µs sind. Die sehr steilen Wellen treten selten, eigentlich nur bei sehr nahen Blitzeinschlägen, auf. Sie sind jedoch gefürchtet, da besonders Verteiltransformatoren auf steile Wellen empfindlich sind und auch die Länge der Verbindungen zwischen Ableiter und Trafo bereits eine Rolle spielt (Separationseffekt). Betrachtet man die sogenannte Schutzdistanz l, also die Entfernung, in der ein Ableiter noch ein Objekt mit einer Blitzstoss-Haltespannung U_L schützt, so errechnet man diese etwa nach der Formel:

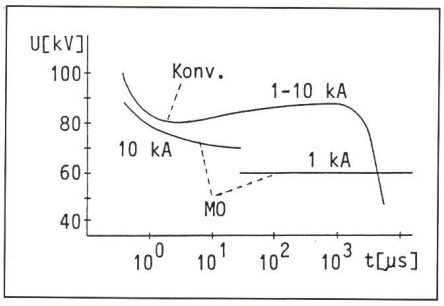
$$L = \frac{v}{2\,s}\left(U_L - U_p\right) \qquad (1)$$

Dabei stellt U_L die Blitzstosshaltespannung (LIWL in Figur 1), U_p das Schutzniveau des Ableiters, s die Steilheit der Überspannungswelle und v die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Überspannungswellen auf Freileitungen, also ungefähr 300 m/µs, dar. Ein tiefes Schutzniveau U_p erhöht die Schutzdistanz nicht unerheblich.

Bei Schaltüberspannungen im Mittelspannungsnetz haben wir es meist mit stark gedämpften Spannungsschwingungen zu tun, wie sie etwa beim «Stromabriss» entstehen. Die höchste Amplitude erreicht leicht den drei- bis fünffachen Scheitelwert der Phasenspannung, in Extremfällen sogar mehr. Die Frequenz der Schwingungsvorgänge wird durch die Netzparameter bestimmt und liegt im Bereich von einigen Kilohertz. Ein MO-Ableiter begrenzt die Amplitude auf ein tiefes Schaltspannungsschutzniveau (Figur 6). Dabei fliessen einige hundert Ampere durch den Ableiter. Vereinfacht ausgedrückt, fliesst die im Netz vorhandene Energie der Induktivitäten über die Ableiter zur Erde. Bei einem Schaltvorgang mit grösseren Kapazitäten – Kabelnetze, Kompensationsbatterien – ist eine andere gefährliche Art von Überspannungen in Betracht zu ziehen. Mangelhafte Schaltgeräte, Lasttrennschalter oder Hochspannungssicherungen können zu Rück- oder Wiederzündungen beim Schalten von Kapazitäten führen. Dabei treten hohe Ladespannungen an den Kapazitäten auf, die sich über die Ableiter entladen können. Mit dem tiefen Schutzniveau bei Schaltspannungsvorgängen ist daher von den Ableitern auch ein höheres *Energieaufnahmevermögen* zu fordern. Mit den FKS-Ableitern war dies nicht oder nur mit teuren Kompromisslösungen zu erreichen. MO-Ableiter für Mittelspannungsnetze haben ein drei- bis fünfmal höheres Energieaufnahmevermögen als entsprechende FKS-Ableiter.

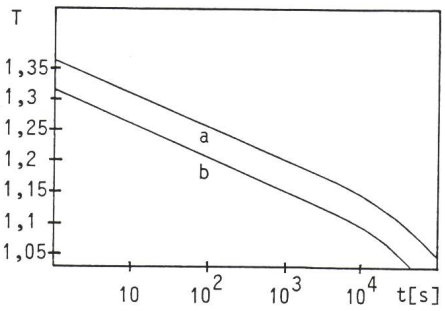
Das tiefe Schutzniveau führt natürlich dazu, dass die MO-Ableiter viel öfters Überspannungen ableiten, als dies bei den FKS-Ableitern der Fall war. Die MO-Ableiter werden dabei jedoch in keiner Weise abgenützt. Es gibt ja keine Funkenstrecken mehr, die durch die langen Schaltüberspannungen abbrennen können. Solange ein MO-Widerstand nicht überbeansprucht wird, ist seine Kennlinie stabil. Versuche haben gezeigt, dass die in Figur 6 gezeigte Charakteristik auch nach Tausenden von Überspannungsimpulsen unverändert erhalten bleibt.

Auch ein «Ansprechen» unter Wechselspannung kann für kurze Zeit in Kauf genommen werden. Ableitströme unter sogenannten temporären netzfrequenten Überspannungen schaden einem MO-Ableiter nicht. Die Figur 7 zeigt die Festigkeit T eines MWB



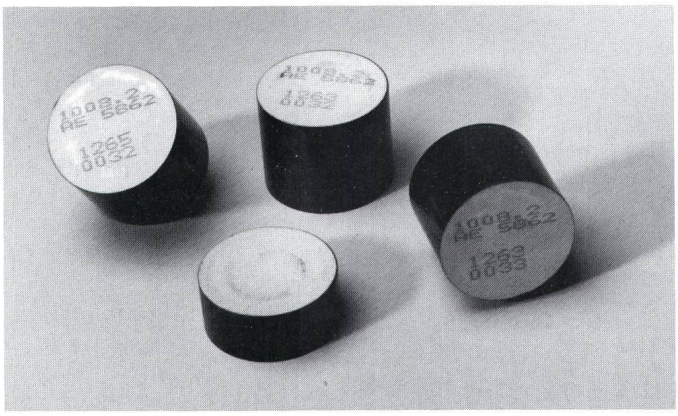
Figur 6 Vergleich eines konventionellen Plattenfunkenstrecken-Ableiters von 24 kV Nennspannung mit einem MO-Ableiter für 24 kV

Es wird das Schutzniveau in kV in Funktion der Anstiegszeit einer Überspannungswelle dargestellt. Beim konventionellen Ableiter ist das Ansprechen der Funkenstrecken praktisch unabhängig vom Ableitstrom (1...10 kA), beim MO-Ableiter sind die Niveaus für 10 kA (Blitz- und Steilstrombereich) und für 1 kA (Schaltspannungen) eingetragen.



Figur 7 Festigkeit T von MO-Ableitern gegen temporäre Überspannungen in Abhängigkeit von der Zeit t bei einer Umgebungstemperatur (Lufttemperatur ausserhalb des Ableiters) von 45 °C

Die Kurve a gilt für Ableiter ohne Vorbelastung, die Kurve b bei Vorbelastung mit $E = 3{,}5$ kJ · U_c/kV, t = Dauer der Überspannungen bei Betriebsfrequenz.



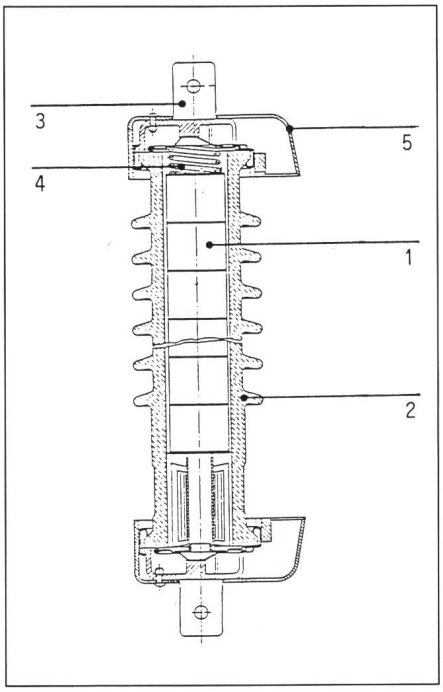
Figur 8 Metalloxid-Widerstandsscheiben für Mittelspannungs-Ableiter

24 in Funktion der Belastungszeit t. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Angaben für eine Luftumgebungstemperatur von 45° C und zusätzlicher Sonneneinstrahlung gilt. Will man ein tiefes Schutzniveau erreichen und deshalb die Dauerspannung U_c tief wählen, so kann man die in Figur 7 angegebene temporäre Belastbarkeit ohne Bedenken in Anspruch nehmen.

Aufbau von Metalloxidableitern

Der konstruktive Aufbau der neuen Ableitergeneration ist sehr einfach. Der Aktivteil besteht aus zylindrischen Metalloxid-Varistorwiderständen. In Figur 8 sind verschiedene Varianten dargestellt. Der Durchmesser der Scheiben richtet sich nach dem Energieaufnahmevermögen und dem Nennableitstrom. Für 10 kA Nennableitstrom wird heute ein Durchmesser von etwa 47 mm verwendet, für 5-kA-Ableiter genügen weniger. Die Bauhöhe der Scheiben bestimmt die Dauerspannung. Man kann ungefähr mit 10 mm Höhe pro Kilovolt-Dauerspannung rechnen. Die Widerstandsblöcke sind auf der Mantelseite mit einer glasartigen Passivierungsschicht, auf den Stirnseiten mit einem flammgespritzten Aluminium-Kontaktierungsbelag versehen. Die Blöcke werden entsprechend der gewünschten Dauerspannung zu kleinen Säulen übereinandergestapelt. ABB hat jedoch auch stabförmige Widerstände, sogenannte Monoblöcke, entwickelt.

In Figur 9 ist der Längsschnitt durch einen MWB-Verteilspannungsableiter schematisch dargestellt. Die Widerstandssäule wird durch eine starke Schraubenfeder in ihrer Lage fixiert. Gleichzeitig wird damit der notwendige Kontaktdruck zwischen den Blökken und zu den Anschlüssen hergestellt. Die starken Kappen an beiden Enden bestehen aus gegossenem Aluminium und werden für die Druckentlastung benötigt.



Figur 9 Längsschnitt durch einen Verteilableiter MWB 24

1 MO-Widerstände
2 Porzellanisolator
3 Anschluss
4 Druckfeder
5 Gasumlenkung

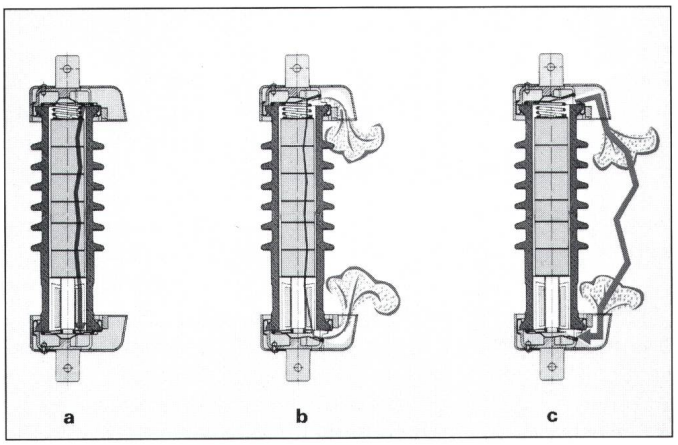
Anwendungsbezogene Lösungen

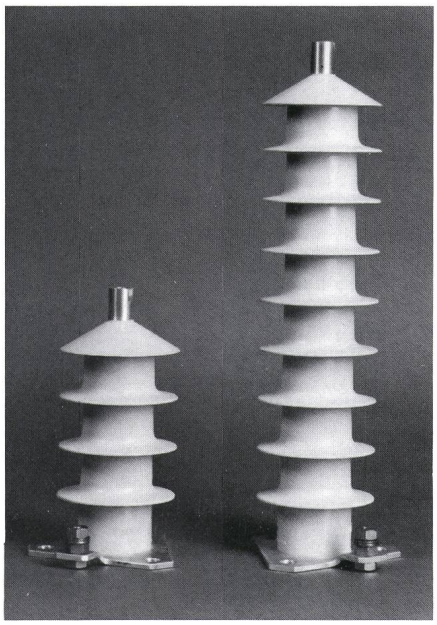
Jeder Ableiter kann überlastet werden. Die Ursachen dafür sind extrem hohe Blitzströme, eine grosse Zahl von Folgeblitzen [2] oder der sogenannte Spannungsübertritt, bei dem ein Kurzschluss zwischen zwei verschieden hohen Spannungsebenen entsteht. Bei einer Überlastung der einen oder anderen Art schlagen die MO-Widerstände durch, und es entsteht ein Lichtbogen zwischen Widerstandssäule und Gehäuse. Der Lichtbogen lässt den Gasdruck in diesem Raum rasch ansteigen. Die Druckentlastung an beiden Enden des Ableiters muss praktisch verzögerungsfrei öffnen und die heissen Gase ausströmen lassen, damit es nicht zur Explosion des Gehäuses kommt. In Figur 10 ist der Vorgang schematisch dargestellt. Die ausströmenden Lichtbogengase leiten einen Aussenüberschlag über den Ableiter ein, so dass das Gehäuse vom Innendruck entlastet wird. Normalerweise werden die Gehäuse gar nicht oder nur wenig beschädigt, doch sind solche «ausgeblasenen» Ableiter leicht an den Lichtbogenschmelzspuren der Armaturen zu erkennen. Zudem können die Ausblasöffnungen der MWB-Ableiter mit farbigen Markierungsplättchen verschlossen werden. Beim Ausblasen eines Ableiters fallen diese Plättchen gefahrlos weg und lassen noch leichter den defekten Ableiter erkennen.

In seltenen Fällen kommt es vor, dass der austretende Kurzschlusslichtbogen das Ableitergehäuse von innen oder aussen berührt. Durch die lokale Erwärmung zerspringen Porzellangehäuse und können somit «thermisch»

Figur 10 Ausblasen eines Überspannungsableiters MWB bei Überlastung

a Innendurchschlag entlang des Aktivteiles
b Öffnen der Ausblasventile
c Aussenüberschlag





Figur 11 MWK-Überspannungsableiter mit Silikon-Kunststoffgehäuse

zerbrechen, so dass der ausblasende Ableiter zerfällt. Die Prüfvorschriften lassen diesen Vorgang ausdrücklich zu, solange die Bruchstücke innerhalb eines begrenzten Umkreises verbleiben. Ein solcher Vorgang isoliert automatisch die Fehlerstelle, was jedoch nicht immer erwünscht ist.

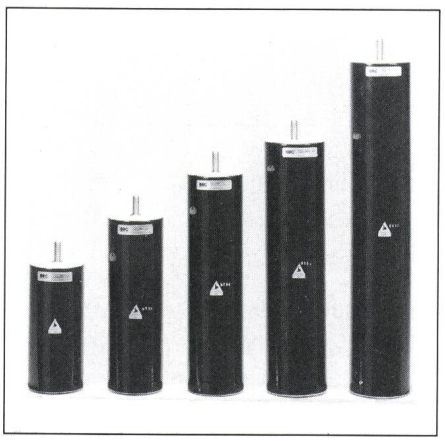
An einigen Stellen der Netze möchte man beim Ausblasen von Ableitern noch höhere Sicherheiten erzielen. Dies wird durch die Ableiter der MWK-Reihe erreicht (Fig. 11). Bei dieser Reihe, die im übrigen fast dieselben elektrischen Daten aufweist wie die Reihe MWB, besteht das Gehäuse aus einem Silikonkunststoff. Das leicht elastische Gehäuse kann bei einem Durchschlag des Aktivteiles nicht zerbrechen. Es entstehen bei einem solchen Vorgang vielmehr Löcher in der Hülle, durch die dann sofort die Zündung des Aussenüberschlages erfolgt. Das Gehäuse verkohlt äusserlich und ist damit leicht als defekt zu erkennen.

Die ausserordentliche Kurzschlussfestigkeit der MWK-Ableiter wurde in eingehenden Prüfungen mit kleinen und grossen Strömen belegt. Bei keinem Versuch fielen die Gehäuse auseinander. Man darf also davon ausgehen, dass ein überlasteter und defekter MWK-Ableiter einen bleibenden Kurzschluss im Verteilnetz darstellt. Bei einer Wiedereinschaltung wird der Kurzschluss sofort wieder eintreten, und an derselben Stelle wird wieder ein Lichtbogen entstehen. Damit kann die Kurzschlussstelle leichter entdeckt und der Ableiter ersetzt werden. Ein weiterer Vorteil der MWK-Reihe ist ihre hohe Verschmutzungsfestigkeit. Wenn schon Verteilableiter ohne Funkenstrecken allgemein als verschmutzungsfester anzusehen sind als die alten Modelle, so werden mit den Silikonkunststoffgehäusen z.B. unter Salznebel noch bessere Werte erreicht. Dies ist beim Einsatz an Meeresküsten und in Industriegebieten mit starker Luftverschmutzung von Bedeutung. Bisherige Erfahrungen haben wesentliche Vorteile gezeigt.

Als weitere Sonderkonstruktion sind die Ableiter der Reihe MWF anzusehen. Werden bei Kabeleinführungen in Schaltanlagen auch auf der Innenraumseite Ableiter benötigt – und dies ist bei Kabellängen grösser 10 m praktisch immer der Fall –, so sind für die kleinen Phasenabstände der Innenraumschaltanlagen die Ableiter der Reihe MWF ideal. Die Figur 12 zeigt die Typenreihe, deren Dauerspannungen in Kilovolt abgestuft sind. In Figur 13 ist ein Beispiel für den Einbau von WMF-Ableitern in eine Schaltzelle wiedergegeben. Neben dem Schutz von Schaltanlagen kann die Reihe MWF auch zum Schutz von Hochspannungsmotoren eingesetzt werden.

Einsatzplanung

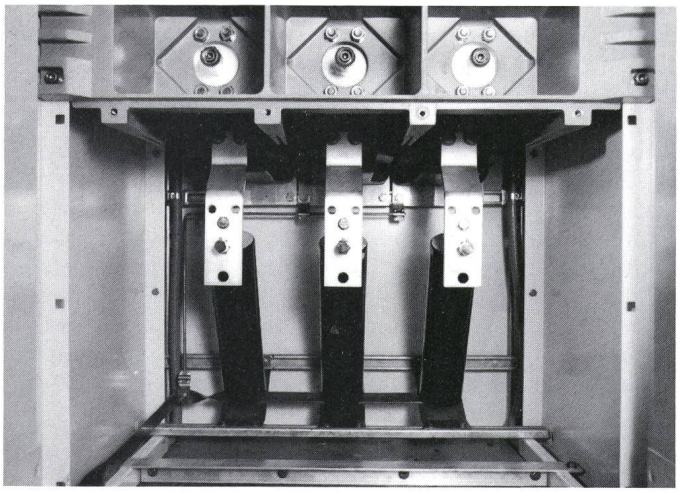
Die Verbesserung der Ableitertechnik wird die Betriebssicherheit der Mittelspannungsverteilnetze wesentlich erhöhen. Dazu kommen weitere wichtige Vorteile. Die geringere Beanspruchung der Isolation durch ein tiefes Schutzniveau lässt die zu erwartende Lebensdauer von Kabeln und Transformatoren ansteigen [3]. Ein guter, koordinierter Ableiterschutz



Figur 12 ABB-Typenreihe MWF

bringt daher auch erhebliche wirtschaftliche Vorteile. Dem optimalen Kompromiss zwischen wirtschaftlichem Aufwand und technisch Wünschenswertem dient ein breites Angebot. In der Tabelle I sind die elektrischen Hauptdaten der wichtigsten ABB-Mittelspannungsableiter zusammengestellt. Die «leichten» Reihen mit Nennableitströmen von 5 kA haben ein geringeres Energieaufnahmevermögen. Sie entsprechen am ehesten den konventionellen Funkenstreckenableitern. Die mittelschweren Reihen können bedeutend mehr Energie aufnehmen, und ihr Schutzniveau liegt, wie bereits beschrieben, tiefer. Die schwere Reihe MWA setzt neue Massstäbe, da sie auch schwersten Beanspruchungen standhält.

Dem *Energieaufnahmevermögen* eines Ableiters kommt grosse Bedeutung zu. Die im Netz auftretenden Beanspruchungen durch Blitze sind durch die von IEC gesammelten Statistiken gut bekannt [2]. Der 50-Prozent-Wahrscheinlichkeitswert aller weltweit gemessenen Blitzströme liegt immer-



Figur 13 Einbaubeispiel für MWF-Ableiter in einer metallgekapselten Mittelspannungs-Schaltanlage

a Überspannungsableiter MWF

b Anschlussfahne für Kabel

Merkmale, Anwendungsbereich	Typenreihe	Effektivwert des Nennableitstromes [kA]	Scheitelwert des Grenzableitstromes [kA]	RW-Wellenfestigkeit [A während 2000 µs]	Spezifisches Energieaufnahmevermögen [kJ/kV]	Auslegung der Druckentlastung [kA]
Universelle Anwendung für «leichte» Reihe	MVB	5	65	150	etwa 2	20
Universelle schwere Reihe	MWB	10	65	400	3,5	25
Für Gebiete mit starker Verschmutzung Kunststoffisolator	MWK	10	65	400	3,5	>25
Für gekapselte Felder	MWF	10	65	400	3,5	—
Stärkster Typ, universell einsetzbar	MWA	10	100	1000	8	63
Steckbarer Typ für gekapselte Felder	MUW	10	65	400	3,5	—

Tabelle I ABB-Überspannungsableiter für Mittelspannungsnetze unter 36 kV

hin bei 37 kA, und jede zweite Blitzentladung enthält mindestens zwei Folgeblitze (Multiple Strokes). Nun sind zwar die durch solche Blitzentladungen auf eine Leitung gestossenen Energiemengen nicht sehr gross, doch ist zu bedenken, dass MO-Ableiter auch öfter ableiten. Die induzierten Überspannungen, verursacht von Blitzentladungen, die in einiger Entfernung von der Leitung niedergehen, brachten Funkenstreckenableiter oft nicht zum Ansprechen [4]. Sie führten aber dann unter Umständen an einer weiter entfernten Reflexionsstelle zu einem Überschlag. Ein solches «Unterlaufen» der Ableiter ist mit funkenstrekkenlosen MO-Ableitern nicht mehr möglich. Diese sprechen immer, d.h. auch bei geringen Werten von induzierten Überspannungen, an und nehmen damit mehr und auch häufiger Energie auf.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der bereits in die Richtung von «mittelschweren» Ableitern weist, ist der zunehmende Anteil der Kabelstrecken in Verteilnetzen. In früheren Publikationen [5] wurde gezeigt, dass auch kurze Kabelstrecken und Einleitungen von Freileitungen in Mittelspannungsanlagen Überspannungsableiter an den Kabelendverschlüssen erfordern. Die in Kabelnetzen durch Blitz- oder Schaltüberspannungen gespeicherten Energien sind relativ gross und lassen «mittelschwere» Ableiter geeigneter für diese Aufgaben erscheinen.

Das *Schutzniveau* eines Ableiters ist ein weiteres wichtiges Auswahlkriterium. Bei funkenstreckenlosen Ableitern wird es durch den Durchmesser und die Höhe (entsprechend der Dauerspannung) der MO-Widerstände festgelegt. Widerstände mit grösserem Querschnitt ergeben ein höheres Energieaufnahmevermögen und etwas tiefere Restspannungen. Die Schutzcharakteristik moderner MO-Ableiter liegt so tief, dass man nicht unbedingt für das ganze Netz auf das kleinstmögliche U_c angewiesen ist. Es besteht deshalb die Möglichkeit, die Belastung der verschiedenen Ableiter in einem Netz sinnvoll zu steuern.

Wie erwähnt, bestehen die Aktivteile der modernen MO-Ableiter nur noch aus einem stark nichtlinearen Widerstand. Im Falle von betriebsfrequenten Überspannungen (z.B. Spannungsübertritt) oder Resonanzüberspannungen werden damit alle parallelen Ableiter ziemlich gleich stark be- oder überlastet. Man kann jedoch erreichen, dass nicht irgendeiner der angeschlossenen Ableiter ausbläst, sondern ein vorausbestimmter. Indem man z.B. den Innenraumableitern im Gebäude einer Schaltstation ein um etwa 10% höheres U_c gibt als den Freiluftableitern vor der Station, wird bewirkt, dass in einem 50-Hz-Überlastungsfall nur einer oder mehrere Freiluftableiter ausblasen und damit einen Kurzschluss einleiten. In einem solchen Fall liegt dann an der Kurzschlussstelle nur noch die Brennspannung des Lichtbogens, die sicher kleiner ist als die Betriebsspannung des Netzes und damit auch kleiner als die ungestörte Spannung an den anderen Ableitern dieser Phase. Diese sind damit selbst bei einer 50-Hz-Überspannung des Netzes entlastet.

Zusammenfassung

Unter diesen nur kurz umrissenen Bedingungen kann man zusammenfassend folgende Ratschläge für den Schutz der Mittelspannungs-Verteilnetze erteilen: Die geographische Lage eines zu schützenden Objektes, seine Bedeutung und sein Wert bestimmen, welche Baureihe angewendet werden soll. Exponierte Anlagen, unentbehrliche Netzpunkte und Anlagen erfordern die stärksten Ableiter mit dem höchsten Energieaufnahmevermögen. Die Spezialableiter der Reihe MWA sind dafür geschaffen. Der weitaus grösste Teil der Verteilnetze kommt mit der mittelschweren Reihe MWB aus. An Freileitungseinführungen von Stationen, Kabelendverschlüssen in Freiluft, an Masttransformatoren oder Längstrennungen von Freileitungen können diese modernen Ableiter überall angewendet werden. Ein Parallelbetrieb mit Netzteilen, die noch Funkenstrecken oder Funkenstreckenableiter enthalten, ist problemlos möglich. An Stellen, die starke Luftverschmutzungen aufweisen oder an denen ein Brechen der Gehäuse bei Überlastung und Ausblasen auszuschliessen ist, bietet sich die Reihe MWK an. Für Innenraumaufstellung, besonders unter beengten Raumverhältnissen in metallgekapselten oder geschotteten Feldern, eignet sich die Reihe MWF mit ihren kleinen Abmessungen ideal. Bei diesen Anlagen ist durch die kurz beschriebene Koordination mit den Freiluftableitern dafür zu sorgen, dass keine Überlastung des Innenraumableiters möglich ist.

Literatur

[1] *A. Mayer* und *R. Rudolph:* Funkenstreckenlose Überspannungsableiter ermöglichen optimalen Überspannungsschutz. Brown Boveri Technik 72(1985)12, S. 576 ... 585.

[2] *R.B. Anderson* et *A.J. Eriksson:* Les paramètres de la foudre en vue des applications industrielles. Electra - (1980)69, p. 65 ... 102.

[3] *G. Biasiutti:* Lebensdauer von Kunststoffenergiekabeln. Teil 1: Einflussfaktoren. Bull. SEV/VSE 79(1988)23, S. 1448 ... 1455.

[4] *M.F. Stringfellow:* Lightning-induced overvoltages on overhead distribution lines. International Conference on Lightning and Power Systems, 5 ... 7 June 1984. IEE Conference Publication Number 236(1984) p. 26ff.

[5] *R. Rudolph* und *A. Mayer:* Überspannungsschutz von Mittelspannungskabeln. Bull. SEV/VSE 76(1985)4, S. 204 ... 208.