Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 94 (2003)
Heft: 21

Artikel: Neue Wege im Überspannungsschutz
Autor: Schmidt, Walter / Greuter, Felix
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857609

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: 11.02.2026

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

Neue Wege im Überspannungsschutz

In Zukunft bilden Isolation und Überspannungsschutz eine Einheit

Die Isolation von elektrischen Netzen benötigt nicht nur viel Raum, sie verursacht auch Kosten. Neue Technologien bieten die Möglichkeit, den Überspannungsschutz direkt in die zu schützenden Betriebsmittel zu integrieren. Irgendwann wird es sogar möglich sein, die Isolierung selbst mit den Eigenschaften eines Überspannungsableiters auszustatten. In jedem Fall werden neue Technologien die Anforderungen an die Isolation drastisch reduzieren und damit für eine Senkung der Kosten und eine Steigerung der Funktionalität von zukünftigen Systemen sorgen.

Lange Zeit boten Funkenstrecken und Siliziumkarbid-Ableiter den besten Schutz vor Überspannungen aller Art in Stromversorgungssystemen. In den letzten zwanzig bis dreissig Jahren wurden diese vergleichsweise unberechenbaren Elemente von den Zinkoxid(ZnO)-Über-

Walter Schmidt, Felix Greuter

spannungsableitern auf Varistorbasis abgelöst, die heute die wichtigsten Schutzeinrichtungen in Isolationssystemen darstellen. Da sich die Eigenschaften ihrer Metalloxid-(MO)-Widerstände sehr gut kontrollieren lassen, bieten die Zinkoxid-Ableiter einen viel besseren Schutz als die älteren Technologien.

Die Spannungsstösse, die die varistorbasierten Ableiter beherrschen müssen, können sehr hoch sein, da sie von massiven Ereignissen wie Blitzschlägen oder Schaltüberspannungen herrühren. Die Aufgabe des Ableiters besteht darin, diese damit verbundenen plötzlichen Stromstösse zur Erde abzuleiten, um Beschädigungen an teuren Betriebsmittel zu vermeiden.

Auch den Einbauort der Ableiter muss man sorgfältig wählen. Dabei müssen besonders mögliche Reflexionspunkte im Netz berücksichtigt werden, denn Spannungsstösse können als Wellen reflektiert werden, wobei ihre Zerstörungsenergie zunimmt. Ein kritischer Faktor ist dabei

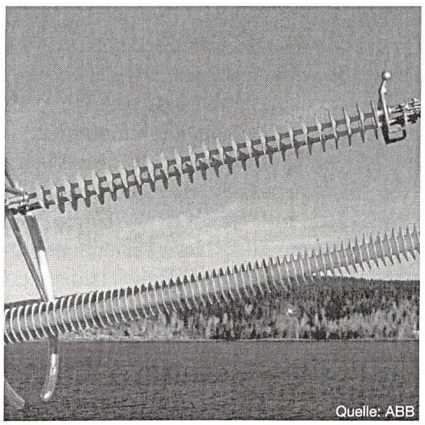


Bild 1 Ableiter für Übertragungsleitungen (TLA)
Der Ableiter ist kombiniert mit einer 400-kV-Langstab-Isolatorkette. Am Hochspannungsende befindet sich eine Abtrennvorrichtung (links).

die Steilheit der Wellenfront. Steile Wellen werden leichter reflektiert, und der Ableiter kann sie nur dann wahrnehmen, wenn sie in unmittelbarer Nähe auftreten. Dadurch wird die Länge des geschützten Leitungsabschnitts begrenzt. Dieser Bereich wird Schutzbereich bzw. Schutzdistanz genannt.

In der Isolationskoordination beginnen sich jetzt neue Lösungsansätze abzuzeichnen, die eine Kombination des Ableiters mit dem Betriebsmittel ermöglichen und damit ganz neue Gestaltungsmöglichkeiten eröffnen. Diese Lösungen zeichnen sich durch eine flexible Polymerisolation mit modernen MO-Widerständen aus [1, 2]. Ein typisches Beispiel ist eine Kombination aus Hängeisolator und Überspannungsableiter für effizienten Leitungsschutz, wie sie etwa in der ABB Pexlink-Produktfamilie [3] realisiert ist (Bild 1). Ähnliche Anwendungen sind auch für andere Betriebsmittel wie Trennschalter [4, 5], Transformatoren [5] und Leistungsschalter vorgesehen. Diese bieten neue wirtschaftliche Möglichkeiten in Mittel- und Hochspannungssystemen.

Isolationskoordination

Im weiteren Sinne beinhaltet die Isolationskoordination alle Massnahmen zur Vermeidung von Schäden durch Überspannungen in einem elektrischen System. Nach IEC ist die Isolationskoordination definiert als «Festlegung der dielektrischen Festigkeit von Betriebsmitteln, die für ein bestimmtes Netz vorgesehen sind, unter Berücksichtigung von Spannungen, die in diesem Netz in Anwesenheit der Überspannungsschutzeinrichtungen auftreten können». In diesem Zusammenhang bilden die Überspannungsableiter traditionell die erste Schutzstufe.

Wie das Beispiel in Bild 2 zeigt, verfügen MO-Überspannungsableiter über hervorragende Schutzeigenschaften. Die extrem nichtlineare Strom-/Spannungskennlinie hat ihren Ursprung in mikroskopischen Vorgängen an den Korngrenzen im keramischen Halbleiter [6].

Für den Einsatz von MO-Ableitern müssen hinsichtlich der Schutzeigen-

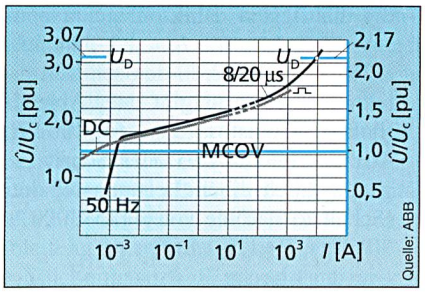


Bild 2 Schutzcharakteristik eines modernen Überspannungsableiters für die Verteilungsebene
$\hat{U}/U_c$: Restspannung; U_D: Scheitelwert. Beide Spannungen sind auf den Effektivwert der maximalen Dauerbetriebsspannung normiert ($\hat{U}_c$); I: Strom

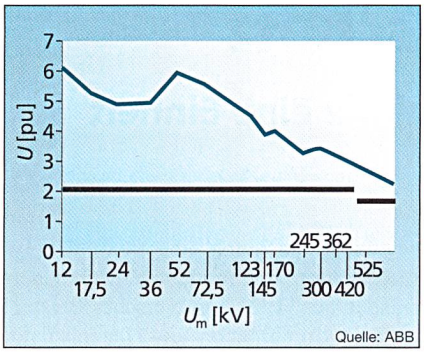


Bild 3 Unterer Isolationspegel (BIL)

Werte entsprechend der Normen für die Prüfung von Isolationsstrukturen für verschiedene Netzspannungen. Moderne Überspannungsableiter (die Gerade unten) bieten viel niedrigere Blitzstossspannungsschutzpegel (LIPL) als nach IEC gefordert. *U*: unterer Isolationspegel; U_m: effektive verkettete Spannung

schaften folgende wichtige Parameter bekannt sein:

- Die maximale Dauerbetriebsspannung U_c (MCOV): Diese Spannung wird so gewählt, dass sie genügend unterhalb des Kniepunktes der Kennlinie liegt. Dort sind die Ströme vorwiegend rein kapazitiv, die Leistungsverluste sind gering und ein dauerhafter Isolationsbetrieb ist gewährleistet. Doch kann der Ableiter für begrenzte Zeitspannen (Sekunden bis Stunden) bei erhöhten temporären Überspannungen (TOV) betrieben werden. So ist die von der IEC festgelegte Bemessungsspannung U_r ([7], für = 10 s) typischerweise um 25% höher als U_c (abhängig von der thermischen Auslegung des Ableiters).
- Die Restspannung oder Schutzpegel U_p für standardisierte Stromstösse im Bereich von über 100 A bis 100 kA. Häufig wird U_p auf den Scheitelwert $\hat{U}_c$ der maximalen Dauerbetriebsspannung normiert (manchmal auch auf den Effektivwert) und wird dann als Schutzfaktor *R* des Ableiters bezeichnet. Diese Impulse simulieren kritische Stossspannungen wie beispielsweise die häufigsten Blitzschläge (Nennstromstoss von I_N = 2,5–30 kA, 8/20 µs, $R \approx$ 1,7–2,2), den seltenen direkten Blitzeinschlag in einen Ableiter (hoher Stromstoss von 65–100 kA, 4/10 µs, $R \approx$ 2,5–2,9) oder Schaltvorgänge durch einen Leistungsschalter (Schaltstossströme von ≈ 125–3000 A, 30/60 µs, $R \approx$ 1,5–1,8).

Die tatsächliche Restspannung hängt in erster Linie von den Stromamplituden und in geringerem Masse von der Impulssteilheit ab (Bild 2).

Die Wahl des richtigen Überspannungsableiters setzt voraus, dass man die zu erwartenden Stossströme, die Isolationsfestigkeit der elektrischen Komponenten im System sowie die Erdungs- und temporären Überspannungsverhältnisse kennt. Dazu wird ein Blitzstoss-Koordinationsstrom I_N für die erwartete Blitzaktivität definiert. Dieser liegt für die meisten Netze typischerweise bei 10 kA, doch für die höchsten Spannungsstufen kann auch ein Wert von bis zu 40 kA gewählt werden. Eine Zusammenfassung der nach heutigen Standards geforderten Isolationspegel (BIL) für verschiedene Netzspannungen U_m bezogen auf den Scheitelwert der Leiter Erdspannung zeigt die oberen Kurve in Bild 3. Dargestellt sind nur jeweils die niedrigsten der von IEC festgelegten Werte, da die höheren BIL-Werte für eine bestimmte Systemspannung lediglich unterschiedliche Sicherheitsreserven widerspiegeln. Zum Vergleich sind als Geraden darunter typische Blitzstossspannungs-Schutzpegel für moderne MO-Ableiter für einen Fall angegeben, in dem $\hat{U}_c$ = 1 pu durch gute Erdungsverhältnisse ermöglicht wird (bei nicht starr geerdeten Netzen muss U_c gegebenenfalls auf den Wert von U_m oder wenig darüber erhöht werden).

Bild 3 zeigt deutlich, dass heute grosse Sicherheitsreserven zwischen der geforderten Isolationsfestigkeit der Betriebsmittel und dem durch moderne Überspannungsableiter gebotenen Schutz bestehen. Dies gilt besonders für niedrigere Netzspannungen (bis zu 170 kV).

Ableiter mit niedrigem Schutzpegel und erprobter Zuverlässigkeit gibt es bereits seit vielen Jahren. Daher ist es jetzt an der Zeit, die derzeitigen Verfahrensweisen zur Isolationskoordination zu überdenken. Jüngste Fortschritte in der Werkstofftechnik haben die Möglichkeit eröffnet, nicht nur überdimensionierte Isolationssysteme zu reduzieren, sondern auch die Überspannungsableiter besser angepasst im Netz zu platzieren.

Die Schutzdistanz

Überspannungsableiter bieten wie erwähnt nur über eine bestimmte Schutzdistanz *L* wirksamen Schutz. Dieser Parameter hängt stark vom Schutzpegel bzw. der Restspannung U_p des Ableiters und der Steilheit *S* der Überspannungswelle ab. Der Wert errechnet sich aus der Formel in Bild 4, wobei vom ungünstigsten Fall der Reflexion einer Welle an einem offenen Ende ausgegangen wird.

Je näher ein Ableiter an das zu schützende Betriebsmittel platziert wird, umso besser ist seine Schutzwirkung. Daraus lässt sich logischerweise schliessen, dass

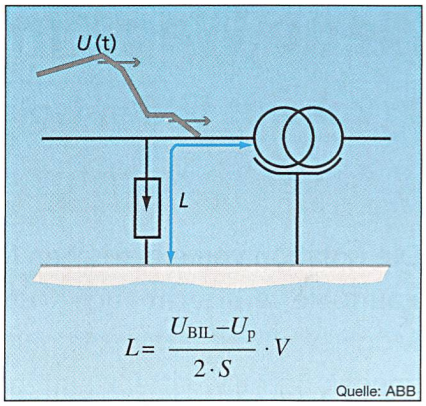


Bild 4 Wechselwirkung eines Überspannungsableiters mit einer einlaufenden Wanderwelle *U(t)*

L: Schutzdistanz in m; U_{BIL}: unterer Isolationspegel des Betriebsmittels in kV, U_p: Schutzpegel des Ableiters in kV; *S*: Steilheit der Wellenfront. Eine Steilheit von etwa 1200 kV/µs ist ein typischer Wert für entfernte Blitzeinschläge. *V*: Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle (bei Freileitung rund 300 m/µs, bei Kabel 150 m/µs)

der Ableiter eng mit dem Betriebsmittel verbunden oder sogar direkt in das Betriebsmittel integriert werden sollte, damit er den bestmöglichen Schutz gewährleistet.

Die Vorteile von integrierten gegenüber entfernt installierten Ableitern für den Überspannungsschutz liegen auf der Hand. So ist die Schutzwirkung besonders bei schnellen Überspannungen nicht nur besser und effizienter, sondern die direkte Kombination von Betriebsmittel und Ableiter ist auf Grund des geringeren Platzbedarfs auch wirtschaftlich günstiger und erfordert einen geringeren Aufwand bei Installation und Transport.

Diese Art der Integration wurde beispielsweise bei Transformatoren bereits erfolgreich realisiert, bei denen der Ableiter im Ölkessel untergebracht ist [8]. Ebenfalls bekannt sind Kombinationen mit Hochspannungs-Trennschaltern [4] und Mittelspannungs-Sicherungstrenn-

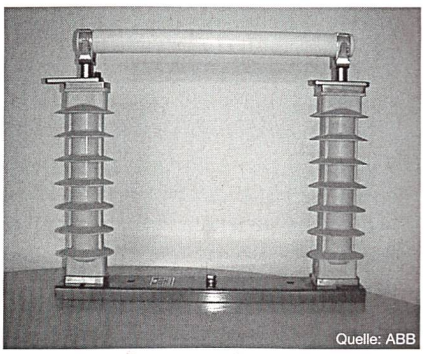


Bild 5 Sicherungs-Trennschalter

Der Stützisolator auf der linken Seite hat einen integrierten Überspannungsableiter vom Typ MWK, der Isolator rechts ist ein herkömmlicher Isolator.

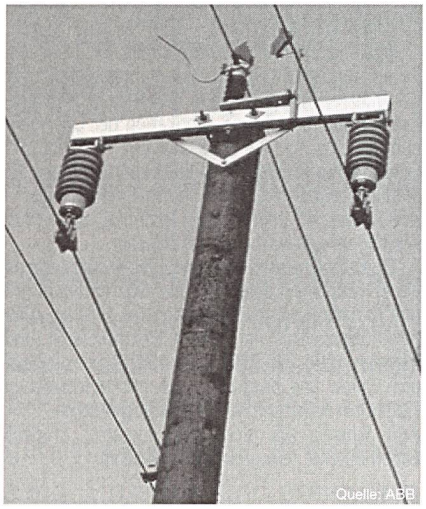


Bild 6 Kombinierte Hängeisolatoren und Überspannungsableiter für Freileitungen bieten mechanische Tragfunktion und Überspannungsschutz in einem Bauteil

schaltern. Bei dem Sicherungstrennschalter in Bild 5 wurde einer der Stützisolatoren durch einen Hochleistungs-Überspannungsableiter vom Typ MWK[1)] ersetzt. Das Ergebnis ist ein effizienterer Überspannungsschutz mit geringerem Platzbedarf und einfacherer Installation. Ebenfalls möglich ist die Integration der Überspannungsableiter in Leitungsisolatoren oder in Messwandlern. Bild 6 zeigt einen kombinierten Hängeisolator und Ableiter vom Typ Polim für Freileitungen, bei dem die mechanische Tragfunktion und der Überspannungsschutz in einem Bauteil zusammengefasst sind. Um einen effizienteren Schutz für Transformatoren [5] oder SF_6-Anlagen [9] zu erzielen, wurden Ableiter mit konventionellen Hochspannungsdurchführungen sowie mit gasisolierten Durchführungen

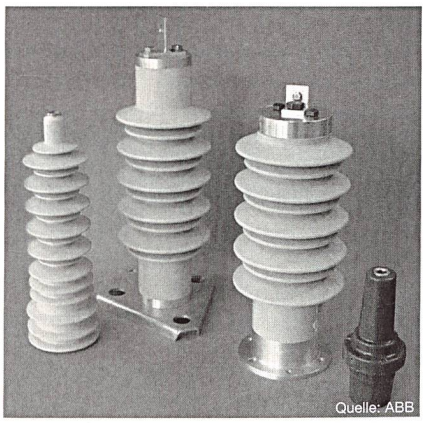


Bild 7 Möglichkeiten zur Integration von Ableitern

Der 24-kV-Ableiter (zweiter von links) und die Freiluftdurchführung (links) sind in einer kompakten Ableiter-Durchführung integriert worden (zweiter von rechts), welcher steckbar mit dem genormten Steckanschluss (rechts) verbunden werden kann.

baulich kombiniert. Bei der in Bild 7 gezeigten voll integrierten Mittelspannungsableiterdurchführung ist ein herkömmlicher Überspannungsableiter (der Klasse 2) mit einer Freiluftdurchführung zu einem einzigen aufsteckbaren Bauteil zusammengefasst. Solche Lösungen wurden durch die Entwicklung neuer rohrförmiger MO-Elemente ermöglicht, die eine extrem kompakte konzentrische Integration gestatten, ohne dass dabei die Funktionalität der Schutzeinrichtung oder der Durchführung beeinträchtigt wird.

Die Auswirkung einer solchen Integration auf den Verlauf des elektrischen Feldes der Betriebsmittel kann kritisch sein und muss bei der Konstruktion entsprechend berücksichtigt werden. So muss man beispielsweise die gegenseitige Beeinflussung benachbarter Teile auf die Feldverteilung sorgfältig prüfen.

Feldberechnungen und Prüfungen haben gezeigt, dass optimierte, hochintegrierte Lösungen möglich sind. Bild 8 zeigt das Feldlinienbild für einen Kabelendverschluss mit integriertem Überspannungsableiter. Dieses Beispiel zeigt deutlich die gleichmässige Feldverteilung in Anwesenheit der MO-Elemente, die in dem integrierten Gerät gleichzeitig die Funktion der elektrischen Feldabsteuerung und der Überspannungsbegrenzung übernehmen.

Ein möglicher Nachteil der Integration von Betriebsmittel und Ableiter ist die Gefahr, dass die Funktionalität des Betriebsmittels durch eine Überlastung des Ableiters beeinträchtigt werden könnte. Doch die Wahrscheinlichkeit eines solchen Falles kann durch das Design und die Wahl eines höheren Energieaufnahmevermögens – z.B. IEC Klasse 2 statt Klasse 1 – verringert werden. Bei dem in Bild 6 gezeigten Beispiel der Kombination eines Hängeisolators mit Ableiter wurden sogar Ableiter der IEC Klasse 3 gewählt, um die Wahrscheinlichkeit von Fehlern zu reduzieren und die grösstmögliche Verfügbarkeit auch bei einer hohen Blitzdichte zu gewährleisten. Natürlich hat die Integration des Ableiters auch Auswirkungen auf die Prüfung der Isolationsfestigkeit, so dass neue Prüfkriterien erforderlich sind. Mit diesem Problem beschäftigt sich in ähnlicher Weise unter anderem die IEC 60694.

Überspannungsschutz – quo vadis?

Der heutige Trend zur Integration von Überspannungsableitung und Isolationsfunktion zum Schutz von elektrischen Betriebsmitteln dürfte sich in den kom-

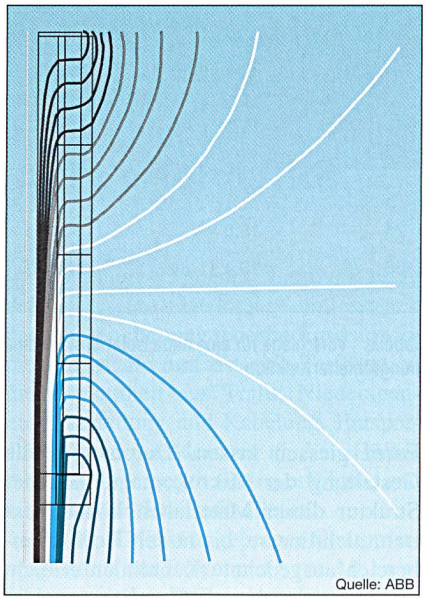


Bild 8 Elektrische Feldverteilung für den hochintegrierten 24-kV-Ableiter-Kabelendverschluss

menden Jahren weiter verstärken. Besonders vor dem Hintergrund der Liberalisierung und Privatisierung werden die Anlagenbetreiber den damit verbundenen Kosteneinsparungen und der möglichen Steigerung der Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit der Betriebsmittel kaum widerstehen können. Mit der Entwicklung der Schutzkonzepte vom heute üblichen Schutz einzelner kritischer Punkte innerhalb des Systems hin zu einem flächendeckend verteilten Schutz für das gesamte Netz können auch die Isolationskoordination revidiert und die Isolationspegel der Standards nach unten korrigiert werden. Die Tabelle zeigt eine Möglichkeit, wie die Systemisolation im Rahmen einer solchen neuen, interaktiven bzw. dynamischen Isolationskoordination in Richtung eines «neuen» unteren Isolationspegels (BIL) reduziert werden könnte. Für starr geerdete Netze und Netze mit schneller Erdschlussunterbrechung könnten auf jeden Fall drastische Reduzierungen erreicht werden. Die Spannung wäre nie höher als die Restspannung der interaktiven Isolation, und Schutzdistanzprobleme wären kein Thema mehr. Mit fortschreitender Integration werden die Grenzen zwischen Isolation und Schutz immer mehr verschwinden, bis schliesslich das Material selbst die Aufgaben der Überspannungsableitung übernimmt.

Solche Entwicklungen sind auf keinen Fall unrealistisch und entsprechende Forschungsarbeiten sind bereits im Gange. So werden z.B. neue Polymer-Verbundstoffe auf der Basis von Mikrovaristoren [10] entwickelt, die sich in jede beliebige

U_m [kV]	Betriebsbeanspruchung (1 pu, Scheitelwert) [kV]	Isolation Aktueller BIL nach IEC [kV]	Schutzsystem Interaktive Ableiter Starr geerdet U_p [kV]	Nicht starr geerdet U_p [kV]	Isolation Neuer BIL-Vorschlag [kV]
12	9,8	60/75	20	≤ 34	< 50
24	19,6	95/125	40	≤ 66	< 80
36	29,4	145/170	65	≤ 105	< 120

Tabelle Vorschläge für eine neue Isolationskoordination: dynamische Isolation mit integrierter Überspannungsableiterfunktion

Form giessen lassen. Durch spezielle Gestaltung der Mikrokontakte und der Struktur dieser Materialien können extrem nichtlineare, bis in den Hochstrombereich ausgedehnte Kennlinien erreicht werden, wie sie zur Bewältigung von Stossströmen erforderlich sind. Dies könnte ein erster Schritt in Richtung einer dynamischen Isolation mit Selbstschutz sein, welche die derzeitigen Methoden der Isolationskoordination drastisch verändern wird.

La protection contre la surtension se lance dans de nouvelles voies

A l'avenir, isolement et parasurtension constitueront une unité

L'isolation des réseaux électriques prend non seulement beaucoup de place, elle entraîne aussi des coûts. De nouvelles technologies permettent d'intégrer la protection parasurtension directement aux moyens d'exploitation à protéger. A un moment donné, il sera même possible de doter l'isolement lui-même des propriétés d'un parasurtension. De toute manière, les nouvelles technologies réduiront radicalement les exigences posées à l'isolement, entraînant une réduction des coûts et une augmentation de la fonctionnalité des systèmes futurs.

Angaben zu den Autoren

Dipl.-Ing. ***Walter Schmidt*** ist seit 1965 bei BBC Baden, später ABB, als Hochspannungsspezialist für GIS und Freiluftisolation tätig. Seit 1986 ist er verantwortlich für Technik und Fabrikation der Überspannungsableiter. Schmidt ist derzeit Vice President und Leiter des Profit Center des ABB-Werks Wettingen für Metalloxidwiderstände und Überspannungableiter.
ABB Schweiz AG, High Voltage Technologies, CH-5430 Wettingen, walter.schmidt@ch.abb.com

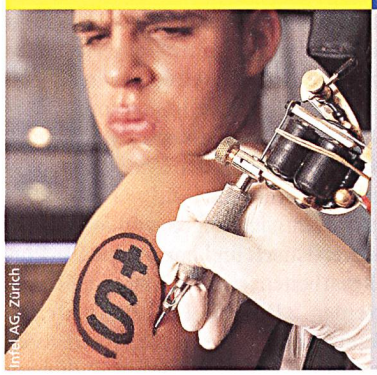
Dr. ***Felix Greuter***, dipl. phys. ETH, promovierte an der ETH Zürich auf dem Gebiet der Oberflächenphysik und ist nach Auslandaufenthalten seit 1982 am ABB-Forschungszentrum im Bereich Elektrokeramik und Polymere tätig. Seit 2002 ist er ABB Corporate Research Fellow und beschäftigt sich mit verschiedenen Fragen zur Ableiter- und Isolationstechnologie.
ABB Schweiz AG, Corporate Research, CH-5405 Baden-Dättwil, felix.greuter@ch.abb.com

Referenzen

[1] *W. Schmidt:* Die neuen POLIM-Überspannungsableiter mit Silikonisolation für Mittelspannungsnetze. ABB Technik 2/96, 32–38.
[2] *T. Skytt, H. E. G. Gleimar:* Wachablösung: Kunststoff ersetzt Porzellan bei Überspannungsableitern. ABB Technik 1/02, 43–47.
[3] ABB-Publikation SESWG/A 2110E Pexlink Ed 2, 1999.
[4] *V. Hinrichsen, et al.:* Cigre 2000, paper 33–104.
[5] *W. Schmidt:* Metal-oxide: An almost ideal surge arrester. Bulletin SEV/VSE 7/1998, p.13.
[6] *F. Greuter, et al.:* Der Metalloxid-Widerstand: Kernelement moderner Überspannungsableiter. ABB Technik 1/89, 35–42.
[7] IEC 60071 part 1 (1993) and 2. Insulation coordination.
[8] *M. Kobayashi, et al.:* Built-in type ZnO arresters for distribution pole transformers. Cigre SC 33-95 and Cigre Working Group 33.11TF 03. Application of Metal Oxide Surge Arresters to Overhead Lines.
[9] Siemens Infosheet 3ED2, 03/2000: Combined arrester-bushing for gas-insulated switchgear.
[10] *R. Strümper, P. Kluge-Weiss, F. Greuter:* Smart varistor composites. Advances in Science and Technology, Intelligent materials and systems, 1995, Vol. 10, 15–22.

[1] MWK: Metalloxid mit Silikon-Kunststoff-Isolation, eine ABB-Typenbezeichnung.

La sicurezza «sulla pelle»



I prodotti sicuri non nascono per caso.
I prodotti sicuri sono contrassegnati.

Prestate attenzione al contrassegno di sicurezza dell'Ispettorato federale degli impianti a corrente forte (IFICF). Questa marchio attesta in modo visibile il collaudo e l'attenta sorveglianza del mercato che contraddistingue prodotti sicuri e privi di interferenze. www.esti.ch

Il marchio di conformità SEV vi offre inoltre la certezza che tali prodotti sono sottoposti ad una continua sorveglianza in tutte le fasi di produzione.
Per ulteriori informazioni visitate il sito www.electrosuisse.ch

Eidgenössisches Starkstrominspektorat
Inspection fédérale des installations à courant fort
Ispettorato federale degli impianti a corrente forte
Inspecturat federal d'implants da current ferm

www.esti.ch
Luppmenstrasse 1
8320 Fehraltorf
Tel. 01 956 12 12

Sicuro è sicuro.