Eine universelle Prüfanlage für Metalloxid-Überspannungsableiter ohne Funkenstrecken

Autor(en): **Modrušan, Martin / Kehl, Ladislaus**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **89 (1998)**

Heft 11

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902085

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Im vorliegenden Beitrag wird eine universelle Prüfanlage beschrieben, die der normengerechten Prüfung von Metalloxid-Überspannungsableitern (MOA) aller fünf IEC-Leitungsentladungsklassen dient. Die Anlage setzt sich aus zwei Hauptkomponenten zusammen: einem Stossstromgenerator zur Erzeugung exponentieller und rechteckförmiger Stossströme sowie einer Wechselspannungs-Prüfanlage, die auf die besonderen Bedürfnisse der Ableiterprüfung zugeschnitten ist. Ferner kann mit Hilfe des Stossstromgenerators auch der energiereiche Schaltstossstrom der Form 30/80 µs mit einer Amplitude bis zu 40 kA erzeugt werden.

Eine universelle Prüfanlage für Metalloxid-Überspannungsableiter ohne Funkenstrecken

■ Martin Modrušan und Ladislaus Kehl

Nachdem in den Mittel- und Hochspannungsnetzen funkenstreckenlose MO-Ableiter aufgrund ihrer besseren Schutzcharakteristik mehr und mehr den Silizium-Karbid-Ableiter (SiC- oder Ventilableiter) mit Serienfunkenstrecken zu verdrängen begannen, wurde 1991 eine neue internationale Norm [1] für die Prüfung von funkenstreckenlosen Ableitern verabschiedet. In der Norm wird eine Alternative für die Auslegung des Stossstromgenerators beschrieben, die in der Norm zur Prüfung von Ventilableitern [2] nicht enthalten ist. Im weiteren soll etwas näher auf die Unterschiede zwischen beiden Auslegungskriterien eingegangen werden.

Sinn und Zweck der Prüfung mit Rechteckstossströmen ist es, die Fähigkeit eines Ableiters nachzuweisen, energiereiche Belastungen, wie sie aufgrund von Schalthandlungen im Netz auftreten können, schadlos zu überstehen. Die rechteckförmigen Prüfströme werden dabei in einem Prüfkreis erzeugt, der eine Nachbildung der entsprechenden Hochspannungsleitung (eine L-C-Kette) darstellt (Bild 1). Während für 2,5-kA-, 5-kA- und 10-kA-Ventilableiter leichter Ausführung der Scheitelwert des Rechteckstossstromes in der Norm für Ventilableiter [2] direkt vorgegeben wird, müssen bei 10-kA- und 20-kA-Ableitern schwerer Ausführung die Wellenimpedanz des zu verwendenden Stossstromgenerators sowie die Ladespannung anhand der Tabelle 5 der Norm aus der Bemessungsspannung U_r des Teilableiters sowie seiner Leitungsentladungsklasse bestimmt werden. Der Nachteil einer derartigen prüflingsabhängigen Definition des Generators ist, dass für jede Bemessungsspannung U_r eines Teilableiters zwischen 3 kV und 12 kV ein anderer Prüfkreis mit völlig unterschiedlichen Kreisparametern erforderlich ist. Im Extremfall, falls zum Beispiel alle fünf IEC-Leitungsentladungsklassen zwischen 3 kV und 12 kV mit bis zu sieben möglichen Ableiterbemessungsspannungen zu prüfen sind, müssen dafür insgesamt 35 verschiedene Prüfkreise aufgebaut werden. Drei weitere Prüfkreise kommen noch hinzu, sollen auch Ableiter mit Nennableitströmen unter 10 kA bzw. leichter Ausführung geprüft werden können. Auf der anderen Seite ist dieses Vorgehen verständlich, da die in der Regel magnetisch beblasenen Serien-

Adressen der Autoren
Martin Modrušan, Dr.-Ing., Berater für HS-Impulstechnik, Thiersteinerstrasse 24/2 4153 Reinach BL, und *Ladislaus Kehl* Dipl. Ing., Raychem GmbH, Haidgraben 6 D-85521 Ottobrunn

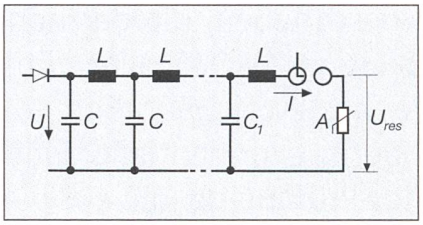


Bild 1 Grundschaltung zur Erzeugung von Rechteckströmen

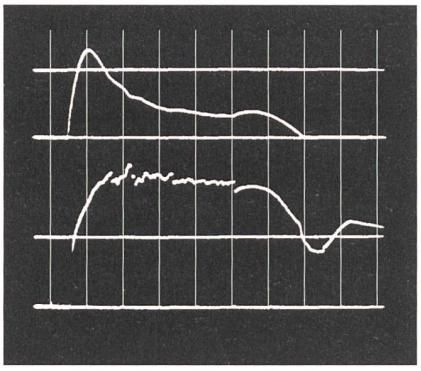


Bild 2 Verhalten eines Funkenstreckenableiters

Gemessener Verlauf der Restspannung eines Ventilableiters mit magnetisch beblasenen Funkenstrecken (oben) und des entsprechenden Rechteckstromes (unten); Kalibrierlinien: I = 640 A, U = 9,14 kV, 500 µs/div

funkenstrecken im Ventilableiter eine genaue Bestimmung der im Ableiter umgesetzten Energie anhand des Spannungs- und Stromverlaufes äusserst schwierig machen. Bild 2 veranschaulicht das Problem. Deutlich ist das Abreissen und Wiederzünden des Stromes bei der Prüfung eines kommerziellen Ventil-Teilableiters mit Rechteckströmen zu erkennen.

Die Norm zur Prüfung von funkenstreckenlosen MOA [1] lässt neben dieser wenig flexiblen, starren Auslegung des Prüfkreises (Variante A) eine weitere, weitaus attraktivere Variante zu, bei der für die fünf verschiedenen Leitungsentladungsklassen anstatt der Parameter des Prüfkreises die vom Ableiter zu absorbierende Energie, also die an sich wesentliche physikalische Grösse, festgelegt wird (Variante B). Wie bei Ventilableitern wird für Ableiter mit Nennableitströmen unter 10 kA weiterhin der Scheitelwert des Rechteckstossstromes direkt vorgegeben. Auf diesen Fall soll im weiteren aber nicht näher eingegangen werden, zumal der Einsatz dieser Ableiter zumindest in Europa nicht sehr verbreitet oder sehr stark rückläufig ist.

Variante A

In dieser Variante entspricht das Vorgehen bei der Auslegung des Stromstossgenerators dem Vorgehen bei der Prüfung von Ventilableitern. Der Prüfkreis ist, wie bereits beschrieben, gemäss den Angaben in Tabelle I und der Bemessungsspannung I_r des Ableiters sowie seiner Leitungsentladungsklasse auszulegen. Dadurch wird gewährleistet, dass die im Prüfling umgesetzte Energie dem gewünschten Wert entspricht, nämlich

$$W = U_{res}\,(U_L - U_{res})\,T/Z \qquad (1)$$

wobei U_{res} der kleinste Wert der Restspannung bei der Vorprüfung der drei Prüflinge mit dem Schaltstossstrom ist, U_L die Ladespannung des Prüfkreises, Z die Wellenimpedanz des Prüfkreises (L-C-Kettenleiter) und T die virtuelle Dauer des Rechteck-Stromimpulses (die Dauer, während der I mindestens 90% des Amplitudenwertes erreicht).

Wie bereits erwähnt, gewährleistet diese Variante zwar eine sehr realitätsnahe Prüfung der MO-Teilableiter, die Prüfanlage selbst kann jedoch nur für diesen einen Typ von Teilableiter verwendet werden, was in der Regel sehr unwirtschaftlich ist. Um die Anlage auch für andere Teilableitertypen verwenden zu können, müssen bereits bei der Auslegung der wichtigsten Anlagekomponenten alle zu prüfenden Ableiterkonfigurationen berücksichtigt werden. Eine spätere Anpassung verursacht in der Regel Kosten, die unter Umständen weit über den Kosten für einen weiteren, einfachen Generator liegen. Auf der anderen Seite sind für eine Anlage mit mehreren Konfigurationen weit mehr Energiespeicherkondensatoren notwendig, als zur Deckung des eigentlichen Energiebedarfs überhaupt notwendig wären. Ferner müssen alle Drosselspulen mit einer Reihe von Anzapfungen ausgeführt werden, um die unterschiedlichen Wellenimpedanzen realisieren zu können. Auch die Handhabung und die korrekte Einstellung des Generators werden mit wachsender Anzahl an möglichen elektrischen Verbindungen immer schwieriger und zeitraubender. Eine Auslegung der Prüfanlage alleine nach Kriterien der Tabelle I ist deswegen nicht ratsam.

Eine detaillierte Diskussion der erwähnten Nachteile ist in [3] zu finden.

Variante B

Als eine Alternative zur Variante A bietet [1] die Möglichkeit, jeden Stossstromgenerator zu benützen, der die folgenden Bedingungen erfüllt:

- die Impulsdauer muss dem in Tabelle I angegebenen Wert entsprechen
- die Schwingungen in der Front und im Scheitel des Stromes dürfen nicht mehr als 10% der Amplitude betragen
- die im Ableiter umgesetzte Energiemenge muss bei jedem Impuls und bei jedem der Prüflinge zwischen 100% und 110% des anhand der Formel (1) errechneten Wertes liegen

Diese Variante ist ebenfalls in [3] beschrieben und dort eingehend erklärt.

Bei einer Auslegung des Prüfkreises entsprechend den Daten in Tabelle I, das heisst entsprechend Variante A, kann die erforderliche gespeicherte Energiemenge des Prüfkreises in Abhängigkeit der Bemessungsspannung und der Leitungsentladungsklasse mit Hilfe des Diagramms in Bild 3 bestimmt werden. Bei einem Generator, der nach Variante B ausgelegt wird, weicht in der Regel die gespeicherte Energiemenge von diesem Wert ab, ohne dass dabei jedoch die im Prüfling umgesetzte Energiemenge beeinflusst wird. Diese wird von Fall zu Fall als Integral

$$\int u_{res}(t)\cdot i(t)\,dt$$

ermittelt und muss mit den vorgegebenen Werten übereinstimmen ($u_{res}(t)$ und $i(t)$ sind die Augenblickswerte der Restspannung und des Stromes im Ableiter). Die Impulslänge ist jedoch bei beiden Varianten auf die gleiche Art und Weise über die Induktivität und die Kapazität der Stufen des L-C-Kettenleiters einzustellen. Generelle Hinweise zur Auslegung des Prüfkreises in Form eines L-C-Kettenleiters sind in [5] enthalten.

Ableiterklasse	Leitungs-entladungs-klasse	Wellenimpedanz des L-C-Ketten-leiters, Z [Ω]	Virtuelle Dauer des Strom-impulses, T [µs]	Ladespannung des Prüf-kreises U_L [kV d.c.]
10 000 A	1	4,9 U_r	2000	3,2 U_r
10 000 A	2	2,4 U_r	2000	3,2 U_r
10 000 A	3	1,3 U_r	2400	2,8 U_r
20 000 A	4	0,8 U_r	2800	2,6 U_r
20 000 A	5	0,5 U_r	3200	2,4 U_r

Tabelle I Daten der Rechteckstossstrom-Prüfkreise gemäss Tabelle IV in [1]

U_r ist die Bemessungsspannung des Teilableiters in kV_{rms}

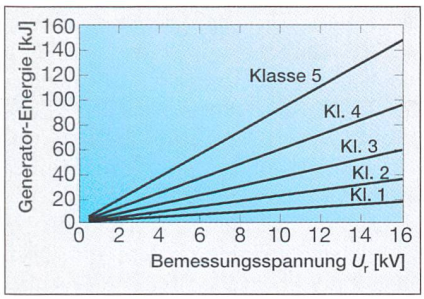


Bild 3 Energiebedarf eines nach [1] ausgelegten Rechteck-Stossstromgenerators (vgl. Tab. I) in Abhängigkeit der Bemessungsspannung U_r des zu prüfenden MO-Teilableiters

Im Vergleich zur Variante A bietet die Variante B eine wesentlich höhere Flexibilität bei der Zusammenstellung der MO-Teilableiter, da die Bemessungsspannungen in weiten Grenzen frei gewählt werden können. Die Prüfung nach [1] wird dadurch wesentlich einfacher. Als weitere Vorteile der Variante B sind zu nennen:

- Die im Teilableiter umgesetzte oder umzusetzende Energiemenge kann mit Hilfe der variablen Ladespannung sehr einfach an die berechneten Werte angepasst werden.
- Einige Komponenten des Generators (im wesentlichen die Energiespeicherkondensatoren und die Schaltfunkenstrecke) können auch zur Erzeugung von Exponentialimpulsen gemäss [1] genutzt werden. Die dafür notwendige Umbauzeit beträgt lediglich etwa 15 Minuten, wenn der Generator entsprechend konstruiert ist.
- Durch eine konzentrierte Bauweise des Generators kann eine so kleine Eigeninduktivität erreicht werden, dass selbst der Steilstossstrom 1/<20 µs realisiert werden kann.

Konzept des Prüfsystems

Das hier beschriebene MO-Ableiter-Prüfsystem ist für die Durchführung aller Stossstromprüfungen sowie für die Arbeitsprüfung (Operating Duty Test) gemäss [1] ausgelegt. Die einzige Ausnahme bildet die Prüfung der Wechselspannungs-Zeitkennlinie (d.h. die Messung der maximalen Wechselspannung, die der Ableiter in Abhängigkeit der Prüfdauer aushalten kann) gemäss Punkt 5.10 der Norm [1]. Sie erfordert eine leistungsfähigere Wechselspannungsquelle, sofern die maximal zulässigen Wechselspannungen auch für Zeiten unter 10 s zu überprüfen sind. Für Zeitintervalle, die länger als 10 s sind, kann die Prüfanlage auch für diese Prüfung verwendet werden.

In Bild 4 ist ein Blockschema der gesamten Prüfanlage dargestellt. Diese besteht aus zwei wesentlichen Teilen. Links vom Prüfling *A* befindet sich der Wechselspannungsteil aus Steuergerät *Pacs*, Hochspannungstransformator *HT*, Tiefpassfilter *F* und Trennschalter *S*. Auf der rechten Seite ist der über dem Schutzglied *Pr* angeschlossene Stossstromgenerator gezeigt, der nach Bedarf wahlweise als Hochstromgenerator [4] oder als L-C-Kettenleitergenerator [5] geschaltet werden kann. Mit dieser Prüfanlage können folgende Prüfungen durchgeführt werden:

a) Restspannungsprüfung mit Steilstoss-, Blitzstoss- und Schaltstossstrom, Stossstromprüfung mit Rechteckstossstrom. Der Schalter *S4b* ist geschlossen (d.h. der Stossstromgenerator ist an den Prüfling angeschlossen), die Schalter *S4a* und *S3* sind geöffnet (dann ist der Wechselspannungsteil der Prüfanlage vom Prüfling getrennt).
b) Arbeitsprüfung mit Hochstossstrom 8/20 µs bei gleichzeitig anliegender Wechselspannung U_{AC} (Conditioning). Die Schalter *S3*, *S4a* und *S4b* sind geschlossen (d.h. sowohl der Wechselspannungsteil als auch der Stossstromteil der Prüfanlage sind an den Prüfling angeschlossen).

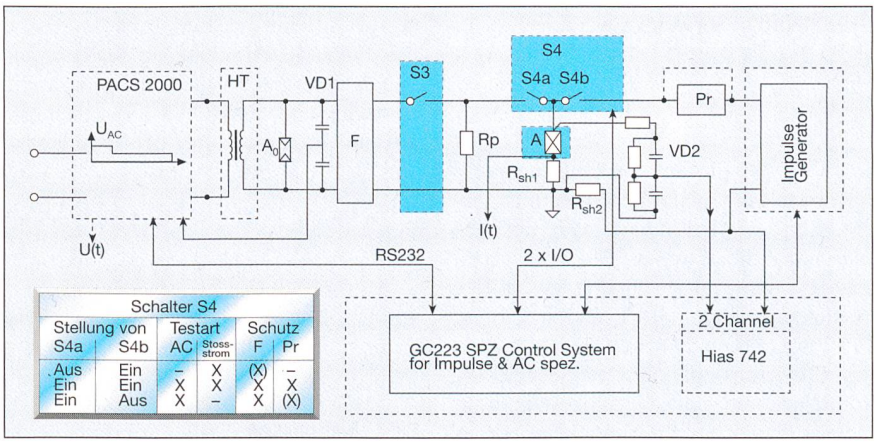
Bei den besonders energiereichen Stossströmen darf der Norm [1] folgend die Wechselspannung U_{AC} auch innerhalb von 100 ms nach der letzten Stossstrombeanspruchung zugeschaltet werden. In diesem Falle sind die Schalter *S3* und *S4b* geschlossen und *S4a* zunächst geöffnet (d.h. die Wechselspannungsquelle ist vorbereitet, um mit dem Schalter *S4a* schnell zugeschaltet werden zu können). Nach dem letzten Stromimpuls wird dann der Schalter *S4a* innerhalb der geforderten 100 ms geschlossen, so dass die Wechselspannung am Prüfling anliegt. Gleichzeitig wird der Schalter *S4b* geöffnet, um dadurch den Stossgenerator sicher vom Prüfling und von der Wechselspannungsquelle zu trennen.

Im folgenden sollen die einzelnen Prüfanlagenteile kurz beschrieben werden.

Stossstromgenerator

Der für das MO-Ableiter-Prüfsystem entwickelte Stossstromgenerator ist entsprechend der Variante B ausgelegt. Er kann zur Erzeugung aller in [1] geforderten Stossstromprüfungen verwendet werden, und zwar für alle IEC-Leitungsentladungsklassen mit einer Bemessungsspannung U_r des Teilableiters zwischen 3 und 12 kV. Selbstverständlich können auch Teilableiter mit Nennableitströmen unter 10 kA geprüft werden. Ein Foto des Generators ist in Bild 5 zu sehen.

Der Generator besitzt zwölf Energiespeicherkondensatoren, die hufeisenförmig in radialer Richtung um die zentrale Schaltfunkenstrecke angeordnet sind. Die Drosselspulen der Kettenleiter sind als Solenoide ausgeführt und stehen neben den jeweiligen Kondensatoren senkrecht am Boden. Zeitraubende Einstellungsarbeiten sind auf ein Minimum beschränkt. Aufgrund der günstigen Anordnung dieser Komponenten kann die Umschaltung zwischen doppelt exponentiellen Impulsen und Rechteckstossströmen in etwa 15 Minuten erfolgen. Mit lediglich vier Einzelschaltungen der Drosselspulen bei ansonsten unveränderter Konfiguration der Kondensatoren können alle Rechteckstossstrom-Prüfungen durchgeführt werden. Alle anderen geforderten Impulsparameter werden über die Ladespannung des Generators eingestellt.



Schalter S4					
Stellung von		Testart		Schutz	
S4a	S4b	AC	Stossstrom	F	Pr
Aus	Ein	–	X	(X)	–
Ein	Ein	X	X	X	X
Ein	Aus	X	–	X	(X)

Bild 4 Blockschema der Prüfanlage zur Prüfung des Betriebsverhaltens von MOA gemäss [1]

A: Prüfling; A_0: Schutzableiter; F: Tiefpassfilter; HT: Hochspannungstransformator; Pr: Schutzglied des Stossstromgenerators; Pacs: Wechselspannungs-Kontrolleinheit; R_p: Potentialwiderstand; R_{sh1}: Wechselstrom-Shunt; R_{sh2}: Stossstrom-Shunt; S3: Trennschalter; VD1: Wechselspannungsteiler; VD2: Stossspannungsteiler

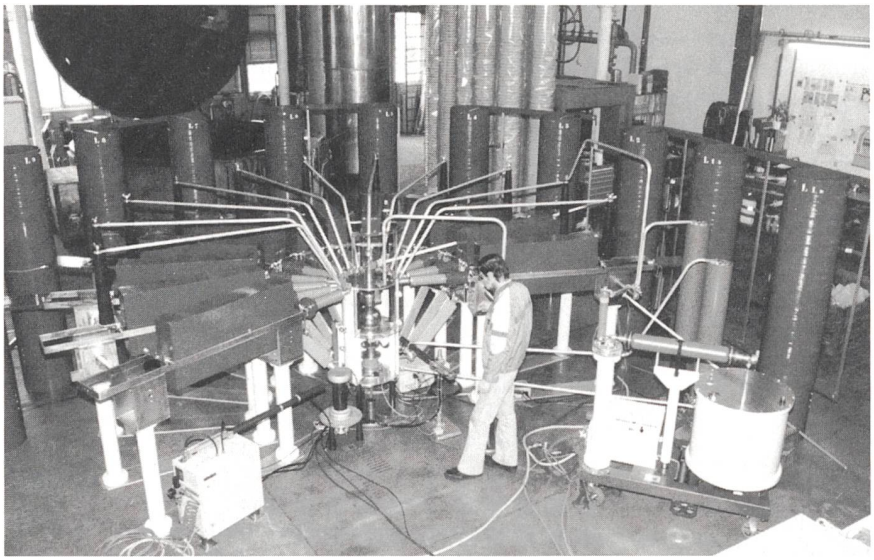


Bild 5 Stossstromgenerator zur Prüfung von MOA mit Exponential- und Rechteckströmen gemäss [1]

Prüfkreise für doppelt exponentielle Stossströme

Die doppelt exponentiellen Stossströme (8/20 µs, 4/10 µs, 30/80 µs und 1/<20 µs) werden in einem Prüfkreis gemäss Bild 6 erzeugt, wobei alle drei Kreiselemente (C, L und R) für den gewünschten Stromimpuls neu eingestellt werden müssen.

Die höchste erforderliche Energiemenge, die im Stossstromgenerator gespeichert werden muss, wird durch den Schaltstossstrom 30/80 µs, 40 kA festgelegt. Dieser Stossstrom wird für die Prüfung der Restspannung bei Schaltstossströmen benötigt, jedoch nur bei Ableitern der Leitungsentladungsklassen 1 bis 5 [1].

Die genaue Auslegung des Prüfkreises hierzu ist in [4] zu finden. Für eine rasche Abschätzung der minimal erforderlichen gespeicherten Energiemenge W_G des Prüfkreises kann für $u_{res} > 0{,}4$ jedoch folgende Formel verwendet werden:

$$W_G \approx K\, T_k \,/\, (1-u_{res}) \qquad (2)$$

wobei $K = i_m U / 2\,\eta$,

$T_k = \sqrt{LC}$,

$u_{res} = U_{res}/U$ die auf die Ladespannung bezogene maximale Restspannung des Ableiters, i_m der Scheitelwert des gewünschten Stossstromes, U die maximale Ladespannung des Generators, η der Ausnutzungsfaktor des Prüfkreises ohne Prüfling, L die Induktivität des Stosskreises, C die Kapazität der Energiespeicherkondensatoren und U_{res} die maximale Restspannung des Prüflings beim Strom i_m ist.

Eine weitere Vereinfachung ist für alle Stromimpulse möglich, die ein Verhältnis der Rückenhalbwertszeit zur Stirnzeit $T_2/T_1 \approx 2{,}5$ (4/10 µs, 8/20 µs und 30/80 µs) haben. Bei optimaler Auslegung des Prüfkreises kann bei diesen für die charakteristische Zeitkonstante des Kreises $T_k \approx T_1$ eingesetzt werden, was eine schnellere Bestimmung von W_G ermöglicht. Der einzige Stossstrom, der nicht auf diese Weise berücksichtigt werden kann, ist der 1/<20 µs. Die maximal erforderliche Stromamplitude beträgt bei dieser Impulsform jedoch nur etwa 20 kA, und die dafür notwendige gespeicherte Energiemenge ist wesentlich kleiner als für die anderen Impulse. Es ist jedoch bei der Abschätzung der erforderlichen Energie zu beachten, dass die Restspannung der MOA bis zu einem gewissen Grad auch von der Impulsform abhängig ist. So kann die Restspannung bei gleicher Stromamplitude beim Steilstossstrom 1/<20 µs um bis zu 10% über der Restspannung bei einem Blitzstossstrom 8/20 µs liegen (Bild 7). Dabei handelt es sich nicht etwa um Einkopplungen in das Messsystem, die aufgrund der grösseren Stromsteilheit deutlicher in Erscheinung treten, sondern um einen Effekt, der in der Physik des MO-Ableiter-Materials begründet ist. Mehr Details dazu sind in [7] zu finden.

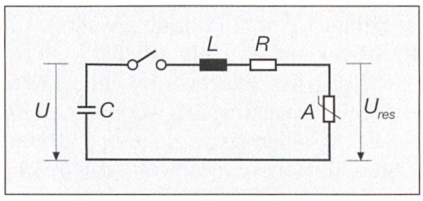


Bild 6 Prüfkreis für doppelt exponentielle Stromimpulse

Wie aus der Formel für W_G zu ersehen ist, stellt die relative Höhe der Restspannung u_{res} bei der Auslegung des Prüfkreises eine wichtige Grösse dar. In Bild 8 ist die vom Prüfkreis bezogene Energie $w_G = W_G/W_{G,min}$ für exponentielle Stromimpulse mit einem Verhältnis $T_2/T_1 \approx 2{,}5$ in Abhängigkeit der bezogenen Restspannung $u_{res} = U_{res}/U$ dargestellt. Im Falle eines aperiodisch gedämpft verlaufenden Stromimpulses (ohne Unterschwingen) ergibt sich bei $u_{res} \approx 0{,}3$ ein Minimum für die im Generator zu speichernde Energie. Für Restspannungen $u_{res} < 0{,}33$ kann im Stromverlauf jedoch auch ein Unterschwingen auftreten, das der Norm entsprechend nicht über 20% der maximalen Stromamplitude hinausgehen darf. Im vorliegenden Falle wurde ein maximales Unterschwingen von 10% angenommen und $W_{G,min}$ entsprechend festgelegt. Wie aus den beiden Kurven ersichtlich ist, stellt die Realisierung eines aperiodisch gedämpft verlaufenden Stromimpulses bei kleinen bezogenen Restspannungen $u_{res} < 0{,}33$ eine weniger wirtschaftliche Lösung dar. Ausserdem kann hierbei der Stromimpuls bei $u_{res} = 0$ (kurzgeschlossener Prüfling) nicht mehr mit einer etwa zehnprozentigen Toleranzgrenze für T_2 und T_1 realisiert werden.

Dank der kreisförmigen Anordnung der Energiespeicherkondensatoren um die Entladefunkenstrecke (Bild 5) ist die Eigeninduktivität des Generators sehr gering. Dadurch ist es möglich, auch den Steilstossstrom 1/<20 µs und den Hochstossstrom 4/10 µs mit höheren Amplituden, als in [1] gefordert, zu erzeugen. Ta-

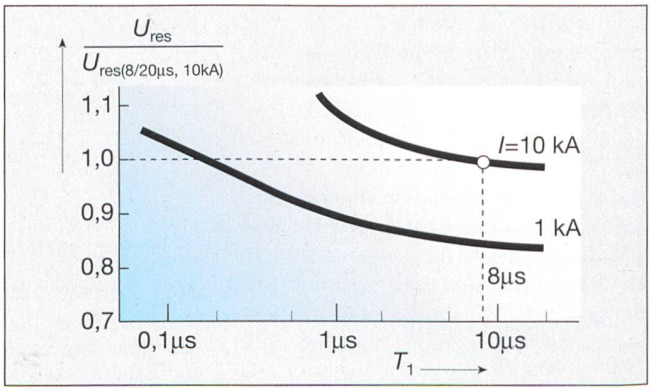


Bild 7 Restspannung U_{res} bezogen auf die Restspannung $U_{res\ 8/20\ ms;\ 10\ kA}$ als Funktion der Stirnzeit T_1 exponentieller Stromimpulse

4/10 µs	120 kA
8/20 µs	50 kA
1/<20 µs	20 kA
30/80 µs	40 kA

Tabelle II Erreichbare Stromamplituden in Abhängigkeit der Impulsform

Leitungs entladungs-klasse	T [µs]	W_{soll} [kJ]
1	2000	≤ 15
2	2000	≤ 30
3	2400	≤ 45
4	2800	≤ 55
5	3200	≤ 65

Tabelle III Merkmale des Generators

T = Impulsdauer bei 0,9 I_{max}, W_{soll} = maximal erforderlicher Energieumsatz im MO-Teilableiter für U_r = 12 kV

belle II zeigt eine Liste der erreichbaren Amplituden unter Berücksichtigung von Prüflingen mit einer Bemessungsspannung U_r zwischen 3 und 12 kV.

In Bild 9 sind Aufzeichnungen der gemessenen, für die Dimensionierung kritischen Impulse dargestellt. Dabei war für den Energiebedarf des Stossgenerators der Stromimpuls 30/80 µs, 40 kA ausschlaggebend, während der steile Stromimpuls 1/<20 µs, 20 kA für die Auslegung des Stromkreises mit möglichst kleiner Eigeninduktivität ausschlaggebend war.

Prüfkreise für Rechteck-Stromimpulse

Der Generator wurde entsprechend den Forderungen der Variante B nach den Daten der Tabelle III ausgelegt.

Bei der Bestimmung des Energieumsatzes im Prüfling sollte die kleinste Restspannung beim Schaltstossstrom 30/80 µs berücksichtigt werden. Die Norm gibt als Anhaltspunkt für diesen Wert $U_a/U_{res} = 2{,}0$ an [1]. Die diesem Wert entsprechenden spezifischen Energiewerte $W' = W/U_r$ sind in Tabelle IV aufgeführt.

Die Stromwerte in Tabelle IV wurden anhand folgender Daten ermittelt:

$I \approx W/(U_a T_{eff})$ mit
U_a = Restspannung beim Schaltstrom gemäss Definition in [1]
$T_{eff} \approx 1{,}25\ T$ und
T = effektive Impulsdauer (U bei 90% der Amplitude)

Da die kleineren Werte von U_a/U_{res} eher für höhere Ableiterklassen gelten [1], sind die in Tabelle IV angegebenen Stromwerte bei den niedrigen Leitungsentladungsklassen vermutlich etwas zu gross. Diese Daten sind deshalb lediglich als obere Grenze bei der Auslegung des entsprechenden Prüfkreises zu betrachten. Zu beachten ist dabei allerdings, dass dadurch die Energie des Prüfkreises um die Verluste im Prüfkreis höher angesetzt werden muss. Ausserdem muss der Ausnutzungsgrad η_w der Energien in Abhängigkeit der Abschlussimpedanz des Kettenleiters, die häufig mit $R_A = U_a/I$ angegeben wird, beachtet werden (Bild 10 und [5]). In diesem konkreten Fall ist, wie bereits erwähnt, die maximale Energie des kombinierten Generators durch den Impuls 30/80 µs, 40 kA festgelegt. Diese Energiemenge liegt über der für die Prüfung eines MO-Teilableiters mit einer Bemessungsspannung von $U_r = 12$ kV und einer Leitungsentladungsklasse 5 notwendigen Energiemenge.

In Bild 11 sind die Rechteckströme und die entsprechenden Restspannungen für die Leitungsentladungsklassen 1 und 5 dargestellt, wie sie mit diesem Generator erzeugt werden konnten.

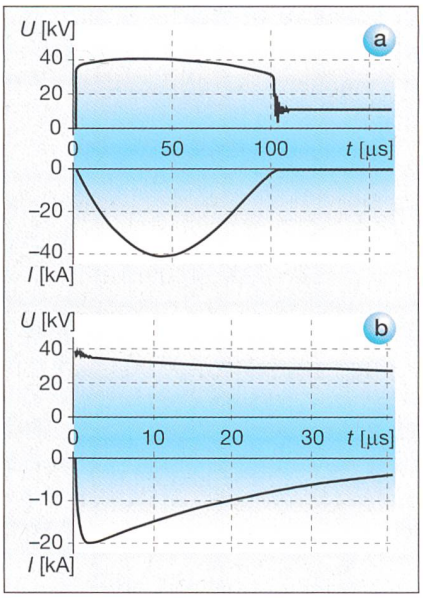


Bild 9 Gemessene doppelt exponentielle Stromimpulse

oben: Schaltstoss-Impuls 30/80 µs, 40 kA
unten: Steilstoss-Impuls 1/<20 µs, 20 kA

Leitungs-entladungs-klasse	Minimale Rest-spannung bei Schaltstossstrom [p.u.]	Impuls-dauer [ms]	Spezifische Energie W' [kJ/kV]	Amplitude des Stromes I [A]
1		2,0	1,0	200
2		2,0	2,0	400
3	2	2,4	3,0	500
4		2,8	4,2	600
5		3,2	5,0	625

Tabelle IV Spezifische Energie W' der MO-Teilableiter für die Nennströme 10 000 A und 20 000 A gemäss [1]

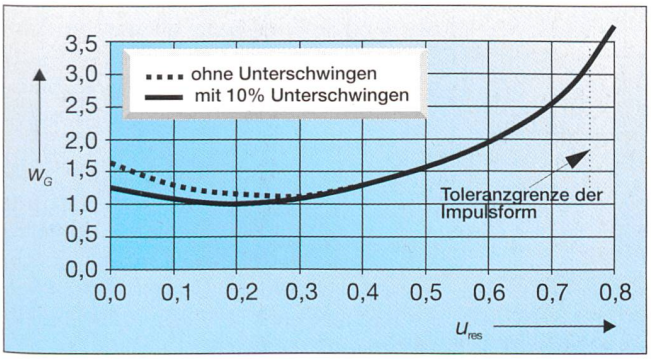


Bild 8 Relativer Energiebedarf w_G eines Prüfkreises für die Erzeugung exponentieller Stossströme in Abhängigkeit der relativen Restspannung u_{res} des zu prüfenden MO-Teilableiters

Wechselspannungs-Prüfsystem

Der Wechselspannungsteil des Prüfsystems besteht aus folgenden Komponenten (Bild 4):

Kontrolleinheit Pacs 2000, mit der die Höhe der Bemessungsprüfspannung, deren zeitliche Dauer und die Höhe der Dauerprüfspannung sowie deren Dauer vor der Versuchsdurchführung eingestellt werden können. Die Kontrolleinheit besteht im wesentlichen aus einem mikroprozessorgesteuerten Sinusgenerator mit A/D-Umsetzer (Analog/Digital-Wandler) und nachgeschaltetem Leistungsverstärker. Das Einschalten der vor Versuchsbeginn eingestellten Spannungsamplitude erfolgt durch ein digitales Triggersignal. Nach Ablauf der eingestellten Zeit (in der Regel 10 s) wird die Amplitude auf den zweiten vorgegebenen Wert eingestellt. Die Zu- und Abschaltung sowie die Umschaltung der Ausgangsspannung erfolgt dabei immer im Nulldurchgang. Da die

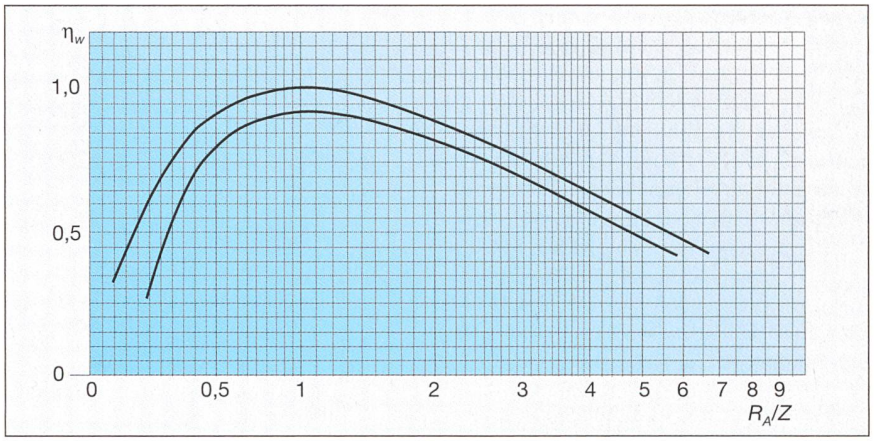


Bild 10 Ausnutzungsgrad eines Rechteck-Stossstromgenerators

R_A ist die Abschlussimpedanz des Kettenleiter-Prüfkreises und Z die Wellenimpedanz des Kettenleiters. Obere Kurve: verlustloser Prüfkreis; untere Kurve: realer Prüfkreis

Erzeugung der Wechselspannung netzunabhängig ist und auf digitalem Wege erfolgt, kann die Zuschaltung zu jedem beliebigen Zeitpunkt erfolgen. Damit Lastschwankungen, die während einer Arbeitsprüfung zu erwarten sind, sich nicht auf die Höhe der Wechselspannung auswirken, kann die am Prüfling anliegende Spannung über einen Spannungsteiler zur Kontrolleinheit für einen Soll-Ist-Wert-Vergleich eingespeist werden. Spannungseinbrüche und Verzerrungen werden so bis zu einem gewissen Grad ausgeregelt. Die Funktionsweise des Leistungsteils der Kontrolleinheit entspricht somit, sehr stark vereinfacht, der eines elektronischen Operationsverstärkers mit hoher Ausgangsspannung.

Einphasen-Hochspannungstransformator (HT), der die Ausgangsspannung der Kontrolleinheit auf die erforderliche Hochspannung transformiert. Der Transformator ist bezüglich der zu übertragenden Leistung grosszügig dimensioniert, um die Lastabhängigkeit seiner Ausgangsspannung klein zu halten. Dies ist bei der Arbeitsprüfung wichtig, damit die am Ableiter anliegende Spannung trotz der grossen Laständerung aufgrund der Hochstrombeanspruchung nicht in weiten Bereichen nachgeregelt werden muss.

Schutzelemente (A_0, F), die den Hochspannungstransformator vor steilen und hohen Überspannungen schützen. Der Transformator wird mit Hilfe eines Tiefpassfilters F und eines Überspannungsableiters A_0 geschützt. Die Aufgabe des Filters besteht darin, die Steilheit der innerhalb von einigen wenigen Nanosekunden ansteigenden Restspannungsimpulse zu verringern. Ohne das vorgeschaltete Filter würden diese die Windungsisolation des Transformators sehr stark gefährden. Der Überspannungsableiter wird benötigt, um bei einer Fehlentladung des Stossstromgenerators ohne angeschlossenen Prüfling die Spannung an den Klemmen des Transformators zu begrenzen. Da die Ladespannung des Stossstromgenerators wesentlich höher als die Isolierfestigkeit der Transformatorwicklung ist, würde eine solche Fehlentladung mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zu einem Durchschlag der Wicklung führen.

Trennschalter S3, der lediglich für eine sichtbare Trennung des Wechselspannungskreises vom Rest der Prüfanlage benötigt wird.

Multikontaktschalter S4 mit zwei Schaltbolzen *S4a* und *S4b*, die zum Zu- und Abschalten der Wechselspannungsquelle sowie des Stossstromgenerators dienen. Die Kontakte des Schalters *S4* sind speziell für Impulsbeanspruchungen mit hohen Stromamplituden ausgelegt.

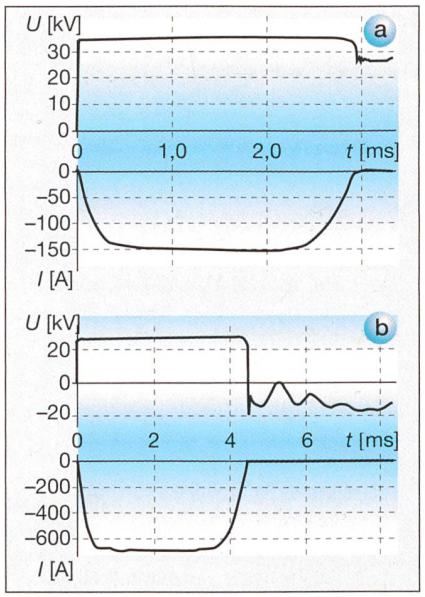


Bild 11 Gemessene Rechteck-Stromimpulse

oben: für Leitungsentladungsklasse 1
unten: für Leitungsentladungsklasse 5

Der Schaltbolzen *S4a* kann innerhalb von 100 ms geschlossen werden und dient zum Zuschalten der Wechselspannungsquelle während der Arbeitsprüfung eines Ableiters. Der Schaltbolzen *S4b* dient in ähnlicher Weise zum Zu- bzw. Abschalten des Stossstromgenerators, wobei dieser jedoch nicht innerhalb von 100 ms geschaltet werden kann. In Bild 4 sind die möglichen Kombinationen der Stellungen *EIN* und *AUS* der Schaltbolzen *S4a* und *S4b* angegeben.

Wechselstrom-Shunt R_{sh1}, der zur Messung des netzfrequenten Ableitstromes des Prüflinges dient. Um die teilweise sehr kleinen Leckströme eines MOA zu messen, wird ein verhältnismässig hoher Widerstandswert zwischen 0,1 und 1 Ω benötigt. Da der Shunt aus Erdungsgründen jedoch nur so in den Prüfkreis eingebaut werden kann, dass auch der Stossstromimpuls über ihn fliesst, muss der Shunt für die Zeit des Hochstromimpulses überbrückt werden. Dies kann mit Hilfe eines Relais erfolgen, dessen Kontaktzungen aufgrund der hohen Stromamplituden allerdings einem hohen Verschleiss unterliegen. Eleganter ist die Verwendung von Leistungsdioden, die Impulsströme der Impulsform 8/20 µs bis zu 100 kA tragen können. Der Wechselstrom-Shunt ist aus zwei solchen antiparallel geschalteten Leistungsdioden aufgebaut, die den eigentlichen Shunt überbrücken. Der maximale für die Messung des Leckstromes nutzbare Spannungsabfall beträgt 0,5 V, die maximale am Messgerät anliegende Spannung bei einem Stossstrom von 100 kA beträgt weniger als 50 V. Eine detailliertere Beschreibung eines auf dieser Basis aufgebauten Wechselstrom-Shunts ist in [6] zu finden.

Einsatz des Prüfsystems zur Arbeitsprüfung

Die in der Norm [1] festgelegten Arbeitsprüfungen unterscheiden sich abhängig von der Leitungsentladungsklasse ein wenig. Sie können jedoch alle in zwei Abschnitte unterteilt werden:

- die Konditionierung mit doppelt exponentiellen Stossstromimpulsen der Form 8/20 µs, wobei die Wechselspannung während der gesamten Zeit am Ableiter anliegt,
- die eigentliche Prüfung der Stabilität des Ableiters mit Hochstromimpulsen der Form 4/10 µs und, je nach Leitungsentladungsklasse, auch mit Rechteckströmen, wobei die Wechselspannung erst nach dem letzten Impuls zugeschaltet wird.

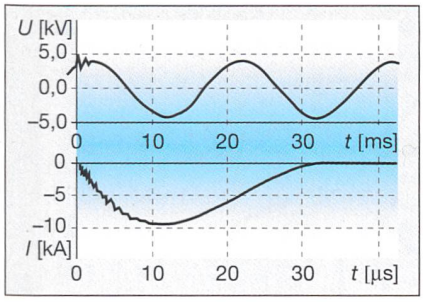


Bild 12 Konditionierung eines MO-Teilableiters gemäss [1]

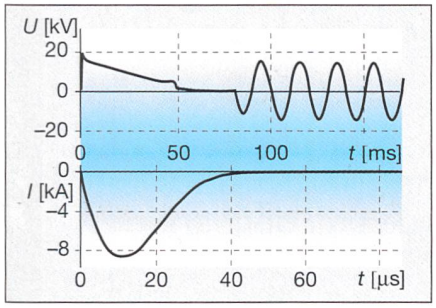


Bild 13 Kontrolle der Zuschaltung der Wechselspannung nach letztem Stromstoss innerhalb von 100 ms gemäss [1]

Während der Konditionierung befinden sich beide Kontakte der Schalter *S3* und *S4* (*S4a* und *S4b*) in der Position *EIN*, und der Stossstromgenerator ist zur Erzeugung der 8/20-µs-Stromimpulse geschaltet. Ferner ist ein Generatorschutzelement *Pr* (Bild 4) zwischen Generator und Prüfling geschaltet. Seine Aufgabe besteht darin, die am Prüfling anliegende Wechselspannung vom Generator fernzuhalten, insbesondere nach der Entladung des Generators. In [1] wird eine Mehrfachfunkenstrecke für diesen Zweck vorgeschlagen, deren Anwendung in der Praxis jedoch häufig erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Günstiger ist die Verwendung von MO-Varistoren, die zwar ein wenig Energie aufnehmen, so dass im Generator entsprechend mehr Energie gespeichert werden muss, aber dafür ihre Aufgabe sehr zuverlässig erfüllen.

In Bild 12 ist die an den MOA angelegte Wechselspannung und ein überlagerter Stossstrom der Form 8/20 µs während der Konditionierung zu sehen.

Zur Prüfung der Stabilität des MOA ist das Generatorschutzelement nicht erforderlich, da der Schaltkontakt *S4a* den Wechselstromkreis vom Generator trennt. Das heisst, der Schaltkontakt *S4a* befindet sich in der Position *AUS* und der Schaltkontakt *S4b* in der Position *EIN*. Mit dem letzten Stromimpuls wird der Schaltkontakt *S4a* innerhalb von 100 ms geschlossen und so die Verbindung zwischen der Wechselspannungsquelle und dem Prüfling hergestellt. In dieser Zeit kann die zur Zündung des Stossstromimpulses verwendete Kugelfunkenstrecke wieder verfestigen, so dass das Generatorschutzelement während des gesamten zweiten Teils der Arbeitsprüfung nicht benötigt wird. Kurze Zeit nach dem Schliessen des Schaltkontaktes *S4a* wird die Wechselspannungs-Kontrolleinheit getriggert und die Wechselspannung zugeschaltet. Bild 13 zeigt den Verlauf der Spannung beim Einschalten der Wechselspannungsquelle nach dem letzten Stromimpuls einer Arbeitsprüfung.

Literatur

[1] Metal-Oxide Surge Arresters without Gaps for A.C. Systems, International Standard IEC 99-4, 1991-11.

[2] Non-Linear Resistor Type Gapped Surge Arresters for A.C. Systems, International Standard IEC 99-1,1991-05.

[3] *A. Bargigia, G. Mazza, G. Carrara, M. de Nigris:* Evolution of Long Duration Current Impulse Withstand Test on Surge Arresters for H.V.A.C. Systems, IEEE Trans. on Power Del., Vol. PWRD-1, No. 4, Oct. 1986.

[4] *M. Modrušan:* Realisation of the Prescribed Exponential Impulse Currents for Different Kinds of Test Samples, Int. Symposium on High Voltage Engineering, Zurich, 1975.

[5] *M. Modrušan:* Long-Duration Impulse Current Generator for Arrester Tests According to IEC Recommendations, Bulletin SEV 68(1977)24, S. 1304.

[6] *W. Köhler:* A New Shunt for the Measurement of Low Level A.C. Currents, 7th Int. Symp. on High Voltage Engineering, Dresden, 1991, Paper No. 64.01.

[7] *W. Schmidt, J. Meppelink, B. Richter, K. Feser, L. Kehl:* Behaviour of MO-Surge-Arrester Blocks to Fast Transient, IEEE WM 1988 New York, Paper No. 88 WM 034-1.

Essais de parafoudres à oxyde métallique

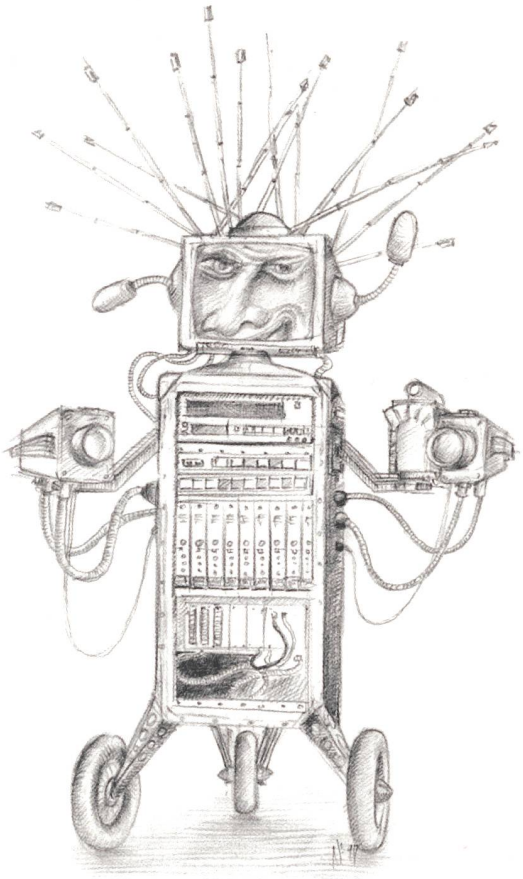
Dans le présent article on décrit une installation universelle qui permet de tester, selon la norme CEI [1], des parafoudres à oxyde métallique sans distances de décharge. Elle est constituée de deux composants principaux: un générateur de courants de choc qui permet de générer non seulement les courants de choc exponentiels nécessaires mais aussi les courants de choc rectangulaires, et une installation d'essai en tension alternative qui est conçue à la mesure des besoins particuliers des essais de parafoudres. Il est ainsi possible de tester de manière simple les parafoudre partiels à oxyde métallique de toutes les cinq classes de décharge de puissance CEI [1] jusqu'à une tension de dimensionnement de $U_r \leq 12$ kV. En outre, on peut aussi générer à l'aide de ce générateur un courant de choc de manœuvre de haute énergie de forme 30/80 µs d'une amplitude de jusqu'à 40 kA.

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

Unsere

Sicherheits-fachleute

werfen ein Auge auf Sie.



Wenn Sie auf Nummer Sicher gehen wollen, brauchen Sie ein zuverlässiges System. Ein Fernsehüberwachungssystem, das für Ihre Bedürfnisse massgeschneidert ist und Menschenleben sowie Sachwerte rund um die Uhr schützen kann. Unsere guten Referenzen verteilen sich über Verkehr, Industrie, Dienstleistung und Gewerbe und geben Ihnen ein erstes Bild über unsere Möglichkeiten. Wir freuen uns darauf, unsere grosse Erfahrung und unsere innovativen Produkte für Sie einzusetzen.

REDIFFUSION
COMMUNICATION SYSTEMS

Basel, Yvonand, Schwerzenbach – Sonnenbergstrasse 72, 8603 Schwerzenbach
Telefon 01 806 37 70, Fax 01 806 37 80, www.rediffusion.ch

LICHT 98

13. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Österreichs, Deutschlands, der Niederlande und der Schweiz.

Mit begleitender Fachausstellung

16. 9. - 18. 9. 1998
Festspiel- und Kongresshaus
Bregenz

Wir danken folgenden Firmen für die Unterstützung des Kongresses:

AUVA

TRIDONIC

ZUMTOBEL STAFF
DAS LICHT ®

Weitere Unterlagen können angefordert werden bei:

**Lichttechnischer Gesellschaft Österreichs (LTG)
Postfach 148
A-2340 Mödling
Telefon, Fax: (0043) 2236 42 651**