

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: 81 (1990)

Heft: 7

Artikel: Prüfung von Metalloxid-Ableitern mit steilen Stromimpulsen

Autor: Modrusan, Martin

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903106>

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: 14.02.2026

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

Prüfung von Metalloxid-Ableitern mit steilen Stromimpulsen

Martin Modrusan

Die Prüfungen von Metalloxid-Ableitern mit steilen Stromimpulsen ergaben vielerorts widersprüchliche Resultate in bezug auf die gemessenen Restspannungen. Die vorliegenden Untersuchungen lassen vermuten, dass im Spannungsmesskreis induzierte Spannungsspitzen zu solchen Messfehlern führten, und zeigen auf, mit welchen Massnahmen sich diese bei Stromimpulsen mit Frontdauern bis unter 1 µs vermeiden lassen.

Pour les parafoudres à oxydes de métaux les essais aux impulsions de courant raides ont en de nombreux endroits produit des résultats contradictoires en ce qui concerne les tensions résiduelles mesurées. Les présentes études permettent de supposer que de telles erreurs de mesure résultent de pointes de tension induites dans le circuit de mesure, et elles montrent qu'on peut les éviter pour des impulsions avec une durée de front même inférieure à 1 µs.

Die neue Generation der funkenstreckenlosen Ableiter auf der Basis der besonders stark nichtlinearen Metalloxid-Widerstände wird dank besseren Schutzigenschaften in zunehmendem Masse auf allen Spannungsebenen eingesetzt. Von den meisten Ableiterherstellern werden deshalb nur noch die Metalloxid-Ableiter (MOA) gebaut. Da die Eigenschaften von MOA wesentlich von den früheren SiC-Ableitern (die noch eine Seriefunkstrecke hatten) abweichen, musste konsequenterweise auch die ganze Prüftechnik neu überlegt werden. Seit mehreren Jahren ist man im internationalen Rahmen bemüht, die für SiC-Ableiter geltende IEC Publication 99-1 (Lightning arresters) für die Anwendung auf MOA zu überarbeiten. Die noch nicht abgeschlossene diesbezügliche Arbeit des IEC-Komitees 37 ist in [1] angegeben. Darin werden unter anderem auch zwei neue Impulsformen für die MOA-Prüfung vorgesehen, und zwar ein Steilstossstrom (Frontzeit 1 µs) sowie ein Schaltstrom (ungefähr 40/100 µs). Mit dem steilen Stromimpuls soll insbesondere die vielerorts beobachtete Anfangsspannungsspitze (initial voltage peak) kontrolliert werden. Viele Ableiterhersteller prüfen jedoch MOA mit z.T. noch strengeren Impulsformen wie z.B. mit solchen, die eine Frontzeit bis hinunter zu 0,1 µs haben.

Wenn man bedenkt, dass auch der bisherige Hochstromimpuls 4/10 µs nicht immer einfach zu erzeugen war, wird klar, dass jede Impulsverkürzung mit entsprechenden Schwierigkeiten bei der korrekten Auslegung der betreffenden Prüfgeneratoren verbunden ist. Im vorliegenden Bericht wird deswegen dieser Problematik besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Um mögliche Fehlmessungen zu vermeiden, wird auch auf die heikle messtechni-

sche Erfassung der Spannungsabfälle am MOA bei derart steilen Stromimpulsen hingewiesen.

Steilstromgeneratoren als einfache Serieschwingkreise

Wie oben erwähnt, erhofft man sich von Steilstromimpulsen, die durchaus auch im Betrieb auftreten können (z.B. bei sehr nahen Blitzeinschlägen), eine verbesserte Information über die maximalen Restspannungen (d.h. Schutzpegel) der MOA. Wie bereits in [2] gezeigt wurde, kann der in [1] vorgesehene kurze Stromimpuls (Frontzeit $T_f = 1 \mu s$) in einem normalen, d.h. für die übrigen beiden Normimpulse 8/20 µs und 4/10 µs vorgesehenen Prüfkreis erzeugt werden (s. Bild 1). Den Verlauf des Stromimpulses (Bild 2) errechnet man durch Integration der Gleichung (1):

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i dt + iR + u_r = U \quad (1)$$

Durch die Ermittlung der 10%- und 90%-Zeiten in Front ($t_{0,1}$ und $t_{0,9}$) sowie der 50%-Zeit im Rücken ($t_{0,5}$) kann die Stirnzeit als

$$T_f = 1,25 (t_{0,9} - t_{0,1}) \quad (2)$$

und die Rückenhalbwertzeit als

$$T_r = t_{0,5} + 0,125 (t_{0,9} - t_{0,1}) \quad (3)$$

berechnet werden.

Da der kurze Stromimpuls mit $T_f = 1 \mu s$ keine streng vorgeschriebene Rückenhalbwertzeit aufweisen muss, genügt es meistens, den für Impuls 4/10 µs ausgelegten Prüfkreis entsprechend mit dem Widerstand R zu dämpfen, um die gewünschte Frontzeit T_f sowie die erforderliche Strom-

Adresse des Autors

Dr. Martin Modrusan, Emil Haefely & Cie. AG,
4052 Basel 28

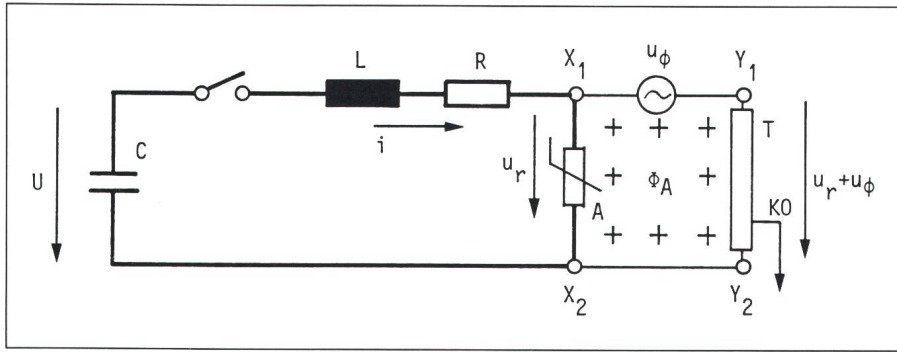


Bild 1 Konventioneller Prüfkreis für 8/20µs- und 4/10µs-Normimpulse

- U Ladespannung
- C Kondensator
- L Induktivität des Entladekreises
- R Widerstand
- A Ableiter als Prüfling
- u_r Spannung am Ableiter
- T Spannungsteiler (oder Schutzobjekt)
- $u_r + u_\phi$ Spannung am Spannungsteiler
- ϕ_A, u_ϕ Streufluss der Messschleife und dadurch induzierte Spannung

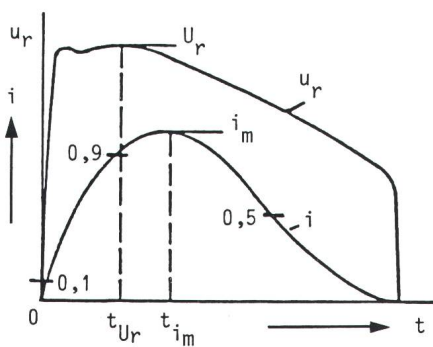


Bild 2 Strom- und Spannungsverlauf an MOA bei Normimpuls

- u_r Spannungsverlauf
- U_r Restspannung
- i Stromverlauf
- i_m Maximum des Stromes
- t Zeit

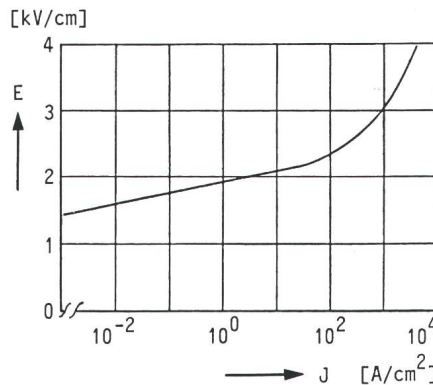


Bild 3 Normierte Strom-Spannungs-Charakteristik der MOA für Stromimpuls 8/20µs

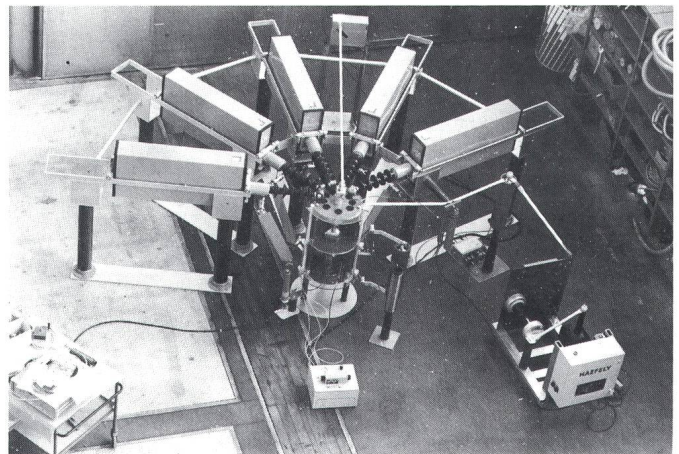
- Mittelwerte für MOA verschiedener Hersteller
- E normierte Restspannung $E = U_r/h$
- U_r Restspannung einer MOA-Scheibe
- h Höhe der MOA-Scheibe
- J normierter Stossstrom $J = i_m/S$
- i_m Stromamplitude
- S Scheibenquerschnitt

amplitude i_m zu erhalten. In Bild 3 ist eine mittlere Charakteristik von MOA wiedergegeben, die für den Stromimpuls 8/20µs gilt. Dabei wurde eine normierte Darstellungsform gewählt mit $E = U_r/h$ in Funktion von $J = i_m/S$ (h = Höhe einer MOA-Scheibe, S = stromdurchflossene Fläche). Zur optimalen Auslegung des Prüfkreises ist die Charakteristik des zu prüfenden Ableiters erforderlich.

Ein typischer Generator für die Erzeugung der in [1] erwähnten Stromimpulse ist in Bild 4 abgebildet. Der Stromstossgenerator (SSG) besteht hier aus 5 Kondensatoren, die hufe-

Bild 4 Stromstossgenerator 100kV, 50kJ

Erzeugung der IEC-Stromimpulse für MOA bis zu einer Nennspannung von $U_r = 12\text{kV}$



senförmig um die triggerbare, ferngesteuerte Funkenstrecke angeordnet sind. Diese Anordnung ermöglicht eine räumliche Minimalisierung der einzelnen Entladekreise, wodurch die resultierende Kreisinduktivität L (s. Bild 1) ausreichend klein gehalten werden kann. Allgemein kann die maximal erlaubte Kreisinduktivität für beide Normimpulse 4/10 und 8/20µs als $L_{max} = T_f \eta U / i_m$ angegeben werden [3] (T_f = Frontzeit, η = Wirkungsgrad, U = Ladespannung, i_m = Stromamplitude). Da bei einem bestimmten Stromimpuls die drei Größen T_f , i_m und η unverändert bleiben, wird auch die maximal zulässige Kreisinduktivität der Ladespannung proportional bleiben (d.h. $L_{max} \sim U$). Allerdings ist dabei zu beachten, dass auch die Energie der Kondensatorbatterie mit der Ladespannung proportional ansteigt (nur bei vorgeschriebenem Stromimpuls). In Bild 5 sind zwei mit dieser Anlage erzeugte kurze Stromimpulse, nämlich 4/10µs und 1/14µs, angegeben.

Bei der Prüfung von kompletten Ableitern wird die erforderliche Ladespannung und damit die Generatorenenergie (d.h. $A = CU^2/2$), entsprechend grösser. Wird dabei noch ein Stromimpuls mit einem grösseren Verhältnis als normal von Rückenhalbwert- zu Stirnzeit (bei 4/10µs- und 8/20µs-Normimpulsen ist $T_2/T_1 = 2,5$) verlangt, wird dies zu weiterem Ansteigen der Generatorenenergie führen. Grund dafür ist der kleinere Ausnutzungsfaktor eines Stromimpulses (Bild 6), definiert als $\eta = i_m / I_m$ (i_m = Amplitude eines Stromimpulses, I_m = max. mögliche Stromamplitude im gleichen Prüfkreis, ohne jegliche Dämpfung).

Bei noch kürzeren Stromimpulsen (d.h. $T_f < 1\mu\text{s}$), muss bereits ein spezieller Prüfkreis entworfen werden.

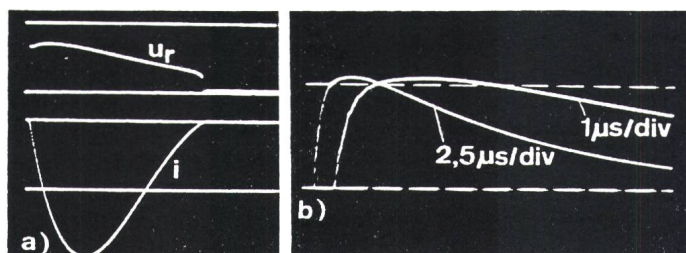


Bild 5
Gemessene
Stromimpulse 4/10 µs
und 1/14 µs, erzeugt
mit dem Generator
gemäss Bild 4

- a) Stromverlauf i und Spannung u_r am Ableiter für 4/10 µs-Impuls
b) Stromverlauf i für 1/14 µs-Impuls (Kurven für 2 Skalen der Zeitachse, gegenüber a) gedehnt und umgepolt)

Dabei genügt es nicht mehr, insbesondere für $T_f < 0,2 \mu s$, allein die Kreisinduktivität $L < L_{max}$ zu halten, da die Zusammenbruchszeit der Entladefunkenstrecke eine nicht mehr zu vernachlässigende Frontzeitverlängerung bewirken könnte. Wie in [4] gezeigt wurde, kann die resultierende Anstiegszeit T_a (10...90%) als

$$T_a = T_{a1} + T_z \quad (4)$$

ermittelt werden. Dabei ist T_{a1} die Anstiegszeit eines Impulses bei idealem Schalter und T_z die Zusammenbruchszeit der Funkenstrecke. Diese ist mit

$$T_z = \frac{4,5 \cdot 10^6 k_T}{E_o} \quad (5)$$

angegeben, wobei $k_T \approx 10^{-4} \text{ Vs/cm}$ die Toeplersche Konstante und E_o (kV/cm) die zutreffende Zündfeldstärke ist. Für eine Kugelfunkenstrecke \varnothing 250 mm mit einer Schlagweite von

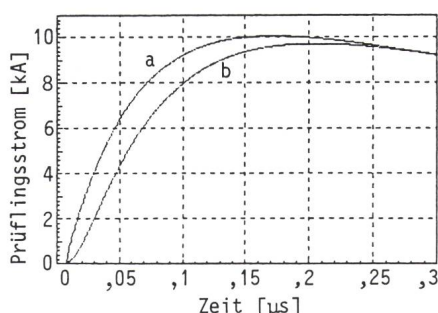


Bild 7 Frontzeit eines Stromimpulses in Abhängigkeit der Zusammenbruchszeit der Funkenstrecke

- a) ideale Funkenstrecke
b) reale Funkenstrecke mit Zusammenbruchszeit von $T_z \approx 23 \text{ ns}$

200 mm ergibt sich bei einer Durchschlagsspannung von 400 kV eine Zusammenbruchszeit $T_z \approx 23 \text{ ns}$. Bei einem angenommenen Impuls mit $T_f = 100 \text{ ns}$ und $T_{a1} = 80 \text{ ns}$ ist dann $T_a =$

103 ns und die tatsächliche Frontzeit $T_f \approx 129 \text{ ns}$. In Bild 7 ist dieser Unterschied zwischen den entsprechenden Impulsen mit idealem und realem Schalter wiedergegeben.

Diese Beeinträchtigung der Stirnzeit und z.T. des Scheitelwertes des steilen Stromimpulses kann gemäss G. (5) lediglich durch eine entsprechende Vergrößerung der Zündfeldstärke E_o gemildert werden. Als Lösung bietet sich die Möglichkeit, eine geeignete Druckfunkenstrecke einzusetzen. Dabei werden, neben entsprechender Verkürzung der Zusammenbruchszeit T_z , auch noch die geometrischen Abmessungen der Funkenstrecke selbst sowie des ganzen Prüfkreises reduziert. Dies wiederum führt zu einem Prüfkreis mit noch geringerer Eigeninduktivität, die es ermöglicht, Stromimpulse mit noch kürzerer Stirnzeit zu erzeugen.

Ein auf diesen Grundlagen konstruierter SSG ist in Bild 8 abgebildet. Mit diesem Generator lassen sich Stromimpulse von über 10 kA erzeugen, und zwar mit einer variablen Stirnzeit von $0,1 \mu s < T_f < 1 \mu s$. Der Stosskreis ist aufgebaut aus 10 parallel geschalteten, niederinduktiven Kondensatoren, die über 10 ebenso niederinduktive Dämpfungswiderstände an eine zentrale, triggerbare Gasdruck-Funkenstrecke angeschlossen sind. Die spezielle Bauweise ermöglicht eine maximale Ladespannung von 400 kV bei gleichzeitig minimaler Eigeninduktivität des Prüfkreises. Die Zusammenbruchszeit der Funkenstrecke T_z bleibt dabei unter 4 ns. Die Aufladung der

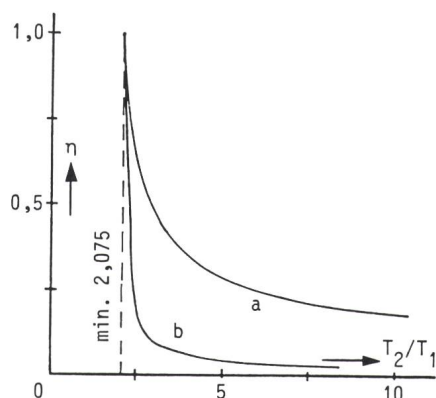


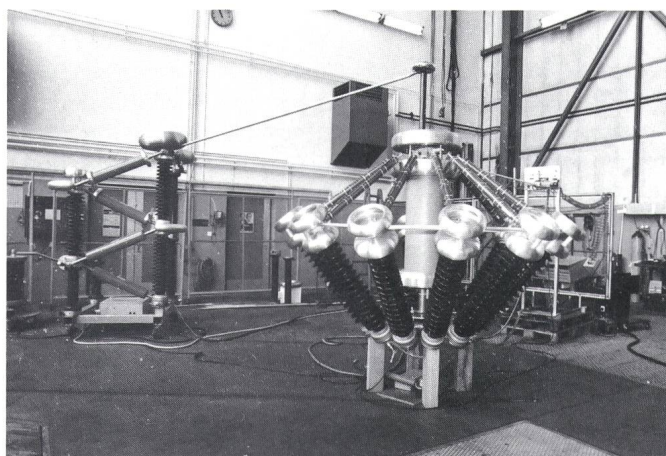
Bild 6 Wirkungsgrad η eines Stossgenerators in Abhängigkeit des Verhältnisses T_2/T_1

- a) Dämpfung mit linearem Widerstand
b) Dämpfung mit nicht-linearem Widerstand (MOA)

T_2/T_1 Verhältnis von Rückenhalbwertszeit T_2 zu Frontzeit T_1

bei $T_2/T_1 = 2,075$ geht η gegen 1 (ungedämpfte Stromschwingung)

Bild 8
Stromstossgenerator
für die
Ableiterprüfung



Stromimpulse: 0,1/0,8 µs, 0,2/0,5 µs, 0,5/1,2 µs, 1/2,5 µs

Ladespannung: $U \leq 400 \text{ kV}$

Ableiterspannung: $U_r \leq 100 \text{ kV}$

Kondensatoren erfolgt durch einen Vervierfacher-Gleichrichter (Bild 8).

In Bild 9 sind die Strombereiche und in den Bildern 10 und 11 der gemessene kürzeste Stromimpuls (d.h. $T_I \approx 0,1 \mu s$) dargestellt. Der Grund für den auffallenden Unterschied der realisierbaren Stromamplituden beim Impuls $0,2/0,5 \mu s$ zu den anderen Impulsen in Bild 9 liegt einerseits in der Impulslänge und andererseits im günstigen

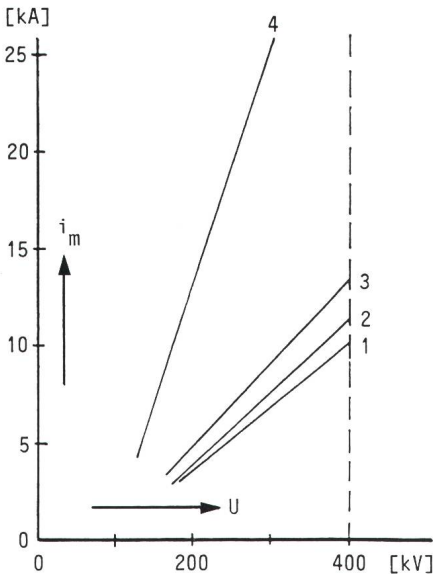


Bild 9 Strom-/Spannungscharakteristik des Stromstossgenerators gemäss Bild 8 bei verschiedenen Impulsformen

Prüfling: Ableiter mit $U_r = 100 \text{ kV}$ bei 10 kA ($0,1/0,8 \mu s$)

- 1 $1/2,5 \mu s$ -Impulse
- 2 $0,1/0,8 \mu s$ -Impulse
- 3 $0,5/1,25 \mu s$ -Impulse
- 4 $0,2/0,5 \mu s$ -Impulse
- U Ladespannung
- i_m Stromamplitude

Verhältnis der Rücken- zur Frontzeit T_2/T_1 (vgl. Bild 6).

Bei derart kurzen Stromimpulsen treten beträchtliche Schwierigkeiten bei der Messung der Restspannung auf, was hier kurz diskutiert wird. Eine genaue Messung der Restspannung U_r am Ableiter A (s. Bild 1) kann problematisch werden. Grund dafür ist in erster Linie der in der Messschleife $X_1-Y_1-Y_2-X_2$ eingeschlossene Streufluss Φ_A , durch den eine an u_r superponierte Spannung $u_\phi = d\Phi/dt$ induziert wird [5]. Zwischen den Messpunkten Y_1 und Y_2 wird somit eine Gesamtspannung $u_r + u_\phi$ gemessen, wie dies in Bild 12 angegeben ist.

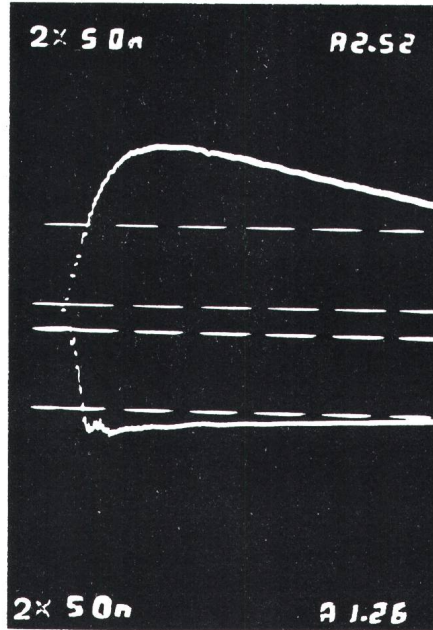


Bild 10 Stromimpuls $0,1/0,8 \mu s$ durch MOA

obere Kurve: Stromverlauf mit $i_m = 10 \text{ kA}$, gemessen mit Rogowski-Spule, Bandbreite 20 MHz
 untere Kurve: Spannungsverlauf mit Restspannung von $U_r = 75 \text{ kV}$
 Ladespannung $U = 335 \text{ kV}$ (Stromstossgenerator von Bild 8)

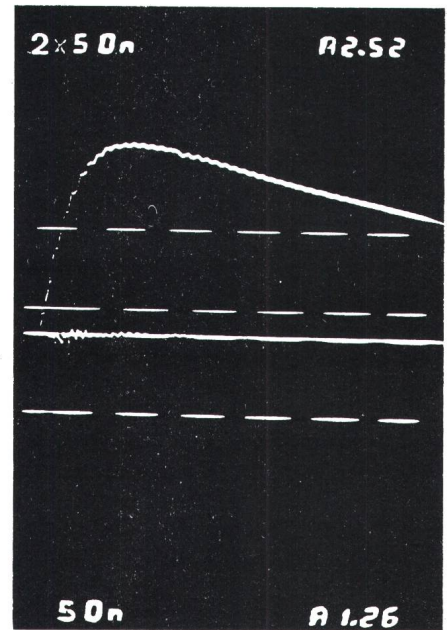


Bild 11 Einstreuung im Spannungs-Messsystem nach der Kompensation des Streuflusses

obere Kurve: Stromverlauf, wie in Bild 10
 untere Kurve: gemessene Spannung bei kurzgeschlossenem Prüfling, d.h. bei vernachlässigbarer Einstreuung

Um die Ableitereigenschaften korrekt beurteilen zu können, ist es erforderlich, diese störende induktive Spannungskomponente bei der Messung zu eliminieren. Da Φ_A keine Ableitereigenschaft ist, wird es genügen, bei der Messung der Spannung u_r zwischen den Punkten X_1 und X_2 die Verbindungen X_1-Y_1 und X_2-Y_2 derart zu führen, dass der eingeschlossene Fluss $\Phi_A = 0$ wird. Das kann z.B. wie in [6] durch einen coaxialen Anschluss (spez. angefertigte Ableiterschleiben) oder, was üblicher und einfacher ist, durch Kompensation des Streuflusses Φ_A durch einen gleich grossen und entgegenwirkenden Fluss $-\Phi_A$ erreicht werden. In Bild 12 ist der gerechnete Unterschied der Restspannungen angegeben, den man zwischen den Punkten Y_1 und Y_2 beim Stromimpuls 20 kA mit $T_I = 1 \mu s$ messen würde (s. Bild 1), wenn der Schleifenfluss Φ_A einmal un kompensiert und dann wieder voll auskompensiert wäre. Dabei wurden die üblichen Daten eines MOA mit einer Nennspannung $U_R = 12 \text{ kV}$ simuliert. Bei einer angenommenen Schleifeninduktivität $L_\phi = \Phi_A/i \approx 0,15 \mu H$ würde sich ein Unterschied zwischen den beiden Spannungsmaxi-

ma von rd. 7,6% ergeben. Ein sicheres Zeichen, dass man zwischen den Punkten Y_1 und Y_2 auch die induzierte Spannung u_ϕ mitmisst, ist eine Verschiebung des Zeitpunktes des Restspannungsmaximums nach links (d.h. Phasenverschiebung, s. Bild 5a und 12). Diese induzierte Spannung u_ϕ (s. Bild 12) lässt sich sehr einfach nach-

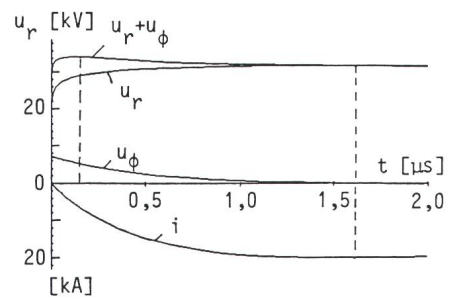


Bild 12 Einfluss des Streuflusses Φ_A auf die Messwerte der Restspannung eines MOA

Unterschied des Messwertes der Restspannung eines MOA mit $U_R = 12 \text{ kV}$ bei kompensiertem (u_r) und bei nicht kompensiertem ($u_r + u_\phi$) Streufluss Φ_A

- i Stromimpuls $1/10 \mu s$, 20 kA
- t Zeit

weisen, indem man bei kurzgeschlossenem Ableiter einen möglichst gleichen Stromimpuls erzeugt und dabei u_ϕ misst. In Bild 10 wurde $u_\phi \approx 0$ eingestellt, was mit dem Oszilloskop (s. Bild 11) kontrolliert wurde. Die noch verbliebenen Schwingungen im Scheitel der Restspannung (Bild 10) ent-

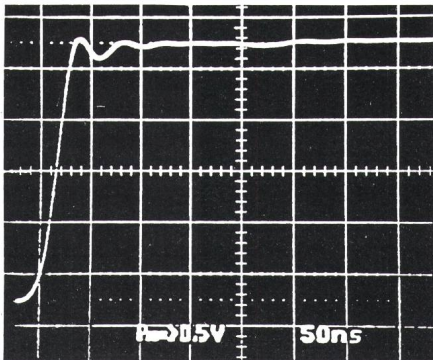


Bild 13 Sprungantwort des Spannungsteilers

für die Messung des Spannungsverlaufes (s. Bild 10)

sprechen dem z.T. oszillierenden Verlauf des Übertragungsverhaltens des Spannungsteilers (s. Bild 13). In [7], wo ebenfalls Steilstromversuche an Ableitern durchgeführt wurden, kam es, infolge des beträchtlichen Streuflusses zwischen dem Ableiter und dem Teiler, zu einer entsprechend grossen Phasenverschiebung zwischen dem Strom- und dem Spannungsimpuls [7].

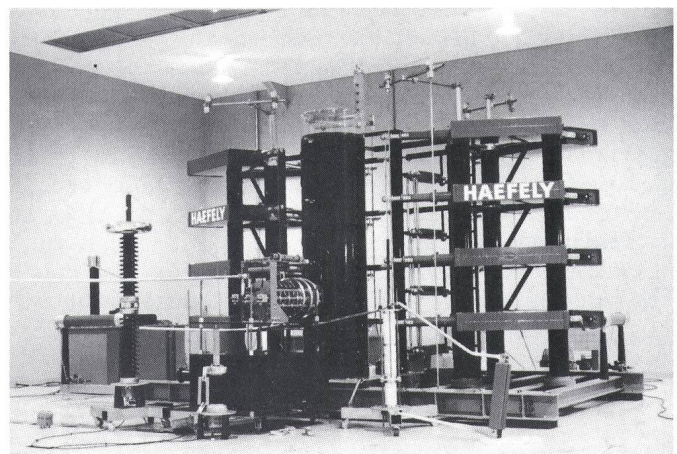
Eine Kompensation des Streuflusses Φ_A , zwecks Messung der rein ohmschen Komponente der Ableiterrestspannung, hat praktisch keinen Einfluss auf den Stromimpuls. Dagegen kann eine ungeeignete Kompensationsmassnahme einen wesentlichen Einfluss auf die Übertragungseigenschaften des Spannungsteilers und in der Folge auf die gemessene Restspannung des Ableiters haben.

Ersetzt man nun in Bild 1 zwischen den Punkten Y_1 und Y_2 den Spannungsteiler durch ein Gerät, das es gegen die Überspannungen zu schützen gilt, wird klar, dass an diesem, in einer ungünstigen Anordnung (d.h. grosser Fluss Φ_A), ein wesentlich höherer Spannungspegel zu erwarten ist, der bei der Bestimmung des Schutzpegels zu berücksichtigen ist, da der Herstel-

ler nur die ohmschen Komponenten der Restspannung angeben kann. Auch hier könnte eine Kompensation des Streuflusses einen optimalen Schutz gewährleisten.

Der Unterschied der Restspannungsamplitude an den MOA-Ableitern ist vermutlich weniger von der Stromsteilheit abhängig, als es in vielen Untersuchungen scheinbar festgestellt wurde. In [7] wurde z.B. in der Schlussfolgerung angegeben, dass die Ableiter-Restspannung bei 10kA für den Kurzstromimpuls (d.h. Impuls mit $T_1 \approx 100$ ns) etwa 4- bis 5mal höher liege als für den Normalstromimpuls (d.h. Impuls $8/20 \mu s$) bei gleicher Stromamplitude. Bei eigenen Versuchen mit 10-kA-Impulsen war die Differenz zwischen den Impulsformen $0,1/0,8 \mu s$ und $8/20 \mu s$ wesentlich geringer, wobei die erwähnten Massnahmen zur Vermeidung von Messfehlern sorgfältig beachtet wurden. Es steht allerdings offen, mit welchen Spannungen an ungeeignet installierten Ableitern gerechnet werden muss, da – wie bereits erwähnt – in der Schleife zwischen dem Ableiter und dem geschützten Objekt eine von der Stromsteilheit abhängige induktive Spannungskomponente der eigentlichen ohmschen Komponente des Ableiters superponiert wird. In diesem Fall können tat-

Bild 14
Kombinierter
Stromstossgenerator
200kV, 160kJ
für Impulse 4/10, 8/20
und 2/20 μs



sächlich die in [7] angegebenen höheren Spannungen bei steilen Stromimpulsen auftreten.

Nach diesem kurzen Abstecher in die messtechnische Problematik, die gerade bei den MOA von vitaler Bedeutung ist, werden nachfolgend noch weitere zwei Generatortypen vorgestellt, mit denen man kurze, energiereiche Stromimpulse erzeugen kann.

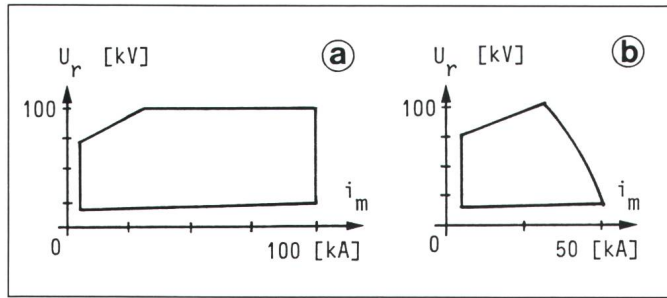
Kombinierte Stromstossgeneratoren

Bei der Prüfung von Ableitern mit höheren Impulsströmen, die neben einer kürzeren Frontzeit T_1 noch eine Rückenhalbwertzeit mit normaler Dauer (d.h. $T_2 = 10$ oder $20 \mu s$) aufweisen sollen, können diese Stromimpulse grundsätzlich auf zwei Arten realisiert werden, und zwar:

- durch eine stärkere Kreisdämpfung
- durch Aufsteilung des Stromstirnteiles

In Bild 14 ist ein kombinierter Stromstossgenerator vom ersten Typ abgebildet, mit dem man lediglich durch entsprechende Einstellung der drei Kreiselemente C , L und R (s. Bild 1) drei Impulsformen (d.h. $4/10$, $8/20$ und $2/20 \mu s$) erzeugen kann [8]. Die erforderliche Generatorenergie wurde gerade durch den letzten Impuls diktiert, da hier für das Verhältnis $T_2/T_1 = 10$ ein Wirkungsgrad von lediglich $\eta \approx 0,15$ vorliegt (s. Bild 6). In Bild 15 sind die entsprechenden Prüfbereiche (d.h. Restspannung in Funktion des Stromes) für die drei Impulsformen angegeben. In Bild 16 ist weiterhin der unter den gegebenen Bedingungen recht schwierig zu realisierende Stromimpuls $2/20 \mu s$ abgebildet. Der Stoss-

generator (Bild 14) stellt im konkreten Fall lediglich einen Teil der kombinierten Anlage dar. Der zweite wesentliche Teil besteht aus einer Wechselspannungsquelle mit sehr hoher Einstellgenauigkeit. Zwischen diesen beiden Hauptteilen sind entsprechende Trenn- oder Koppellemente eingesetzt, wodurch erst eine kombinierte Ableiterprüfung ermöglicht wird. Als



U_r Restspannungen
 i_m Stossstromamplituden
a 4/10µs- und 8/20µs-Impulse
b 2/20µs-Impulse

Bild 15
Prüfbereiche mit
verschiedenen
Impulsformen für
Stromstossgenerator
in Bild 14

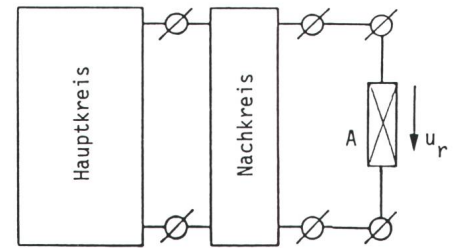


Bild 17 Prinzipschaltbild eines Generators mit Haupt- und Nachkreis

Generator für Stromimpulse mit kurzer Stirn- und relativ langer Rückenhalbwertzeit

besonders heikel erweist sich dabei die Verhinderung der Oszillationen der Wechselfeldspannung nach der Generatorentladung, was durch entsprechende Auslegung des Trenngliedes zwischen den beiden Anlagenteilen erzielt wird [8].

Beim zweiten Generortyp besteht dieser aus zwei wesentlichen Teilen, nämlich aus dem Hauptkreis und dem Nachkreis, wie dies in Bild 17 schematisch dargestellt ist. Beide Kreisteile bestehen hauptsächlich aus einer Seriendkombination C-L-R sowie einer Funkenstrecke. Dabei werden diese beiden Teile so ausgelegt, dass der erste, energiereichere Teil für die Stromamplitude und die Impulsdauer und der Nachkreis für die Stromsteilheit ausschlaggebend wird. Der Vorteil dieses Generortyps besteht darin, dass der Hauptkreis, der oft identisch ist mit einem Stossspannungsgenerator, nicht besonders niederinduktiv ausgeführt werden muss. Der Nachkreis dagegen, der für eine viel kleinere Energie ausgelegt ist, hat bei niederinduktiver Ausführung eine ausreichend kleine Zeitkonstante \sqrt{LC} , um eine steile Stromkomponente erzeugen zu können (Aufsteilkreis). Ein Nachteil die-

ses Generortyps bei der Ableiterprüfung besteht darin, dass die Nachkreisimpedanz dem jeweils geprüften Ableiter angepasst werden muss (Anpassung an die nichtlineare Charakteristik des MOA). In Bild 18 ist ein Stromimpuls 0,4/10µs angegeben, der mit einem relativ kleinen Stossgenerator mit Aufsteilkreis zu erhalten ist.

Schlussfolgerungen

Abschliessend zu dieser Betrachtung kann man folgendes festhalten:

1. Die Erzeugung von Stromimpulsen mit einer Frontzeit bis hinunter zu 0,1 µs und einer Amplitude von 10 kA, selbst bei Restspannungen bis 100 kV, kann ohne übertriebenen Aufwand realisiert werden.
2. Bei korrekter Messung tritt selbst beim Stromimpuls mit einer Frontzeit von 0,1 µs noch keine Anfangsspannungsspitze auf. Wie dies in [6] untersucht wurde, ist erst bei Frontzeiten unter 30 ns mit einer Spannungsspitze, als Folge des z.T. kapazitiven Verhaltens des MOA, zu rechnen.
3. Die oft beschriebenen höheren Restspannungen bei Stromimpulsen mit kurzer Frontzeit (z.B. zuletzt im Bericht Nr. 25.06., präsentiert am ISH 1989 in New Orleans) konnten durch eigene Messungen nicht im gleichen Ausmass bestätigt werden.
4. Da MOA praktisch keine Eigeninduktivität haben, muss sich die Aufmerksamkeit bei der Restspannungsmessung vor allem auf die Schleifeninduktivität des Spannungsteilers (oder eines angeschlossenen Objektes!) konzentrieren.
5. Ein Stromimpuls mit $T_f = 0,1 \mu s$ ruft an MOA einen Spannungsimpuls mit einer Anstiegszeit in der Grössenordnung von 10 bis 15 ns hervor. Diese steile Spannungsflanke wird vom Teiler nahezu als Sprungspannungsant-

wort übertragen. Deshalb erscheint bei Messungen mit Teilern, die ein Überschiessen im Übertragungsverhalten aufweisen, eine scheinbare Anfangsspannungsspitze.

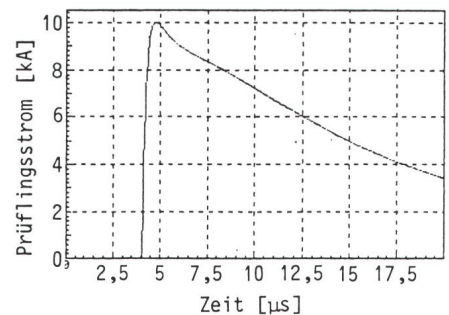


Bild 18 Stromimpuls 0,4/4µs, realisiert mit Aufsteilkreisgenerator bei einer Restspannung $U_r = 50kV$

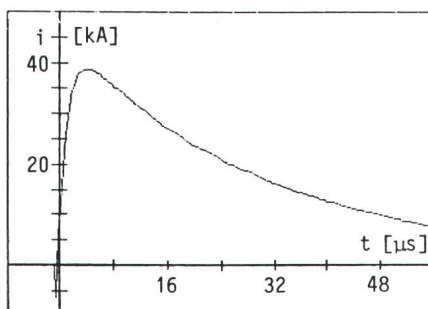


Bild 16 Stromimpuls 2/20µs von Stromstossgenerator in Bild 14

i Stromverlauf
 t Zeit

Literatur

- [1] Surge arresters. Part 3: Metal oxide surge arresters without gaps for AC-systems. IEC TC 37 WG-4 (secr.) 11, August 1988.
- [2] M. Modrusan: Tests on high-voltage metal oxide surge arresters with impulse current. Fourth International Symposium on High Voltage Engineering, September 6 ... 9, 1983, Athens; paper 62.04.
- [3] M. Modrusan: Normgerechte Prüfung von Ableitern mit exponentiellen Stossströmen. E und M 94(1977)4, S. 147 ... 150.
- [4] H. Kärner: Erzeugung steilster Stossspannungen hoher Amplitude. Bull. SEV 58(1967)24 S. 1096 ... 1110.
- [5] C. Dang, T.M. Parnell and P.J. Price: The response of metal oxide surge arresters to steep fronted current impulses. IEEE Trans. on Power Delivery 1(1986)1, p. 157 ... 163.
- [6] K. Feser, L. Kehl and W. Köhler: Behaviour of ZnO-arrester blocks to fast transients. Fifth International Symposium on High Voltage Engineering, Braunschweig, 24 ... 28 August, 1987; paper 82.02.
- [7] D.B. Miller a.o.: The effects of steep-front, short-duration impulses on power distribution components. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Long Beach, California, July 1989.
- [8] M. Modrusan und E. Gockenbach: Eine kombinierte Prüfanlage für die Arbeitsprüfung von Metalloxidableitern. 19. Internationale Blitzschutzkonferenz, Graz, 1988.