

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band:	48 (1957)
Heft:	18
Rubrik:	Diskussionsbeiträge

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: 17.02.2026

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

Man hat intensiv nach Möglichkeiten gesucht, die Stosseigenschaften der Scheibenspulenwicklung zu verbessern. Die seit langer Zeit bekannten statischen Schirme sind unwirtschaftlich und bei gewissen Anordnungen, zum Beispiel bei doppelkonzentrischen Wicklungen, kaum anwendbar.

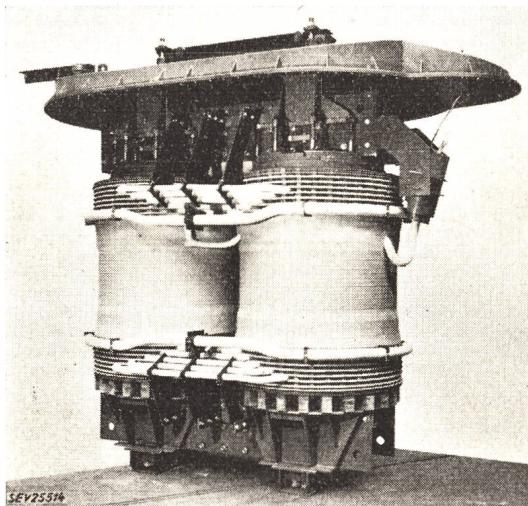


Fig. 4
Aktiver Teil eines Einphasentransformators 10/225 kV mit Lagenwicklung

Seit einigen Jahren ist nun ein neuer, sehr wirtschaftlicher Weg bekannt geworden, wie durch eine neue Wicklungsart eine starke Vergrösserung der Längskapazität K und damit das Ziel einer besseren Spannungsverteilung in einer Scheibenspulenwicklung erreicht werden kann. Man bezeichnet diese Wicklungsart mit «Verschachtelung der Windungen». Fig. 5 zeigt die Anfangsspannungsverteilung AV und die Hüllkurve H einer verschachtelten Scheibenspulenwicklung. Das Wesen der Verschachtelung zeigt ein Schnitt durch zwei normale a und zwei verschachtelte b Doppelspulen. Im Fall a wird so gewickelt, dass die aufeinander folgenden Windungen 1, 2, 3, bis 10 nebeneinander liegen. Die Längskapazität K_s einer solchen Doppelspule kann man sich zwischen die erste Windung 1 und die letzte Windung 10 konzentriert denken. Sie ist nicht viel grösser als die Kapazität zwischen der 1. und 10. Windung. Die übrigen Win-

dungskapazitäten sind wenig wirksam. Bei verschachtelten Windungen ist beispielsweise die Reihenfolge der nebeneinander liegenden Windungen 1, 6, 2, 7, 3, 8, 4, 9, 5, 10, usw. Durch diese Vermischung wird die Längskapazität K_s einer Doppelspule ein Vielfaches einer gewöhnlichen Doppelspule bei sonst gleichen Abmessungen und Kühlverhältnissen.

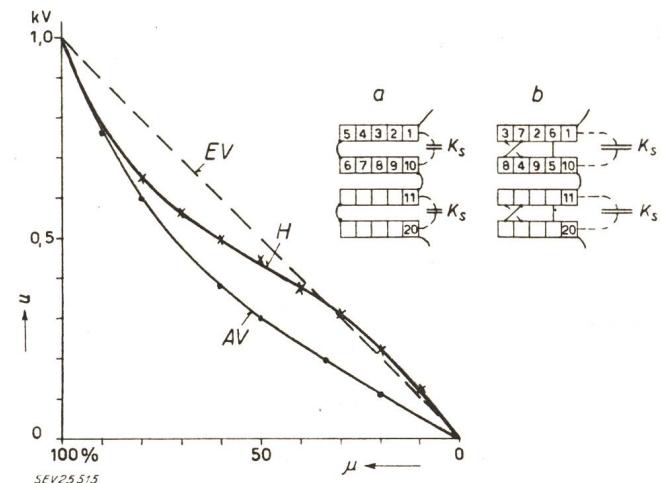


Fig. 5
Stoßspannungsverteilung in einer Wicklung mit verschachtelten Scheibenspulen

Stoßspannung 1/50 μ s
 u Spannung; μ prozentuale Verteilung; AV Anfangsspannungsverteilung; EV Endspannungsverteilung; H Hüllkurve;
 a normale Wicklungsart; b verschachtelte Wicklungsart;
 K_s Längskapazität einer Doppelpule

Die Verschachtelung bedeutet einen grossen Fortschritt, denn durch sie ist die Scheibenspulenwicklung wieder stark aufgewertet und ihre Anwendung, die in vielen Fällen und gerade bei komplizierten Wicklungen sehr vorteilhaft ist, wieder bei den höchsten Spannungen interessant geworden.

Es ist leider nicht möglich, hier auf nähere Einzelheiten einzugehen. Man kann nur betonen, dass die Hersteller heute der Stoßspannungsbeanspruchung mit verschiedenen Massnahmen begegnen und eine Anzahl von Anordnungen zur Verfügung haben, die den gestellten Anforderungen entsprechend angewendet werden können.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. M. Wellauer, Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich 50.

Diskussionsbeiträge

Dr.-Ing. A. J. Ess, Emil Haefely & Cie. A.G., Basel: Das in der Emil Haefely & Cie. A.G., Basel, entwickelte Stoßvoltmeter dient zur Messung des Scheitelwertes von einmaligen, flüchtigen Vorgängen, d.h. nicht wiederkehrenden Spannungsimpulsen, im besonderen von Stoßspannungen (Fig. 1). Das Schaltschema des Apparates zeigt Fig. 2. Die Funktion beruht auf dem Prinzip der Impulsspeicherung. Der zu messende Spannungsimpuls lädt über eine Diode einen kleinen Kondensator C_1 auf. Der maximale Durchlaßstrom der Diode ist durch deren Charakteristik gegeben und kann nicht beliebig erhöht werden. Da dieser Strom ungefähr proportional der aufzuladenden Kapazität und dV/dt ist, so ist bei gegebenem dV/dt C_1 bestimmt. Die exakte Theorie ist in der Dissertation von E. Trümpt (ETH) beschrieben. Wenn der

zu messende Impuls abgeklungen ist, entlädt sich der Kondensator auf die gesperrte Diode, ihren Sperrwiderstand und den Isolationswiderstand der Schaltung. Bevor aber die Ladung merklich abgenommen hat, wird ein zweiter Kondensator C_2 über eine Röhre und eine weitere Diode aufgeladen. Da C_2 grösser ist als C_1 , wird auch bei gegebenem Durchlassstrom der Röhre und der Diode und bei gegebener Impulsamplitude zur Aufladung von C_2 mehr Zeit benötigt. Aus demselben Grund ist auch die Entladzeitkonstante von C_2 entsprechend grösser. Die gleichen Überlegungen gelten für den noch grösseren Kondensator C_3 , welcher so gross gewählt ist, dass seine Entladzeitkonstante einige Minuten beträgt. Während dieser Zeit kann die Ladung von C_3 mit einem eingebauten Röhrenvoltmeter gemessen werden. Der Zeiger

des Instrumentes bleibt auf dem Messwert stehen. Zu seiner Rückstellung werden C_2 und C_3 durch Kurzschliessen entladen.

Der Vorteil dieser Schaltung gegenüber der Schaltung von W. Rabus besteht darin, dass der Isolationswiderstand von C_1 bedeutend kleiner sein darf. Da nach unserem Prinzip C_1 sehr klein gehalten werden kann, wird auch der Messfehler für frontabgeschnittene Stöße entsprechend klein.

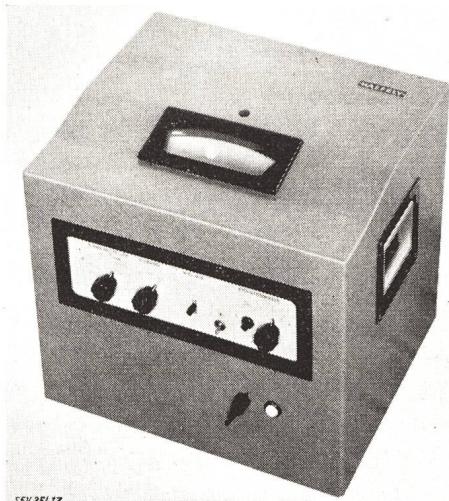


Fig. 1
Stossvoltmeter
zur Scheitelwertmessung von einmaligen Stosswellen

Das Stossvoltmeter misst den einfachen Scheitelwert der Stoßspannung (nicht peak to peak). Mit einem Umschalter lassen sich sowohl positive wie auch negative Spannungsstöße messen. Da bei abgeschnittenen Stosswellen Schwingungen auftreten können, wurde die Schaltung so gewählt, dass sie nur den Scheitelwert entsprechend der eingestellten Polarität misst. Ein Präzisionsapparat erfüllt seinen Zweck nur dann, wenn er geeicht werden kann. Deshalb enthält das Stossvoltmeter eine Eichschaltung, die einen positiven oder wahlweise einen negativen Eichspannungsstoß 1/50 abgibt. Die Ladespannung dieses Stoskskreises kann mit dem eingebauten Galvanometer kontrolliert werden.

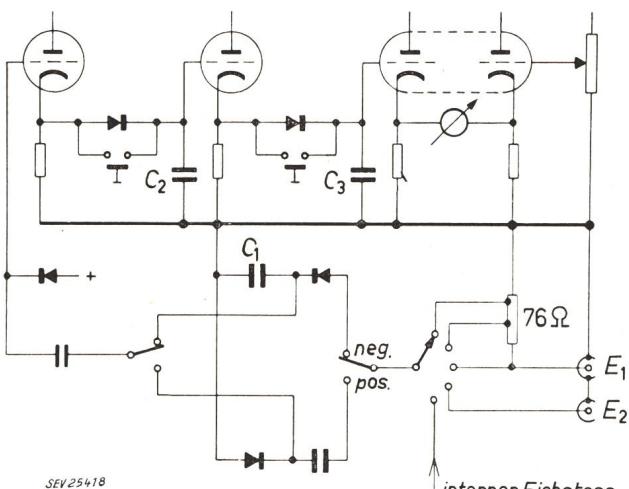


Fig. 2
Prinzipschema des Voltmeters

C_1 Messkondensator; C_2 , C_3 Speicher kondensatoren;
 E_1 koaxialer Messeingang, 76Ω ; E_2 hochohmiger Messeingang

Zur Messung der Stoßspannung wird das Voltmeter wie ein Kathodenstrahlloszillograph an den Stossgenerator über einen Hochspannungsteiler und ein koaxiales Messkabel angeschlossen. Der im Apparat eingebaute Abschlusswiderstand

verhindert Reflexionen und enthält Abgriffe, um den Messbereich zu erweitern. Im Netzeil ist ein Trenntransformator eingebaut, der das Stossvoltmeter vom Netz trennt und es somit gegen Überspannungen im Erdnetz unempfindlich macht. Die Abschirmung des Apparates gegen Fremdeinflüsse ist so gut, dass bei kurzgeschlossenem Eingang auch bei abgeschnittenen Stosswellen von 1 MV das Instrument keinen Ausschlag zeigt.

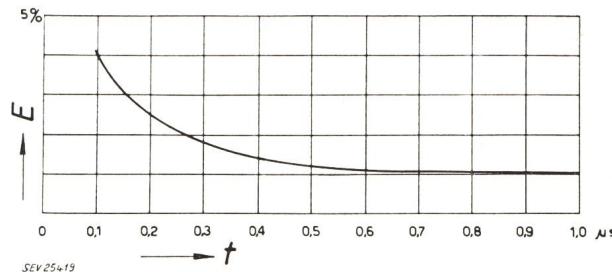


Fig. 3
Abhängigkeit des Fehlers E von der Abschneidezeit t der frontgeschnittenen Stosswelle

Die Anzeigegenauigkeit des Stossvoltmeters beträgt für volle Stosswellen $\pm 1\%$. Um diese Präzision zu erreichen, wird als Anzeigegerät ein Lichtzeigergalvanometer der Klasse 0,5 verwendet. Die Anzeige des Scheitelwertes erfolgt unabhängig von der Kurvenform. Besonders soll erwähnt werden, dass der Messfehler bei nach $0,2 \mu s$ frontabgeschnittenen Stößen kleiner als -3% ist (Fig. 3).

Das Stossvoltmeter wird in jenen Fällen gute Dienste leisten, in welchen nur der Scheitelwert der Stosswelle und nicht deren Kurvenform von Wichtigkeit ist. Für statistische Messungen zur Prüfung von Überspannungsableitern, Isoliermaterial usw. gestattet das Stossvoltmeter ein rationelles Arbeiten.

Dr. M. Christoffel, und Dr. A. Goldstein, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG): Die Aufgabe, einen Transformator zu bauen, der einem Spannungsstoß vorgeschriebener Höhe und Dauer standhält, bietet vielerlei Aspekte. In erster Linie darf man nie außer acht lassen, dass sich dieses Problem ja nicht isoliert stellt, sondern dass es sich immer in erster Linie darum handelt, einen wirtschaftlichen und betriebssicheren Transformator zu bauen, der mit möglichst gutem Wirkungsgrad arbeitet. Die zur Erreichung der Stossfestigkeit erforderlichen Massnahmen sind in diese allgemeine Problemstellung einzurordnen.

Über die Methoden, wie in konkreten Fällen die bei Spannungsstoß über einzelne Wicklungen und Wicklungsteile zu erwartenden Spannungen vorausbestimmt werden, soll hier nicht gesprochen werden. Dagegen soll eine besondere Frage kurz beleuchtet werden. Wenn es sich darum handelt, die Stossfestigkeit eines gegebenen Transformatoren zu erhöhen, so stehen grundsätzlich zwei Wege offen. Entweder verstärkt man die Isolation auf den gewünschten Wert oder man sucht durch geeignete Wicklungsanordnung die Spannungsverteilung zu verbessern, d.h. man vermindert die an den kritischen Stellen auftretenden Spannungen. Die Kunst des Transformatorenbauers besteht nun gerade darin, in jedem Falle diese beiden Methoden so zu kombinieren, dass auf die beste Weise ein sowohl wirtschaftliches wie betriebssicheres Produkt entsteht. Lange Zeit glaubte man, das Problem der Stossfestigkeit so anpacken zu müssen, dass man Transformatoren baute, in deren Wicklungen bei Spannungsstoß fast keine Ausgleichsvorgänge auftraten. Aus dieser Philosophie heraus entstand der sog. «schwingungsfreie» Transformator. Heute ist dieser Standpunkt längst überwunden. Man weiss, dass es durchaus nicht schädlich ist, wenn bei Stoßspannungen die Spannungsverteilung nicht linear ist, vorausgesetzt, man kennt die auftretenden Spannungen und beherrscht sie.

Einige Beispiele mögen das Gesagte erläutern. Im Grosstransformatorenbau ist die beliebteste Wicklungsart die Scheibenspulenwicklung. Diese Vorzugstellung beruht auf mancherlei Gründen, z.B. der relativ leichten Fertigung und

den guten Abstützungsmöglichkeiten gegen mechanische Kräfte. Diese Vorteile überwiegen in vielen Fällen gegenüber dem Hauptnachteil im Vergleich zur geschilderten Lagenwicklung, nämlich dem einer viel ungleichmässigeren Spannungsverteilung bei Stoß. Unsere Untersuchungen haben nun gezeigt, dass es möglich ist, gewöhnliche Scheibenspulenwicklungen zu bauen bis zu Vollstossprüfspannungen von ungefähr 1050 kV, entsprechend einem höchsten Betrieb nach

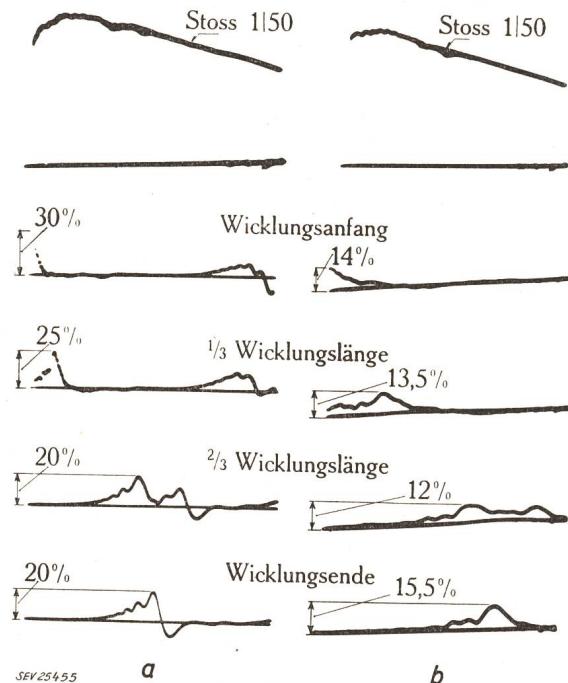


Fig. 1

Gemessene Stoßspannungen über einzelne Doppelscheiben-Spulen einer 225-kV- und einer 380-kV-Wicklung
a 225-kV-Wicklung; b 380-kV-Wicklung

SEV und CEI von 300 kV bei reduzierter bzw. 245 kV bei voller Isolation. Die erforderliche Stoßfestigkeit lässt sich ohne wesentliche Massnahmen zur Verbesserung der Spannungsverteilung allein durch geeignet bemessene Isolation erreichen. Will man hingegen Scheibenspulenwicklungen für noch höhere Spannungen bauen, so drängen sich allerdings Massnahmen zur Verbesserung der Spannungsverteilung auf. Wir hatten beim Bau eines Transformators für das schwedische 380-kV-Netz Gelegenheit zur Untersuchung dieser Zu-

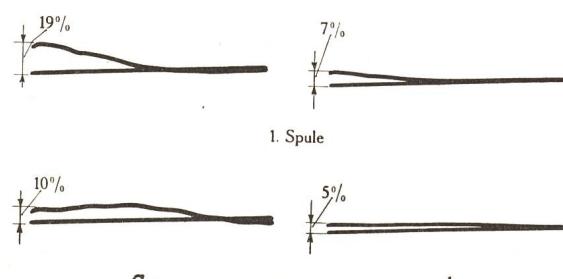


Fig. 2

Gemessene Stoßspannungen über die Regelwicklungen zweier Transformatoren
a Dreiphasentransformator 10 MVA, 72,5 kV
b Einphasentransformator 250/3 MVA, 110 kV

sammenhänge. Die Oberspannungswicklung war für die extrem hohe Vollstossprüfspannung von 1780 kV zu bemessen. Es zeigte sich nun aber, dass in diesem Falle mit relativ einfachen Massnahmen zur Verbesserung der Spannungsverteilung auszukommen ist. Fig. 1 zeigt einen Vergleich von Oszillogrammen, die am 380-kV-Transformer und an einem 225-kV-Transformer aufgenommen wurden. Man sieht von

oben nach unten die angelegte Stoßspannung und die Spannungen über je eine Doppelscheibenspule am Anfang, in Eindrittel- und Zweidrittel-Wicklungslänge und über die Endspule. Während bei der 220-kV-Wicklung über der Eingangsspule eine wesentlich höhere Spannung auftritt als über die Spulen im Wicklungssinnen, sind die Maximalspannungen über die einzelnen Spulen der 380-kV-Wicklung fast durchweg gleich gross. Man muss aber beachten, dass auch bei der 380-kV-Wicklung die Spannungsverteilung noch weit von einer linearen entfernt ist. Ein solcher 380-kV-Transformer hat nach Abwicklung aller Abnahmeprüfungen, einschliesslich der Stoßspannungsprüfung, vor einigen Monaten unsere Werkstätten verlassen.

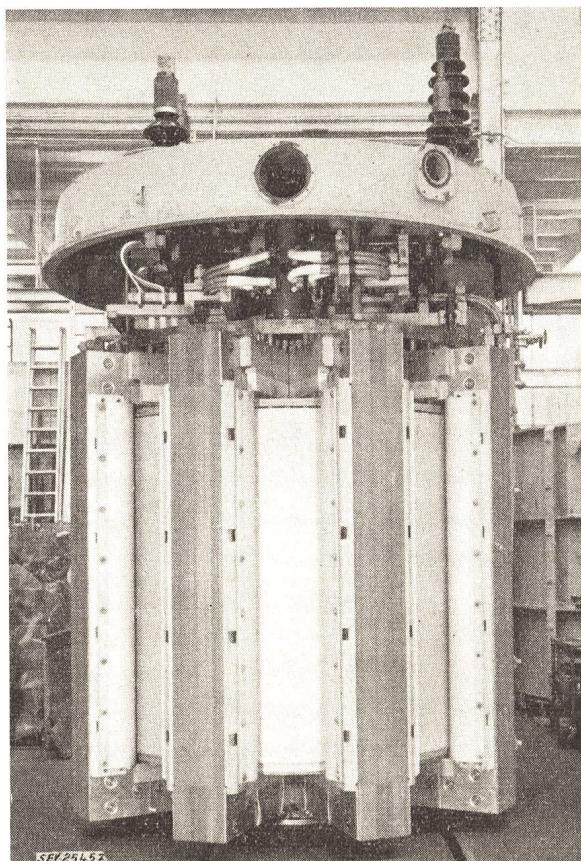


Fig. 3
Aktivteil eines Einphasentransformators einer 260-MVA-Dreiphasengruppe für ein amerikanisches Kraftwerk

Ein zweites Beispiel betrifft die über Regulierwicklungen und den dazu parallel geschalteten Stufenvieler auftretenden Stoßspannungen. Es ist bekannt, dass selbst bei Anordnung der Regulierwicklung in Sternpunkt Nähe im Laufe der Aus-

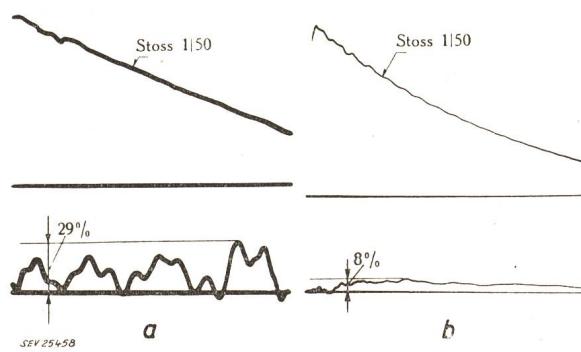


Fig. 4
Gemessene Stoßspannungen über die beiden ersten Spulen eines 110-kV- und eines 300-kV-Spannungswandlers
a 110-kV-Wandler; b 300-kV-Wandler

Fortsetzung von Seite 818

Diskussionsbeiträge (Fortsetzung)

gleichsvorgänge beträchtliche Stoßspannungen auftreten können. Diese Spannungen nimmt man bei kleineren Nennspannungen, beispielsweise bei 72,5 kV, gerne in Kauf, wenn dafür eine einfache Wicklungsanordnung gewählt werden kann. Die notwendige Isolationsfestigkeit lässt sich durch einfache konstruktive Massnahmen erreichen. Fig. 2 zeigt links die

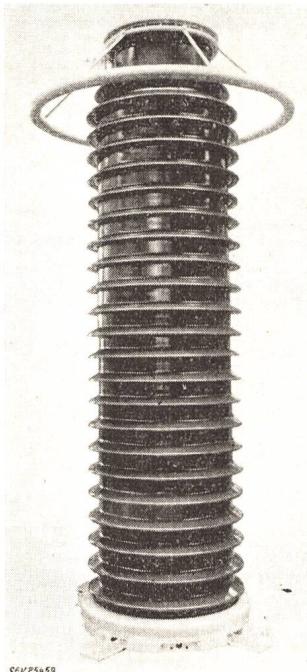


Fig. 5
Aussenansicht eines 300-kV-Spannungswandlers

über der Feinregulierung eines 72,5-kV-Transformators auftretende Stoßspannung; sie beträgt mehr als das Doppelte, als was bei einer linearen Spannungsverteilung zu erwarten wäre.

Der Transformatorenbauer hat es durchaus in der Hand, durch geeignete Massnahmen, speziell im Wicklungsaufbau, die über Regulierwicklungen auftretenden Stoßspannungen zu verringern. Die Fig. rechts stammt von Messungen, die an einem der im Bau befindlichen Einphasentransformatoren für eine 260-MVA-Gruppe des amerikanischen Kraftwerks am St. Lawrence River durchgeführt wurden. Die über der Regulierwicklung auftretende Stoßspannung ist wesentlich kleiner als im vorigen Beispiel, trotzdem die prozentuale Grösse des Regulierbereichs genau dieselbe ist. Fig. 3 zeigt den Aktivanteil des erwähnten Transformators nach vollendeter Montage.

Selbstverständlich finden die hier vorgebrachten Überlegungen auch im Messwandlerbau Anwendung. Dazu ein Beispiel aus einer Spannungswandlerreihe. Fig. 4 zeigt die bei Stoß über die beiden ersten Spulen auftretenden Spannungen bei einem 110-kV- und bei einem 300-kV-Spannungswandler. Man sieht, dass es durchaus möglich ist, durch geeignete Massnahmen die über die einzelnen Spulen auftretenden Spannungen auf den erforderlichen Wert zu begrenzen. Fig. 5 zeigt die Aussenansicht eines 300-kV-Spannungswandlers.

Die erwähnten Beispiele sollen zeigen, dass die schweizerischen Transformatorenfabrikanten mit den Problemen der Stoßfestigkeit wohl vertraut sind und in jedem Falle eine sichere und wirtschaftliche Lösung suchen.

Dr. A. Goldstein, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG): Überspannungsableiter sollen ohne Schwierigkeiten in den Stationen dort eingebaut werden können, wo es elektrisch notwendig ist. Dies erfordert freitragende Ableiter

möglichst kleiner Bauhöhe. Fig. 1 zeigt 2 solche Ableiter-sätze des Typs HDF 190 s für 218 kV höchste Betriebsspannung an den Klemmen, eingebaut im Kraftwerk Lucendro, zum Schutze von 220-kV-Transformatoren. Die äussere Potentialsteuerung mit einem Bügel an Stelle eines Ringes ergibt kleine Abmessungen quer zur Leitungsrichtung und damit kleine Phasenabstände. Die Geräte sind mit einer Druckentlastung ausgerüstet, deren Ansprechen durch Herausspringen eines Blechstreifens zwischen den Isolatorflanschen angezeigt wird.

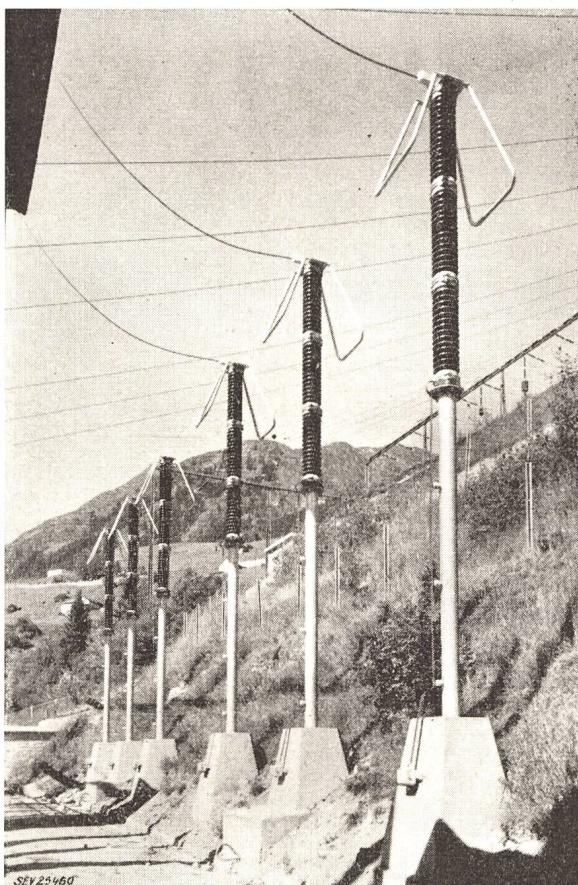


Fig. 1
Überspannungsableiter
Typ HDF 190 s
im Kraftwerk Lucendro zum Schutze von
220-kV-Transformatoren

Für den Schutzwert eines Ableiters ist eine gleichmässige und niedrige Ansprechspannung bei Stoß sehr wesentlich, denn diese bestimmt, ob der Ableiter bei atmosphärischen Überspannungen überhaupt wirksam wird oder nicht. Gute Ansprecheinigenschaften werden durch Potentialsteuerung und

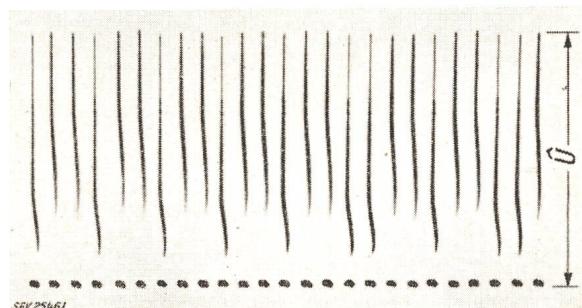


Fig. 2
Überspannungsableiter
Typ HDF 150 s
Bestimmung der 50%-Ansprechspannung bei Stoß 1|50 μs;
 $\bar{U} = 435 \text{ kV}$

Vorionisierung der Funkenstrecken erreicht. Das Oszillogramm in Fig. 2 zeigt die Aufnahme von 25 Stößen zur Bestimmung der 50%-Ansprechspannung eines 150-kV-Ableiters der Reihe HDF; die langen Striche sind «Ansprechen», die kurzen «Nichtansprechen». Hieraus folgt eine Ansprechspannung von 435 kV Scheitelwert, mit einer Streuung von nur 10,5 kV oder 2,4%. Dieses Verhalten garantiert den gewünschten guten Schutz.

W. Ringger, Vizedirektor der Emil Haefely & Cie. A.G., Basel. In den seit 1948 geltenden Regeln für die Koordination der Isolationen in Wechselstrom-Hochspannungsanlagen ist festgelegt, dass für Strom- und Spannungswandler die gleichen Prüfspannungen bei Industriefrequenz anzuwenden seien wie für Leistungstransformatoren. Wie die Erfahrung zeigt, haben sich nur wenige Elektrizitätswerke an diese Regel gehalten, während die meisten den alten Prüfspannungen nach den VDE-Vorschriften, welche sich praktisch mit den Vorschriften des SEV für Hochspannungs-Apparate decken, treu geblieben sind. Eine erhöhte 50-Hz-Prüfspannung bedeutet nicht unbedingt bessere Bewährung im Betrieb. Bei korrekter Konstruktion aber hat ein Messwandler, der für eine höhere 50-Hz-Prüfspannung ausgelegt ist, auch eine erhöhte Stoßspannungsfestigkeit und damit eine grössere Betriebssicherheit. Aus diesem Grunde kann sich jeder Konstrukteur an den erhöhten Prüfbedingungen nur freuen, vorausgesetzt natürlich, dass der für die Apparate bezahlte Preis ebenfalls eine entsprechende Erhöhung erfahren darf.

Es wird niemand behaupten, der Messwandler sei ein wichtiges Glied der Elektrizitätsversorgung als der Leistungstransformator, namentlich wenn man an die heutigen Grosstransformatoren denkt. Trotzdem kann es, mit Rücksicht auf den Schutz von Übertragungsleitungen, vorkommen, dass der Ausfall eines Wandlers störender wirkt als das Versagen eines Leistungstransformators. Auch aus diesem Grund ist eine wirklich strenge Prüfung der Messwandler durchaus richtig. In den letzten 15 Jahren hat die Anwendung von kombinierten Strom- und Spannungswandlern, sog. Messgruppen, in Hochspannungsnetzen eine grosse Ausdehnung erfahren. Da bei diesen Apparaten, im Falle eines Defektes, 2 Wandler zugleich ausfallen, erlangt die Betriebssicherheit hier eine noch grössere Bedeutung.

Die Emil Haefely & Cie. A.G. in Basel, die sich schon früh im Bau von Messgruppen spezialisierte, hat stets die erhöhten Prüfspannungen angewendet. Trotzdem z.B. die verlangten 50-Hz-Prüfspannungen für 220-kV-Gruppen in den letzten Jahren von 504 kV auf 460 kV reduziert wurden, hat sie, immer mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit, die ursprüngliche Dimensionierung beibehalten.

Selbstverständlich wurde auch der Stoßspannungsfestigkeit dieser Apparate die grösste Bedeutung zugemessen. In zahlreichen Versuchen wurde ihre Betriebstüchtigkeit und die Koordination der Isolation kontrolliert. Die Sicherheitsfunkenstrecke, mit der alle Messgruppen ausgerüstet sind, ist auf den Mindestwert der 50%-Überschlagstoßspannung, entsprechend dem mittleren Isolationsniveau, eingestellt. Beim Hochfahren der Spannung bis zum 100%igen Überschlag der Sicherheitsfunkenstrecke soll dann das Innere des Apparates keinen Schaden nehmen. Wie kann nun festgestellt werden, dass dies wirklich der Fall ist?

Ein Defekt des Stromwandlers ist leicht festzustellen, denn bei Verwendung einer nicht allzu energiereichen Stoßspannungsanlage beeinflusst ein Überschlag oder ein Durchschlag direkt die Form der Stoßspannungskurve. Schwerer ist es, zu sagen, ob der Spannungswandler Schaden erlitten hat. Hier hilft der Umstand, dass alle Spannungswandler mit Lagenwicklungen ausgerüstet sind. Infolge der grossen Kapazität der einzelnen Windungslagen gegeneinander und der sehr kleinen Erdkapazitäten derselben ist die Anfangsverteilung der auftreffenden Stoßspannung praktisch linear. Dies besonders bei grossen Lagenzahlen, was gerade bei Spannungswandlern der Fall ist. In Fig. 1 ist die prinzipielle Anfangsverteilung einer auf eine Lagenwicklung auftreffenden sehr steilen Stoßspannung dargestellt. Um die Figur deutlich zu machen, sind nur 5 Lagen eingezeichnet. Die strichpunktierte Gerade entspricht der linearen Spannungsverteilung und die stark ausgezogene Wellenlinie der Spannungsverteilung der 5 Wicklungslagen. Zum Vergleich ist die bekannte Span-

nungsverteilung einer ungesteuerten, normalen Spulenwicklung gestrichelt angedeutet.

Der Übergang von dieser Anfangsverteilung der Stoßspannung in die Endverteilung vollzieht sich durch kleine Schwingungen der einzelnen Lagen um die Gerade A-E. Je grösser die Anzahl von Wicklungslagen ist, um so kleiner werden die Amplituden dieser Schwingungen. Während in Fig. 1, wie bereits erwähnt, nur 5 Lagen als 5 grobe Stufen eingezeichnet sind, variiert die wirkliche Lagenzahl der Spannungswandler zwischen 50 und 100. Für diese grossen Lagenzahlen werden die Schwingungen der einzelnen Lagenspannungen derart klein, dass sie in Fig. 1 nicht eingezeichnet werden könnten.

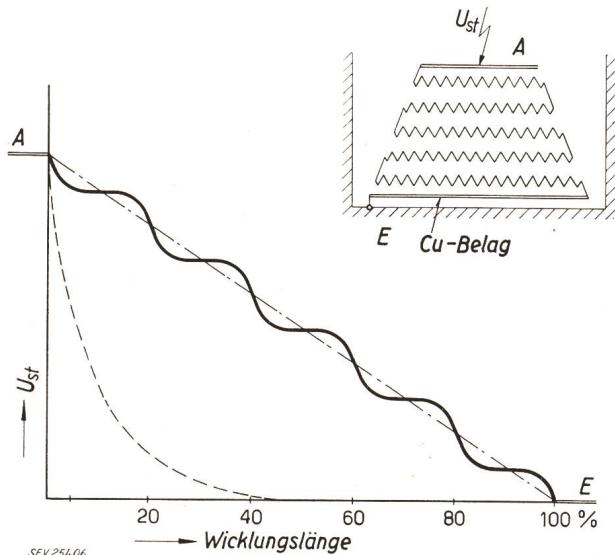


Fig. 1
Anfangszustand der Stoßspannungsverteilung bei Rechteckwelle in einer Lagenwicklung eines Spannungswandlers

U_{st} Auftreffende Stoßspannung
A-E Gerade der linearen Spannungsverteilung

Fig. 2 zeigt die Spannungsverteilung einer solchen Lagenwicklung und zwar in den ersten 2 μ s. Die verschiedenen Kurven gehören zu Messpunkten, die ungefähr die gleichen Windungszahlunterschiede aufweisen. Man ersieht daraus, dass sich die Stoßspannung praktisch linear über die Wicklung verteilt.

Die aus diesen Schwingungen resultierenden Spannungsbeanspruchungen zwischen benachbarten Drähten der gleichen Lage sind ausserordentlich gering und können mit einer normalen Drahtisolation ohne weiteres beherrscht werden. Trotzdem werden diese Wicklungen mit einer verstärkten Drahtisolation ausgeführt, und zwar aus folgenden Gründen:

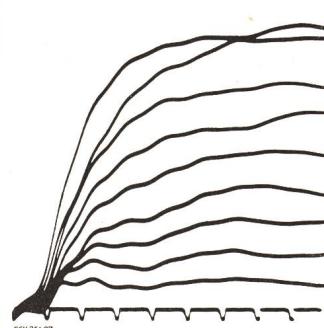


Fig. 2
Spannungsverteilung einer Lagenwicklung in den ersten 2 μ s

Die bei einer Stoßspannungsprüfung auftretenden Windungsschlüsse sind normalerweise nur momentane Windungsschlüsse. Sie können daher nachträglich durch eine Übersetzungsmessung nicht entdeckt werden, wie dies für satte Windungsschlüsse der Fall ist. Bei Leistungstransformatoren bemüht man sich, Windungsdurchschläge, die bei der Stoßspannungsprüfung auftreten, im Oszillogramm des erdseitigen Stromstosses zu erkennen. Für Spannungswandler mit bis zu 30 km Drahtlänge in der Oberspannungswicklung ist so etwas ganz ausgeschlossen. Sind also keine Mittel vorhanden, einen

Windungsschluss bei Stoßspannung mit Sicherheit zu erkennen, so müssen solche womöglich unterdrückt werden. Dies erreicht man mit der verstärkten Windungsisolation.

Es genügt also, wenn bei der Stoßspannungsprüfung gröbere Fehler, als Windungsschlüsse, beobachtet werden können. Als solche kommen in Frage: Lagendurchschlag oder Überschlag einer Enddistanz. Da der Überschlag einer Enddistanz mit einer wesentlichen Kapazitätsvergrößerung des Spannungswandlers verbunden ist, beeinflusst er, mässige Energie der Stossanlage vorausgesetzt, wie ein Stromwandlerdurchschlag, direkt die Stoßspannungskurve. Zur Feststellung eines Lagenschlusses hat man bei Haefely entsprechend der bei Transformatoren üblichen Praxis zahlreiche Beobachtungen des erdseitigen Stoßstromes gemacht, aber ohne Erfolg. Man ging deshalb zur Beobachtung des Schwingungsbildes der Sekundärwicklung über. Diese Methode ergab sehr gute Resultate. Das oberste Oszillogramm in Fig. 3 zeigt

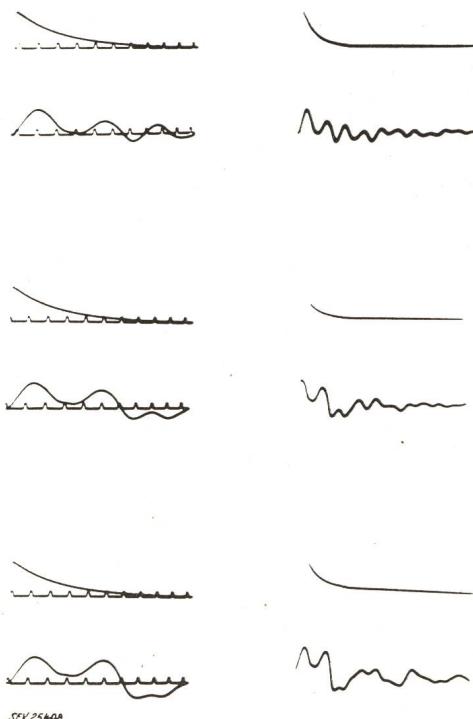


Fig. 3
Schwingungsbild der Sekundärwicklung eines primärseitig
gestossenen Spannungswandlers
Erklärungen siehe im Text

diese Schwingungen am gesunden Wandler, das mittlere beim Kurzschließen einer halben Windungslage und das unterste beim Kurzschließen von $1\frac{1}{2}$ Windungslagen. Die Oszillogramme links wurden mit einer Zeitablenkung von $300 \mu s$, diejenigen rechts mit einer solchen von $1000 \mu s$ aufgenommen. Der Kurzschluss von nur einer halben Windungslage, was in diesem Fall einer Windungszahl von 0,5 % entspricht, ergibt also bereits eine ganz deutliche Veränderung des Schwingungsbildes. Ein solcher Schluss könnte beim Durchschlag zwischen Kupferbelag und darunterliegender Drahtlage vorkommen. Alle übrigen Lagenschlüsse würden grössere Windungszahlen umfassen, wodurch die Veränderung des Schwingungsbildes noch grösser würde.

Auf Grund dieser Resultate darf festgestellt werden, dass die Stoßspannungsprüfung dieser Messgruppen keinerlei Unsicherheiten bezüglich nicht feststellbarer, eventueller Wicklungsschäden in sich schliesst, weshalb sie auch als normale Stückprüfung ausgeführt werden.

Bei der kapazitiven Messgruppe, bei welcher der gewickelte, magnetische Spannungswandler durch einen Kondensatorspannungswandler ersetzt ist, stellt die Stoßspannungsprüfung kein Problem dar.

Dr. J. Amsler, Sprecher & Schuh A.G., Aarau: Als Ergänzung zum Vortrage von Prof. Dr. Berger¹⁾ sollen an Hand von Figuren einige besonders erwähnenswerte Eigenschaften der Überspannungsableiter der Sprecher & Schuh A.G. erläutert werden.

Wenn man von Überspannungsableitern, kurz von Ableitern spricht, dann denkt man in erster Linie an den aktiven Teil, d.h. an die Ableitwiderstände und an die Funkenstrecken, die die eigentlichen Schutzfunktionen aus-

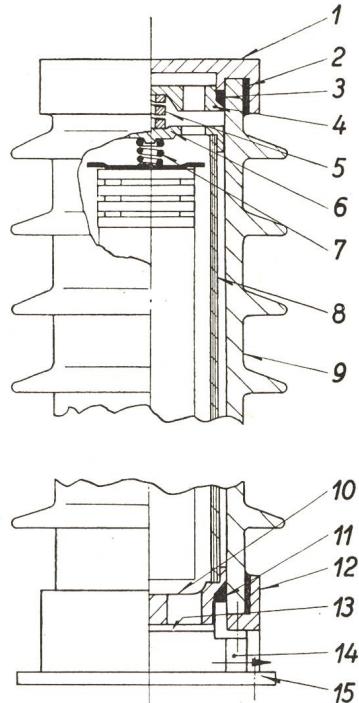


Fig. 1
Konstruktionsprinzip eines Überspannungsableiters für
Nennspannungen bis 60 kV

1 Kappe; 2 Kittung; 3 obere Gummidichtung; 4 obere Druckplatte; 5 Druckfeder für Dichtungsdruck; 6 untere Druckplatte; 7 Druckfeder für aktiven Teil; 8 Schutzrohr; 9 Porzellaniisolator; 10 Abschlussarmatur; 11 untere Gummidichtung; 12 Fuss; 13 Sicherheitsmembrane; 14 Öffnung; 15 Grundplatte

üben, in dem sie die Überspannung begrenzen und die überschüssigen Ladungen nach Erde abführen. Die bitteren Erfahrungen der ersten Entwicklungszeit haben aber gezeigt, dass die konstruktive Gestaltung des Ableitergehäuses und speziell die Abdichtung gegen das Eindringen von Feuchtigkeit für den störungsfreien Einsatz der Ableiter mindestens ebenso wichtig ist wie der aktive Teil.

Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Ableiters für eine Nennspannung von 60 kV. Für höhere Spannungen wird eine entsprechende Anzahl solcher Elemente in Serie geschaltet. Grösste Sorgfalt ist auf die Abdichtung des Gehäuses verwendet. Die kritischen Stellen bei der Abdichtung sind dort, wo die Metallarmaturen mit dem Porzellaniisolator zusammenstoßen. Die Armaturen sind auf die Isolatoren aufgeklebt, die Kittstelle ist jedoch im allgemeinen nicht dicht. Es müssen daher zusätzlich Gummidichtungen verwendet werden. Wesentlich ist nun, dass diese Gummidichtungen unter konstantem Federdruck stehen, so dass sie unabhängig von der Wärmeausdehnung im Bereich von $-40...+80^\circ C$ dicht sind. Der Druck wird ausgeübt von einer kräftigen Druckfeder, die über eine obere Druckplatte auf die obere Dichtung und über eine untere Druckplatte, Isolierrohr (Schutzrohr) und Abschlussarmatur auf die untere Dichtung wirkt.

Störungen an Ableitern sind nach unserer Statistik zu einem sehr seltenen Ereignis geworden. Es wird aber auch in Zukunft nicht möglich sein, Störungen mit völliger Sicherheit zu verhindern, da Belastungsfälle auftreten können, wie z. B. nahe Blitzeinschläge, häufiges Ansprechen in kurzen

¹⁾ Siehe Berger, K.: Überspannungen und Überspannungsschutz. Bull. SEV Bd. 48(1957), Nr 10, S. 465...474 u. 483.

Zeitabständen infolge Resonanzerscheinungen im Netz usw., denen die Ableiter nicht gewachsen sind. An sich wäre es zwar möglich, Ableiter für wesentlich grössere Belastungen zu bauen; diese Möglichkeit wird jedoch angesichts der Seltenheit dieser gefährlichen Belastungen nicht ausgenützt, da dann der Einsatz der Ableiter unwirtschaftlich würde. An- gesichts dieser Sachlage haben wir uns bemüht, das Gehäuse so zu gestalten, dass die Schäden im Störungsfall möglichst gering sind, und dass insbesondere keine Gefährdung der Umgebung durch Splitter auftreten kann. Hiezu ist im Ableiterfuß eine Sicherheitsmembran angebracht, welche bei mässigem Überdruck im Ableiterinneren anspricht und eine grosse Öffnung freigibt, durch welche die Lichtbogengase nach aussen entweichen können. Diese Massnahme

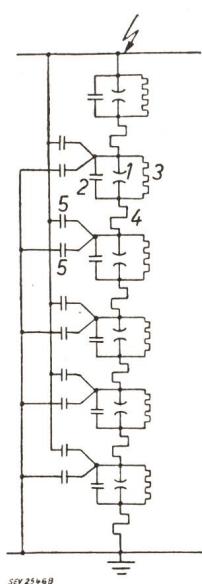


Fig. 2
Schematische Darstellung der gemischt Ohmisch-kapazitiven Steuerung des Überspannungsableiters

1 Funkenstrecke; 2 Kapazität der Funkenstrecke; 3 Steuerwiderstand; 4 Ableitwiderstand; 5 Streukapazität gegen Zuleitung bzw. gegen Erde

allein genügt jedoch erfahrungsgemäss noch nicht. Es muss ferner dafür gesorgt werden, dass der Lichtbogen nicht direkt an das Porzellan gelangen kann, da dieses seine mechanische Festigkeit unter der enormen thermischen Belastung nahezu vollständig verlieren würde. Diese Aufgabe übernimmt das Schutzrohr aus Hartpapier. Auf diese Weise behält der Isolator auch im Störungsfall seine volle Festigkeit bei und kann den auftretenden sehr grossen mechanischen Kräften

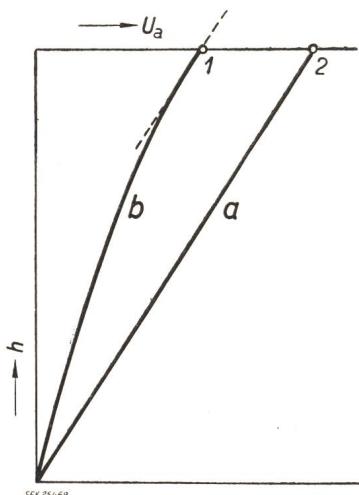


Fig. 3
Schematischer Spannungsverlauf längs des Ableiters

a bei 50 Hz und bei Frequenzen bis etwa 1000 Hz
b bei Stoßspannung

U_a Ansprechspannung; h Höhe des Ableiters;
1 Ansprechspannung bei Stoßspannung;
2 Ansprechspannung bei 50 Hz

standhalten. Die Einrichtung wurde versuchsweise verschiedentlich bei Kurzschlußströmen von einigen 100 A bis zu ca. 14 000 A geprüft, wobei ihre volle Wirksamkeit erwiesen wurde.

Der aktive Teil des Ableiters ist aus spannungsabhängigen Widerständen und Funkenstrecken gebildet, die abwechselungsweise aufeinandergeschichtet sind, was im Hinblick auf die

Unabhängigkeit der Ansprechspannung unter Regen und Verschmutzung wichtig ist. Das Schema der Steuerung ist aus Fig. 2 ersichtlich. Die Ohmsche Komponente ist bei kleinen Frequenzen, insbesondere bei 50 Hz allein wirksam. Sie bewirkt eine praktisch lineare Verteilung der Spannung längs der ganzen aktiven Säule (Fig. 3a). Dies ist vor allem im Hinblick auf das Lösen des nachfolgenden Netzstromes

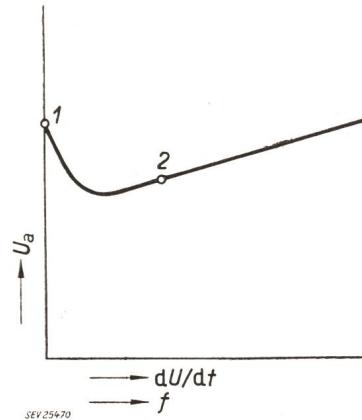


Fig. 4
Schematischer Verlauf der Ansprechspannung des Überspannungsableiters

mit gemischt Ohmisch-kapazitiver Steuerung in Funktion der Frontsteilheit der Überspannungswelle

1 U_a Ansprechspannung; dU/dt Steilheit; f Frequenz;
2 50-Hz-Ansprechspannung; 2 100-%-Ansprechstoßspannung

wichtig, weil dadurch erreicht wird, dass jede Funkenstrecke die gleiche Spannung zu unterbrechen hat. Der Ableiter ist dadurch auch gegen das unnötige Ansprechen bei an sich ungefährlichen Schaltüberspannungen geschützt, die meist mit relativ niedrigen Frequenzen auftreten. Bei hohen Frequenzen oder, was dasselbe bedeutet, bei Überspannungen mit steilen Fronten, überwiegt die kapazitive Komponente der Steuerung. Es resultiert daraus eine nichtlineare Spannungsverteilung nach Fig. 3b. Die Ansprechspannung bei Stoßvorgängen wird damit kleiner als bei 50 Hz, der Stoßfaktor also kleiner als 1, was für den Schutzwert des Ableiters von Bedeutung ist.

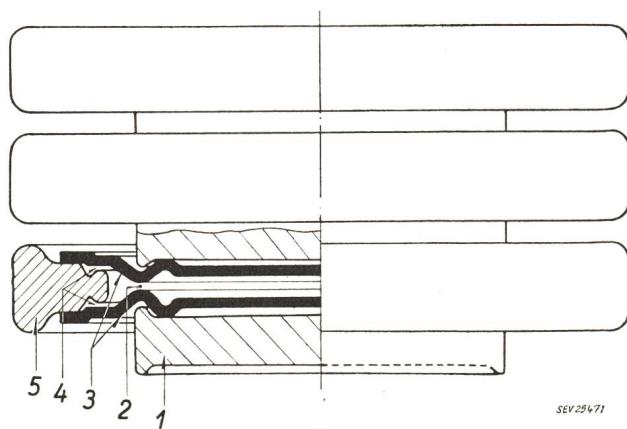


Fig. 5
Ausschnitt aus dem aktiven Teil des Überspannungsableiters
1 spannungsabhängiger Ableitwiderstand; 2 Funkenstrecke;
3 Elektroden; 4 Vorionisierungsspalt; 5 Steuerwiderstand

Fig. 4 zeigt den prinzipiellen Verlauf der Ansprechspannung in Funktion der Frontsteilheit. Mit steigender Steilheit fällt die Ansprechspannung zunächst ab, da sich der Einfluss der kapazitiven Komponente der Steuerung in steigendem Masse geltend macht. Im Gebiete grösserer Steilheiten steigt die Ansprechspannung jedoch wieder an, da hier bereits der Zündverzug der Funkenstrecken wirksam ist. Der Anstieg erfolgt jedoch um so langsamer, je kleiner der

Zündverzug ist. In der Vorionisierung der Funkenstrecken hat man ein Mittel, den Zündverzug wirksam herabzusetzen. Konstruktive Einzelheiten der Vorionisierung zeigt Fig. 5. Wenn die am Ableiter liegende Spannung über dessen Nennspannung hinaus ansteigt, dann beginnt im Vorionisierungsspalt ein Glimmstrom zu fliessen. Diese Glimmentladung sendet eine kräftige ultraviolette Strahlung aus, die an der Hauptfunkenstrecke Photoelektronen auslöst, wodurch der Zündverzug sehr wirksam heruntergesetzt wird. Fig. 6 zeigt die Streuung einer im übrigen gleichen Funkenstrecke mit und ohne Vorionisierung, bei einer Stossfolge von ca. 100 Stößen in Abständen von 30 s.

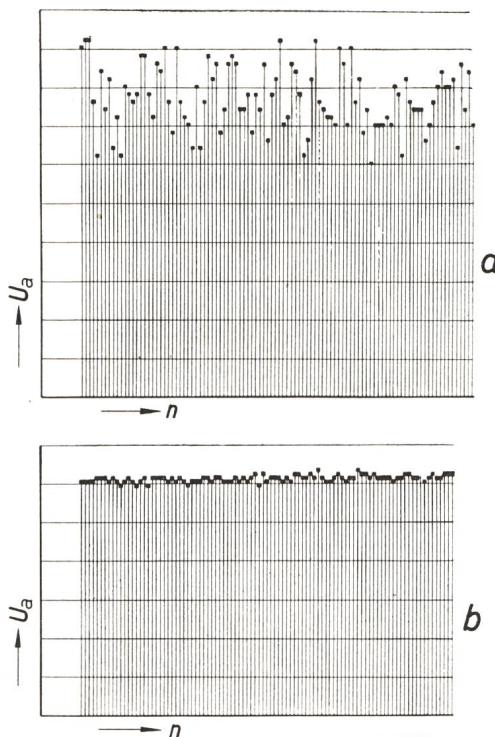


Fig. 6

Streuung der Frontansprechspannung bei einer Steilheit von 100 kV/us pro 10 kV Ableiternennspannung

a Funkenstrecken nicht vorionisiert

b Funkenstrecken vorionisiert

U_a Ansprechspannung; n Anzahl Stösse

Der Schutzwert eines Ableiters hängt nicht nur von den Eigenschaften des Ableiters selbst, sondern ganz wesentlich auch von dessen Einbauort im Netz ab. In konkreten Fällen ist es oft nicht einfach, den günstigsten Einbauort zu ermitteln, da die rechnerische Erfassung oft kompliziert und ungenau ist. Wir haben deshalb ein Netzmodell entwickelt, mit dem sich solche Vorgänge auf einfache Weise untersuchen lassen.

Berichtigung. H. Schiller, Baden, Autor des Artikels «Betriebserfahrungen mit der Koordination der Isolation», (Bull. SEV Bd. 48(1957), Nr. 10, S. 483...485) bittet uns um folgende Richtigstellung:

Auf S. 483, rechte Spalte, sollte es von der 4. bis 8. Zeile heissen:

«Seinerzeit wurde am Ende der Gotthardleitung ein Transformatormodell 80—150/50 kV aufgestellt, der oberspannungsseitig Dreieck/Stern von 80 auf 150 kV umschaltbar gemacht wurde. Da zur Zeit der Bestellung noch keine Normen für die Prüfspannungen für die Nennspannung 150 kV bestanden, wurde er für eine für heutige Begriffe zu tiefe Prüfspannung bestellt. Um ihn gegen Überspannungen zu schützen, sah man Schutzfunkenstrecken vor. Dieselben wurden etwa 10 m vor dem Transformatormodell ...»

Wirtschaftliche Mitteilungen

Zahlen aus der schweizerischen Wirtschaft

(Auszüge aus «Die Volkswirtschaft» und aus
«Monatsbericht Schweizerische Nationalbank»)

Nr.		Juni	
		1956	1957
1.	Import (Januar-Juni)	637,1 (3545,4)	687,9 (4353,3)
	Export (Januar-Juni)	515,9 (2902,3)	538,6 (3260,6)
2.	Arbeitsmarkt: Zahl der Stellensuchenden	1 015	971
3.	Lebenskostenindex*) (Aug. 1939 = 100)	175	178
	Grosshandelsindex*) (August 1939 = 100)	221	226
	Detailpreise*): (Landesmittel)		
	Elektrische Beleuchtungsenergie Rp./kWh	34(92)	34(92)
	Elektr. Kochenergie Rp./kWh	6,6(102)	6,6(102)
	Gas Rp./m ³	29(121)	29(121)
	Gaskoks Fr./100 kg	18,96(247)	20,99(273)
4.	Zahl der Wohnungen in den zum Bau bewilligten Gebäuden in 42 Städten (Januar-Juni)	1841 (9667)	1680 (7253)
5.	Offizieller Diskontsatz %/o	1,50	2,50
6.	Nationalbank (Ultimo)		
	Notenumlauf 10 ⁶ Fr.	5 251	5 635
	Täglich fällige Verbindlichkeiten 10 ⁶ Fr.	2 094	2 024
	Goldbestand und Golddevisen 10 ⁶ Fr.	7 282	7 593
	Deckung des Notenumlaufes und der täglich fälligen Verbindlichkeiten durch Gold %/o	90,53	90,32
7.	Börsenindex (am 25. d. Mts.)		
	Obligationen	98	91
	Aktien	441	419
	Industrieaktien	580	604
8.	Zahl der Konkurse (Januar-Juni)	40 (231)	33 (176)
	Zahl der Nachlassverträge (Januar-Juni)	12 (79)	14 (81)
9.	Fremdenverkehr		
	Bettenbesetzung in %/o nach den vorhandenen Betten Mai	1956 26,4	1957 27,1
10.	Betriebseinnahmen der SBB allein:		
	Verkehrseinnahmen aus Personen- und Güterverkehr 10 ⁶ Fr. (Januar-Mai)	68,8 (308,3)	70,0 (330,8)
	Betriebsertrag (Januar-Mai)	74,4 (336,9)	75,8 (359,5)

*) Entsprechend der Revision der Landesindexermittlung durch das Volkswirtschaftsdepartement ist die Basis Juni 1914 = 100 fallen gelassen und durch die Basis August 1939 = 100 ersetzt worden.

Miscellanea

Persönliches und Firmen

(Mitteilungen aus dem Leserkreis sind stets erwünscht)

Aare-Tessin A.-G., Olten (SO). Direktor W. Cottier, Mitglied des SEV seit 1925, Mitglied des Verwaltungsrates der Atel, wurde in dessen leitenden Ausschuss gewählt. G. Gianella wurde zum Direktor, Dr. E. Trümppy, Mitglied des SEV seit 1955, zum Prokuristen ernannt.