

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**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:** 08.02.2026

**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.

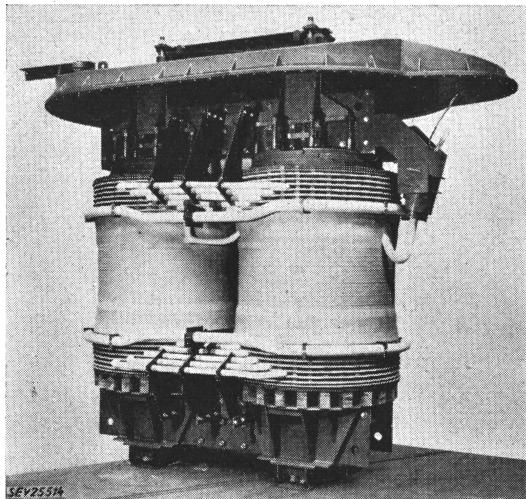


Fig. 4  
Aktiver Teil eines Einphasentransformators 10/225 kV  
mit Lagenwicklung

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 Verbindung wird die Längskapazität  $K_s$  einer Doppelspule ein Vielfaches einer gewöhnlichen Doppelspule bei sonst gleichen Abmessungen und Kühlverhältnissen.

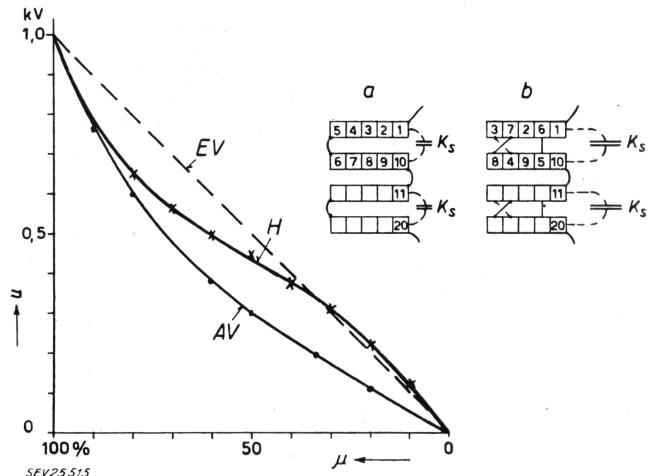


Fig. 5  
Stoßspannungsverteilung in einer Wicklung mit verschachtelten Scheibenspulen

Stoßspannung 1 | 50  $\mu$

$u$  Spannung;  $\mu$  prozentuale Verteilung;  $AV$  Anfangsspannungsverteilung;  $EV$  Endspannungsverteilung;  $H$  Hüllkurve;  $a$  normale Wicklungsart;  $b$  verschachtelte Wicklungsart;

$K_s$  Längskapazität einer Doppelspule

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. Trümpy (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.

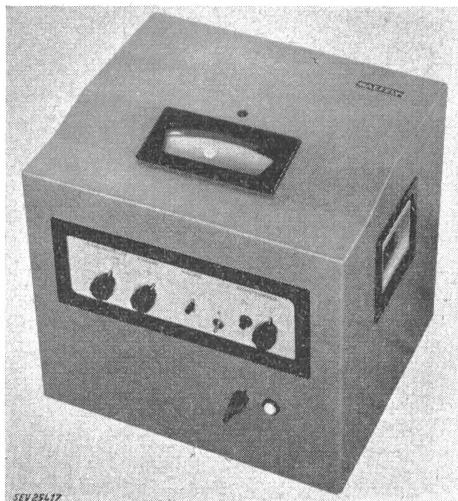


Fig. 1  
Stossvoltmeter  
zur Scheitelwertmessung von einmaligen Stosswellen

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 Stosskreises kann mit dem eingebauten Galvanometer kontrolliert werden.

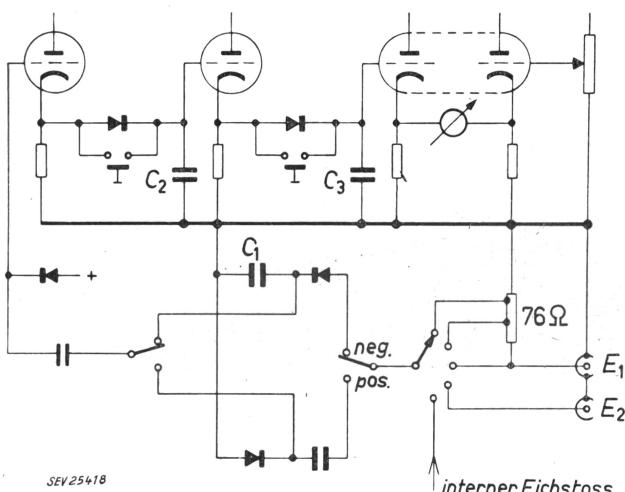


Fig. 2  
Prinzipschema des Voltmeters

$C_1$  Messkondensator;  $C_2$ ,  $C_3$  Speicherkondensatoren;  
 $E_1$  koaxialer Messeingang,  $76 \Omega$ ;  $E_2$  hochohmiger Messeingang

Zur Messung der Stoßspannung wird das Voltmeter wie ein Kathodenstrahlzillograph 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 abtrennt 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.

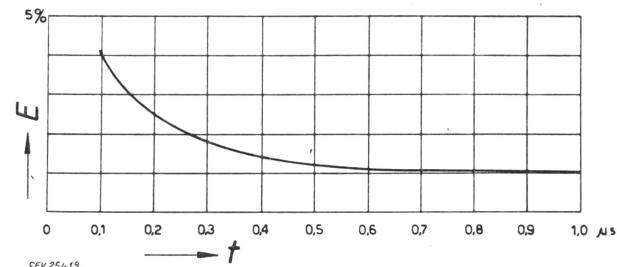


Fig. 3  
Abhängigkeit des Fehlers  $E$  von der Abschneidezeit  $t$  der frontgeschnittenen Stosswelle

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 einzuordnen.

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 Transformators 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 aufraten. 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 Scheibenpulpenwicklung. 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

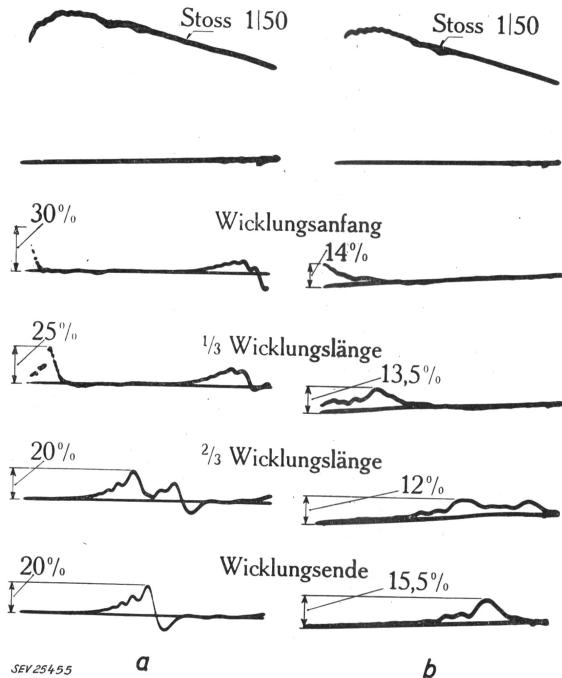


Fig. 1

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 Transfornators für das schwedische 380-kV-Netz Gelegenheit zur Untersuchung dieser Zu-

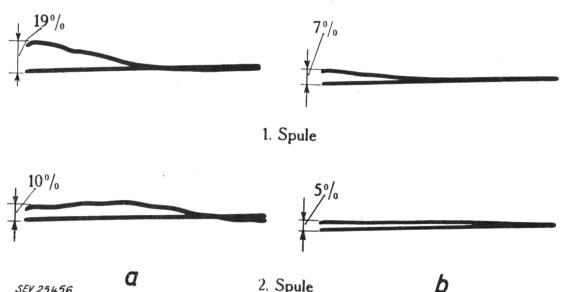


Fig. 2

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-Transfornator und an einem 225-kV-Transfornator aufgenommen wurden. Man sieht von

oben nach unten die angelegte Stoßspannung und die Spannungen über je eine Doppelscheibenspule am Anfang, in Eindritteln- und Zweidritteln-Wicklungslänge und über die Endspule. Während bei der 220-kV-Wicklung über der Eingangsspule eine wesentlich höhere Spannung auftritt als über die Spulen im Wicklungssinnern, 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-Transfornator hat nach Abwicklung aller Abnahmeprüfungen, einschliesslich der Stoßspannungsprüfung, vor einigen Monaten unsere Werkstätten verlassen.

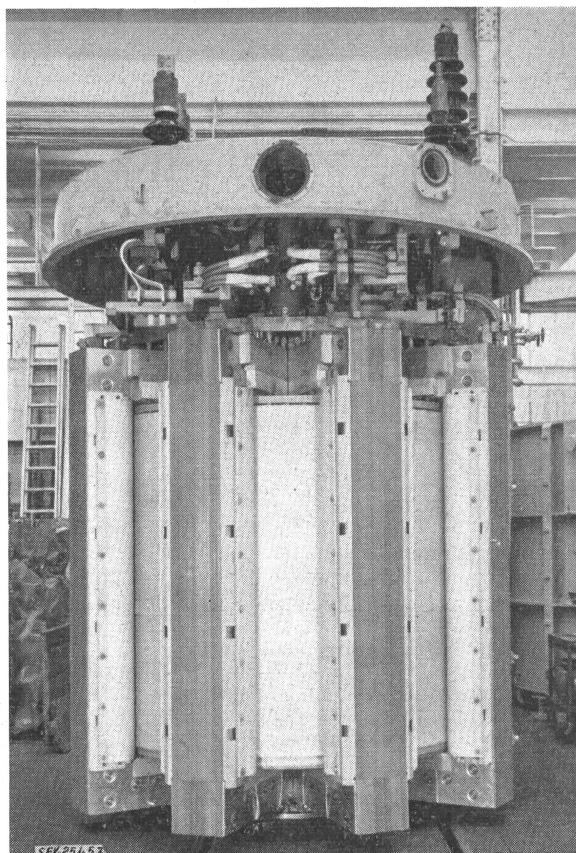


Fig. 3  
Aktivteil eines Einphasentransformators einer 260-MVA-Dreiphasengruppe für ein amerikanisches Kraftwerk

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

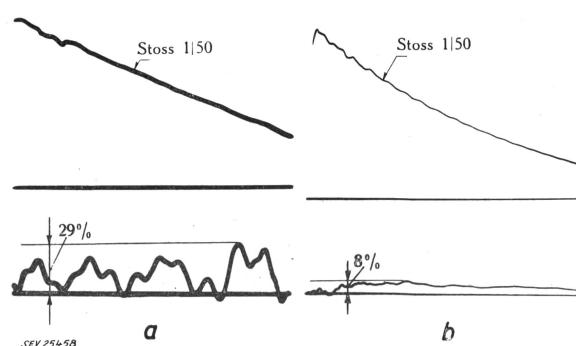


Fig. 4  
Gemessene Stoßspannungen über die beiden ersten Spulen eines 110-kV- und eines 300-kV-Spannungswandlers  
a 110-kV-Wandler; b 300-kV-Wandler

Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 831

Es folgen «Die Seiten des VSE»