

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 36 (1945)
Heft: 11

Artikel: Dielektrische Probleme im Bau von Stromwandlern für Höchstspannung
Autor: Scherb, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060226>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

nach Schätzungen, die aus Tierversuchen gewonnen und auf den Menschen übertragen wurden, nur 12...15 Minuten Zeit zur Verfügung, um wirkungsvoll eingreifen zu können. Dies kommt im wesentlichen davon her, dass das Zentralnervensystem den Sauerstoffmangel, der als Folge des Kammerflimmerns und der fehlenden Blutzirkulation automatisch eintritt, höchstens 12...15 Minuten erträgt. Nachher wird es durch den Sauerstoffmangel so geschädigt, dass es sich nicht mehr zu erholen vermag. Es stellt sich also die Frage: Soll dem Laien ein Mittel gegen das von ihm nicht feststellbare und nicht kontrollierbare Kammerflimmern in die Hand gegeben werden? Diese Frage muss vorerst aus verschiedenen, hier nicht näher auszuführenden Gründen verneint werden; solche Massnahmen gehören in die Hand des Arztes. Dagegen steht dem als *erste* Rettungsinstanz eingreifenden Laien die Möglichkeit zur Verfügung, durch künstliche Atmung oder durch geeignete Apparate im Körper des Verunglückten einen bescheidenen Kreislauf aufrechtzuerhalten und dadurch die kritische, für die Rettung überhaupt zur Verfügung stehende Zeitspanne von höchstens 15 Minuten vielleicht auf 30 oder mehr Minuten heraufzusetzen, was möglicherweise durch Anwendung des experimentell allerdings noch nicht durchgeprüften Biomotors geschehen kann.

Es ist wohl überflüssig, zu betonen, dass die bisherigen Anleitungen zur Hilfeleistung bei durch elektrischen Strom verursachten Unfällen uneingeschränkt in Kraft bleiben, solange sich nicht aus den Versuchen der Aerztekommission neue praktisch anwendbare Massnahmen zur Rettung elektrisch Verunfallter ergeben. Dies gilt ganz besonders für die zeitlich ausgedehnte Durchführung der *künstlichen Atmung*, die beim elektrischen Scheintod (in Fällen, wo das Kammerflimmern für den Verlauf nicht allein massgebend sein kann), noch nach Stunden Erfolg verspricht.

Aus diesen Ueberlegungen ergeben sich folgende Aufgaben zur Prüfung im Tierexperiment:

1. Ein Mittel zu suchen, welches das Herzkammerflimmern direkt in normales Schlagen überführt (Anknüpfung an die letzten Versuche von Dr. R. Sulzer).

2. Einen chemischen Körper anzuwenden, der direkt in das flimmernde Herz injiziert, dieses zum Stillstand bringt, selbst aber im Herzen rasch zerfällt, so dass sich eine Durchspülung des Herzens erübrigt.

3. Stoffe anzuwenden, die das stillstehende Herz wieder zum Schlagen anregen.

4. Geeignete Apparate und Methoden zu suchen, die eine wirksame Herzmassage von aussen, eine gute Kreislaufanregung und eine rationelle Sauerstoffzufuhr ermöglichen (z. B. Biomotor kombiniert mit Sauerstoffzufuhr, Sauerstoffinjektion in die Gefässe).

Wie eingangs erwähnt, gelang es bereits, *einen* wichtigen Programmpunkt zu verwirklichen, indem Stoffe gefunden wurden, welche das Herzkammerflimmern am isolierten Säugetierherzen fast mit Sicherheit aufzuheben vermögen und das flimmernde Herz wieder zum normalen Schlagen bringen. Ein ausführlicher Bericht über die Versuche mit diesen Stoffen wird einem besonderen Artikel vorbehalten bleiben.

Neben dieser experimentellen Tätigkeit für die Erforschung neuer Methoden zur Rettung elektrisch Verunfallter wurde dem Forschungsarzt in Zusammenarbeit mit dem Starkstrominspektorat und der Materialprüfanstalt des SEV die weitere Aufgabe übertragen, die Gefährlichkeit von elektrisch geladenen Weidezäunen abzuklären. Die Versuchsserie blieb zwar relativ klein, weil die Zahl der zur Prüfung vorgewiesenen Apparate bisher bescheiden war; es gelang aber doch, bestimmte Richtlinien für eine obere Grenze der zulässigen Ladungen aufzustellen, unterhalb welcher bei einigemassen normalen Betriebsbedingungen keine Unfälle vorkommen dürften. Es werden aber auch hier noch weitere Untersuchungen nötig sein, um möglichst genaue, in einer bindenden Vorschrift niedergelegte Anforderungen für den Bau und die Prüfung von Apparaten zur elektrischen Ladung von Weidezäunen aufstellen zu können.

Adresse der Autoren:

F. Sibling, Stellvertreter des Oberingenieurs des Starkstrominspektorates, Sekretär der Aerztekommission, Seefeldstr. 301, Zürich 8.

Dr. med. R. Fröhlicher, Forschungsarzt der Aerztekommission des VSE, Alte Landstrasse 105, Zollikon.

Dielektrische Probleme im Bau von Stromwandlern für Höchstspannung

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 7. Oktober 1944 in Luzern,

von E. Scherb, Aarau

621.314.224.08

Die Stromwandler für Höchstspannungen haben in den letzten zwei Jahrzehnten in bezug auf die Isolation der Hochspannungswicklung eine bemerkenswerte Entwicklung durchgemacht. Diese Entwicklung wird an Hand der Wandler der Firma Sprecher & Schuh gezeigt, und die Isolier-technik des Kabelringwandlers, als modernste Ausführungsform dieser Firma, näher beschrieben.

Les transformateurs d'intensité pour très hautes tensions se sont remarquablement développés au cours de ces 20 dernières années, notamment en ce qui concerne l'isolement de l'enroulement à haute tension. L'auteur expose quel a été le développement des transformateurs de la Maison Sprecher & Schuh et décrit la technique d'isolement du transformateur à enroulement circulaire câblé, l'un des modèles les plus récents de cette entreprise.

Form und Grösse eines Stromwandlers für höhere Spannungen werden in erster Linie durch die Art der Isolation der Hochspannungswicklung bestimmt.

In den letzten 2 Jahrzehnten haben die Wandler in dieser Hinsicht eine bemerkenswerte Entwicklung durchgemacht, die nun seit einigen Jahren allgemein

zu einem gewissen Abschluss gelangt zu sein scheint. Ein kurzer Ueberblick über den Gang dieser Entwicklung sowie den heutigen Stand dürfte deshalb ganz interessant sein.

Die einfachste Form des Stromwandlers ist der Einleiterwandler oder Stabwandler. Isolationstechnisch gibt es hier keine Schwierigkeiten. Man hat es mit einer einfachen Durchführung zu tun, bei

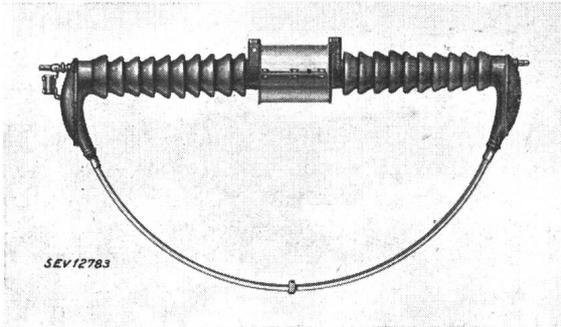


Fig. 1.
Schleifenwandler, 150 kV, für Freiluftaufstellung
(gebaut 1920...1930)

der es nur gilt, den Durchmesser mit Rücksicht auf einen kurzen Eisenweg möglichst klein zu halten. Seine beschränkte Leistung und Genauigkeit bei kleinen Strömen verhinderten trotzdem gerade bei den höheren Spannungen seine universelle Anwendung, besonders, da er in die modernen Schalter nicht mehr eingebaut werden kann.

Von den Mehrleiterwandlern in Trockenausführung erlangten für die höheren Spannungen die Schleifenwandler einige Bedeutung. Wohl wurde auch Porzellan in der Form der Kaskadenwandler für höhere Spannung als Isolationsmaterial benutzt, doch war hier die obere Grenze aus technischen und aus Preisgründen bald erreicht.

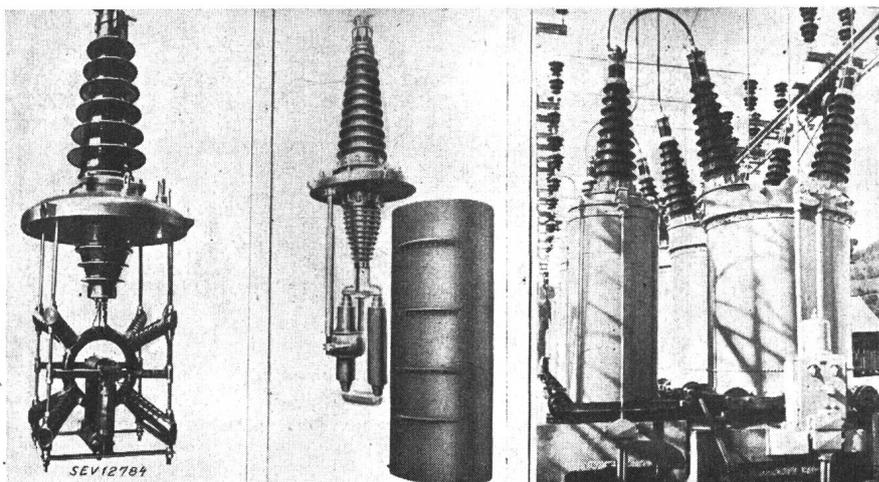


Fig. 2.
Stromwandler, 150 kV, älterer
Ausführung
(gebaut 1920...1930)

Die Schleifenwandler in Luft werden für mittlere Hochspannungen auch heute noch, jedoch meist nur für Innenraum, verwendet. Sie bestehen in der Regel aus zwei Durchführungen. Früher baute man wohl auch für Freiluftanlagen Schleifenwandler, die aus nur einer Durchführung und einer

luftisolierten Rückleitung bestanden. Fig. 1 zeigt einen solchen Wandler, der noch 1930 von Sprecher & Schuh ausgeführt wurde. Verschiedene Nachteile — die grosse Windungslänge der Primärwicklung und damit im Zusammenhang deren grosse Empfindlichkeit gegen steile Wanderwellen, der umständliche Einbau in Freiluftanlagen sowie nicht zuletzt der hohe Preis — verhinderten auch hier eine weitergehende Verwendung in Anlagen höherer Spannung.

Aus allen diesen Gründen erlangten für Spannungen über 20 kV die ölgefüllten Wandler, die sogenannten Topfwandler und Stützwandler, die grossere Bedeutung. Für die unteren Spannungen verwendeten Sprecher & Schuh als Träger der Hochspannungswicklung auch unter Oel vielfach Porzellanspulen. Durch zweckmässige Formgebung des Porzellans gelang es, diese an und für sich preislich sehr günstigen Konstruktionen bis 50 kV Betriebsspannung anzuwenden. Die Porzellan-Spulen waren mit der vollen Spannung auf Durchschlag beansprucht. Nicht jedes Porzellan eignete sich für diese Beanspruchung. Ausserdem bilden Porzellan und Oel isolationstechnisch, infolge der grossen Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstanten und der Empfindlichkeit des Porzellans gegenüber Gleitfunken unter Oel, grundsätzlich eine ungünstige Kombination.

Bei Spannungen über 50 kV hingegen war man im Anfang in der Hauptsache auf das Oel als das spannungstragende Dielektrikum angewiesen. Es ergaben sich zwangsläufig grosse Abstände und auch grosse Eisenwege. Fig. 2 zeigt als Beispiele einige der typischen Konstruktionen für 150 kV aus den 20er Jahren. Allgemein finden wir in dieser Epoche an den Hochspannungs-Wandlern grosse Oelkessel, die den aktiven Teil enthalten, und eine Durchführung im Deckel. Die äusseren Abmessungen waren imponierend. Diese Wandler enthielten über 2000 kg Oel und hatten ein Totalgewicht von über 4000 kg.

Gleichzeitig mit der Entwicklung der modernen Schalter setzten denn auch Bestrebungen ein, Oelmengen und Dimensionen der Stromwandler möglichst herabzusetzen.

Einen ersten Fortschritt brachte die Entwicklung der Stützwandler, bei denen an Stelle der Durchführung im Deckel ein Isoliermantel von entsprechendem Durchmesser über die aktiven Teile herabgezogen wurde. Fig. 3 zeigt einen solchen Wandler aus dem Anfang der 30er Jahre. Der aktive

Teil der Hochspannungswicklung bestand noch wie früher aus zwei Durchführungen in Form eines Schleifenwandlers unter Oel. Auch diese Anordnung ergab noch verhältnismässig grosse Oelvolumen, denn es waren insgesamt 4 Fassungsstellen von Durchführungen mit den entsprechenden Ueberschlagsdistanzen vorhanden; ausserdem waren die nötigen Abstände zu den benachbarten Kesselwandungen einzuhalten. Der Wandler enthielt immer noch 750 kg Oel.

Um eine weitere drastische Reduktion der Oelmenge zu erreichen, war man gezwungen, in der Isolierung der Hochspannungswicklung ganz neue Wege zu beschreiten, dahinführend, dass reine Oelstrecken als Dielektrikum ausgeschaltet und durch ölgetränktes Papier ersetzt wurden. Konstruktiv bestand die Lösung darin, dass der aus zwei Durchführungen bestehende Schleifenwandler unter Oel durch eine Kabelschleife mit unten durchgehender Papierwicklung ersetzt wurde. Fig. 4 zeigt ein solches Element für einen 220-kV-Wandler, eine Konstruktion, die vor etwa 10 Jahren

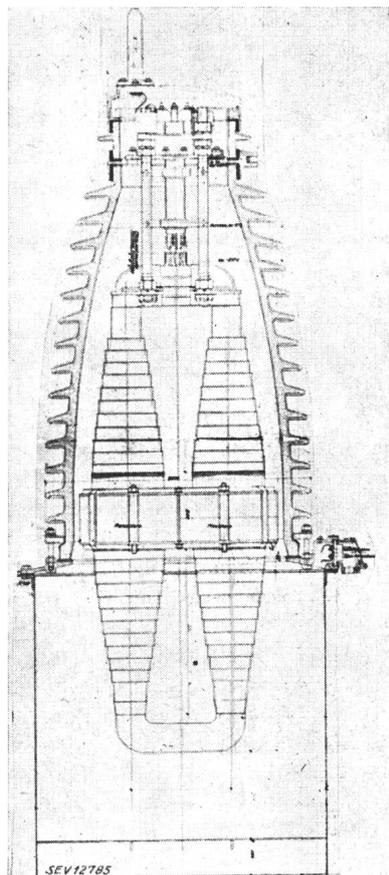


Fig. 3.
Stützwandler, 150 kV, älterer Ausführung
(gebaut 1930...1935)

erstmalig ausgeführt wurde. Es war nur eine Uebergangskonstruktion; denn dieses zwischenklige Wickel-element beansprucht immer noch zu viel Platz, um ohne Vergrösserung des Porzellans in einen normalen Oelstrahlschalterunterteil eingebaut zu werden. So wurde denn in einer letzten Ausfüh-

rungsform der Ring-Kabelwandler entwickelt, bei welchem Zu- und Abführung der Primärwicklung in eine einzige Isolierumhüllung verlegt sind (Fig. 5). Die Primärwicklung selber ist in eine blanke ringförmige Metallverschalung, von welcher ein Metallrohr für Zu- und Abführung abzweigt,

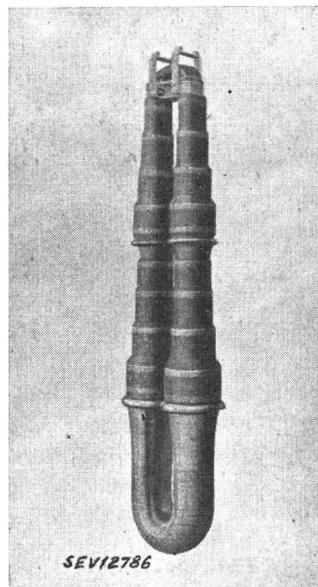


Fig. 4.
Zweischenkliges Kabel-Wickel-
element eines Stromwandlers,
220 kV
(gebaut 1934)

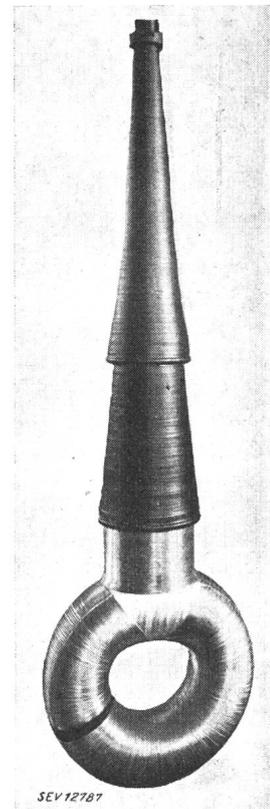


Fig. 5 (rechts).
Hochspannungswickel eines
Ring-Kabelwandlers, 150 kV

eingeschlossen. Das ganze Gebilde gleicht einer Ringöse mit Stiel. Auf die Metallverschalung wird die Papierisolation in Streifenform, ähnlich wie bei der Kabelfabrikation, in der nötigen Dicke aufgewickelt.

Durch die blanke Metallhülle, die an Spannung liegt, wird eine eindeutige Niveaufläche und eine gleichmässige Feldbeanspruchung der inneren Papiersichten gewährleistet. Für die Isolierung der Partie des Ringes und des Ausführungsrohres konnte ohne weiteres auf die hochentwickelte Kabeltechnik abgestellt werden. Ein neues Problem brachte aber die Isolierung der Kreuzpartie an der Uebergangsstelle vom Ring zum Rohr, wo drei Stoßstellen von Papierwickeln so zusammengefügt werden müssen, dass keine wesentlichen Feldbeanspruchungen längs von Papiersichten oder gar durch freie Oelstrecken auftreten können; denn die zulässige Feldstärke längs der Papiersichten oder in freien Oelstrecken ist um ein Vielfaches kleiner als die, welche senkrecht zu den Schichten zugelassen werden kann.

Nach eingehenden Versuchen gelang es, hiefür eine geeignete Wickeltechnik auszubilden, wobei auch heute noch sorgfältige Arbeit durch geschultes Personal Voraussetzung für eine gleichmässige, gute Isolation ist.

Die Isolation des Ringes und des Halses ist von einem geerdeten Metallmantel umgeben, der am Durchführungsteil etwas oberhalb der Kreuzstelle in einem abgeschirmten Glimmring endet. Zur richtigen Bemessung der Feldstärke am Glimmring ist die Isolation der Fassungsstelle entsprechend verdickt. Ausserdem können zur Beherrschung des Flanschproblems bei höheren Spannungen Kondensatorenbeläge, deren Enden ebenfalls durch isolierte Glimmrings abgescrimt sind, eingewickelt werden. Beim Wickel für 150 kV ist beispielsweise ein eingewickelter Kondensatorenbelag vorhanden, und zwar vor allem, um bei einem kleinen Durchmesser der Porzellanhülle das Feld in der Luft ausserhalb des Porzellans zu steuern.

Es ist auch ohne weiteres möglich, Kondensatorenbeläge für elektrostatische Spannungsmessung oder Synchronisierung einzubauen.

Da die Wicklung von einem geerdeten Metallbelag vollständig umschlossen ist, kann die Feldstärke auf der ganzen Oberfläche der Wicklungs-isolation leicht berechnet werden, und zwar unabhängig von der Form der umgebenden Metallteile, nämlich Kern oder Behälter. Auch müssen keine Abstände gegen die umliegenden Metallteile mehr eingehalten werden, was erlaubt, die unteren aktiven Wandlerteile in einem Eisenkessel statt im Porzellanüberwurf unterzubringen, wenn dies aus Platz- und Preisgründen wünschbar erscheint.

Die Ringöffnung des Primärwickels dient zur Aufnahme eines oder zweier Eisenkerne, die nicht isoliert sind und an Erde liegen. Dies bedeutet gegenüber anderen Ausführungsarten, bei denen neben der Primärwicklung auch die Sekundärwicklung oder Eisen- und Sekundärwicklung zusammen als Hochspannungswickel ausgebildet sind

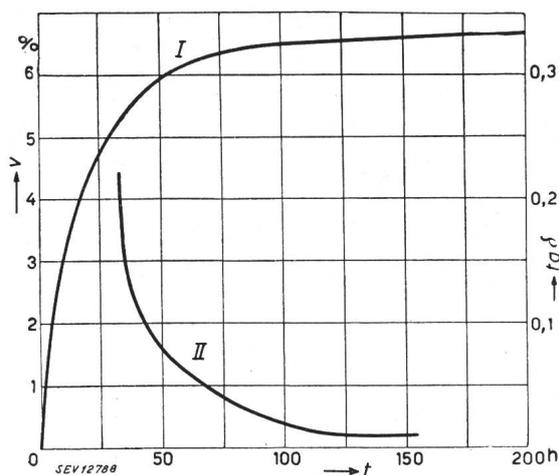


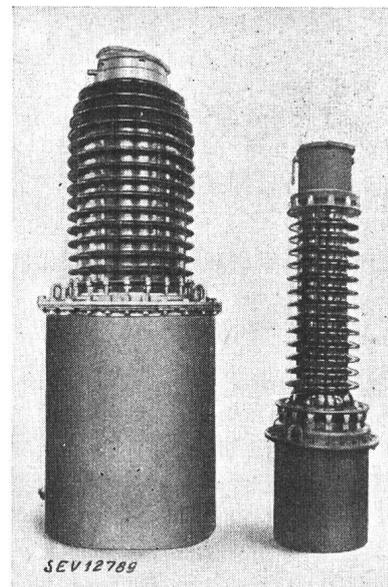
Fig. 6.

Wassergehalt und Verlustwinkel einer Papierisolation in Abhängigkeit von der Trocknungszeit
 I Wasserverlust (v) in % des Gewichtes der Papier-Isolation in Funktion der Trocknungszeit (t) in h.
 II $\text{tg } \delta$ der Papierisolation in Funktion der Trocknungszeit (t) in h.

(Kreuzringwandler), eine wesentliche Vereinfachung für Fabrikation und Prüfung.

Nach der Isolierung muss der ganze aktive Teil sorgfältig getrocknet und im Hochvakuum mit Öl

imprägniert werden. Die Güte der Isolation hängt von der möglichst restlosen Entfernung des Wassers und der Luft aus dem Papierwickel ab. Der Trocknungs-Zustand des Wickels lässt sich in einfacher, zuverlässiger Weise durch laufende Messung des Verlustwinkels kontrollieren. Die Grösse des Verlustwinkels hängt — gleiche Güte von Papier und Öl vorausgesetzt, und solange keine anderen Un-



1930 1935

Fig. 7.

Stützwandler links und Kabelringwandler rechts, 150 kV

reinigkeiten dazu kommen — direkt vom Wassergehalt des Papiers ab. Fig. 6 zeigt die Abhängigkeit des Verlustwinkels vom Wassergehalt eines unimprägnierten Wickels. Auch etwaige Lufteinschlüsse lassen sich aus dem Verlauf der Verlustwinkelkurve in Funktion der aufgedrückten Spannung erkennen. Diese Messungen können hier um so mehr als zuverlässiges Kriterium für die Güte der Isolation bewertet werden, als es sich im Gegensatz zu Kabeln nur um sehr kurze Wickellängen handelt, und sich deshalb auch lokale Fehlerstellen bemerkbar machen. Da jeder Wandler einer sorgfältigen Prüfung der dielektrischen Eigenschaften unterzogen wird, ist volle Gewähr für die Sicherheit im Betrieb geleistet.

Der Kopf des Wandlers ist so ausgebildet, dass im Luftraum über dem Öl etwa entstehendes Kondenswasser nicht in den untern Ölraum zu den aktiven Teilen gelangen kann. Ausserdem ist der Luftraum mit einem Lufttrockner versehen.

Fig. 7 zeigt den Grössenvergleich zwischen dem nach Fig. 3 beschriebenen Stromwandler und dem entsprechenden Kabelringwandler, beide für 150 kV. Die entsprechenden Ölinhalte sind 750 kg gegen 150 kg, wobei Leistung und Genauigkeit des zweiten Wandlers sogar höher liegen als beim ersten. Erwähnenswert ist auch die kurze Windungslänge der Primärwicklung: pro Windung 1,2 m beim Kabelringwandler, gegen 2,6 m beim zweiseitigen Kabelwandler und 3,4 m beim Schleifenwand-

ler in Oel, alles für 150 kV. Dies bedeutet kleinere Verluste und geringere Erwärmung im Betrieb, was gerade bei Papierisolation nicht unwesentlich ist, ausserdem erhöhte Kurzschlussfestigkeit und kleinere Beanspruchung der Primärleiter unter sich bei

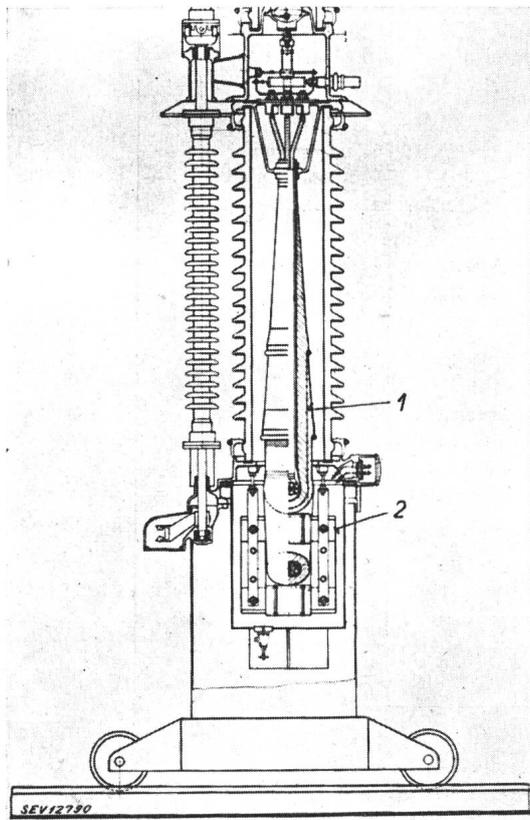


Fig. 8.

Unterteil eines Oelstrahlschalters, 150 kV, mit eingebautem Ring-Kabelwandler
1 Hochspannungswicklung. 2 Eisenkern.

steilen Wanderwellen, so dass beim Kabelringwandler ein Schutz durch Ueberbrückungswiderstand im Bereich der üblichen Nennströme entbehrt werden kann. Die Abmessungen des Hochspannungswickels sind so klein, dass der Wandler

in den normalen Stützer eines Oelstrahlschalters eingebaut werden kann (Fig. 8).

Sprecher & Schuh baut solche Wandler seit ca. 10 Jahren. In der Schweiz sind sie für alle Spannungen von 50 bis 150 kV eingebaut, im Ausland

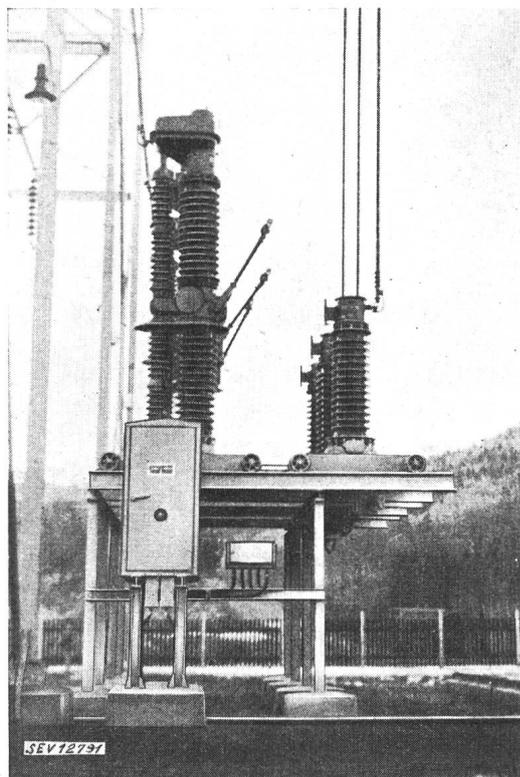


Fig. 9.

Ring-Kabelwandler, angebaut an 150-kV-Oelstrahlschalter mit Trenner

auch für 250 kV. Wir hatten Gelegenheit, an einzelnen seit mehreren Jahren im Betriebe stehenden Wandlern die dielektrischen Eigenschaften nachzuprüfen und konnten keine wesentlichen Veränderungen feststellen.

Adresse des Autors:

E. Scherb, Oberingenieur der Sprecher & Schuh A.-G., Aarau.

Messgenauigkeit von Strom- und Spannungswandler-Messbrücken

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 7. Oktober 1944, in Luzern,

von E. Schneebeli, Zürich

621.314.22.08.0014

Es werden die von der Eichstätte des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins bei der Eichung von Strom- und Spannungswandlern erreichten und garantierten Messgenauigkeiten angegeben und die dieser Eichstätte zur Verfügung stehenden Messbrücken beschrieben. Ausserdem wird auf die Beachtung der Kurvenform der Stromquelle bei der Eichung von Spannungswandlern hingewiesen.

Allgemein wird angenommen, dass sowohl der Uebersetzungsfehler eines Wandlers auf Zehntel-Promille, als auch der Fehlwinkel in Minuten auf Dezimalen genau gemessen werden könne. Auf diese Genauigkeit lässt sich tatsächlich eine Wandler-Messbrücke abgleichen und ablesen, wenigstens bei guter Empfindlichkeit derselben, was im all-

L'auteur indique les précisions atteintes et garanties par la Station d'étalonnage de l'Association Suisse des Electriciens pour l'étalonnage des transformateurs d'intensité et de tension, puis décrit les ponts de mesure utilisés par cette station. Il rappelle qu'il y a lieu de tenir compte de la forme de la courbe de la source de courant lors de l'étalonnage des transformateurs de tension.

gemeinen bei Wandlern über ca. 20 % des Nennstromes oder der Nennspannung der Fall ist.

Wie steht es nun aber mit der absoluten Genauigkeit dieser Messresultate und wie mit der subjektiven bei kleiner Empfindlichkeit der Messbrücken?

Betrachten wir zuerst die Stromwandler-Prüf-