

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 24 (1933)
Heft: 5

Artikel: I. Referat
Autor: Courvoisier, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059508>

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: 03.04.2026

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

die thermische Festigkeit. Das Gesetz erfasst sie durch den thermischen Grenzstrom, welcher das Mehrfache an Normalstrom angibt, das der Wandler, hier Stromwandler, während 1 sec auszuhalten vermag. Da der Netzkurzschlußstrom nur durch die meist sehr kleine Netzimpedanz bestimmt ist, so wird er sehr gross, oft riesig gross; die erste Amplitude kann das Mehrhundertfache des Normalstromes erreichen. Werte des thermischen Grenzstromes, die das 80- und Mehrfache des Normalstromes überschreiten, führen leicht zu überdimensionierten Wandlern, die die Fehlergrenzen eventuell nicht mehr einhalten lassen.

Ebenso wichtig ist die *dynamische Festigkeit* des Wandlers; die grossen Stosskurzschlußstromamplituden haben entsprechende elektrodynamische Kräfte zur Folge. Hier ist auf die grosse Ueberlegenheit des Einstabstromwandlers hinzuweisen; seiner ausschliesslichen Verwendung steht leider bei kleinen Strömen die beschränkte Ampèrewindungszahl entgegen.

Ein weiterer Punkt, der für die Konstruktion und den Betrieb von grosser Wichtigkeit ist, ist die *Sprung- oder Wanderwellensicherheit*. Das radikalste Mittel gegen die daraus resultierenden Windungsüberschläge besteht darin, die einzelnen Leiter so stark zu isolieren, dass nebeneinander liegende die von den Sprungwellen herrührenden Ueberspannungen auszuhalten vermögen. Bekannt

ist das Mittel des parallel geschalteten Widerstandes, häufig aus Silit; über die wirkliche Schutzwirkung gehen allerdings sehr ungünstige Gerüchte herum. Weitere Schutzmittel sind parallel geschaltete Kapazität oder Funkenstrecke; es wäre sehr wünschenswert, von Seiten der Praxis über diesbezügliche Erfahrungen zu hören.

Der Aufbau der Spannungs- und namentlich der Stromwandler zeigt heute noch grösste Mannigfaltigkeit, so dass wohl noch geraume Zeit vergehen wird, bis sich die beste Lösung herauskristallisiert hat. Es sei den folgenden Referenten überlassen, über die Vorzüge und Berechtigung der vorgeschlagenen Ausführungsformen zu orientieren.

Ein weites Gebiet bilden nun die dem Wandler zugestandenen Fehler, d. h. seine zulässige Messungenauigkeit. Dem Ideal, $f_u = 0$ und $f_\delta = 0$, können wir uns nur nähern, meistens auf kostspieligem Wege, so dass die Aufnahme allzu scharfer Bedingungen in ein Gesetz wohl überlegt sein will. Es sei auf die Ausführungen von Dr. König, Direktor des Eidgenössischen Amtes für Mass und Gewicht, verwiesen, der die vorgesehenen neuen schweizerischen Vorschriften über Messwandler kurz besprechen wird. Im allgemeinen entspricht es dem Zuge der Zeit und einem berechtigten Bedürfnis, wenn die Anforderungen an die Genauigkeit der Wandler erhöht werden.

I. Referat

gehalten von G. Courvoisier, Ingenieur der

A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (BBC).

Zunächst wird der BBC-Isoliermantelspannungswandler beschrieben. Dann werden die Gründe erörtert, die gegen die Füllung der Messwandler mit «Masse» und die Verwendung von keramischer Isolation bei sehr hoher Spannung sprechen. Uebergehend zu den Stromwandlern werden Entwicklung und Eigenschaften der BBC-Isoliermantelstromwandler besprochen; dann wird auf die grossen Vorzüge der Stabwandler und deren Anwendungsbereich eingegangen und auf die Schleifenwandler und die kompensierten Wandler hingewiesen. Zum Schluss wird der Einfluss der Wandlerfehler auf die Genauigkeit der Leistungs- oder Energiemessung vom praktischen Standpunkt aus erörtert und erwähnt, dass sehr weitgehende Ansprüche hinsichtlich Genauigkeit der Wandler nicht immer begründet sind.

L'auteur décrit tout d'abord le transformateur de potentiel BBC à enveloppe isolante puis explique les raisons qui s'opposent au remplissage des transformateurs de mesure avec de la «masse» ainsi qu'à l'utilisation de matières céramiques pour les très hautes tensions. Passant aux transformateurs d'intensité, l'auteur expose le développement et les propriétés du modèle BBC à enveloppe isolante, puis commente les avantages marqués et le domaine d'application des transformateurs en barre, ainsi que les transformateurs en boucle et les transformateurs compensés. Pour terminer, l'auteur étudie l'influence pratique des erreurs sur l'exactitude des mesures de puissance ou d'énergie et rappelle que des exigences très poussées au sujet de l'exactitude ne sont pas toujours fondées.

1. Spannungswandler.

Spannungswandler wurden im Anfang der Fabrikation elektrischer Maschinen von uns so gut wie von anderen Firmen mit Luftkühlung gebaut. Die Steigerung der Spannungen brachte bald die Einführung der Oelkühlung und -Isolation. Etwa im Jahre 1922 beginnen die Kaskadenwandler zu erscheinen. Wie der Name sagt, wird bei diesen eine Anzahl identischer Spannungswandler für verhältnismässig niedrige Spannung in Reihe zwischen Erde und Netzphase gehängt, was eine relativ leichte Beherrschung des Isolationsproblems gestattet. Der Nachteil dieser Bauart ist ihre geringe

Belastbarkeit bei gegebenen Fehlergrenzen; denn infolge der Serieschaltung mehrerer Wandler addieren sich die Fehler der Einzelwandler.

Wir versuchten diese Schwierigkeit zu umgehen und trotzdem einen Spannungswandler zu schaffen, der erheblich billiger zu stehen kommt als die Oelspannungswandler mit zwei Hochspannungsklemmen. Die Lösung dieser Aufgabe ist uns mit der Schaffung des Isoliermantelwandlers gelungen. Er besteht aus dem Kopf, der am Leitungspotential liegt, dem Fuss auf Erdpotential und dem Isoliermantel zwischen beiden. Fig. 1 zeigt den Wandler ohne Mantel; ersichtlich sind Lage von Kern und

Wicklungen zwischen Kopf und Fuss. Je ein Ende der Hochspannungswicklung liegt am Wandlerkopf und -fuss. Die Wicklungsenden sind mit bekannten Mitteln gegen die Beanspruchungen durch Sprungwellen besonders geschützt. Der Kern ist mit der Mitte der Hochspannungswicklung fest verbunden; er muss daher gegenüber den beiden Enden der Primärwicklung, der Sekundärwicklung und den Metallgehäusen des Kopfes und Fusses nur für die halbe Wandlerspannung isoliert werden. Längs der Wicklungsfläche sind metallische Ringe verteilt, die mit aufeinanderfolgenden Punkten der Wicklung verbunden sind. Die Spannung steigt von Ring zu Ring von unten nach oben in gleichmässigen Sprüngen an. Die Ringe liegen nahe an der Innenseite des Isoliermantels und steuern

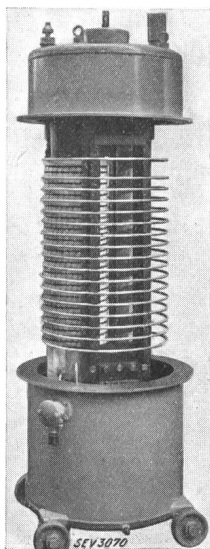


Fig. 1.
Isoliermantelspannungswandler
mit weggenommenem
Isoliermantel.
(Siehe auch
Bull. SEV 1932, Nr. 8,
S. 188, Fig. 23.)

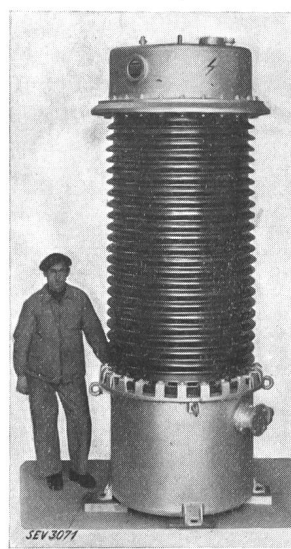


Fig. 2.
vollständig zusam-
mengebaut.

dessen Potentialverteilung, so dass man einen praktisch konstanten Gradienten längs der Manteloberfläche erhält. Radial wird das Material des Mantels praktisch überhaupt nicht beansprucht. Fig. 2 zeigt einen Isoliermantelwandler für 220 kV Nennspannung. Die Leistung des Wandlers ist 250 VA in Klasse 0,5 bei einer Grenzleistung von 10 kVA.

Die Betriebe tendieren heute nach Beseitigung des Oeles, besonders in Apparaten für geschlossene Räume. Wie wir uns zu dieser Bewegung stellen, möchte ich am Schluss kurz präzisieren. Hier sei darauf hingewiesen, dass man zunächst versuchte, das Oel bei den Wandlern durch «Masse», ein bituminöses Gemisch, zu ersetzen, ohne prinzipielle Konstruktionsänderungen anzubringen. Diese Massnahme hat jedoch im Betriebe bald so viele unangenehme Seiten herausgekehrt, dass man heute kaum mehr an ihre Verwendung in dieser Form denkt. Da sie ein guter Wärmeisolator ist, führt

sie zur Bildung lokaler Hitzeherde und dadurch zu Wärmedurchschlägen oder lokalen Verbrennungen; infolge ihres hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten im Vergleich zu Kupfer und Eisen oder gar Porzellan zersprengt sie gelegentlich einschliessende Konstruktionsteile. Ihre Bewegung durch Erwärmung und Abkühlung führt zur Bildung kleiner Hohlräume, in denen sich unvermeidlicherweise starke Spannungsgefälle und Glimmererscheinungen ausbilden; sitzen diese Lunker an der Wicklung, so setzt gewöhnlich eine langsame chemische Zersetzung des Wicklungskupfers ein; gelegentlich werden auch dünnrätige Wicklungen von ihr beim Arbeiten zerrissen. Schliesslich ist zu sagen, dass die Masse selbst in der Kälte nicht fest, sondern nur sehr zähflüssig ist und daher mit der Zeit infolge der Erdschwere langsam nach unten fliesst.

Man hat versucht, diese Schwierigkeiten durch ausschliessliche Verwendung keramischer Isolationen zu umgehen. So aussichtsreich dieser Weg auf den ersten Blick erscheint, bezweifeln wir doch, dass er sich auf die Dauer ausser bei niedriger Hochspannung bewähren wird. Wegen der hohen Dielektrizitätskonstanten des Porzellans wird der Hauptanteil der Spannungsdifferenz zwischen Wicklung und Erde überall auf das Luftfeld fallen. Dadurch wird bei kurzen Luftstrecken ein Glimmen und damit die schon erwähnte Grünspanbildung am Kupfer fast unvermeidlich. Erschwerend für die Durchbildung einer guten Konstruktion ist die Tatsache, dass Porzellankörper nur mit verhältnismässig hohen Masstoleranzen ausgeführt werden können; $\pm 3\%$ Toleranz ist normal. Bei einem Durchmesser eines Isoliertopfes von 200 mm gibt dies mögliche Durchmesserabweichungen bis zu 12 mm.

Auch wenn man versucht, beispielsweise durch besondere Wicklungsanordnung, die Spannungsgefälle an den Isolieroberflächen zu steuern, so werden sich Ueberbeanspruchungen in allfälligen Luftzwischenräumen kaum vermeiden lassen; auch im Spulennern sind Lufteinschlüsse kaum ganz vermeidbar. Giesst man deshalb die Wandler mit Masse aus, um diese Schwierigkeiten zu überwinden, so besteht grosse Gefahr, dass diese Massnahme sich nur für die erste Betriebszeit bewähren wird. Für nicht allzu hohe Spannungen sind vielleicht Lösungen einwandfrei, bei denen das Spannungsgefälle in Luft soweit wie möglich durch entsprechende Abstände auf zulässige Werte herabgesetzt wird und die Beanspruchungen bei den kürzesten Distanzen zwischen Oberspannungswicklung und Erde durch Metallisierung der Porzellanoberflächen vollständig in das Porzellan verlegt werden. Wir haben einen derartigen Wandler entworfen und in Bau.

2. Stromwandler.

a) Isoliermantelstromwandler.

Den Neukonstruktionen haben wir durchwegs die genormten Prüfspannungen der VDE-Vorschriften zu Grunde gelegt, da internationale Normen

auf diesem Gebiete leider noch nicht bestehen; für die Messklassen haben wir uns an die CEI- und VDE-Regeln gehalten, soweit wir uns nicht veranlasst sahen, eigene Definitionen zu schaffen. Unser alter Hochspannungswandler ist ein sogenannter Topfstromwandler mit aktiver Partie in einem ölgefüllten Gefäß aus Eisenblech. Das Gefäß ist oben durch einen gewölbten Deckel abgeschlossen, durch dessen Mitte eine komplette Durchführungsklemme führt, welche ähnlich gebaut ist, wie die Klemmen von Hochspannungsölschaltern. Die Oelräume von Klemme und Topf sind getrennt. Will man auf diese Trennung verzichten und die Unannehmlichkeit in Kauf nehmen, dass die Verbindung zwischen Deckel und Topf öldicht ausgeführt werden muss, so ist es möglich, die Gesamthöhe des Wandlers erheblich zu reduzieren und damit das Wandlergewicht und vornehmlich auch das Oelgewicht herunterzubringen. Was für Konstruktionsvarianten sich ergeben, wenn man darauf ausgeht, die Aussendimensionen der Oelstromwandler schrittweise zu verringern, zeigt schematisch Fig. 3. *a* ist der beschriebene Topfwandler mit getrennten Oelräumen von Durchführungsklemmen und Topf. Bei der Konstruktion nach *b* bilden Klemme und Topf einen gemeinsamen Oelraum; das Isolatorunterteil des eigentlichen Topfwandlers ist verschwunden. Da der Klemmendurchmesser auf Deckelhöhe noch ungefähr gleich ist, wie derjenige der eigentlichen Durchführungs-

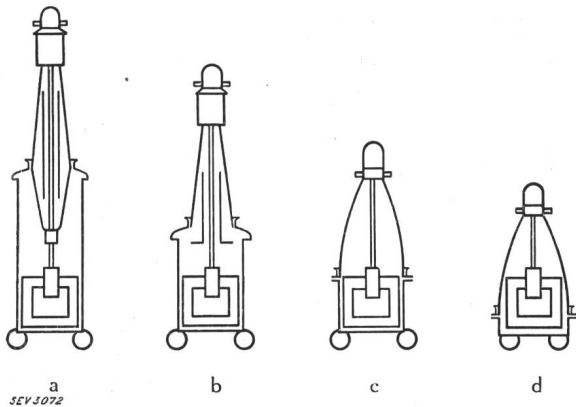


Fig. 3.

Topfstromwandler. Verkleinerung der Dimensionen der Durchführung, die, bei Ausführung d, zum Isoliermantel-Stromwandler führt.

klemme bei *a*, ist es nötig, in den Flanschraum ein System isolierender Barrieren einzusetzen. Erweitert man den untern Isolatordurchmesser auf etwas mehr als den Durchmesser der Primärwicklung und zieht den eigentlichen Topf nur noch etwa auf die Höhe des oberen Kernschenkels herauf, so gelangt man zur Aufbauweise nach *c*. Der Raum zwischen Primärwicklung und unterem Isolatorflansch ist ähnlich hohen Feldstärken ausgesetzt wie die Flanschpartie einer Durchführungsklemme. Durch eingelegte Stücke aus festem Isoliermaterial wird die nötige Durchschlagsfestigkeit erzeugt.

Zieht man schliesslich das erweiterte Klemmenoberteil mantelartig über die aktive Stromwandlerpartie herunter und schliesst es unten mit einem flachen Topf ab, so gelangt man entsprechend *d* zum Isoliermantelstromwandler. Gegenüber dieser Konstruktion mögen zunächst einige Bedenken aufsteigen; beispielsweise ist es unvermeidlich, dass auf der Höhe der oberen Kernkante einerseits die Ecken des Kernes, d. h. Punkte mit Erdpotential, und andererseits die Partien der Primärwicklung mit grösstem horizontalem Abstand vom Kern, d. h. Punkte mit Leitungspotential, dem Isoliermantel auf angenähert gleicher Höhe ziemlich nahe kommen. Man wird somit auf verschiedenen Meridianen des Rotationskörpers merklich verschiedene Feldbilder erhalten. Solche Bedenken haben uns nicht abgehalten, die Konstruktion von Isoliermantelstromwandlern durchzubilden; denn diese weisen eine ganz erhebliche Verminderung des benötigten Oelquantums gegen früher auf und stellen nach unsern Untersuchungen wirtschaftlich augenscheinlich ein Optimum dar.

Wir haben zunächst einen Isoliermantelstromwandler für 150 kV Nennspannung und eine Prüfspannung von 350 kV in Arbeit genommen; er besitzt entsprechend unsern ersten Entwürfen einen zylindrischen Isoliermantel. Selbstverständ-

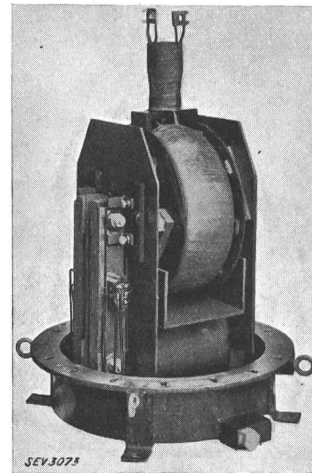


Fig. 4.

Isoliermantelstromwandler für 64 kV Nennspannung offen.

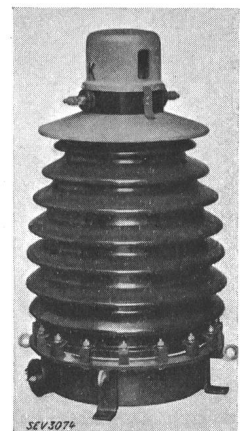


Fig. 5.

Isoliermantelstromwandler für 64 kV Nennspannung vollständig zusammengebaut.

lich haben wir uns bei der Umarbeitung nicht darauf beschränkt, einfach die aktive Partie unserer alten Wandler in ein neues Gehäuse zu stellen. Wir haben vielmehr unter Annahme bestimmter Forderungen hinsichtlich Prüfspannung, Leistung und Messgenauigkeit für die beiden Kerne eines Zweikernwandlers wirtschaftlich optimale Verhältnisse für Kerne und Wicklungen bestimmt. Die Isolation zwischen beiden haben wir nach dem bei modernen Leistungstransformatoren üblichen Schachtelprinzip durchgebildet. Wir haben uns entschlossen, die bisher verwendete rechteckige Kernform mit

eingeschachteltem Seitenschenkel beizubehalten, da sie zu einer besonders einfachen Montageweise führt; Sekundärwicklung, Primärwicklung, die einzelnen Teile der Isolation können für sich fabriziert und kontrolliert werden; bei der Montage werden sie einfach in richtiger Reihenfolge zusammengesteckt. Durch seitliche Preßschrauben wird die Primärwicklung samt dem tragenden Isolationsystem gegen die Kerne verspannt und gegenüber der Sekundärwicklung zentriert. — Fig. 4 und 5 zeigen einen gelieferten Isolierstromwandler für 64 kV Nennspannung von innen und aussen.

Wir haben den Versuchswandler nach allen Richtungen ausprobiert. Die Prüfspannung hat er ohne Geräusch wiederholt mehrere Minuten ausgehalten, ebenso wiederholte Viertelminuten-Proben mit 1,1facher Prüfspannung; es war ganz augenscheinlich, dass der Wandler die Prüfspannung längere Zeit ausgehalten hätte. Der Nassüberschlag lag beim Versuchsstromwandler sowie bei später fabrizierten bestellungsmässigen Stromwandlern reichlich 10 % über der Prüfspannung. Bei diesen Wandlern wird die Trockenüberschlagspannung mittels eines Funkenhornes etwa auf gleichen Wert wie die Nassüberschlagspannung gebracht. Ohne dasselbe wurde die Spannung beim Versuchswandler absichtlich bis zum inneren Durchschlag gesteigert; dieser erfolgte 20 bis 25 % über der Prüfspannung. Nach dem Durchschlag hielt der Wandler anstandslos wiederholt die Minutenprobe mit der Prüfspannung aus. Gerade darin zeigen sich die Vorzüge des gewählten Isolationsaufbaues; die schwächste Stelle der Isolation liegt im flüssigen Isoliermittel; nach einem Durchschlag schliesst sie sich von selbst. Nach dem Öffnen des Wandlers zeigten sich Durchschlagspuren an der Papierbewicklung der Primärspule; die übrigen Isolationsteile jedoch wiesen nur wenige leichte Kriechspuren auf.

Nach den Spannungsversuchen wurde der Wandler in unserem Hochleistungsprüfraum mehreren Stosskurzschlussversuchen ausgesetzt. Die Stromstösse wurden bis 50 000 A gesteigert, d. h. bis zum 175fachen der Nennstromamplitude, ohne dass sich irgendwelche Defekte eingestellt hätten, ebenso hielt der Wandler eine Sprungwellenprobe gleicher Spannungshöhe aus, wie sie für Leistungstransformatoren gleicher Nennspannung üblich ist.

Was die Leistung und Messgenauigkeit der Wandler anbelangt, so ist der Dimensionierung der Einzelkerne des Doppelkernwandlers eine Nennleistung von 60 VA in Klasse 0,5 der CEI-Vorschriften, d. h. also auch entsprechend den Anforderungen der kommenden schweizerischen Vollziehungsverordnung zugrunde gelegt worden; die Wandler können auch mit einem Kern von doppelter Nennleistung ausgeführt werden. Versuche an bisher ausgeführten Wandlern zeigten, dass diese Bedingungen anstandslos eingehalten werden. Selbstverständlich wird niemand daran denken, beide Kerne eines Doppelkernwandlers für den Anschluss von Zählern zu benützen, sondern man wird im allge-

meinen einen Kern für Messzwecke und den andern eher zur Speisung von Netzschutzapparaten verwenden. Schliesst man an einen der Kerne eines solchen Wandlers Distanzrelais an, so erfüllen sie die Genauigkeitsbedingungen, welche üblicherweise in solchen Fällen gestellt werden, nämlich höchstens $\pm 5\%$ Stromfehler und $\pm 5^\circ$ Winkelfehler, bei einem Energieverbrauch von 60 VA im Sekundärkreis innerhalb eines Strombereiches von etwa $\frac{1}{3}$ Nennstrom bis zu 20 und sogar 30 Nennstrom je nach Type.

Wir glauben behaupten zu dürfen, dass diese neuen Wandler alle vernünftigen Forderungen des praktischen Betriebes erfüllen.

b) Stabwandler.

Wir haben in zweiter Linie die Reihe unserer Stabwandler neu überarbeitet. Die Konstruktion ist bereit für Innenraumwandler mit einem oder zwei Kernen für Nennspannungen von 6,4 bis 64 kV, resp. von 33 bis 152 kV Prüfspannung. Wir erheben nicht den Anspruch, dass diese Wandler konstruktiv besonders originell seien. Was mich trotzdem veranlasst, ein paar Bemerkungen über sie zu machen, ist das Bestreben, den Herren von den Betrieben an diesem Beispiel zu zeigen, was man heute mit normal gebauten Stabwandlern erreichen kann. Sie werden alle mit mir einig gehen, wenn ich den Grundsatz vertrete, dass man Einstabwandler verwenden sollte, wo es nur irgendwie geht, und ganz besonders aber an jenen Netzstellen, an denen mit sehr hohen Kurzschlußströmen gerechnet werden muss. Ich gehe so weit, zu behaupten, dass es in extremen Fällen besser ist, Konzessionen hinsichtlich Leistung und Messgenauigkeit zu machen, als auf die Verwendung von Stabwandlern zu verzichten.

Mit unserer Konstruktion können eichfähige Wandler mit 15 VA Nennleistung je nach Nennspannung bis hinunter zu 100 bis 125 A Nennstrom ausgeführt werden. Wandler für die tiefsten Werte sind allerdings kostspielig; bis zu etwa 250 A hinunter ist ihre Preislage jedoch durchaus vernünftig und kaum höher als diejenige von Wandlern gleicher Leistung und Messgenauigkeit mit 1000 bis 2000 A Nennstrom. Betrachten wir Wandler zur Speisung von Ampèremetern und Maximalstromrelais und greifen wir beispielsweise solche mit einer Nennleistung von 15 VA in Kl. 10, d. h. Wandler mit max. $\pm 10\%$ Stromfehler im Bereich von $\frac{1}{2}$ bis 2 Nennstrom heraus, so ist es möglich, mit allerdings kostspieligen Wandlern Nennstromstärken von weniger als 20 A zu erreichen und zu normalen Preisen etwa 80 A. Reduziert man die Nennleistung bei gleicher Messgenauigkeit, so gehen die Gewichte und Preise auch bei Nennströmen von der Grössenordnung 20 A auf ein durchaus vernünftiges Mass zurück.

Die gemachten Vergleiche beziehen sich auf Stabwandler mit einem Kern. In sehr vielen Fällen ist die Verwendung von Doppelkernwandlern angezeigt. Der Stabwandler, von dem Fig. 6 eine

Innenansicht gibt, darf als Schulbeispiel dafür bezeichnet werden, wie man Stabwandler den Betriebsbedürfnissen anpassen kann. Einer der Kerne dient zum Anschluss von Distanzrelais für Kabelschutz; er besitzt drei Übersetzungsverhältnisse

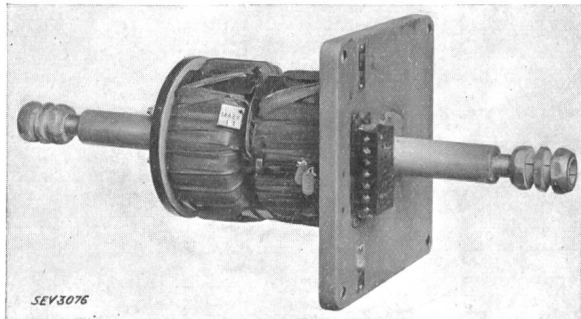


Fig. 6.
Doppelkernwandler.

1250/1000/50/5 A. Der andere ist gewickelt für 200/100/5 A und hat ein Ampèremeter und eventuell später ein Relais für die thermische Kabelüberwachung zu speisen. Der Kabelnennstrom ist 200 A; die Speisung von Ampèremeter und thermischem Relais ist diesem Wert angepasst, während die Daten des Wandlers für die Distanzrelaisspeisung für die Kurzschlussverhältnisse gewählt sind.

Es steht zu erwarten, dass man in Zukunft immer mehr Doppelkernwandler mit einem kleinen Messkern aus Nickel-Eisen-Legierung und einem grossen Relaiskern aus Transformatorblech antreffen wird. Die bisher übliche Bedeutung von

grossen und kleinem Kern bei Doppelkernwandlern wird damit gerade vertauscht, einerseits bedingt durch die Einführung der hochpermeablen Legierungen und andererseits durch die Verdrängung der Maximalstromrelais durch Distanzrelais mit ihren ganz verschiedenen Arbeitsstrombereichen.

c) Schleifenwandler.

Die Konstruktion von Schleifenwandlern (Fig. 7) ergab sich unmittelbar aus der Konstruktion der Stabwandler. In der Tat verwenden wir für Klemmen und Kerne die Elemente der Stabwandler. Wir haben vorgesehen, für hohe Messgenauigkeiten nur

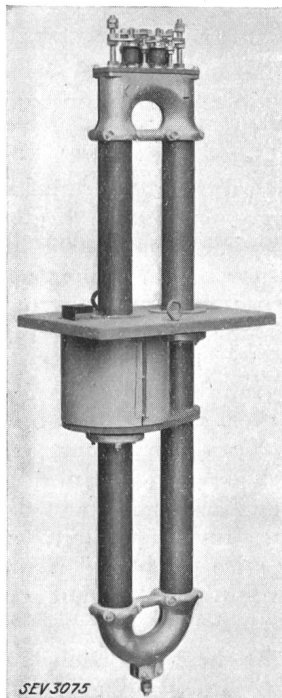


Fig. 7.
Schleifenwandler.

Kerne aus Nickeleisenlegierung zu benützen, als Relaiskerne dagegen solche aus Transformatorblech. Da die Ampèrewindungszahl der Schleifenwandler nicht erheblich mit der Nennstromstärke variiert, hat man bei diesen keine Veranlassung, eine grosse Zahl verschiedener Kernquerschnitte zur Anwendung zu bringen; immerhin sind pro Spannungstypen eine Anzahl von Kernhöhen beider Materialarten normalisiert, um verschiedenen Ansprüchen hinsichtlich Nennleistung und Messgenauigkeit entsprechen zu können. Wir haben die Ausführung von Wandlern mit Einzelkernen in Aussicht genommen, erwarten jedoch, dass der Hauptbedarf Wandler mit einem Mess- und einem Relaiskern betreffen wird.

d) Kompensierte Wandler.

Mit Absicht haben wir alle Arbeiten auf dem Gebiete der kompensierten Stromwandler gegenüber der erneuten Durcharbeitung normaler Konstruktionsformen zurückgestellt. Wie viel mit solchen erreichbar ist, dürften die Bemerkungen im Abschnitt «Stabwandler» genügend belegt haben. Gewiss ist die Einsicht richtig, dass die Hauptschwierigkeit des Stromwandlerbaues, was die Genauigkeit anbelangt, nicht von der Notwendigkeit der Kernmagnetisierung an sich herkommt, sondern davon, dass die Abhängigkeit zwischen Wandler-EMK und Magnetisierungsstrom nicht linear ist. Man hat somit guten Grund, zu versuchen, beispielsweise durch Kombination konvex und konkav gekrümmter Partien von Magnetisierungscharakteristiken eine praktisch gerade resultierende Charakteristik zu produzieren. Es ist denkbar, dass dies unter relativ einfachen konstruktiven Formen durchgeführt werden kann. Nach dem, was wir jedoch bisher gesehen haben, bedingen solche Wandler fast immer eine umständliche Einstellarbeit, bis sie absichtsgemäss arbeiten. Ich vermeide es absichtlich, über diese Sache heute ein Urteil auszusprechen; die Bedeutung der erreichbaren Genauigkeitssteigerung und der Wert der einzelnen Lösungen muss letzten Endes auf wirtschaftlichem Boden entschieden werden.

Zum Schluss sei noch eine Bemerkung allgemeiner Natur gestattet. Im Zusammenhang mit der Frage der Messgenauigkeit möchte ich betonen, dass wir uns bei unsern Konstruktionen bewusst darauf eingestellt haben, dass unsere Wandler die Forderungen der neuen schweizerischen gesetzlichen Vorschriften einzuhalten haben. Eine weitere Steigerung der Genauigkeit hat unseres Erachtens wohl Sinn für Spezialwandler zur Verwendung in Laboratorien. Für die praktischen Bedürfnisse der Energieverrechnung genügt jedoch die Genauigkeit der Klasse 0,5 vollkommen. Verfechter gesteigerter Präzisionsansprüche lieben es, Prozentangaben zu machen über die Fehler, welche in die Leistungsmessungen durch die Winkelfehler der Wandler hineingebracht werden; bei kleinem Leistungsfaktor des Netzes kommt man damit allerdings auf erschreckend hohe Zahlen. Wenn man

jedoch bedenkt, dass beispielsweise 60' Winkelfehler nur bei $\frac{1}{10}$ des Nennstromes zugelassen ist und dass die durchgehende Leistung in diesem Falle unter Ansatz eines Leistungsfaktors von 0,1 ca. 1 % der Nennleistung darstellt, ferner dass der genannte Fehlerwinkel bei Leistungsfaktor 0,1 die Leistungsmessung um ca. 20 % fälscht, so erkennt man, dass die Falschmessung, bezogen auf die Nennleistung des Systems, unter diesen Verhältnissen nur etwa 2 ‰ beträgt. Bei $\frac{1}{5}$ des Nennstromes wird 40' Winkelfehler zugelassen; nimmt

man an, der betrachtete Betrieb arbeite in diesem Falle mit Leistungsfaktor 0,2, so errechnet man als Betrag der Falschmessung ca. 4 ‰; bei Nennleistung schliesslich und einem Leistungsfaktor von 0,8 wird er höchstens etwa 7 ‰. Solche Beträge dürften gegenüber anderen Fehlerquellen kaum ins Gewicht fallen.

Es würde uns interessieren, die Ansicht der Herren von den Betrieben über diesen Punkt zu vernehmen.

II. Referat

gehalten von Prof. Dr. ing. Gg. Keinath, Direktor im Wernerwerk der

Siemens & Halske A.-G., Berlin.

Der Referent äussert sich im wesentlichen vom Standpunkt des Praktikers, des Herstellers und des Verbrauchers. Einleitend bespricht er kurz die dielektrische und die Kurzschlusssicherheit, die erreichten Genauigkeiten und das Problem der Trockenisolierung, erörtert dann die Möglichkeiten zur Erhöhung der Genauigkeit der Einstabwandler, und die Gründe, die den Schleifenwandler als ungünstige Lösung erscheinen lassen. Dann beschreibt er den Eisenstabwandler (eine neue Konstruktion mit offenem magnetischem Kreis) und die bemerkenswerten Eigenschaften des Kreuzringwandlers. Es wird auch auf die fabrikationstechnischen Schwierigkeiten des Kaskaden- und Trocken-Spannungswandlers eingegangen und der Standpunkt vertreten, dass der Oelspannungswandler heute den Vorzug verdient, insbesondere dann, wenn er einer strengen Prüfung standhält, z. B. der vom Referenten eingeführten 8-h-Typenprüfung oder der Verlustwinkelmessung.

L'auteur parle principalement du point de vue du praticien, du constructeur et du consommateur. Il traite tout d'abord brièvement de la rigidité diélectrique, de la résistance aux courts-circuits, de l'exactitude atteinte, du problème de l'isolement à sec, puis expose les possibilités d'augmenter l'exactitude des transformateurs à un conducteur et les raisons qui font apparaître le transformateur à boucle comme une solution défavorable. L'auteur décrit ensuite le transformateur à barre de fer (une nouvelle construction à circuit magnétique ouvert) ainsi que les propriétés remarquables du transformateur à anneaux croisés, puis s'arrête aux difficultés de fabrication du transformateur de potentiel en cascade et de celui à isolement sec pour se placer au point de vue que le transformateur de potentiel à huile doit avoir la préférence aujourd'hui, surtout lorsqu'il résiste à des essais sévères, par exemple à l'épreuve de type 8-h qu'il a introduite, ou à la mesure de l'angle de perte.

I. Allgemeines.

Bei den Messwandlern ist im wesentlichen nach drei Gesichtspunkten zu unterscheiden: nach *Sicherheit, Genauigkeit* und *Preis*.

Die *Sicherheit* habe ich absichtlich an die erste Stelle gesetzt; sie ist für einen Messwandler das wesentlichste. Ein Stromwandler kann überhaupt nicht vor Ueberstrom geschützt werden, über ihn gehen alle Ueberströme und alle Ueberspannungen hinweg. Wenn er explodiert, so kann daraus die schwerste Betriebsstörung entstehen. Beim Spannungswandler geht die neueste Tendenz dahin, ihn ungeschützt in die Leitung einzubauen, weil sich gezeigt hat, dass auf die Sicherung doch kein absoluter Verlass ist. Anstelle von Sicherungen verwendet man Konstruktionen mit grösserer Sprungwellenfestigkeit und grösserer Sicherheit gegen normalfrequente Ueberspannungen. Die Sicherheit kann im wesentlichen durch geschickte Konstruktion erhöht werden. Die *äusseren Schlagweiten* sind heute für Spannungen bis zu 100 kV teilweise vorgeschrieben, teilweise interne Werksnormen. Ich halte es nicht für zweckmässig, Vorschriften für Schlagweiten im *Innern* der Wandler zu machen, weil dadurch Fortschritte unterbunden werden können.

Die Minutenprüfung sagt gar nichts über die Betriebssicherheit der Wandler, sie soll nur grobe Fabrikations- oder Materialfehler aufdecken. Auf

Grund einer einmaligen sehr unangenehmen Erfahrung, die nunmehr acht Jahre zurückliegt, habe ich für die Wandler der Siemens-Werke als Typenprobe (nicht als Stückprobe!) eingeführt, dass sie die Prüfspannung nicht nur während 1 min halten müssen, sondern während 8 Stunden. Ich habe damit die Gewähr, dass der Wandler bei der Stückprobe während 1 oder 5 min nicht beschädigt wird. Eine längere Ausdehnung dieser Typenprobe halte ich für zwecklos, weil die dabei verwendete Spannung im allgemeinen etwa das dreifache der betriebsmässigen Beanspruchung ausmacht.

Was die *Kurzschlusssicherheit* anbelangt, so kommt man in vielen Fällen mit dem 60- bis 100-fachen des Normalstromes während 1 s aus. In anderen Fällen, insbesondere bei den Eigenversorgungsanlagen von grösseren Kraftwerken, wird der 1000- bis 3000fache Sekundenstrom verlangt. Den extremsten Forderungen auf Kurzschlusssicherheit der Stromwandler kann man eher entsprechen, wenn man die Genauigkeit solcher Wandler herabsetzt oder auch ihre Leistung vermindert. Insbesondere sollte man bei Stabwandlern mit 5 VA Sekundärleistung zufrieden sein und in besonderen Fällen auch zulassen, dass der Wandler für eine bestimmte Sekundärbürde abgeglichen wird, z. B. auf 5 VA \pm 1 VA.

Die erreichte *Genauigkeit* hat bei den Messwandlern in den letzten fünf Jahren ausserordent-