Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 43 (1952)

Heft: 12

Artikel: Kunstharz-Trocken-Messwandler

Autor: Imhof, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059157

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: 17.05.2025

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

der Rot- und der Blau-Anteil nach den beschriebenen Methoden separiert werden. Die Darstellung dieser Teilamplituden in einem «simultaneous»-System der Bildwiedergabe ergibt im Grenzfalle Äquivalenz der Dosierung von Grün, Rot und Blau, falls der nötige Amplitudenumfang in der Sendung erreicht wird. Normalerweise müsste man aber den Rot- und den Blauauszug nacheinander wiedergeben und käme dann bei unverbreitertem Frequenzband auf die halbe Auflösung für diese beiden Komponenten.

Literatur

[1] *Schröter, Fritz:* Handbuch der Bildtelegraphie und des Fernsehens. Berlin: Springer 1932. S. 345 ff.
[2] *Schröter, Federico:* Algunos problemas recientes de la telecomunicación con ondas centimetricas. Rev. Telecomunicación Bd. 6(1950), Nr. 21, S. 24...39.
[3] *Kettel, Ernst:* Der Störabstand bei der Nachrichtenübertragung durch Codemodulation. Arch. elektr. Übertr. Bd. 3 (1949), Nr. 5, S. 161...164.
[4] *Schröter, Federico:* Las perturbaciones en telecomunicación y el empleo de los registradores electrónicos. Rev. Cienc. Aplic. Madrid Bd. 5(1951), Nr. 18, S. 1...16; Nr. 19, S. 128...142.
[5] *Mann, P. A.:* Der Zeitablauf von Rauschspannungen. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 20(1943), Nr. 10, S. 232...237.

Adresse des Autors:
Professor Dr. *F. Schröter*, Instituto Nacional de Electrónica, Rios Rosas, 54, 2°, Madrid.

Kunstharz-Trocken-Messwandler

Von *A. Imhof*, Muttenz

621.314.222.3

Seit dem Erscheinen der früheren Publikationen über dieses Gebiet fanden die Kunstharz-Messwandler zahlreiche Anwendungen im praktischen Betrieb. Der Aufsatz diskutiert die dabei verwendeten Bauformen. Aber auch neue Ideen werden gestreift, einerseits in Bezug auf Wandler für die untern Spannungsreihen, anderseits für die hohen Spannungsreihen. Der Begriff Wandlerbatterie wird eingeführt und der raumsparende Einbau nicht nur von Stromwandlern, sondern auch von Spannungswandlern in den Zug der Sammelschiene wird dargestellt. Der Aufsatz gibt ferner Resultate von Prüfungen an Messwandlern und am dazu verwendeten Werkstoff bekannt.

Depuis la parution des publications précédentes dans ce domaine, les transformateurs de mesure isolés à la résine synthétique ont trouvé un grand nombre d'applications dans l'exploitation pratique. L'article suivant traite des différentes formes constructives utilisées pour ceux-ci. Il est également fait mention d'autres idées, d'une part au sujet des transformateurs de mesure des séries de tensions inférieures, d'autre part au sujet de ceux des séries de tensions supérieures. La notion de batterie de transformateurs de mesure y est introduite et il y est donné un aperçu d'un montage de dimensions réduites grâce à la disposition dans l'axe des barres omnibus, non seulement des transformateurs de courant, mais aussi des transformateurs de tension. Cet article traite encore des résultats d'essais effectués sur des transformateurs de mesure et donne connaissance des matières employées pour leur fabrication.

Einleitung

Die ersten Publikationen [1...4] [1]) über Kunstharzwandler konnten berichten über den konstruktiven Aufbau dieser Wandler, Probleme des Werkstoffes [3, 4], und über zu erwartende Vorteile der neuen Wandler. Diese und weitere Mitteilungen [5...9] gaben schrittweise Einblick in die neue Technik, welche, da sie sich wenig auf Hergebrachtes stützen konnte, zur Entwicklung auf Fabrikationsreife Jahre benötigte. Nachdem jedoch die besondere Bedeutung gewisser Kunststofftypen [10...12] für diese Anwendungsgebiete erkannt und die Tücken der Verfahren wie der konstruktiven Behandlung durch die grundlegenden Arbeiten der Moser-Glaser & Co. A.-G. im wesentlichen gebannt waren, schritt auch hier die Technik rasch fort.

Neben grossem Interesse begegnete der Hersteller begreiflicherweise auch da und dort einer Haltung vorsichtigen Abwartens. Die neuen, werkstoffgerechten Bauformen entstanden aus einer Synthese der elektrotechnischen Forderungen mit denjenigen des Werkstoffes und des Verfahrens, waren anfänglich nicht selten Anlass einiger Zurückhaltung, später aber meist entschiedener Bejahung.

Die Entwicklung der letzten Zeit wandte sich einmal der Beherrschung höherer Spannungen mit Kunstharz-Messwandlern zu, mehr aber dem feineren Ausbau der Verfahren und der konstruktiven Behandlung. Zahlreiche Messungen aller Art sollten noch vorhandene Schwächen aufdecken.

Kunstharz-Wandler im praktischen Betrieb

Die bisherige Erfahrung zeigt, dass die Nachfrage nach Kunstharz-Spannungswandlern eher grösser ist als diejenige nach Stromwandlern. Dies ist verständlich, denn im Stabstromwandler besitzt die Technik bereits einen guten Trockenstromwandler. Der *Kunstharz-Stromwandler* ersetzt den Stabstromwandler vorteilhaft da, wo die zu kleine Stromstärke bisher zum Schleifenwandler zwang, ferner da, wo die räumliche Disposition der Hochspannungsanlage den Stützerwandler (Fig. 1) vorziehen lässt. Der Kunstharz-Stützerwandler übertrifft an mechanischer Widerstandsfähigkeit gegen Kurzschlusskräfte alle bisherigen Wicklungsstromwandler. Er kann leicht mit zwei getrennten, umschaltbaren Primärwicklungen und mit zwei Sekundärwicklungen ausgestattet werden. Solche Wandler treten an die Stelle der bekannten Querlochporzellanwandler; diesen gegenüber sind sie kleiner, robuster und für wesentlich höhere Spannungen noch herstellbar. Wirtschaftliche Grundsätze legten die obere Grenze bisher bei etwa 60 kV; in technischer Hinsicht besteht sie kaum mehr. Für

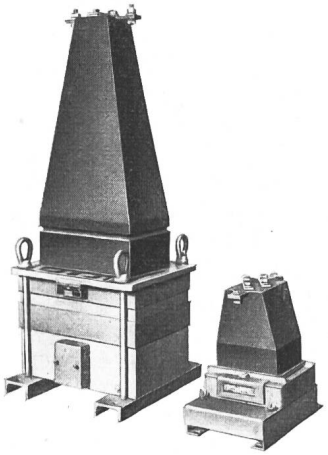

Fig. 1
Trocken-Stützer-Stromwandler 60 kV und 20 kV

[1]) siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Niederspannung und mässige Hochspannung erweisen sich die Stabstromwandler (Fig. 2 und 3) mit eingegossenem Eisenkern als dimensionsmässig sehr anpassungsfähig; er findet vielfältige Verwendung.

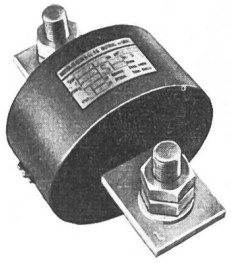

Fig. 2
Stabstromwandler für Niederspannung, Prüfspannung 4 kV

Die Koordinationsregeln [2]) boten dem Trockenspannungswandlerbau anfänglich bedeutende Mühe, da die Stoßspannungsanforderungen an diese Apparate sehr hoch sind. Der lagengesteuerte *Kunstharz-Spannungswandler* konnte diesen Forderungen

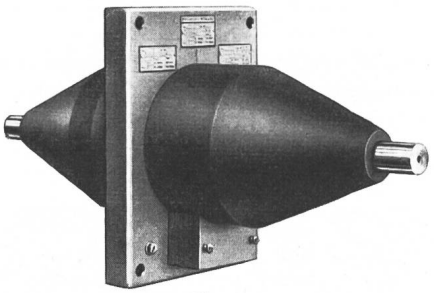

Fig. 3
Durchführungs-Stromwandler 20 kV

angepasst werden. Zu dieser Bauart gehört der höchst einfache «Tonnen»-Wandler (Fig. 4). Obwohl seine Abmessungen in Richtung der Wicklungsachse gegenüber raumsparend entworfenen Ölwandlern eher gross erscheinen mögen, ist der Raumbedarf tatsächlich recht mässig, denn die Enden der langen Wicklung sind auf Erdpotential; besondere Erdabstände sind daher nicht nötig. Solche Spannungswandler stehen für alle Spannungsreihen bis 60 kV in grösserer Zahl mit Erfolg im praktischen Betrieb. Es galt bisher als selbstverständlich, Spannungswandler auf einen Boden oder auf ein Eisengerüst mit den Polanschlüssen oben aufzustellen. Da die Kunstharzwandler in jeder beliebigen Lage verwendet werden dürfen, kann dem Entwurf der Schaltanlagen mehr Freiheit gegeben

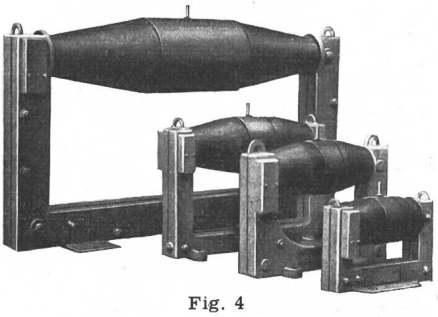

Fig. 4
Trocken-Spannungswandler Pol—Erde, 60, 30, 20, 10 kV

[2]) Regeln und Leitsätze für die Koordination der Isolationsfestigkeit in Wechselstrom-Hochspannungsanlagen, Publikation Nr. 183 des SEV.

werden. Es ist sogar möglich geworden, mit dem Spannungswandler einen Boden oder eine Wand zu durchbrechen, d. h. den Spannungswandler genau so als Durchführung zu verwenden, wie dies bisher

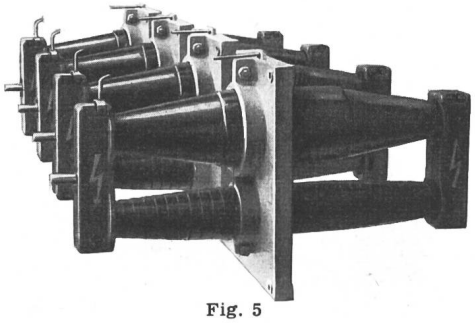

Fig. 5
4 Trocken-Spannungswandler Pol—Erde 45 kV, in Durchführungsbauart

schon mit Stab- und Schleifenstromwandlern geschah. Dazu ist notwendig, den Eisenkern an das Messpotential zu legen, so dass ein linearer Potentialabfall gegen die Flanschpartie stattfindet. Naturgemäss liegt nun die Sekundärwicklung als quasi geerdeter Teil aussen (siehe Fig. 5). Obwohl solche Wandler durch den Verfasser bereits im Jahre 1929 vorgeschlagen wurden [1], konnte die nötige Fabrikationsreife erst durch Entwicklungen der Isolationstechnik erreicht werden. Da der Rückschluss des Eisenkerns einen Durchführungsisolator braucht, der auch zur Durchführung des Stromleiters dient, sind solche Wandler verhältnismässig teuer, aber bauliche Bedingungen oder bauliche

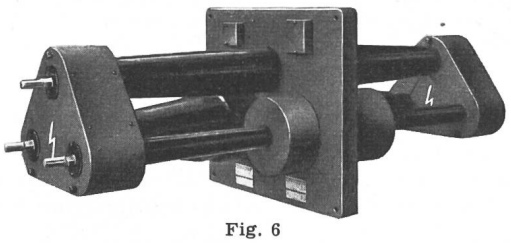

Fig. 6
Trocken-Spannungs- und -Stromwandler 60 kV, in Durchführungsbauart

Preiseinsparungen haben doch schon in mehreren Fällen dieser Bauart den Vorzug gegeben. Noch eher rechtfertigt sich die Durchführungsbauart, wenn sie, wie in Fig. 6 gezeigt, mit einem Stromwandler kombiniert wird. Solche kombinierte Wandler für 60 kV Nennspannung stehen im praktischen Betrieb. Sie erfüllen eine raumsparende und die Disposition der Anlage vereinfachende Aufgabe.

Der oben dargestellte Lagenwicklungswandler ist vom verfahrenstechnischen Standpunkt aus wesentlich verschieden von einem ebenfalls mit Lagenwicklung ausgestatteten Wandler nach Fig. 7. Dieser vorläufig für die Spannungsreihe 10...30 kV im praktischen Betrieb befindliche, besonders formschöne Wandler ist in den Abmessungen kleiner; er wurde besonders im Hinblick auf die gekapselten Anlagen entworfen. Er eignet sich für sehr feuchtes Klima.

Für mässige Spannungen der Drehstromanlagen wurden bisher aus preislichen Gründen sehr oft

2polige Spannungswandler in der bekannten V-Schaltung verwendet. Es gibt, wenige Spezialfälle ausgenommen, keine anderen ernsthaften Argumente zu Gunsten des 2poligen Wandlers [1], wohl

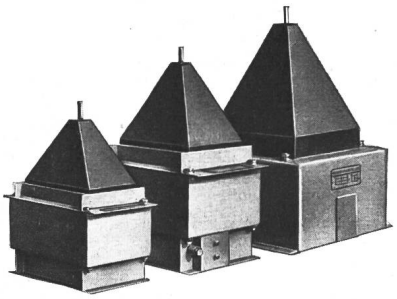

Fig. 7
Trocken-Spannungswandler Pol—Erde, 10, 20 und 30 kV

aber zu Gunsten von 3 einpoligen Wandlern. Immerhin war es nicht zu umgehen, auch den 2poligen Wandler wenigstens für Spannungen bis 30 kV zu entwickeln (Fig. 8). Bewusst wurde dabei von Anfang an auf grosse Robustheit und Anpassung an die Koordinationsvorschriften Wert gelegt, unter welchem Gesichtspunkt auch die Abmessungen zu beurteilen sind. Diese Wandler haben ebenfalls ihren erfolgreichen Einzug in die Praxis hinter sich.

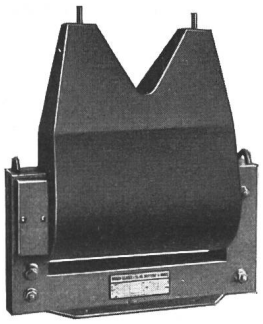

Fig. 8
Trocken-Spannungswandler Pol—Pol 20 kV

Eine ganz neuartige Form des zweipoligen Spannungswandlers ist in Fig. 9 dargestellt. Die beiden Pole besitzen nämlich die gleiche Achse. Solche Wandler sind leichter herstellbar als diejenigen nach Fig. 8 und lassen sich bezüglich Raumdisposition sehr vorteilhaft einbauen.

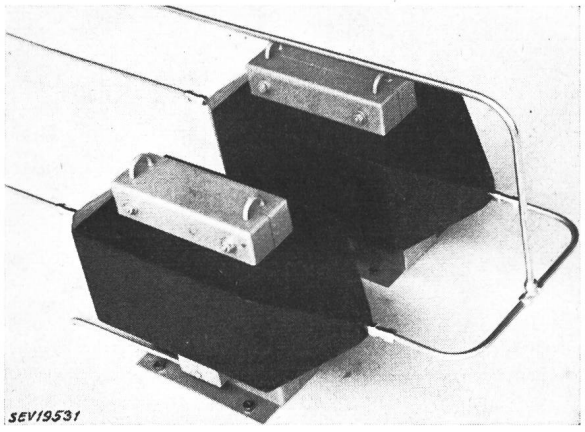

Fig. 9
2 Trocken-Spannungswandler Pol—Pol 20 kV

Vier Bilder sind elektrischen Anlagen entnommen; sie zeigen deutlich den neuen Zug, den die Kunstharzwandler in architektonischer Hinsicht darbieten.

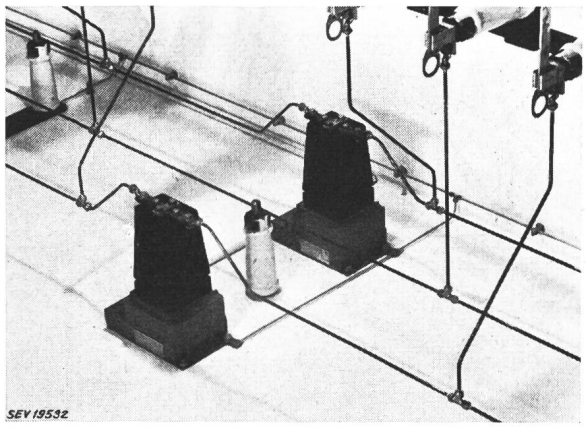

Fig. 10
2 Trocken-Stromwandler 20 kV mit zwei Primärmessbereichen
(Industrielle Betriebe der Stadt Aarau)

Prüfungen am Werkstoff

Unter den verschiedensten auf dem Markt befindlichen «Niederdruck-Kunstharzen» waren die für den Messwandlerbau geeigneten Typen durch Applikationsstudien einerseits, durch Messung der mechanischen, dielektrischen, thermischen u. a. Eigenschaftswerte anderseits auszuwählen. Kein Harztyp

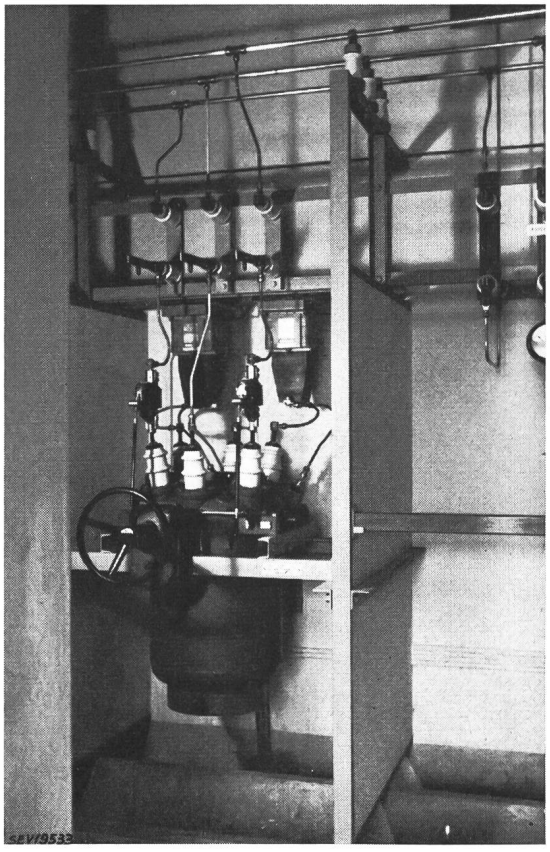

Fig. 11
2 Trocken-Stromwandler 20 kV, hängend montiert über Ölschalter
(Elektrizitätswerk Basel)

besitzt in jeder Hinsicht die gewünschten Eigenschaften. Durch Wahl und Dosierung von Zusatzstoffen wurden die nötigen Näherungen erreicht. Wir begnügen uns an dieser Stelle mit der Angabe

einiger besonders interessierender Werte an einem repräsentativen Niederdruck-Harztyp aus der Fabrikation von Moser-Glaser.

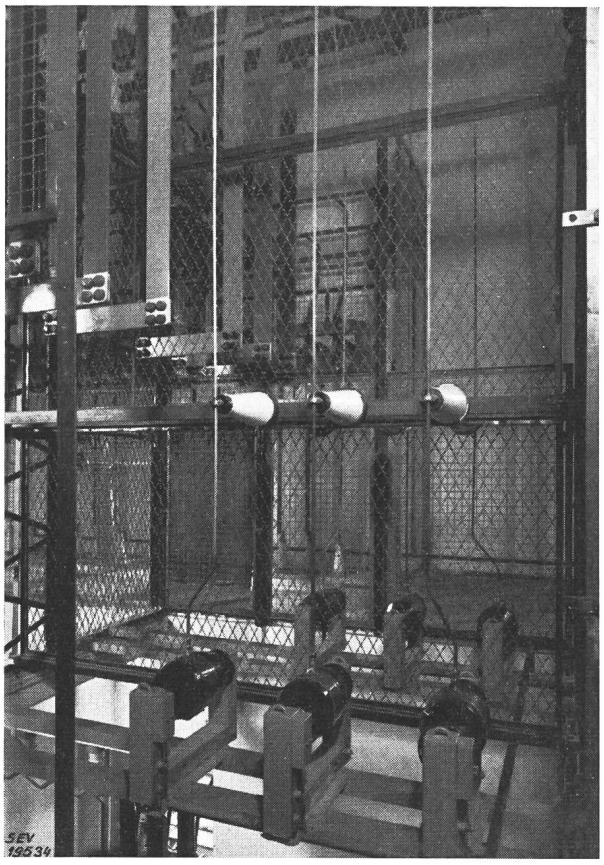

Fig. 12
2 × 3 Trocken-Spannungswandler Pol—Erde, 20 kV,
in einer Anlage der Bayernwerk A.-G.,
Bayerische Landeselektrizitätsversorgung

Biegefestigkeit (Dynstat Schopper) 20 °C	1000...1100 kg/cm² (Biegewinkel 9...10°)
Schlagbiegefestigkeit (Dynstat) 20 °C	5...9 cmkg/cm²
Schlagbiegefestigkeit (VSM) 20 °C	5...7...9 cmkg/cm²
Elastizitätsmodul (VSM) bei 20 °C	560 kg/cm²
50 °C	515 kg/cm²
80 °C	490 kg/cm²
100 °C	470 kg/cm²
Zersetzungstemperatur (VSM)	330 °C
Dauer-Wärmebeständigkeit	120 °C
Durchschlagfestigkeit unter Öl (VSM) 20 °C Versenkte Kugeln 25 mm ⌀, 2,2 mm	
a) stetige Spannungssteigerung	> 450 kV/cm
b) Einminutenwert	> 360 kV/cm
Kriechwegfestigkeit nach Micafil	10...30 min
Dielektrizitätskonstante ε bei 50 Hz, 20 °C	3,7...4,0
Dielektrischer Verlustfaktor tgδ bei 50 Hz, 20 °C	0,02
Bearbeitbarkeit (Drehen, Fräsen, Bohren) gut mit Hartmetall-Werkzeugen. Ziemlich starke Werkzeugabnützung	

Man erkennt unschwer, dass die mechanischen Eigenschaften den Vergleich mit den an den meist üblichen Phenolharz-Pressmischungen HPOP und HPAP gemessenen Werten sehr wohl ertragen; sie sind sogar deutlich besser. Der niedrigere Elastizitätsmodul weist auf eine grössere elastische Dehnung hin. Die geringe Abnahme des Elastizitätsmoduls mit steigender Temperatur lässt den Charakter des Harzes als «härtbares Harz» erkennen, dies um so mehr, als sich bei Wiederholung der Messungen am gleichen Prüfling bei den verschiedenen Temperaturen der vorstehenden Tabelle dieselben Werte ergeben. Für besondere Anwendungen sind die mechanischen Eigenschaftswerte weitgehend dem Problem anpassbar. Die Zersetzungstemperatur liegt hoch. Ausserordentlich hoch ist die elektrische Festigkeit. Trotzdem wachsen die Schwierigkeiten bei extrem hohen Nennspannungen.

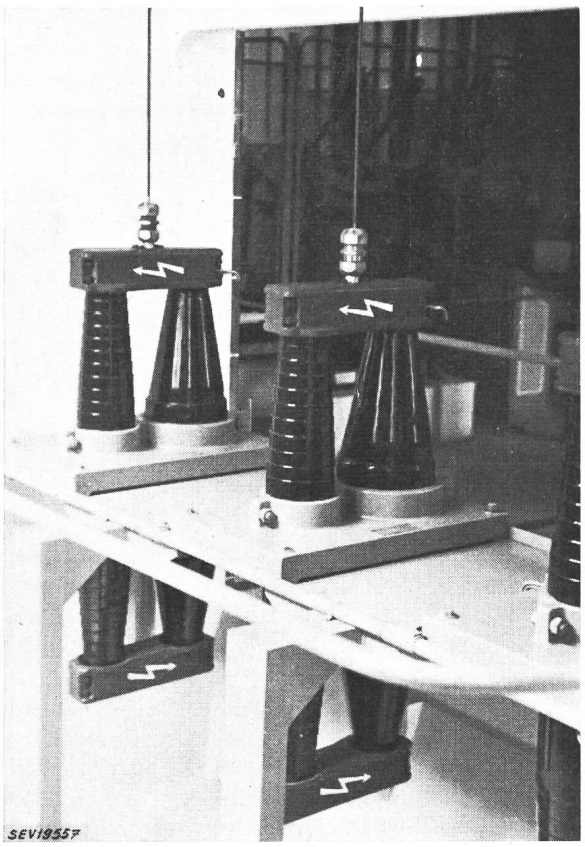

Fig. 13
Kunstharz-Durchführungs-Spannungswandler im Kraftwerk Bodio der Aare-Tessin AG. 48/$\sqrt{3}$ kV

Die wenigen Zahlen zeigen, dass ein ausgezeichneter Werkstoff vorliegt, dem sich in der Elektrotechnik noch zahlreiche Verwendungsgebiete erschliessen werden.

Prüfresultate an Messwandlern

Es bedarf kaum der Erklärung, dass von Genauigkeitsprüfungen hier nicht die Rede zu sein braucht, da diesbezüglich die Kunstharz-Trocken-Messwandler keine neuen Probleme bieten.

Der kritische Ingenieur ist in erster Linie etwas misstrauisch eingestellt in Bezug auf allfällige Alterungserscheinungen des Harzkörpers unter Betriebsbedingungen und auf dessen Verhalten bei brüsken und erheblichen Temperaturänderungen der eingebetteten aktiven Teile. Aus dem ersten Grunde wurden einige verschiedene Bauarten von Stromwandlern und Spannungswandlern rund zweijährigen Dauerprüfungen unterworfen, welche in Bezug auf Stromstärken und Spannungen die höchstzulässigen Betriebswerte um 20 % überschritten.

Aus dem zweitgenannten Grunde wurden die verschiedenen Stromwandlertypen nicht nur den durch die SEV-Vorschriften verlangten Überstromprüfungen unterzogen, sondern darüber hinaus wesentlich schärferen Strombelastungen unterworfen. Tatsächlich erfuhr die Entwicklungszeit zur Fabrikationsreife durch die ersten, nicht durchwegs befriedigenden Resultate seinerzeit eine erhebliche Verzögerung. Schliesslich aber gelang es, die thermische Widerstandsfähigkeit so zu steigern, dass sowohl Stützerstromwandler, als auch Schienenstromwandler Dauerprüfungen (2×24 h) mit 150 % des Nennstromes ertrugen. Ein Schienenstromwandler, dessen Nennstromstärke 300 A beträgt, wurde dann soweit überlastet, dass die Temperatur des Stromleiters 400 °C annahm. Eine leichte Lockerung des Leiters im Kunstharzkörper war die Folge, zur Bildung von Rissen kam es aber nicht. Das sind Feststellungen, die auch den guten Kenner des Kunstharz-Werkstoffes einigermassen in Erstaunen setzen.

Weitere Überstromprüfungen an Stützerstromwandlern wurden als Kurzzeitversuche mit grossen Stromstärken vorgenommen, um insbesondere das Verhalten gegen die dabei auftretenden stossartigen mechanischen Kräfte festzustellen, so u. a. mit $100\,I_n$ als Stromstoss, $84\,I_n$ 1 s, $48\,I_n$ 3 s.

Während der Entwicklungszeit der Kunstharzwandler traten die Koordinationsregeln in Kraft. Bedenkt man, dass der Trockenisolation nicht ein so hoher Stossfaktor eigen ist wie der Ölisolation, lauten die Stoßspannungsvorschriften sehr streng. Sämtliche der neuentwickelten Kunstharz-Stromwandler, Spannungswandler und kombinierten Wandler bis zu 60 kV Nennspannung wurden den Stoßspannungstypenprüfungen gemäss Publikation Nr. 183 des SEV in den Prüfanstalten des SEV unterzogen. Ausnahmslos erwies sich die innere Isolation richtigerweise als höher denn die äussere Isolation, die, wo sie vereinzelt nicht ausreichte, durch Vergrösserung der Überschlaglänge auf die verlangten Werte erhöht wurde.

Neue Ideen in Bezug auf die Bauformen

Es liegt an der Besonderheit des Fabrikationsverfahrens, dass in Bezug auf die mögliche Gestaltung der Messwandler eine grosse Freiheit besteht — dies unter Einhaltung gewisser «Spielregeln». So wurden denn vor kurzem einige Ideen realisiert, die noch nicht in die Praxis eindrangen, wahrscheinlich aber geeignet sind, die Messfelder weiter zu vereinfachen.

Neuartig ist der Versuch, die Messwandler für die niedrigeren Spannungsreihen 3...30 kV so in die Anlagen einzubauen, dass minimale Räume benötigt und in manchen Fällen sogar Ausbiegungen von Sammelschienen unnötig werden. So wurde ein Spannungswandlertyp entwickelt, der wie ein Stromwandler *in den Zug der Leitung* eingefügt werden kann. Dies wird erreicht, indem der Spannungswandlerkörper zwei Einführungsenden in derselben Achse besitzt. Der Stromleiter wird über die Primärwicklung als Bogen hinweggeführt. Eine solche Dreiphasenbatterie ist in Fig. 14 dargestellt. Die drei Spannungswandler sind je zwischen Sammelschiene und Erde geschaltet. Einen Schritt weitergehend wird auch noch der Stromwandler miteingebaut (Fig. 15). Der Ringeisenkern ist koaxial zur Wandlerachse, der entlang die Stromschiene verläuft, eingegossen. Das gesamte Dreiphasenmessfeld ist also «im Zug der Sammelschiene» eingefügt.

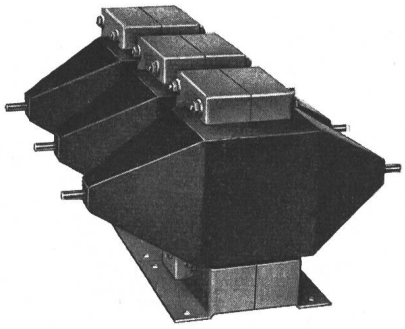

Fig. 14
Trocken-Dreiphasen-Spannungswandlerbatterie Pol—Erde, 20 kV, für durchführende Polleitung

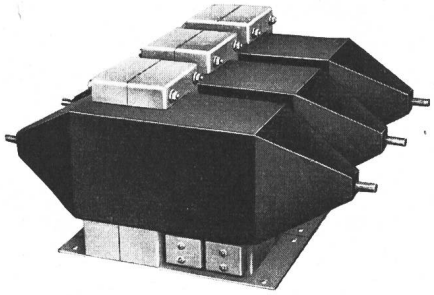

Fig. 15
Trocken-Dreiphasen-Spannungs- und Stromwandlerbatterie 20 kV
Der Spannungswandler ist an Pol—Erde angeschlossen

Diese Kombination von Strom- und Spannungswandler kann tatsächlich auf keine Art so einfach und formschön realisiert werden wie mit dem Kunstharzwandler. An sich sind Kombinationen von Trockenstrom- und Spannungswandlern schon seit mehr als 20 Jahren bekannt [1], und zwar als Porzellanwandler. Sie erforderten jedoch sehr komplizierte, schwer herstellbare Porzellankörper und beanspruchten bedeutend mehr Raum. Für den Fabrikanten ist der Zusammenbau von Strom- und Spannungswandler zwar unbequem, denn neben der Vergrösserung des Ausfallrisikos durch Fabrikationsfehler ist die Normung solcher Typen kaum möglich, weil die gleichzeitige Bemessung für Nennspannung und Nennstrom so viele Variationen bedingt, dass jeder Wandler in seinem aktiven Teil nach den jeweiligen Bestelldaten bemessen werden muss.

Für die V-Schaltung kennt man Ölspannungswandler und Druckluft-Spannungswandler mit drei Durchführungen, die zwei Spannungswandler mit Anschluss Pol–Pol enthalten. Die mittlere der drei Durchführungen ist beiden Wandlern gemeinsam zugeordnet. Eine Realisierung dieser Kombination als Kunstharz-Trockenwandler ist in Fig. 16 dargestellt. Es lässt sich in dieser Weise nicht nur an

Raum, sondern auch an Harz sparen. Dass die äusseren Durchführungsachsen in der gleichen Geraden liegen, ist neuartig und begründet durch die damit geschaffene Erleichterung des Herstellungsprozesses.

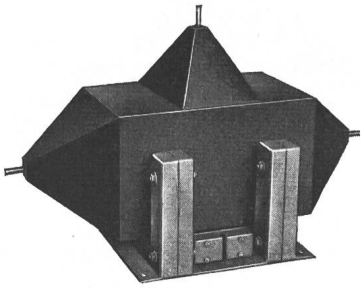

Fig. 16
Trocken-Doppelspannungswandler in V-Schaltung, 20 kV

Die Entwicklung der Kunstharzwandler für sehr hohe Spannungen ist zwar ein gutes Stück vorgetrieben, hat aber noch mancherlei Probleme zu lösen. Da es sich bei solchen Spannungen meist um Freiluftanlagen handelt, ist die Dringlichkeit der Lösung weniger gross als bei den kleineren Spannungen, aber das Überhandnehmen der Stollenanlagen veranlasst auch hier dazu, Öl zu vermeiden.

Infolge der guten Stoßspannungsfestigkeit der kapazitätsreichen Lagenwicklung musste man sich fragen, ob nicht die tonnenförmige Bauart auch für weit höhere Spannungen entwickelt werden sollte. Die Ingenieure sind sich so sehr an die säulenförmigen Isoliermantelwandler gewöhnt, dass eine Bauart etwa nach Fig. 17 revolutionär wirkt. Der Eisenkern dient hier als Träger der Wicklungen analog wie in Fig. 4. Prüft man jedoch rein sachlich den Raumbedarf, so findet man, dass er in keiner Weise denjenigen eines sehr schlanken Säulenwandlers übersteigt. Doch darf nicht nur der geometrische, sondern es muss auch der elektrische Feldraum betrachtet werden, denn dieser ist massgebend. Im Bild ist er angedeutet durch eine tatsächlich nicht etwa vorhandene Kugelschale, welche den Feldraum begrenzt. Wenn die vertikale Hochspannungszuleitung angebracht ist, muss die obere Kugelschale durch einen Zylinder, dessen Durchmesser gleich dem Kugeldurchmesser ist, ersetzt sein. Der so abgegrenzte Feldraum muss freibleiben von baulichen Gebilden irgendwelcher Art. Das Bild, das einen 150-kV-Wandler betrifft, zeigt klar den Vergleich der «Teleskop-Form» mit der Säulenform.

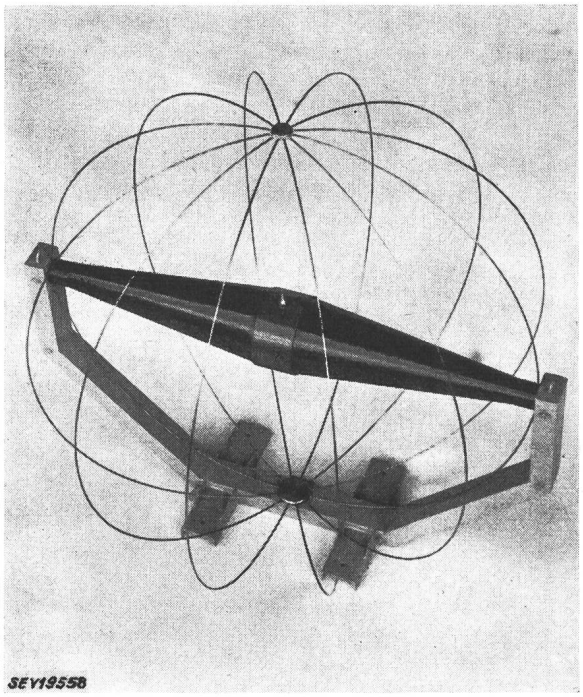

Fig. 17
Trocken-Spannungswandler Pol—Erde 150 kV
Die angedeutete Kugelschale begrenzt den Feldraum, in dem sich keine geerdeten Gegenstände befinden dürfen

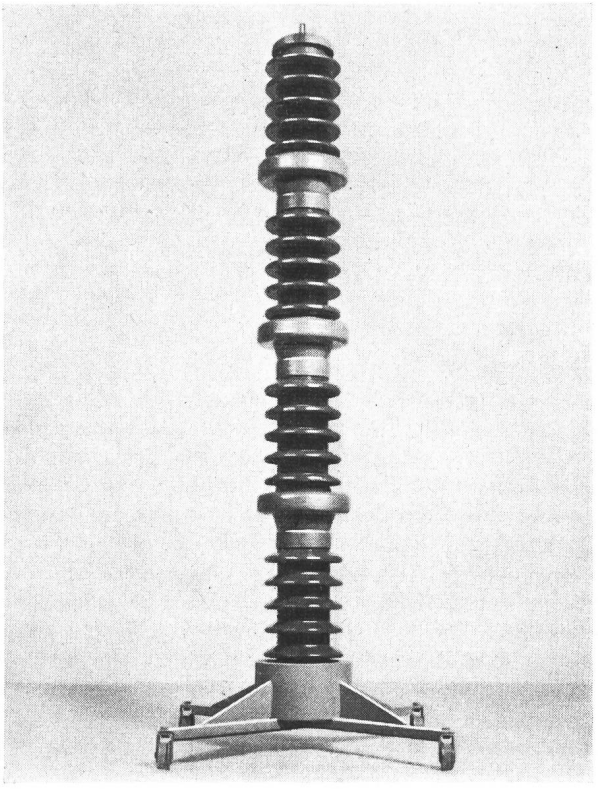

Fig. 18
Trocken-Kaskadenspannungswandler 220 kV für Freiluftaufstellung

An der Basler Mustermesse 1951 war ein Kaskadensäulenwandler für 150 kV ausgestellt, der sich aus fünf 30-kV-Wandlern zusammensetzte. Eine Weiterentwicklung dieses Typs zu kleineren Abmessungen ist in Fig. 18 dargestellt. Vier Kaskaden zu je 55 kV bilden hier einen 220-kV-Wandler.

Trotzdem dreijährige Dauerversuche im Freien auf eine gute Witterungsbeständigkeit des verwendeten Kunstharz-Werkstoffes schliessen lassen, wurde von dieser Eigenschaft nur beschränkt Gebrauch gemacht, indem zwar die vertikale zylindrische Kunstharzoberfläche unbedeckt ist, die ausladenden Schirme jedoch aus Porzellan bestehen. Die Kunstharzoberfläche ist also weder intensiver Sonnenbestrahlung, noch langdauerndem direkt aufschlagendem Regen ausgesetzt. Mit dieser Bauart wurden jegliche Lufträume, die durch Kondens-

wasser befeuchtet oder ionisiert werden können, vermieden.

Man wirft den Kaskadenwandlern eine kleine Sekundärleistung und eine mässige Stoßspannungsfestigkeit vor. Solchen Mängeln ist hier weitgehend begegnet worden, indem die Nennspannung der einzelnen Kaskade relativ hoch gewählt und deren Primärwicklung als Lagenwicklung ausgeführt ist. Die erste, am meisten durch Stoßspannung gefährdete Stufe ist besonders hoch isoliert. Bei einem allfälligen Blitzdefekt genügt die Auswechslung einer Stufe. Die Bauhöhe der Kaskadenwandler ist grösser als diejenige der Isoliermantel-Ölwandler.

Beim Stromwandler ist die Anwendung des Prinzips der Kaskadenschaltung nicht ratsam, da Leistung und Genauigkeit dies kaum ertragen.

Über die gewonnenen Vorteile

Abschliessend sei eine Frage beantwortet, die naturgemäss bei technischen Neuerungen gestellt wird: Welcher Art ist die Bereicherung der Technik, oder welches sind die gewonnenen Vorteile? Der Verfasser übte bisher bei der Beantwortung einige Zurückhaltung, einesteils, weil er nicht Gefahr laufen wollte, seinen Ausführungen den Charakter einer technischen Propaganda zu geben, andernteils, weil zunächst eine gewisse Erfahrungszeit abgewartet werden sollte. Nun sei hier etwas ausführlicher auf die gestellte Frage eingetreten.

Das grösste Gewicht kommt der Feststellung zu, dass die Brandausbreitungs- und Explosionsgefahr im Gegensatz zu Ölwandlern — auch ölarmer Bauart — gebannt ist, da keine flüssigen Baustoffe vorhanden sind. Sehr vermindert ist auch die Verqualmungsgefahr. Wohl bieten auch Porzellanwandler in mindestens gleichwertiger Weise diese Vorteile. Indes ist es bisher nicht gelungen, befriedigende Porzellanwandler für Spannungen über 30 kV zu bauen, besonders nicht in der den heutigen Anforderungen genügenden Stoßspannungsfestigkeit. Porzellanspannungswandler enthalten übrigens stets auch etwas brennbares Material (Compounde). Die namentlich für kleine Apparate lästige Wartung des Öles fällt bei Trockenwandlern dahin.

Bisher konnte nur der Einstab-Stromwandler als dynamisch zuverlässig kurzschlußsicher gelten. Es ist daher als grosser Fortschritt zu werten, dass der Kunstharz-Wicklungsstromwandler mit seiner völlig eingebetteten Primärwicklung ebenfalls kurzschlussfest ist. Allgemein können Kunstharzwandler mit grosser mechanischer und elektrischer Festigkeit ausgestattet werden.

Die Eigenschaften des Baustoffes und die absolut fugenfreie Einbettung der Hochspannung führenden Teile gewährleisten eine hohe Tropenbeständigkeit.

Es dürfte von den Erbauern der elektrischen Anlagen bald erkannt werden, wie sehr die Freiheit in der baulichen Disposition der Anlagen gewinnt infolge der Montierbarkeit der neuen Wandler in jeglicher Lage und der grösseren Mannigfaltigkeit der möglichen Bauformen. Die raumsparende Kombination von Spannungs- und Stromwandlern, die in den letzten Jahren bei den sehr hohen Betriebspannungen viel Verbreitung gefunden hat, dürfte sich mehr als bisher auch bei kleineren Spannungen als Vorteil erweisen.

Es ist eine beachtenswerte Erscheinung, dass heute die Ingenieure einer architektonisch schönen Gestaltung ihrer Anlagen grosses Verständnis entgegenbringen. Die Einfachheit des Aufbaues der neuen Wandler kommt einer solchen Tendenz entgegen.

Die Überlegungen über Besonderheiten des Werkstoffes und der Werkstoffapplikation, Forderungen der elektrischen Festigkeitslehre und endlich der elektrodynamischen und elektromagnetischen Wandlerberechnung führten einerseits zu tonnenartigen Körpern, anderseits zu Kristallgebilden ähnlichen Körpern, die sich in keiner Weise an Gewohntes anlehnen. Sie haben bereits viele Freunde und auch Nachahmer gefunden.

Literatur

[1] *Trocken-Messwandler.* Mitt'. aus dem Arbeitsgebiet der Koch & Sterzel A.-G., Dresden Bd. —(1931), Nr. T 18, Februar.

[2] *Imhof, A.:* Fortschritte im Bau von Trockentransformatoren und Messwandlern. Schweiz. techn. Z. Bd. 44(1947), Nr. 44/45, S. 760...763.

[3] *Schweiz. Verband für die Materialprüfungen der Technik.* Nachträge zur Kunststofftagung vom 31. Jan. 1948. Diskussionsbeiträge. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. Bd. 15(1949), Nr. 9, S. 286...289.

[4] *Imhof, A.:* Einige Problemstellungen der Elektrotechnik an die Kunststoffchemie. Schweiz. techn. Z. Bd. 46(1949), Nr. 39, S. 626...631.

[5] *Imhof, A.:* Ein neuer Trocken-Spannungswandler. Bull. SEV Bd. 40(1949), Nr. 13, S. 409...410.

[6] *Imhof, A.:* Muba-Standbesprechungen der Moser-Glaser & Co. A.-G., Muttenz bei Basel. Schweiz. techn. Z. Bd. 47(1950), Nr. 14/15, S. 211...212.

[7] *Imhof, A.:* Kunstharz-Trocken-Messwandler. Bull. SEV Bd. 41(1950), Nr. 19, S. 716...723.

[8] *Imhof, A.:* Transformateurs de mesure secs à résine synthétique. Bull. ASE Bd. 41(1950), S. 716...723.

[9] *Imhof, A.:* Fortschritte im Transformatorenbau, mit besonderer Berücksichtigung der Messwandler. Elektrotechn. u. Maschinenbau Bd. 68(1951), Nr. 15/16, S. 353...360.

[10] *Parkyn, B.:* Ungesättigte Polyester-Harze. Bull. SEV Bd. 42(1951), Nr. 11, S. 407...410.

[11] *Meyerhans, K.:* Bindemittel und Giessharze auf Araldit-Basis. Kunststoffe Bd. 41(1951), Nr. 11, S. 365...373.

[12] *Schrade, J.:* Neuere Anwendung der Kunststoffe in der Hochspannungs-Isolationstechnik. Technik NZZ Bd. — (1952), Nr. 17, 27. Febr.

[13] *Imhof, A.:* L'enrobage dans la résine synthétique avec façonnage simultané, comme isolant en électrotechnique. Rev. Gén. Electr. t. 61, n° 3, p. 128...133.

Adresse des Autors:
A. Imhof, Direktor der Moser-Glaser & Co. AG., Muttenz (BL).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Diskussionsversammlung über neuzeitliche Beleuchtung

061.3 : 628.9 (494)

Die «Elektrowirtschaft» veranstaltete am 27. Mai 1952 in Zürich eine Diskussionsversammlung über neuzeitliche Beleuchtung. Es sprachen Prof. R. Spieser, Herrliberg, zum heutigen Stand der Beleuchtungstechnik, Ing. H. Kessler, Zürich, über Fluoreszenzlampen, Dipl. Ing. J. Guanter, Zürich, über den Einfluss der Fluoreszenzlampen auf die Beleuchtungspraxis, Dir. L. C. Kalff, Eindhoven, über moderne Beleuchtungsanlagen und Innenarchitektur, Dir. M. Roesgen, Genf, über «Les installations d'éclairage, en tant que consommateur d'énergie électrique» und Adjunkt R. Hodel, Luzern, über Verkehrswerbung mit Licht. Eine Diskussion entspann sich