Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 9

Artikel: Stromwandler für 750 kV

Autor: Erhart, L.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916708

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: 09.07.2025

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

den kann. Infolge des Übersetzungsverhältnisses tritt an dieser Stelle statt der normalen Prüfspannung von 680 kV eine solche von nur etwa 500 kV auf, was nahezu der Beanspruchung einer Enddistanz für nur 220 kV entspricht.

Naturgemäss liegen heute noch keine Betriebserfahrungen mit 750-kV-Transformatoren vor. Immerhin wird der Transformator von BBC während der Expo unter Spannung stehen, so dass sich bis zum Herbst dieses Jahres vielleicht doch schon einige Schlussfolgerungen werden ziehen lassen. Es ist jedoch zu erwarten, dass Transformatoren, welche die vorher genannten Spannungsprüfungen bestanden haben, genau so betriebssicher arbeiten werden wie ihre für 400 kV ausgelegten Vorgänger. Selbstverständlich müssen dazu auch die entsprechenden Schutzeinrichtungen für diese höchsten Spannungen zur Verfügung stehen, was anerkannterweise heute schon weitgehend der Fall ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die mit dem Bau von Transformatoren für Spannungen von 500...750 kV zusammenhängenden technischen Probleme heute von der schweizerischen Elektroindustrie weitgehend gelöst sind, und dass dazu die nötigen Fabrikations- und Prüfeinrichtungen vorhanden sind, um in Zukunft solche Transformatoren liefern zu können.

Literatur

[1] *Hch. Lutz:* Auslegung und Bau von 400-kV-Transformatoren. Bull. SEV 52(1961)23, S. 915...923.

[2] *J. P. Geibel, C. B. Lindh, A. Rowe:* 460 and 650 kV Autotransformers for Penelec and Project EHV. AIEE Conference Paper 62—266, 7 S.

[3] Apple Grove Test Station Dedicated at 775 kV: Sets New Record. Electrical World, 3 July 1961, S. 30...31.

[4] The first 735 Power Transmission System of the world. ASEA-Journal 36(1963)5—6, S. 84...86.

[5] *K. J. R. Wilkinson:* Supraconductive windings in power transformers. Proc. IEE 110(1963)12, S. 2271...2279.

[6] *K. Hurrle:* Untersuchung über den Entladeeinsatz an Spulenkanten von Hochspannungswicklungen unter Öl. Archiv für Elektrotechnik 40(1951), S. 75...88.

[7] *B. Gänger:* Einige Ergebnisse der Spannungsprüfungen an Transformatormodellen und Apparaten für extrem hohe Übertragungsspannung (750 kV). Brown Boveri Mitt. 50(1963)3, S. 159...175.

Adresse des Autors:

H. Lutz, dipl. Ingenieur, Chef der Konstruktionsabteilung für Transformatoren, Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich 11/50.

Stromwandler für 750 kV

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 20. Januar 1964 in Zürich,

von *L. Erhart,* Aarau

621.314.224.8

1. Anforderungen

Die hauptsächlichen Anforderungen, die an Stromwandler für 750-kV-Netze gestellt werden sind folgende:

a) Die höchste Betriebsspannung liegt bei etwa 765 kV, wobei die Prüfspannungen stark reduziert sind.

b) Der Beginn der inneren und äusseren Ionisation soll über der 1,2fachen Phasenspannung liegen.

c) Zu führende Nennströme sind etwa 2000...2500 A, während die dynamische Kurzschlussfestigkeit ca. 75 kA (Scheitelwert) betragen soll.

d) Eine hohe Messgenauigkeit und Messleistung sowie ein einwandfreies transientes Verhalten bei Überströmen ist einzuhalten.

Während die meisten Punkte durchwegs auch für Stromwandler tieferer Spannung gelten können, ist die wohl bedeutendste neu gegebene Forderung die der höheren Betriebsspannung. Somit kann der Stromwandler für 750 kV vorerst als ein Isolationsproblem betrachtet werden [1] [1]).

2. Prinzip

Das Bauprinzip von Stromwandlern für Spannungen von 750 kV ist massgebend durch die Wahl und Anordnung der Isolation sowie Eisenkern und Wicklung gekennzeichnet. Ausgehend von den bisherigen Konstruktionen für 420 kV und tiefer, von denen mehrjährige Herstellungs- und Betriebserfahrungen vorliegen, können nachfolgende Lösungen angegeben werden, wenn man von einer andern als transformatorischen Stromumformung absieht. Als Isolationsmedium wird dabei wie bei tieferen Spannungen, die ölimprägnierte Papierisolation mit ihren guten Isoliereigenschaften, zur Erzielung von kleinsten Abmessungen zur Anwendung gelangen. Alle mit der Papier-Öl-Isolation verbundenen Fragen, wie Wahl der Isolierstoffe, des Isolieröls, der einwandfreien Herstellung, Trocknung und Imprägnierung, müssen auf das Beste gelöst sein. Auf die Einzelheiten soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden [2]:

a) Der Stromwandler aufgesteckt auf der Durchführung des Transformators ist die einfachste Lösung, die heiklen Probleme liegen mehr bei der Kondensator-Durchführung.

b) *Einstufige Isolation.* Eine Fortsetzung der einstufigen Isolierung, z. B. auf der Primärwicklung wie sie bei 420-kV-Stromwandlern angewendet wird, stellt den Konstrukteur vor zahlreiche neue und bisher unerprobte Probleme. Die dielektrische Erwärmung sowie die Gefahr des Wärmekippens bei fortschreitender Isolierstoff-Alterung, die einwandfreie Vakuum-Trocknung und Imprägnierung der erforderlichen grossen Papierdicken sind etwa die wichtigsten zu lösenden Probleme.

c) *Zweistufige Isolation.* Unterteilt man die Isolation auf Primärwicklung einerseits und Kern mit Sekundärwicklung anderseits, so erhält man bereits Spannungs- und Isolationsstufen, wie sie heute für tiefere Spannungen üblich sind. Der transformatorische Teil ist unverändert wie bei tieferen Spannungen.

d) *Zwei- und mehrstufige Isolation und Kaskade.* Wird der magnetische Teil in zwei Stufen und in Serie als Kaskade geschaltet, so kann die Isolation in zwei bis vier Stufen unterteilt werden. Damit ist es auch möglich, den Stromwandler in zwei Teile trennbar auszuführen. Durch entsprechende Dimensionierung kann die Messgenauigkeit im normalen Betrieb durchaus gewährleistet werden.

Aus dieser Gegenüberstellung ist ersichtlich, dass vor allem die Lösungen nach isolationstechnischen Gesichtspunkten für eine erste Realisierung vorteilhaft in Betracht gezogen werden können.

3. Lösungen

Von den bis jetzt bekannt gewordenen Lösungen über 750-kV-Stromwandler, von denen auch Prototypen ausgeführt wurden, sollen zwei typische Konstruktionen näher betrachtet werden, zunächst jene der AG Brown, Boveri & Cie.

Der konstruktive Aufbau entspricht dem unter Ziff. 2d) genannten Prinzip. Aus Fig. 1 ist der Aufbau sowie die Schaltung ersichtlich. Der Wandler wurde unter Anwendung

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

der vielfach von Brown Boveri ausgeführten Ringwickelbauweise entworfen. Dabei wird der vorfabrizierte Ringbandkern gleichförmig mit der Sekundärwicklung versehen und anschliessend die Primärwicklung in das Thoroid eingeschlauft. Beide Teile werden mittels runden Elektroden überdeckt und entsprechend der Teilspannung mit einer Papierisolation umwickelt, gesamthaft ist die Isolation in vier Stufen unterteilt. Jede Isolatorhälfte enthält eine magnetische Stufe, wie beschrieben, wobei entsprechend dem Schaltungsschema der obere aktive Teil vom Netzstrom erregt wird und dem unteren Teil einen Zwischenstrom zuführt. Der obere Aktivteil ist so dimensioniert, dass die im unteren Aktivteil untergebrachten Kerne hinsichtlich Messleistung und Genauigkeit im Nenn- und Überstrombereich befriedigt werden.

Der Stromwandler ist in der Mitte trennbar (Fig. 2), wobei jedes Kaskadenglied aufrechtstehend und durch sein geringes Gewicht leicht transportiert werden kann. Jedes Ölbad ist gasfrei und elastisch durch einen Membrankörper abgeschlossen, so dass ohne besondere Wartung der dielektrisch hochwertige Zustand aufrecherhalten bleibt.

Fig. 3 zeigt den Verlauf der Fehlergrössen des Messkernes in Abhängigkeit des Primärstromes. Statt einer Linie für eine bestimmte Belastung (15 oder 60 VA) wurde das Band angegeben, das durch die unterschiedliche Einwirkung des Relaiskernes mit variierender Bürde (Relaiskern kurzgeschlossen oder voll belastet) über den oberen Aktivteil auf den Messkern entsteht. Es ist zu sehen, dass diese Einwirkung sehr gering ist. Sie ist kleiner als das Fehlergefälle, das durch die vorgeschriebene Variation der Bürde des Messkernes von 1/1 auf 1/4 der Nennbürde selbst erzeugt wird, und vernachlässigbar im Vergleich zu den zugelassenen Fehlerwerten.

32' 828-836

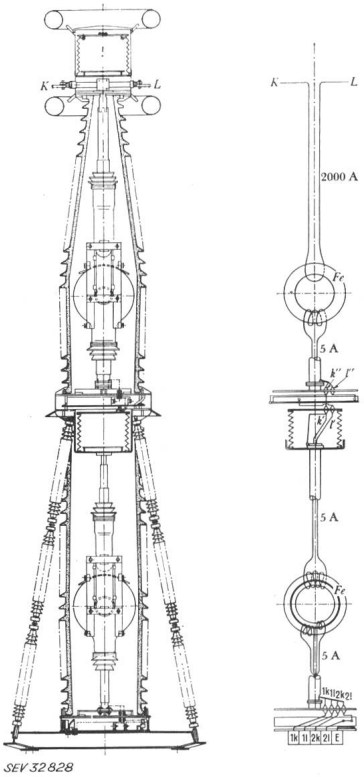

Fig. 1
Längsschnitt *(links)* und Schaltung *(rechts)* eines 750-kV-Stromwandlers
Typ TMBR 750

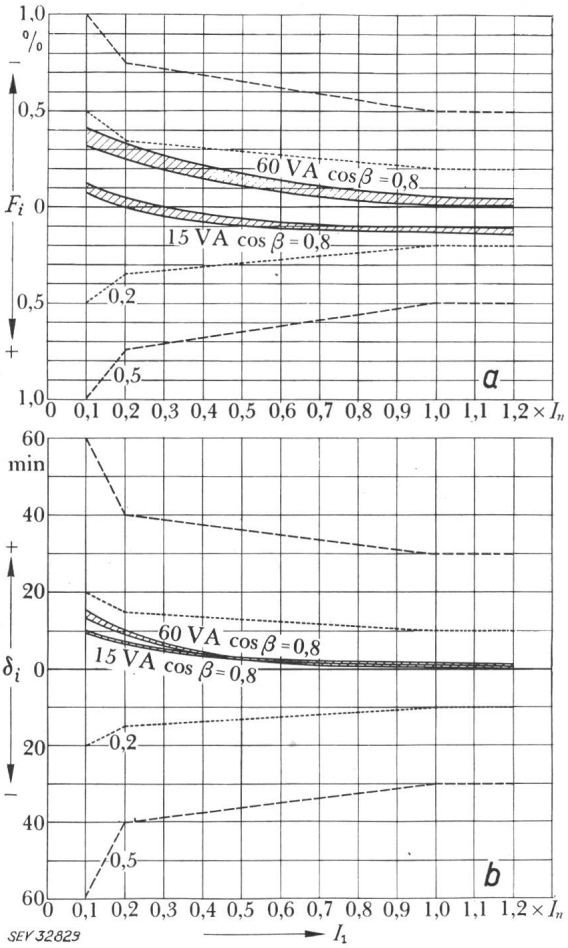

Fig. 2
Verlauf der Fehlergrössen des Messkerns des Stromwandlers gemäss Fig. 1
in Abhängigkeit des Primärstromes als Band angegeben, unter Berücksichtigung sämtlicher Einflussgrössen
a Verlauf des Stromfehlers; *b* Verlauf des Fehlwinkels
E_I Stromfehler; δ_I Fehlwinkel; I_n Nennstrom; I_1 Primärstrom
---- Fehlergrenzen für Klasse 0,5
------- Fehlergrenzen für Klasse 0,2

Das Verhalten des Wandlers bei transienten Vorgängen wurde auch untersucht, und festgestellt, dass er sich praktisch wie ein einstufiger Wandler verhält. Wesentlich ist hierbei die Querschnittsbemessung der Kerne.

Die Spannungs-Prüfungen an diesem Stromwandler umfassten die 1-min-Spannungsprüfung mit 1200 kV im trockenen Zustand und 1050 kV unter Regen. Die Stossprüfung wurde mit 2700 kV und Vollwelle sowie 3100 kV mit abgeschnittener Welle ausgeführt. Die ganze Einheit weist bis 700 kV noch keine innere Ionisation auf, während bei dieser Spannung

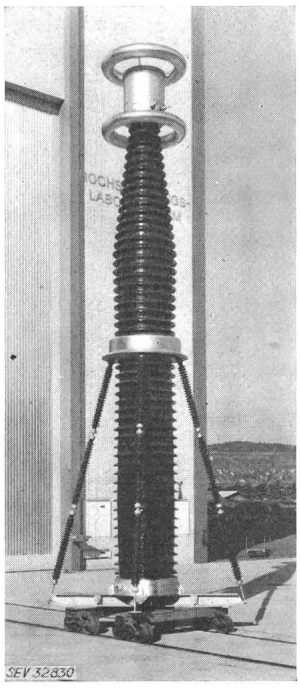

Fig. 3
750-kV-Stromwandler gemäss Fig. 1

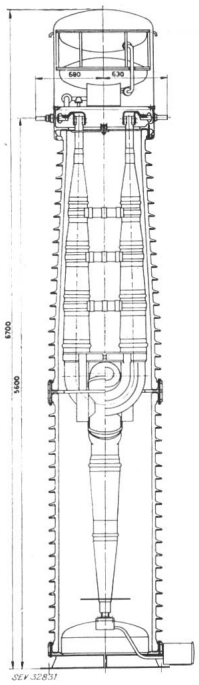

Fig. 4
Schnittbild des 750-kV-Stromwandlers
Typ WIF 119

die äusseren Armaturen zu glimmen anfangen.

Von Sprecher & Schuh wurde das unter Ziff. 2c genannte Bauprinzip gewählt, bei welchem die Isolation in zwei Stufen unterteilt ist, jedoch nur eine magnetische Stufe angewendet wird. Voraussetzungen für dieses Prinzip waren die Unterteilung der Isolation in bewährte Stufen und die guten Erfahrungen, auch grosse Stromwandler-Einheiten in nahezu horizontaler Lage zu transportieren. In Fig. 4 ist die prinzipielle Anordnung ersichtlich, in der die Ringkerne mit gleichmässig verteilter Sekundärwicklung in eine mit dem Erdbelag versehene Umhüllung eingekapselt und von der U-förmigen Primärwicklung durchdrungen sind. Die Papierisolation wird auf jeden Teil entsprechend der Teilspannung separat aufgewickelt und nachher zusammengefügt. Die Lage der eingewickelten Kondensatorbeläge kann genau berechnet werden, mit der sowohl die Feldstärke in der Isolation sowie auch die äussere Spannungsverteilung in der Luft unter Kontrolle gebracht werden. Das gewünschte Potential des Mittelteiles wird praktisch nur durch innere kapazitive Spannungssteuerung bestimmt. Die Spannungsverteilung, bezogen auf den äusseren Kriechweg, wurde so gewählt, dass auch bei Verschmutzung und Beregnung keine störenden Potentialverschiebungen auftreten.

Die Trocknung und Ölimprägnierung der Isolation im eigenen Porzellangehäuse erfolgt wie bei Wandlern tieferer Spannung bei einem Endvakuum von etwa $2 \cdot 10^{-2}$ Torr.

Im Gegensatz zu Wandlern tieferer Spannungen ist der 750-kV-Stromwandler gegen Luft und Feuchtigkeitszutritt mit elastischen Membranen abgeschlossen. Damit wird vor allem das Ölausdehnungsgefäss bei dem relativ grossen Ölvolumen klein gehalten, welches auch für den horizontalen Transport weitere Vorteile bietet.

In Fig. 5 ist der aktive Teil eines Stromwandlers ersichtlich. Der U-förmige Primärleiter aus Aluminium-Rohr, dimensioniert für 2500 A, bildet den Isolationsträger der oberen Stufe. Gegen dynamische Kraftwirkungen sind zwischen den Schenkeln einige Abstützungen aus Isolierstoff eingesetzt. In diesem Zusammenhang ist auf die Kurzschlussfestigkeit der Primärwicklungen neuerer Bauform und für hohe Nennströme von 1000...2500 A und mehr hinzuweisen. Zwei Beispiele sind in Fig. 6a und b angegeben, wobei der U-förmige Wickel eine Kurzschlussprüfung mit 130 kA (Scheitelwert) und der Ringwickel mit koaxialer Ableitung 120 kA bestanden haben, wobei dies keine Grenzwerte darstellen. Es soll damit gezeigt werden, dass höheren Anforderungen an die dynamische Festigkeit von Stromwandlern keine unmittelbaren Grenzen gesetzt sind. Der ganze Stromwandler bei der Montage ist aus Fig. 7 ersichtlich. Das oben aufgesetzte Ölausdehnungsgefäss wird beim Transport umgekippt.

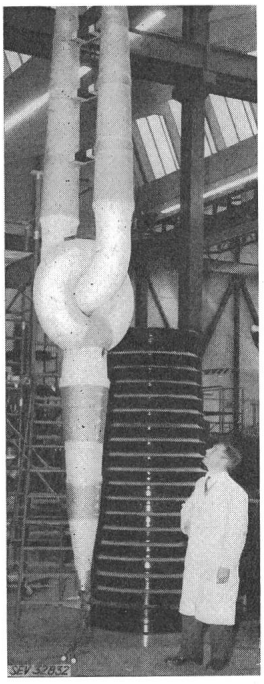

Fig. 5
Aktiver Teil des 750-kV-Stromwandlers gemäss Fig. 4

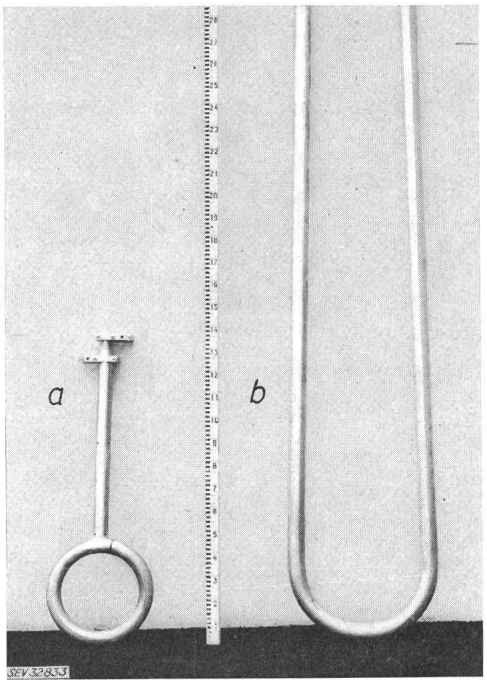

Fig. 6
Stromwandler-Primärwicklungen für hohe Nennströme
a ringförmige Primärwicklung mit koaxialer Ableitung für 1500 A;
b U-förmige Primärwicklung für 2500 A

Am ersten Wandler der Serie wurden zahlreiche Prüfungen ausgeführt. So wurde auf die Kurzschlussprüfung mit 130 kA (Scheitelwert) bereits hingewiesen. Die Messgenauigkeit der Relaiskerne wurde im Nennstromgebiet mit der Messbrücke und im Überstromgebiet mit dem Leerlaufverfahren und der direkten Kurzschlussprüfung ermittelt. In Fig. 8 sind die Messwerte ersichtlich, wobei eine gute Übereinstimmung zur Rechnung und den verschiedenen Mess-

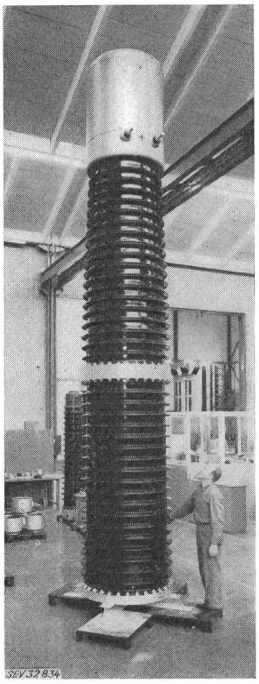

Fig. 7
750-kV-Stromwandler gemäss Fig. 4
Übersetzung 2000/3×5; 3 Relaiskerne, Klasse 10 L 400 bei 10× I_n
(das entspricht etwa 3 Kernen zu je 200 VA, $n > 10$)

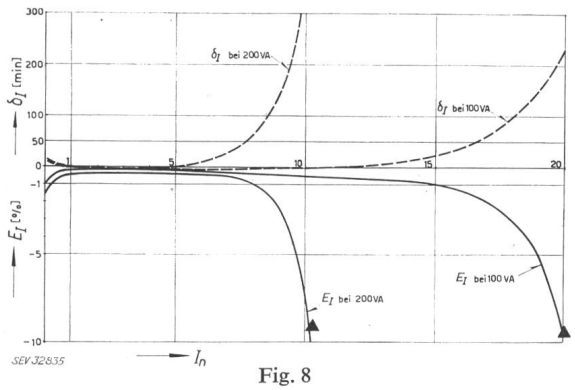

Fig. 8

Messgenauigkeit des Stromwandlers gemäss Fig. 4 im Nennstromgebiet und im Überstromgebiet

▲ Messpunkte aus Kurzschlussprüfungen —— Stromfehler aus Leerlaufmessung, --- gerechneter Fehlwinkel
E_I Stromfehler; δ_I Fehlwinkel; I_n Nennstrom

verfahren festgestellt wurde, was auf die symmetrische Anordnung von Kern und Wicklung zurückzuführen ist. Die Anforderung der ASA-Klasse 10 L 400 bei $10 \times I_n$ wurden erfüllt. Die Dreieckpunkte sind Messpunkte aus der direkten Kurzschlussprüfung, während die ausgezogenen Kurven aus der Leerlaufmessung ermittelt wurden, der Fehlwinkel wurde gerechnet. Die Spannungsprüfungen mit den Nennwerten 960 kV während 1 min und Industriefrequenz sowie die Stossprüfung mit 2200 kV und Welle 1|50 µs wurden ohne Schwierigkeiten bestanden. Die Ionisationsprüfung zeigt eine innere Ionisationsfreiheit des ganzen Wandlers bis 735 kV, was als durchaus genügend betrachtet werden kann. Der äussere Koronaeinsatz beginnt über 500 kV. Zur Kontrolle der inneren Isolation wird wie bei tieferen Spannungen die Verlustfaktormessung angewendet.

Durch die isolationsmässige Trennung in zwei Stufen können die Isolationsmessungen sowie die Messung der inneren Ionisation für jede Stufe ausgeführt werden, wodurch gewisse Erleichterungen für die Durchführung der Messung sowie Prüfeinrichtungen auftreten. Dies gilt natürlich auch für die Stromwandler-Kaskade. Eine Prüfung des ganzen Wandlers kann damit aber nicht umgangen werden.

Der Transport des Stromwandlers mit seinem Gewicht von 5800 kg erfolgt horizontal in einer Spezialverpackung gemäss Fig. 9, wobei der gezeigte Wandler noch mit einem Holzverschlag umgeben wird.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Ausgehend von den Anforderungen an 750-kV-Stromwandler sind die möglichen Prinzipien durch das gleiche Ziel gekennzeichnet, nämlich eine bestgeeignete Isolationsanordnung anzuwenden. Auf zwei Lösungen, nämlich eine magnetische Kaskade und eine magnetisch einstufige Ausführung, wurde näher eingegangen, wobei die Wahl eines Prinzipes neben anderen Faktoren sicher auch von wirtschaftlichen Aspekten geleitet sein wird. Von den Konstruktionen werden zahlreiche Einzelheiten gezeigt. Auf umfangreiche Typenprüfungen wie Kurzschlussprüfungen sowie auf die verschiedenen Spannungsprüfungen wurde hingewiesen, ihre Wichtigkeit ist besonders hervorzuheben, vor allem aber kommt der Ionisationsprüfung der inneren Isolation wegen des reduzierten Isolationsniveaus eine besondere Bedeutung zu. Die gezeigten Wandler entsprechen den heutigen Anforderungen der Mess- und Netzschutztechnik.

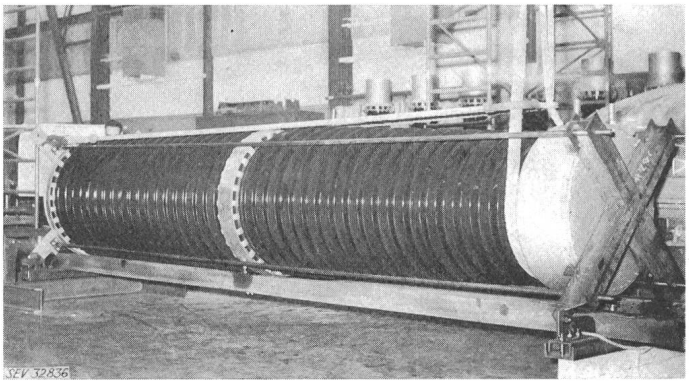

Fig. 9

750-kV-Stromwandler gemäss Fig. 4 in Transportlage
ohne Holzverschalung

Als Zukunftsbetrachtung darf hinzugefügt werden, dass beachtliche Fortschritte mit leistungsarmen Relais zu erwarten sind, wodurch die Messleistungen des Stromwandlers erheblich reduziert werden können. Denkbar und wahrscheinlich ist in diesem Falle auch, dass der Stromwandler dank seiner Eigenkapazität viel häufiger als Primärteil einer Spannungsmessung dienen wird. Vergegenwärtigt man sich noch die von Dr. *Jancke* [2]) aufgezeigten Projekte mit noch höheren Spannungen sowie Rückwirkungen neuerer Erkenntnisse auf tiefere Spannungen, z. B. die des tiefen Isolationsniveaus, so zeigt dies, dass es trotz dem Erreichten auch an neuen Aufgaben nicht fehlt.

Literatur

[1] *K. Jagsich* und *L. Erhart:* Problèmes relatifs à la conception d'appareils pour réseaux à T. H. T. de 765 kV. Cigré 1964, Rapp. 403.

[2] *E. Rey* und *L. Erhart:* Die Beurteilung von inhibierten und nichtinhibierten Isolierölen für Hochspannungs-Transformatoren und Messwandler. Bulletin SEV 1961, Nr. 11.

Adresse des Autors:
L. Erhart, Ingenieur, Sprecher & Schuh AG, Aarau.

[2]) Siehe Seite 420...424 dieses Heftes.

Spannungswandler in Hochspannungsnetzen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 20. Januar 1964 in Zürich,
von *W. Ringger,* Basel

621.314.222.8

Für die Spannungsmessung in Höchstspannungsnetzen werden Wandler verwendet, die eine Weiterentwicklung der für kleinere Betriebsspannungen bereits bewährten Konstruktionen darstellen. Diese Weiterentwicklung liegt in erster Linie in der allgemeinen Anwendung der Kaskadenschaltung. Es ist leicht einzusehen, dass es einfacher und billiger sein muss 3 Spannungswandler von 250 kV aufeinander zu stellen um einen 750-kV-Wandler zu erhalten, als eine einzige Einheit für 750 kV zu bauen.

Die Kaskadenschaltung mehrerer gleicher Elemente ist ein Konstruktionsprinzip das in allen Gebieten der Elektrotechnik mit grösstem Erfolg angewendet wird. Neben sehr