

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 30 (1939)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Unformung, Übertragung, Verteilung : Transformatoren  
**Autor:** Kübler, J. / Schneider, H. / Rochat, V.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058389>

### **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:** 19.02.2026

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

mit beidseitigen Synchronmaschinen. Neuerdings erfolgt eine solche Kupplung zwischen einem 50-Perioden-Industrienetz und einem 40-Perioden-Bahnnetz auch über eine elastische Mutatorgruppe (Quecksilberdampf-Mutatoren mit Gittersteuerung)<sup>2)</sup>.

Hilfsmittel der Lastverteilung sind die Telefonverbindungen zwischen den Werken. Sie erfolgen z. T. niederfrequent über das öffentliche Telephonnetz oder über von der Eidg. Telephonverwaltung gemietete Leitungsschleifen, z. T. über werkeigene, leitungsgerichtete Hochfrequenztelefonanlagen.

Unseres Erachtens liegen namentlich im Fernmessen über Telefonschleifen oder mit leitungsgerichteter Hochfrequenz und in der automatischen Leistungs- und Frequenzregulierung die Hilfsmittel, deren man sich noch in ausgiebigerem Masse wird bedienen müssen, wenn mit der Zeit durch direkten Parallelbetrieb grösserer Werkgruppen eine noch bessere Ausnützung der disponiblen Energie und der Anlagen erfolgen soll.

In Zusammenarbeit von Konstruktionsfirmen elektrischer Apparate mit solchen des Turbinenbaues wurden auch bereits schon Turbinenregler durchgebildet, bei denen die Turbinenbeaufschlagung und damit die Leistungsabgabe direkt von elektrischen Grössen (Frequenz, Leistungsübergabe) aus beeinflusst wird. Solche Regler befinden sich schon im praktischen Probetrieb in Kraftwerken.

Zum weiteren Studium des Problems der Frequenz- und Leistungsregulierung, insbesondere in bezug auf den Parallelbetrieb grösserer Werkgruppen, soll auf Beschluss des Vorstandes des SEV eine besondere Kommission eingesetzt werden.

Der infolge der Lastverteilung zwischen Lauf- und Speicherwerken stark wechselnde Einsatz der einzelnen Werke und der ebenso stark wechselnde Energiefluss in den Leitungen bedingt entsprechende Fluktuationen in der *Spannungshaltung* der Hochspannungsnetze. Die Spannungsschwankungen sind deshalb an vielen Stellen der Hochspannungsnetze verhältnismässig gross. Dieser Umstand bedingt, dass fast alle wichtigeren Abgabestellen mit

<sup>2)</sup> Bull. SEV 1939, Nr. 9, S. 225; siehe auch in dieser Nummer: F. Grieb, Netzkupplung.

Transformation auf Verteilspannung mit Spannungsreguliereinrichtungen versehen sein müssen, und zwar mit ziemlich grossem Regulierbereich. Wurden hiefür früher mit Vorliebe Induktionsregler verwendet, so kommen heute vorzugsweise Reguliertransformatoren zur Anwendung, indem die Abtransformatoren auf der Verteilspannungsseite mit unter Last von Hand oder automatisch schaltbaren Regulierstufen versehen sind.

Die Technik des *Fernmessens*, *Fernsteuerns* und *Fernregelns* findet in der Schweiz Anwendung im Betrieb unbedienter, einfacher Kraftwerksanlagen, die als Nebenkraftwerke von benachbarten grösseren Werken aus fernbedient werden. Auch die Fernbedienung von Unterwerken sei zu erwähnen (z. B. Fernsteuerung und Ueberwachung des Unterwerkes Bickigen vom Kraftwerk Mühleberg<sup>3)</sup> und des Unterwerkes Brislach von der Betriebsleitung Delsberg der Bernischen Kraftwerke A.-G. aus).

Bei den *Kommandoräumen* zeigt sich die Entwicklung in der Steigerung der Uebersichtlichkeit im Sinne möglichst getreuer Anlehnung der Anordnung des Kommandoraumes an das Schaltbild und die örtliche Anordnung der Maschinen und Schaltanlagen selbst. Im Sinne der Konzentration und Uebersichtlichkeit geht die Entwicklung weiter dahin, die Kommandoräume nicht zu gross zu gestalten und für den eigentlichen Netzbetrieb nicht wesentliche Nebenbetriebe (Eigenbedarf, örtliche Verteilanlagen) auf Nebenräume zu verweisen. Angestrebt wird ferner die Unterbringung der Relais für den Netzschutz möglichst im Kommandoraum selbst. Weiter zeigt sich die zunehmende Verwendung schreibender Messgeräte. So erwies es sich als sehr nützlich, die Felder der abgehenden Leitungen von 50-kV-Betriebsspannung und mehr durchgehend konsequent mit Registrierwattmetern auszurüsten, was die Lokalisierung und Abklärung von Störungen sehr erleichtert. Diesem Zweck dienen insbesondere auch die Störungsschnellschreiber, deren bei Störung auf raschen Vorschub eingestellter Ablauf einen tieferen Einblick in den Verlauf der Störung, in das Arbeiten des Netzschutzes und in die Stabilität der Netze gestattet.

<sup>3)</sup> Bull. SEV 1931, Nr. 14, S. 333.

## 2. Umformung, Uebertragung, Verteilung.

### Transformatoren.

Von J. Kübler, Baden,

mit Beiträgen von H. Schneider, Zürich-Oerlikon, und V. Rochat, Genf.

621.314.2

*Die Frage des wirtschaftlichsten Baues der Verteiltransformatoren wird gestreift. Dann wird auf die vielfachen, interessanten Probleme des Baues von Grosstransformatoren eingegangen. Schliesslich werden die Messwandler und die Löschspulen behandelt.*

*L'auteur touche à la question de la construction la plus économique des transformateurs de distribution. Il étudie ensuite les nombreux problèmes intéressants de la construction des gros transformateurs. Finalement, il traite encore la question des transformateurs de mesure et des bobines d'extinction.*

Am Gesamtkapitalaufwand für die Transformatoren eines grossen Netzes, an den totalen Leerlaufverlusten und am Blindstromaufwand sind die *Verteiltransformatoren*, die die Mittel-Netzspannung

auf die Gebrauchsspannung heruntersetzen, in hohem Masse beteiligt. Es rechtfertigt sich also, über diese im Schrifttum etwas vernachlässigten Transformatoren einige Worte zu verlieren. In erster

Linie muss neuerdings darauf hingewiesen werden, dass die Anschaffungskosten im Zusammenhang mit den Betriebskosten, also hauptsächlich mit den Jahresverlustkosten zu betrachten sind und dass nahezu ausnahmslos die Aufstellung eines Transformators mit niedrigen Jahresverlustkosten und niedrigem Blindstromverbrauch, der in der Anschaffung zwar etwas teurer ist, bedeutenden Vorteil bringt.

Um einen in Verlusten und Blindleistung bei günstigem Preise möglichst optimalen Typ herzustellen, wurden neue weitgehende Rechnungen und Versuche durchgeführt. Dabei bestätigte sich wieder, dass die Erfassung der besten Verhältnisse durch eine mathematische Minimumsrechnung, die schon vielfach versucht wurde, nicht zum Ziele führt. Vielmehr geben nur ausführliche, unter Variation von Eisen- und Kupferverlusten, Blindleistung, Kurzschlußspannung, Kühlung und Materialaufwand durchgeführte Rechnungen einwandfreien Aufschluss. Fig. 1 und 2 zeigen Beispiele von Kur-

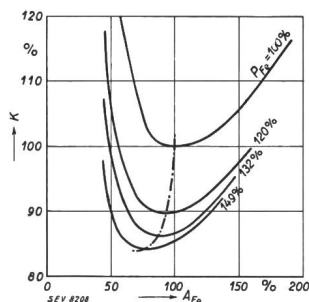


Fig. 1.

Kostenkurven für Drehstromtransformatoren 50 Hz, 100 kVA, 10 000/400 V, Stern/Zickzack.

Kosten  $K$  (inkl. Oel), abhängig vom Säulenquerschnitt  $A_{Fe}$

(1) für verschiedene Eisenverluste  $P_{Fe}$ ; Kurzschluss-Spannung konstant.

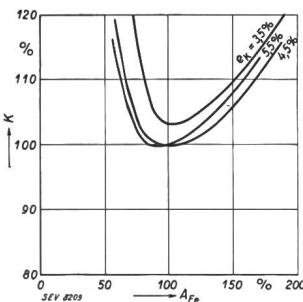


Fig. 2.

(2) für verschiedene Kurzschluss-Spannungen  $e_k$ ; Verluste konstant.

ven, die aus solchen mehrmonatigen Studienarbeiten hervorgegangen sind. Neben diesen Rechnungen wirft der konstruktive Entwurf dieser Mittelspannungstransformatoren manche heikle Frage auf, die man dem fertigen Transformator nur bei eingehender Betrachtung ansieht.

Wirtschaftliche und wissenschaftliche Fragen in weit grösserer Zahl als der Netztransformator stellt dem Ingenieur der *Grosstransformator*. Er ist deshalb auch fachlich interessanter. Es sei nur erinnert an die Stromkraft und damit in Verbindung die Verteilung der Anzapfungen, an die Stoßspannungen und die Eigenschwingungen, die Oberwellen, die Spannungsregelung, den Lärm, die Kühlung und, als besonders wichtig, an die Frage der Isolationsmaterialien, alles Fragen, die neben der Behandlung der Verluste, Blindleistung und Kurzschluss-Spannung sorgfältig geprüft sein müssen.

Mancher dieser Punkte lässt wissenschaftlich nicht die gründlichste Lösung zu, wenn auch wirt-

schaftlich eine tragbare Lösung entstehen soll. Viele erfordern immer und immer wieder, manchmal recht weitgehende und kostspielige Laboratoriumsversuche, da die Entwicklung ständig neue Punkte in den Gesichtskreis rückt. Zu allen diesen Fragen gesellen sich die konstruktiven, wie mechanisch genügende Festigkeit bei kleinstem Gewicht, Bahn- und Strassentransportfähigkeit, und so fort.

Von den Aktivmaterialien lässt sich nur wenig sagen. Das *Kupfer* durch Silber zu ersetzen, wird wohl kaum je in Frage kommen. Aber vielleicht führt die Atombaukenntnis einmal dazu, die Leitfähigkeit auch des Kupfers künstlich noch weiter zu erhöhen, so dass die Kupferverluste gesenkt werden können. Beim *Eisen* dagegen sind die gewonnenen Verbesserungen in der Verlustkennziffer gewaltig, seit ca. 1904 bis heute von 3,6 Watt/kg auf ca. 1 Watt/kg, und es besteht alle Aussicht, diesen Wert noch weiter stark zu senken. Moderne Transformatoren haben nur noch Eisenverluste von 2 bis 3 ‰ und bei sehr grossen Leistungen können Wirkungsgrade bei Vollast bis 99,5 ‰ erreicht werden, bei Teillast noch mehr.

Auch in der für die Magnetisierung erforderlichen Blindleistung besteht eine gewisse Aussicht auf Verbesserung. Hier sei ferner die Frage der Oberwellen im Magnetisierungsstrom gestreift. Ein Teil dieser Oberwellenströme lässt sich bei Drehstrom- und Mehrphasensystemen durch die angemessene Ausgestaltung der Eisenkerne bis zu einem gewissen Masse vermeiden. Aber auch durch richtig gewählte Schaltungen parallel oder seriegelagerter Transformatoren bringt man jenen Teil zum Verschwinden. Zudem sind Störungen durch diese Oberwellen kaum je entstanden, noch sind solche zu erwarten, so dass es wenig gerechtfertigt ist, ihrer wegen den Aufbau der Transformatoren verwickelter zu gestalten.

Mit dem Eisengestell hängt die *Lärmfrage* zusammen. Hier werden die Möglichkeiten auf Beseitigung des Brummens stark verkannt. Allein schon durch die Magnetostraktion wird ein Schwingen des Kernes mit der doppelten Frequenz, und je nachdem mit Oberharmonischen dazu, erzeugt. Dieses Schwingen lässt sich nicht vermeiden; der Konstrukteur kann nur darauf hinwirken, dass aus anderen Ursachen auftretende magnetische Schwingungen in ihrem Ausmass begrenzt sind. Auch sind Resonanzlagen zu vermeiden. Leider ist hier der Konstrukteur der Kompliziertheit des Gegenstandes wegen stark auf das Geratewohl angewiesen.

Von ganz überragendem Einfluss auf den Transformator ist das *Isolationsmaterial*, insbesondere das feste. Obgleich es sozusagen toter Ballast ist, hängen nicht nur Lebensdauer und Betriebssicherheit von seiner Güte ab, sondern auch die Totalverluste, die Dimensionen, das Totalgewicht. Die gesamte Kenntnis der Isolationsmaterialien beruht auf Versuchen. Es ist deshalb verständlich, dass immer und immer wieder Laboratoriumsversuche erforder-

lich sind zur Erweiterung unserer Kenntnisse, zur Ueberprüfung neuer Gesichtspunkte, zur Bestätigung und Festigung, zur Klärung von Erfahrungstatsachen. Besonders die heute aktuelle Forderung auf grösstmögliche Leistungen bei Höchstspannungen für bahn- und strassentransportfähige Transformatoren verlangt die äusserste Ausnützung in allererster Linie aller Kenntnisse über die Isolationsmaterialien und zwingt, die Verbesserung bekannter Materialien zu versuchen und neue mit besseren Eigenschaften herauszubringen.

Leider ist das Verhalten der Isolationsmaterialien verschieden, je nachdem es sich um länger dauernde, z. B. normalfrequente, oder um sehr kurzzeitige

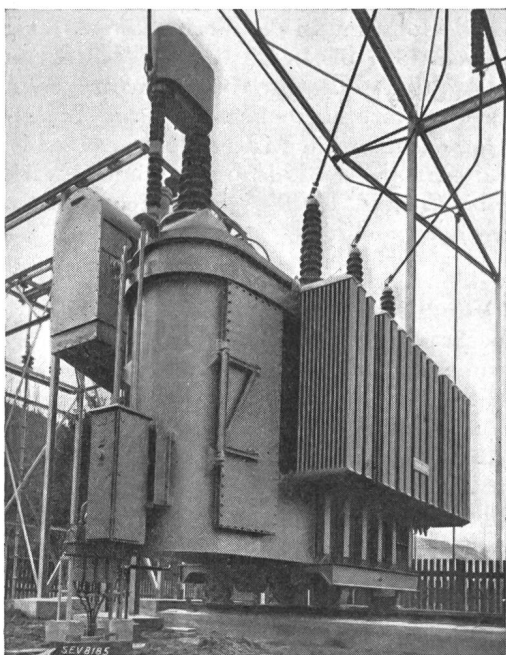


Fig. 3.

**Drehstromtransformator von 20 000 kVA, 50 Hz.**

Primär: 120 kV + 23·1,8 kV regulierbar mit Schalter; sekundär 49,5 kV umschaltbar auf 33 und 16,5 kV. Betriebsfertig transportiert, Transportgewicht ca. 55 t. (Brown Boveri.)

Hochspannungen handelt. Beide Beanspruchungsarten erfordern getrennte Versuchsreihen. Die altbekannten Verfahren der Isolierung der Wicklungen und Windungen gegen Stoßspannungen haben sich voll bewährt. Doch ist die Suche nach Mitteln und Wegen, die Windungen von der Beanspruchung durch Stoßspannungen zu entlasten, allgemein und es bestehen gute Aussichten, das Ziel auf einfachem Wege, also ohne den Aufbau verwickelter zu gestalten, zu erreichen. Es stehen heute Stossanlagen von mehreren Millionen Volt zur Verfügung und sehr vollkommene Kathodenstrahloszillographen. Man ist damit in die Lage versetzt, im Versuchslabor bei der Entwicklung die Transformatoren weitgehend den wirklichen Betriebsbedingungen entsprechend zu prüfen; man ist hier nicht mehr so stark vom Resultat jahrelangen Betriebes abhängig.

Welche Fortschritte bester Ausnützung der Isolationsmaterialien und sorgfältigsten Gestaltung der

sie beanspruchenden elektrischen Felder in den letzten Jahren erzielt wurden, mögen Fig. 3 bis 7 zeigen. Besonders sei der Transformator der Bernischen Kraftwerke in Mühleberg erwähnt, ein praktisch betriebsbereit transportierter Drehstromtransformator von 20 MVA, 150/50 kV, der infolge der

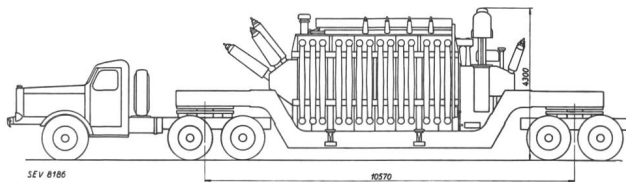


Fig. 4.

**Wandertransformator auf Pneurädern für Strassentransport, Drehstrom 50 Hz, 10 000 kVA, 145 ± 10 kV/70 kV ± 10%, regulierbar mit Schalter/20,5 kV. Totalgewicht 85 t. (Brown Boveri.)**

Regulierung auf der 150-kV-Seite und einer nicht einfachen 50-kV-Wicklung ganz beträchtliche Dimensionen erforderte.

Gegenwärtig sind ferner die Vorarbeiten, bestehend in Laboratoriumsversuchen an Modellen, und die Vorstudien für einen Drehstromtransformator von 120 MVA Baugrösse, 220/110 kV, der praktisch betriebsbereit bahntransportfähig sein muss, abgeschlossen.

Angesichts der enormen Oelmengen, die ein Grosstransformator sehr hoher Spannungen benötigt, ist das Streben nach unbrennbarem Öl nahelegend. In Sonderfällen werden kleine und mittlere Transformatoren mit unbrennbarem Öl bereits in grösserer Zahl gebaut. Für solche Verhältnisse wird in Zukunft vielleicht der Trockentransformator in vermehrtem Masse wieder in Frage kommen, nachdem jetzt Drahtisolationen zur Verfügung stehen, die mehrere 100° C ohne Schaden ertragen können.

Sicher liegt es im Bereich der Möglichkeit, auch Grosstransformatoren mit unbrennbarem Öl zu

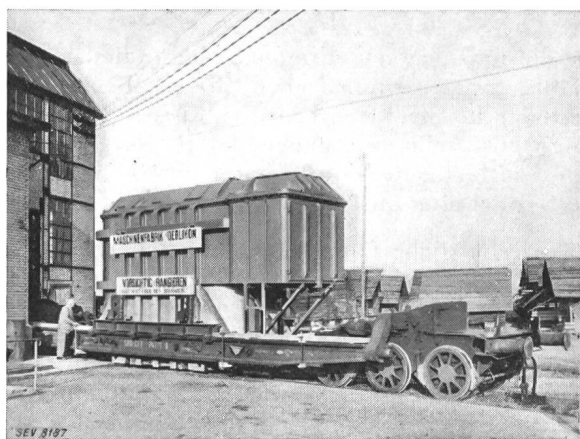


Fig. 5.

**Drehstromtransformator von 25 000 kVA, 50 Hz,**

152/115,5 bis 166,2 kV in 32 Stufen d. Schalter regulierb./8 kV, bereit zum Bahntransport, Form dem Bahnprofil angepasst. Spedition ohne Öl, da in der Schweiz nur Wagen für 65 t Tragkraft zur Verfügung stehen, hermetisch verschlossen, mit getrockneter Luft von Ueberdruck gefüllt; ein Wiederauskochen an Ort und Stelle ist überflüssig. (Maschinenfabrik Oerlikon.)



versehen. Man könnte sich aber auch vorstellen, Grosstransformatoren trocken zu bauen. Für die hohen in Frage kommenden Spannungen ist die Isolierfestigkeit von Luft oder Gasen bei Atmosphärendruck jedoch ungenügend. Es müssten druckfeste Kessel mit allen ihren Nachteilen angewendet werden und der Aktivteil unter einen Gasdruck von mehreren Atmosphären gesetzt werden, so dass die Isolierfestigkeit des Gases mindestens der eines guten Isolieröles gleichkäme. Zur Kühlung des Aktivteils und des Gases müssten im Kessel eingebaute Ventilatoren vorgesehen werden. Nachdem kein Öl mehr der zulässigen Erwärmung Grenzen setzt und die Herstellung von äusserst temperaturbeständigen Isolationen zur Zeit rasche Fortschritte macht, ist es ohne weiteres denkbar, dass man in nicht allzuferner Zeit mit den Temperaturen ganz bedeutend höher gehen kann. Die Wärmeabgabe an die Aussenluft würde infolgedessen ausserordentlich erleichtert.

Wichtig für die Haltbarkeit der Isolationsmaterialien, die ja fast alle organischen Ursprungs sind, ist die Kühlung, die Abführung der Verlustwärme. Am ausgiebigsten ist immer noch die Wasserkühlung, aber meistens wird doch die Kühlung mit Luft als Medium vorgezogen, da diese überall und unbeschränkt zur Verfügung steht. Neuere Ausführungen verwenden Ölkühlerbatterien (Fig. 7), die oft angebaut werden; bei Platzmangel werden diese ventiliert (Fig. 6). Für kleine Transformatoren, aber auch für grössere, bis 6000, ja bis 20 000 kVA, bewährte sich der robuste Röhrenkessel.

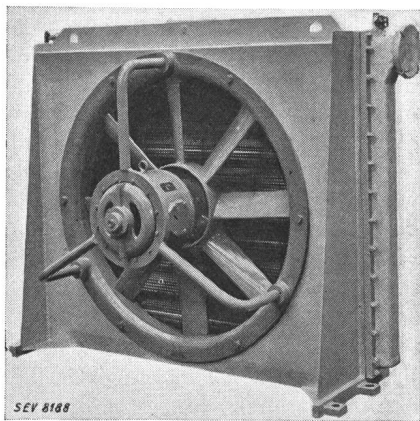


Fig. 6.  
Ventilierter Ölkühler für grosse Leistung.  
(Maschinenfabrik Oerlikon.)

Gerade die Möglichkeit der Luftkühlung und die Abführung der Verluste durch das Öl sind noch nicht restlos ausgeschöpft. Auch sie verlangen die Suche nach neuen, besseren Lösungen und zwingen zu deren Ausprobieren auf dem Versuchsstande.

Ein besonderes Gebiet bilden die *Mutatortransformatoren*. Zwar sind die Probleme des allgemeinen Transformatorenbaues die gleichen. Aber dazu treten die Spezielschaltungen. Einmal ist es die Unterteilung der sekundären Wicklungen und manchmal auch der primären, um die Anoden möglichst zweck-

mässig zu speisen. Dann wieder ist es die Phasendrehung, die Erzeugung vielphasiger, 6-, 12-, 24-, ja unter Umständen 48phasiger Stromsysteme. So ist es z. B. gelungen, ein 36-Phasensystem zu erzielen mit Hilfe der eigentlichen Mutatortransformatoren und ihrer Reguliertransformatoren. Die letzteren sind sowieso erforderlich für die Einstellung der besten Spannung für jenen chemischen Prozess, für

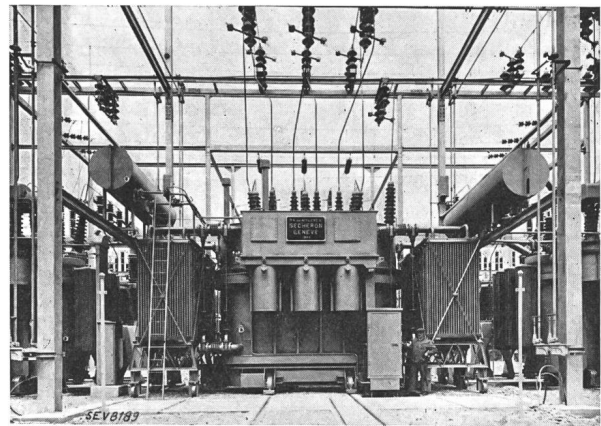


Fig. 7.  
Drehstromtransformator von 22 000 kVA, 50 Hz,  
127/61 ± 10·0,9 kV mit Schalter regulierbar, mit natürlicher  
Kühlung durch angebaute Kühlerbatterie.  
(Sécheron.)

den diese Mutatoren die Energie zu liefern haben. Dabei sind alle Haupt- und alle Reguliertransformatoren einander gleich und es genügt deshalb eine einzige Gruppe, um für alle Gruppen, deren 9, Reserve zu haben. Doch auch hier wird man sich bemühen, zuerst einfache Lösungen vorzusehen und erst auf die verwickelten überzugehen, wenn die einfachen nicht zum Ziele führen. Neue Aufgaben auf diesen Gebieten bringen die Netzkupplungen über frequenzunabhängige Mutatorkupplungssysteme und die Uebertragung grosser Leistungen mit Gleichstrom mit Hilfe von Mutatoren.

Weitere Aufgaben stellt die *Spannungsregulierung* in Verbindung mit Transformatoren und die Umschaltung auf verschiedene Spannungen. Es sind besonders die Stromkräfte und die Eigenschaften der Kontakte, die besonders beachtet und die motorischen Antriebe, die besonders sorgfältig ausgearbeitet sein wollen. Eine ganze Reihe vorzüglicher Konstruktionen sind auf diesem Gebiete entstanden (Fig. 3, 5 und 7). Die Zukunft hat aber auch da noch viele Verbesserungsmöglichkeiten. Hier mag an den stufenlos regulierenden Spiraltransformator erinnert werden, dessen Möglichkeiten noch manchen interessanten Wunsch zu erfüllen gestatten. Aber gerade hinsichtlich der Regulierungen und ganz besonders der Umschaltungen sei daran erinnert, dass je einfacher der Aufbau des Transformators sich gestaltet, umso weniger er durch Zufälligkeiten im Betriebe gefährdet ist, um so weniger ihn ein falsches Schaltmanöver zu Schaden bringen kann. — Kleine Netzregler zum Konstanthalten der Spannung können oft sehr nützlich sein; sie werden heute oft eingebaut, besonders wenn dadurch Leitungsverstärkungen vermieden werden können.

Ein weiteres Sondergebiet sind die *Lokomotivtransformatoren*. Der hochspannungsgesteuerte Lokomotivtransformator, der trotz anfänglicher Widerstände auf drei Doppel-Lokomotiven der Schweiz. Bundesbahnen eingeführt wurde, hat sich so gut bewährt, dass er nun auf weiteren SBB-Lokomotiven wieder zur Anwendung kommt. Seine wichtigen Vorteile sind: fast keine Wartung und eine recht hohe und für das Anfahren und Fahren angenehme Stufenzahl.

Aber auch der *stufenlos regulierbare Traktionstransformator* beginnt sich einzuführen. Er ist für das Fahren noch günstiger, weil er vollständig stosslos arbeitet. Es ist dies eine Neuschöpfung, welche

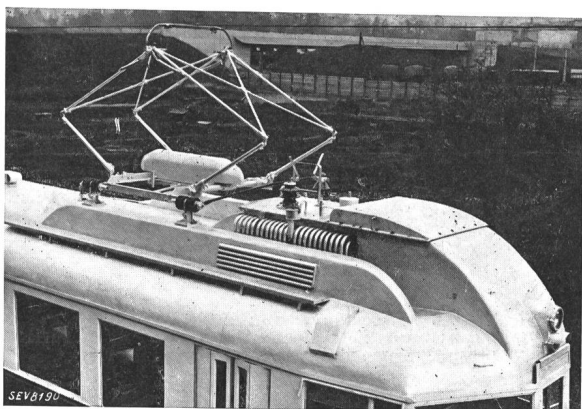


Fig. 8.

Transformator mit Röhrenkessel in Triebwagendach eingebaut. (Sécheron.)

noch diese und jene Kinderkrankheit aufweist. Ueberhaupt werden Neuschöpfungen — nur mit diesen wird der Fortschritt gewahrt — nie von allem Anfang an restlos gelingen. Aber ein zähes Arbeiten und Streben zur Verbesserung im Laboratorium, auf dem Versuchsstand, im Konstruktionssaal und im Betriebe wird stets alle Widerstände überwinden können.

Transformatoren mit Röhrenkesseln werden auch für Lokomotiven und Triebwagen angewendet; sie können bei Triebwagen unter dem Wagenboden oder auch auf dem Dach eingebaut werden, was vorzügliche Kühlung ergibt (Fig. 8).

Die am Transformator erzielten Fortschritte kamen auch den *Messwandlern* zu gut, die an Sicherheit, an Wirtschaftlichkeit und an Messgenauigkeit gewannen. Ihre Dimensionen sind besonders stark von den Eigenschaften des Isoliermaterials abhängig. Doch bringt ihnen die Verbesserung der Blechquali-

täten — es sei nur an die Stromwandler erinnert — sehr weitgehende Vorteile. Bei den Schaltern wird das gefährliche Öl verlassen. Um aber Schaltanlagen ganz ölfrei zu bauen, müssen auch die Wandler ölfrei sein. Es genügt dabei nicht, nur das Öl wegzulassen und es durch ebenfalls verhältnismässig leicht brennbare, andere Isolierfüllmassen zu ersetzen. Vollständig öl- und masselose Wandler sind unter diesen Umständen die allein richtige Ausführung. So entstand der Druckluftspannungswandler, der da am Platze ist, wo Druckluft schon der Schalter wegen verfügbar ist, der für 42 kV Prüfspannung schon fertig probiert und für 152 kV Prüfspannung auf dem Versuchsstande steht. Man hat auch bei den Wandlern daran gedacht, die brennbaren Öle durch sogenannte unbrennbare, die chlorierten Öle zu ersetzen. Aber einmal sind diese Öle, entgegen der Propaganda, nicht unbrennbar, dann bewähren sich darin nicht alle Isoliermaterialien und Lacke und wenn sie einmal grosser Hitze ausgesetzt sind, so besteht die Gefahr, dass sich aus ihnen für Menschen und Tiere gefährliche Gase entwickeln. So ist ihre Einführung bisher in Europa nicht gelungen, obgleich sie in Amerika infolge des Verlangens der Feuerversicherungsgesellschaften noch verhältnismässig öfters zur Anwendung kommen.

Vollständig öl- und masselose Wandler, rein nur mit organischen und keramischen Isoliermaterialien und Ausnützung aller Möglichkeiten für die elektrische Feldbemessung aufgebaut, sind zum Teil auf dem Markte, zum Teil im Studium.

Zum Schluss noch einiges über *Löschspulen*. Ihr Bau hat, unter Benützung der Erfahrungen an Betriebsdrosselspulen und an Transformatoren, von Anfang an nicht grosse Schwierigkeiten gezeigt. Nur der Bau der Wicklungen für die Regulierung der Stromstärke war nicht immer einfach und gerade bei hohen Spannungen nur mit sorgfältig ausgewählten Wicklungsanordnungen einwandfrei möglich. Man kann Löschspulen mit Lastschaltern bauen, woraus sich der Vorteil ergibt, dass bei Netzen, deren Zusammensetzung sich häufig ändert, die jeweiligen gewünschte Reaktanz der Spule vom Schalter aus eingestellt werden kann, ohne die Spule vom Netz abzutrennen. Aber immer musste die Regulierung in Stufen erfolgen, was dem Zwecke nicht ganz entspricht. Es wurde deshalb die Regulierung stufenlos auch hier versucht, allerdings nicht an der Wicklung, sondern durch Veränderung des magnetischen Widerstandes; die Ausführung dieser Ideen brachte die erwarteten Resultate.

## Mutatoren.

Von C. Ehrensperger, Baden, E. Gerecke, Genf, H. Loosli, Wallisellen, und C. Sturzenegger, Zürich-Oerlikon.

621.314.65

Die Pionierarbeit der schweizerischen Industrie auf dem Gebiete der Quecksilberdampfmutatoren wird durch eine kurze Zusammenstellung der Marksteine der Entwicklung ins Licht gesetzt. Anschliessend wird das Problem der luftgekühlten und der pumpenlosen Ausführung gestreift. Zum Schluss wird auf die Glasmutatoren und Trockengleichrichter hingewiesen.

Vor mehr als 25 Jahren wurden in der Schweiz die ersten Quecksilberdampf-Mutatoren in Stahl-

gefäss in Betrieb genommen. Schon nach den ersten Erfolgen war der Konstrukteur bestrebt, die Lei-