Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 12 (1921)
Heft: 5

Artikel: Ein Lufttransformator für sehr hohe Spannungen
Autor: Hess, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057107

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: 08.08.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich,
im Januar dazu die Beilage „Jahresheft".

Alle den **Inhalt** des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins
Neumühlequai 12, Zürich 1 — Telephon: Hottingen 3708,
welches die Redaktion besorgt.

Alle Zuschriften betreffend **Abonnement, Expedition** und **Inserate** sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Stauffacherquai 36 Zürich 4 Telephon Selnau 7016

Ce bulletin paraît mensuellement. — „L'Annuaire" est distribué comme supplément dans le courant de janvier.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la **matière** du „Bulletin" au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 — Telephon: Hottingen 3708
qui s'occupe de la rédaction.

Toutes les correspondances concernant les **abonnements, l'expédition** et les **annonces,** doivent être adressées à l'éditeur

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Stauffacherquai 36 Zurich 4 Téléphone Selnau 7016

Abonnementspreis (für Mitglieder des S. E. V. gratis)
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft:
Schweiz Fr. 20.—, Ausland Fr. 25.—
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 2.— plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire Fr. 20.—
pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 2.—, port en plus.

XII. Jahrgang
XIIe Année

Bulletin No. 5

Mai
Mai 1921

Ein Lufttransformator für sehr hohe Spannungen.

Von Dr. *W. Hess, Basel.*

Als etwas Selbstverständliches hat bisher der Transformatorenbau für sehr hohe Spannungen, wie sie beispielsweise für Prüfzwecke in Betracht kommen, die Oeltype verwendet, ausgehend von der Tatsache, dass die Verwendung eines guten Transformatorenöls eine wesentliche Reduktion in der Dimensionierung der festen Isolationsteile gegenüber Luft gestattet. Leider aber lassen sich an diesen Isolationsteilen gewisse Glimmerscheinungen nur schwer, d. h. durch beispielsweise sehr reichliche Oeldistanzen zwischen Hochspannungswicklung und Zylinder resp. Masse vermeiden, wobei natürlich die Oelmenge, ohne durch Gründe der Wärmeabfuhr bedingt zu sein, unverhältnismässig wächst. G. Haefely hat bereits in seiner Doktordissertation „Studien an Durchführungen unter spezieller Berücksichtigung der Luftmanteldurchführung" darauf aufmerksam gemacht, dass zwar die Längenabmessungen in Oel ca. dreimal kleiner gehalten werden können, als in Luft, dass aber schon die ersten Entladungserscheinungen, d. h. die Streifentladungen zur Zersetzung des Oels und natürlich auch allmählich zum Durchbruch führen. Ferner bildet auch die Durchführungsklemmenfrage für hohe Spannungen eine ebenso kostspielige wie unsichere Beigabe. Wie viele Leistungstransformatoren, bei denen ja die Spannung weit unter derjenigen der Prüftransformatoren liegt, sind schon an Klemmendurchschlägen zugrundegegangen, und wenn auch heute, dank der eifrigen Betätigung der Spezialisten auf diesem Gebiete, der Bau der Durchführungsklemmen zu einer hohen Vollkommenheit gelangt ist, so kann ruhig behauptet werden, dass über ca. 300000 Volt schon infolge der gewaltigen Längendimensionen, welche diese Klemmen aufweisen, für die Fabrikation eine fast unüberwindliche Aufgabe erwächst. Schon allein die Umgehungsmöglichkeit dieser Schwierigkeit würde also die Schaffung eines neuen Transformatorentypus rechtfertigen.

Und in der Tat ist die heutige Hochspannungstechnik soweit fortgeschritten, dass es eigentlich nur der praktischen Anwendung bekannter Gesetze bedurfte, um

einen Lufttransformator für Hochspannungszwecke herzustellen, welcher alle Nachteile der Oeltype in einfachster Weise umgeht.

Ein solcher Transformator für 200 kVA Leistung und 300000 Volt hochspannungsseitig bei 50 Perioden soll nachstehend beschrieben werden, welcher auf Anregung Prof. Petersens und auf Vorversuchen desselben in der Technischen Hochschule zu Darmstadt basierend, von der Emil Haefely & Co. A. G. in Basel gebaut wurde und sich für Versuche an Isoliermaterialien seit einiger Zeit in normalem Betriebe befindet (vgl. Fig. 1).

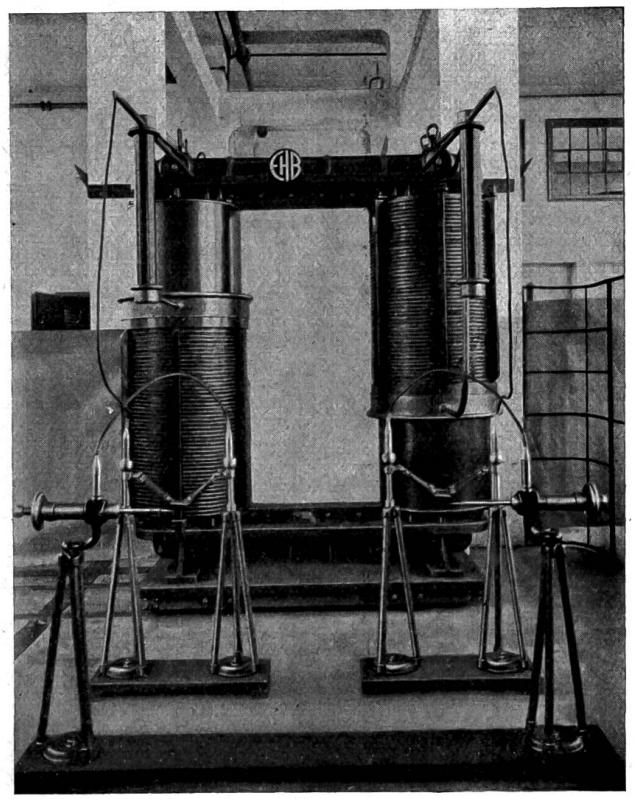

Fig. 1

Die zwei wichtigsten Aufgaben für einen Hochspannungstransformator bilden

1. Die Isolation der Hochspannung gegen Niederspannung.
2. Die Isolation der Punkte höchsten Potentials gegen Gestell.

Die erste dieser Aufgaben wird gelöst durch die Einführung des Luftmantels, welcher im Klemmenbau bereits Verwendung findet[1]) und welcher derart bemessen ist, dass die niedrige radiale Beanspruchung der Luft das Einsetzen der Glimmentladungen erst oberhalb der maximal vorkommenden Spannung auftreten lässt. Die Isolierzylinder spielen also hier eine mehr sekundäre Rolle, da der Luftmantel den weitaus grössten Teil der Spannung übernimmt. Aus diesem Grunde kann auch die Wandstärke derselben verhältnismässig niedrig und in den mechanisch gegebenen Grenzen gehalten werden und zwar gelangen je zwei Zylinder zur räumlichen Begrenzung des Luftmantels zur Verwendung. Der die Niederspannungswicklung schirmende innere Isolierzylinder sorgt hierbei infolge seiner hohen Dielektrizitätskonstante für gleichmässige Verteilung der in den Luftmantel eintretenden elektrischen Kraftlinien. Einen gleichen Zweck erfüllt auch der äussere Isolierzylinder, welcher das Feld bei seinem Eintritt von der unregelmässig gestalteten Hochspannungswicklung in den Luftmantel gleichmässig ausbildet. Die Homogenität des Feldes in axialer Richtung des Schenkels wird dadurch erwiesen, dass bei dem ausgeführten Transformator die Hochspannungswicklung trotz einer gewissen Distanz derselben von dem Aussen-Isolierzylinder auch bei Spannungen, welche die normal vorgesehene um mehr als 25 % übersteigen, keinerlei Entladungserscheinungen im Bereiche der Wicklung aufweist, obwohl ursprünglich beabsichtigt war, durch leitende Verbindung der einzelnen Spulen mit konzentrisch auf dem Aussenzylinder verteilten Metallbelägen von Spulenlänge die erwartete Spannungsdifferenz auf Null zu bringen.

Aber auch für das von den Punkten höchsten Potentials, d. h. von den Endspulen ausgehende Feld bedeutet der Luftmantel eine Lösung, welche gestattet, die sogenannten Streifentladungen, deren wichtigstes Gesetz durch die bereits zitierte Arbeit von G. Haefely festgelegt worden ist, in günstigster Weise auszunutzen. Auf diese Weise wird der Luftmantel so beansprucht, dass nur linear mit der Spannung

[1]) D. R. P. 322687; Schw. Patent 69060.

wachsende Streifentladungen, welche infolge ihrer kleinen Liniendichte sich ganz regelmässig auf den Umfang des Aussenzylinders verteilen und hierdurch ein gleichmässiges Spannungsgefälle zwischen Hochspannung und Joch gestatten, zustande kommen, jedoch nicht Gleitbüschel und Gleitfunken, welche im Minimum mit der dritten Potenz der Spannung wachsen, dabei infolge ihrer unregelmässigen von Zufälligkeiten abhängigen Ausbildung viel leichter zu einem Ueberschlag führen. Zur regelmässigen Ausbildung der Streifentladungen ist ferner noch ein sogenannter Sprühring vorgesehen, welcher äusserlich ähnlich dem aus der Technik des Oeltransformators bekannten Schirmungsring mit der Spule höchsten Potentials verbunden ist. Dieser Ring schützt einerseits die Wicklung gegen die Wirkungen von Entladungen und andererseits leitet derselbe infolge seiner scharfen an den Aussenzylinder dicht anschliessenden Form die Streifentladungen in günstiger Weise ein. Um auch auf der Jochseite des Zylinders eine möglichst gleichmässige Ver-

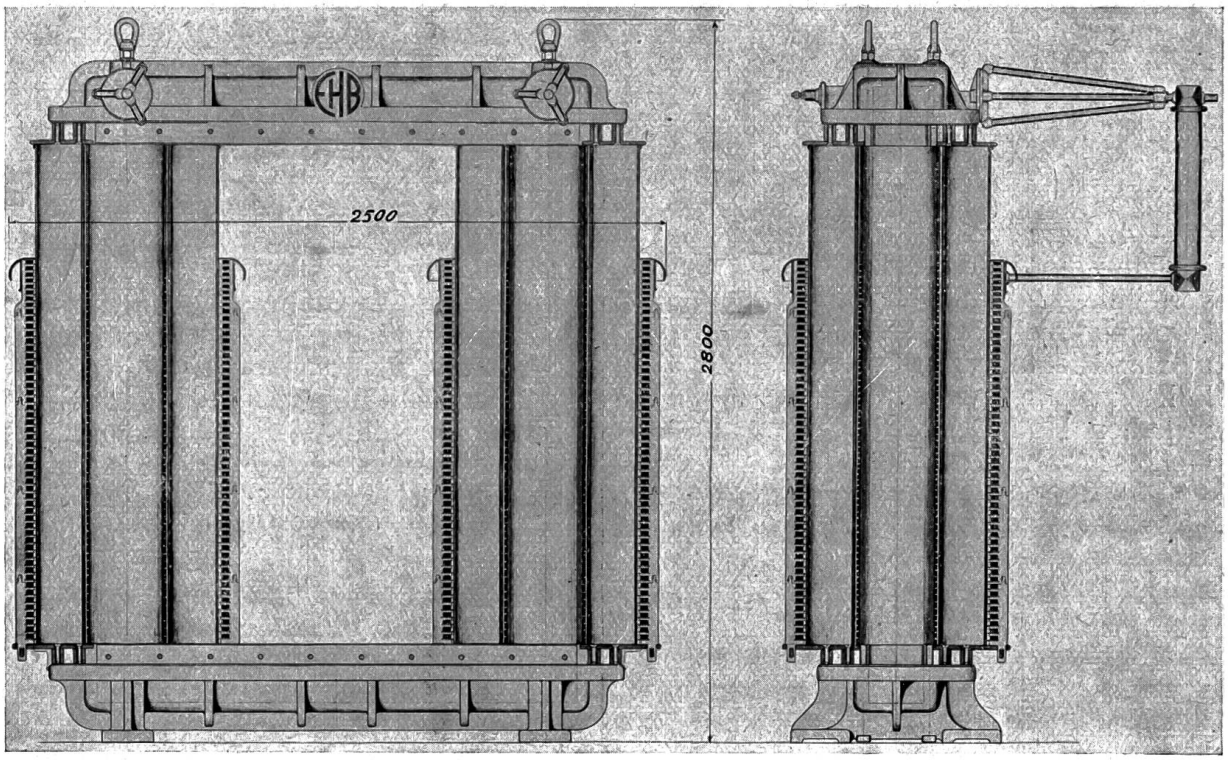

Fig. 2

teilung der Kriechströme über die Zylinderoberfläche zu gewährleisten, erhält derselbe an seinem Ende einen gutaufliegenden Schlussring, der leitend mit dem Gestell verbunden ist.

Die Hochspannungsspulen des Transformators werden in normaler Weise hergestellt, und durch eine spezielle Behandlung unter Vacuum und Druck erhalten dieselben eine Imprägnierung, welche sie gegen die Einflüsse von Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Staub vollständig unempfindlich macht.

Bei dem ausgeführten Prüftransformator ist der Mittelpunkt durch direkte Verbindung der Endspulen eines jeden Schenkels mit dem Gestell auf gleiches Potential gebracht, so dass die maximale Spannungsdifferenz für eine Normalspannung von 300000 Volt zwischen den Punkten höchsten Potentials und Gestell 150000 Volt nicht überschreitet. Wie später noch dargelegt werden soll, lässt sich der Transformator jedoch auch unter Zuhilfenahme eines oder mehrerer Vorspann-Hilfstransformatoren für 500000 Volt oder mehr *gegen Erde* verwenden.

Weitere Vorteile zeichnen den Lufttransformator gegenüber der Oeltype aus:

1. Das Totalgewicht des Lufttransformators macht nicht einmal 30% desjenigen des Oeltransformators gleicher Leistung und Spannung aus. Der beschriebene Versuchstransformator wiegt total nur 4,5 Tonnen, besitzt also nicht einmal das Gewicht des für die Oeltype gleicher Leistung und Spannung benötigten Oelquantums.

2. Entsprechend dem Wegfallen des Oels, Oelkastens und dem Ersatz der Hochspannungsklemme durch einfache Stützisolatoren ergeben sich für den Lufttransformator wesentlich niedrigere Gestehungskosten.

3. Der Lufttransformator gestattet auf dem durch das Konstruktionsprinzip gegebenen Wege einen wesentlich höheren Spannungsabfall zu erreichen, als dies beim Oeltransformator möglich ist, es sei denn, dass man künslich grössere Distanzen zwischen Hoch- und Niedervoltwicklung schaffe, als dieselben durch Isolationsgründe gegeben sind, mit den natürlichen Folgen eines grössern Oelquantums und Oelkessels. Die Wichtigkeit eines grossen Spannungsabfalls aber kann nicht genug für Prüftransformatoren hervorgehoben werden, denn bei diesen kann man mit verhältnismässig niedriger Belastung die gewünschte Prüfspannung erreichen. Im Augenblicke eines Ueberschlages oder Durchschlags am Prüfobjekt soll aber die Spannung automatisch sinken, wenn dasselbe nicht der Zerstörung ausgesetzt sein soll.

4. Eine starke Verzerrung der Spannungskurve, welche für den Oeltransformator infolge seiner grossen Eigenkapazität und der wesentlich ungleichmässigeren Feldverteilung auftreten kann, ist bei dem Lufttransformator trotz dessen grösserer Streuung nicht zu befürchten. Die Eigenkapazität des Lufttransformators, sei es in axialer Richtung der Schenkel, d. h. bedingt durch die Ausbildung elektrischer Kraftlinien zwischen den einzelnen Windungen der Hochspannungswicklung, oder aber zwischen Hoch- und Niederspannung (der nicht unwesentliche Anteil der zwischen Oelkesselwandungen und Hochspannungswicklung entstehenden Eigenkapazität fällt beim Lufttransformator überhaupt weg) muss natürlich entsprechend dem Verhältnisse der Dielektrizitätskonstante von Luft zu Oel, also im Verhältnis 1 : 2,3 kleiner sein. Ferner reduziert sie sich entsprechend dem beim Lufttransformator wesentlich grössern Abstand zwischen Hoch- und Niederspannungswicklung. Immerhin besitzt aber auch diese Type noch eine gewisse Eigenkapazität, wie aus den nachstehend erörterten Versuchsergebnissen hervorgeht.

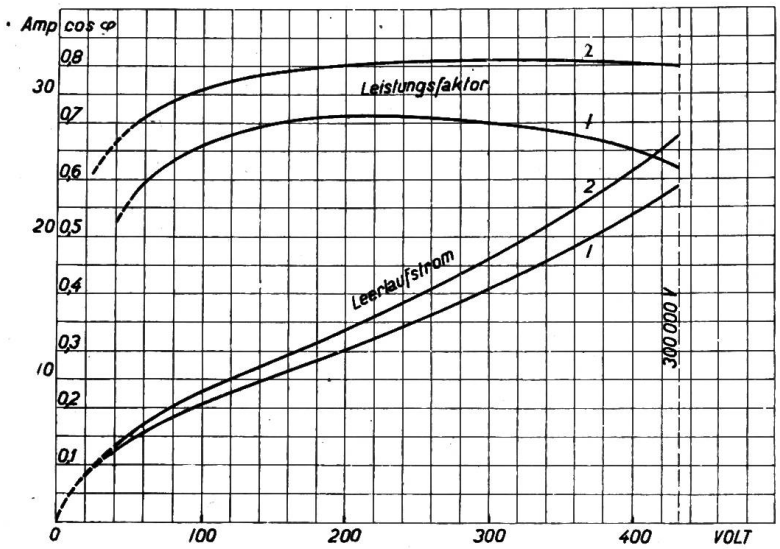

Fig. 3

Um bei dem ausgführten Transformator einen wenigstens qualitativen Anhaltspunkt über die Eigenkapazität des Lufttransformators zu erlangen, wurde der primäre Leerlaufstrom der Niederspannungswicklung unter zwei Bedingungen gemessen:

1. Die Hochspannungswicklung war nicht montiert;
2. Beide Hochspannungssäulen waren vorhanden.

Die Versuchsresultate sind aus beistehenden Kurven zu ersehen. Neben dem Leerlaufstrom ist hier der cos. φ in Funktion der Primärspannung eingetragen. Es sei

bemerkt, dass dem Uebersetzungsverhältnis des Transformators bei 300 Kilovolt eine Primärspannung von 432 Volt entspricht und dass auch bei dieser Spannung die Eisensättigung noch in niedrigen Grenzen gehalten ist, woraus sich der scheinbar hohe Wert des Leerlaufcosinus ergibt. Bemerkenswert ist hierbei der Verlauf des cos φ in beiden Fällen. Während bei fehlender Hochspannungswicklung ein rascher Abfall eintritt, hält sich die Cosinus φ Kurve nach Montage dieser Wicklung infolge der Eigenkapazität von halber Spannung an auf ziemlich gleicher Höhe um dann mit weiter wachsenser Sättigung ebenfalls abzufallen. Die Literatur gibt ein Beispiel von Dina,[1]) welcher schon bei einem 200000 Volt Oeltranformator für gleiche Primärspannung einen um ca. 33 % grösseren Leerlaufstrom fand, wenn die Hochspannung in Serie im Gegensatz zu *Parallel* geschaltet war. In unserem Falle beträgt die Differenz der Leerströme bei 300000 Volt, wohlbeachtet zwischen den extremsten Fällen, nur 14,5 %, eine Bestätigung für die verhältnismässig niedrige Eigenkapazität des Lufttransformators.

5. Einen nicht geringen Vorteil bildet ferner beim Lufttransformator die leichte Kontrollierbarkeit der Hochspannungsseite. In der Entwicklung begriffene Störungen an Wicklung, Zylinder oder Stützisolatoren werden ohne weiteres mit dem Auge wahrgenommen, während beim Oeltransformator in der Regel der Defekt schon vollkommen ist, bevor sich der Beobachter von dem Entstehen desselben Rechenschaft ablegen konnte.

Vermeintliche Nachteile des Lufttransformators sollen nicht unerwähnt bleiben, und zwar betreffen diese die ungünstige Beeinflussung von Wicklung und Isoliermaterial durch Feuchtigkeit und Staub. Um derartige Einwirkungen zu kontrollieren, wurde der schon vorstehend beschriebene Prüftransformator in der offenen Wicklereiabteilung aufgestellt und absichtlich der Staubablagerung kein Hindernis in den Weg gelegt. Die gleichmässige geringe lineare Beanspruchung der Wicklung in axialer Richtung der Schenkel und anderseits eine richtig bemessene Isolation der Spulen verhindert jedoch jedwede schädliche Folgen. Auch für das Isolationsmaterial sind keinerlei ungünstige Einwirkungen zu befürchten, wenn einerseits nur die beste Qualität verwendet und andererseits durch glatte Oberflächen die die Entladungen begünstigenden Spitzen vermieden werden. So hat sich der beschriebene Prüftransformator, obwohl die Staubablagerung eine ansehnliche Dicke erreicht hat und obwohl die Luft der Wicklereiwerkstätte einen nicht geringen Feuchtigkeitsgehalt aufweist, ohne die geringsten Anstände auch in dieser Beziehung bewährt. Am besten zeigt sich dies bei der Beobachtung in der Dunkelheit, wobei nach wie vor keinerlei Entladungserscheinungen an Wicklung und Isolationsteilen zu bemerken sind. Selbstverständlich aber wird man in normalen Fällen darnach trachten, derartige Prüfanlagen, sowohl wegen der Verdunklungsnotwendigkeit und zur Erleichterung akustischer Beobachtungen des Versuchsraums, wie auch aus Gründen der Sicherheit, abgesondert zu installieren.

Einige Versuchsergebnisse des Prüftransformators dürften von Interesse sein.

Die Leerlaufleistung bei normaler Sättigung, entsprechend der normalen Primärspannung von 432 Volt beträgt ca. 8 kW. Es sei bemerkt, dass normale Dynamobleche mit der Verlustziffer von 3,6 Watt für den Transformator Verwendung gefunden haben, mit Rücksicht auf die verhältnismässig geringe Betriebszeit desselben; in Fällen, wo es sich um länger dauernde Betriebszeiten handelt, wird natürlich zu prüfen sein, ob die mit legierten Blechen reduzierten Verluste den höheren Gestehungspreis des Transformators rechtfertigen. Ein zweistündiger Dauerlauf mit 500 Volt Primärspannung ergab übrigens eine maximale Eisenübertemperatur von 40° C; eine längerwährende Dauerbetriebszeit ohne dazwischenliegende Entlastung dürfte in der Praxis nicht überschritten werden.

Die Kurzschlussmessung ergab, bezogen auf die Normalleistung von 200 kVA und die normale Primärspannung, eine Kurzschlusspannung von im Mittel 12 %,

[1]) Vgl. Dina „Ueber den Transformator mit Eigenkapazität." E. T. Z. 1906, S. 191.

ein Wert, der verhältnismässig so niedrig ist, dass es sich rechtfertigt, denselben durch die später beschriebene Erregung in Sparschaltung mit Vorspann-Transformator auf höhere Beträge zu bringen. Denn es darf nicht vergessen werden, dass weitaus die Mehrzahl der Isolationsprüfungen wesentlich kleinere Belastungen als 200 kVA erfordern wird, nachdem heute das Gebiet der Kabelprüfungen durch das Delon'sche Gleichrichterverfahren keine grossen Scheinleistungen mehr erfordert.

Die leichte Zugänglichkeit der Hochspannungswicklung erlaubte mit Leichtigkeit auch Sprungwellenmessungen auszuführen. Dieselben wurden in der Weise vorgenommen, dass bei sonst unbelastetem Prüftransformator die Hochspannungsseite an eine für eine bestimmte Spannung eingestellte Spitzkegelfunkenstrecke angeschlossen und vermittels einer separaten Kugelfunkenstrecke die interessierenden Spulenspannungen ermittelt wurden. Die Messungen wurden ferner mit variablen der Hochspannungswicklung vorgeschalteten Silitwiderständen gemacht und auch die Höhe der Sprungwellenspannung beim Vorschaltwiderstand Null ermittelt. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Spulenart	Totaler Vorschaltwiderstand Ohm	Ueberspannung
Eingangsspulen	0	6,3 fache gerechnete Spulenspannung
„	40 000	3,6 „ „ „
„	140 000	2,5 „ „ „
Normalspulen	40 000	1,73 „ „ „

Hierzu sei bemerkt, dass der Transformator normal mit total ca. 40 000 Ohm Vorschaltwiderstand (Silit) arbeitet, ein Wert, der, verglichen mit den auch bei uns der amerikanischen Praxis entnommenen Werten von 1 Ohm pro Volt, d. h. in unserm Falle 300 000 Ohm, besonders vorteilhaft ins Gewicht fällt. Hierbei ist noch die äusserst ungünstige Eigenschaft des Silits, seinen Widerstand bei Erwärmung auf einen Bruchteil desjenigen im kalten Zustande zu ermässigen, zu berücksichtigen. Auch die erreichte Abflachung der Spannungswelle bis zum Beginn der Normalspulen ist bemerkenswert. Dass der Transformator durch Feldregulierung eines separaten, mit ausgebildeten Polen versehenen Generator normaler Type gespeist wird sei nebenbei bemerkt.

Wir kommen nun zur Festlegung der maximalen Spannungsgrenze, welche für diese Lufttype zugelassen werden kann. Da die Klemmenfrage ausscheidet, ist diese Grenze nach oben nur durch die vom mechanischen und ästhetischen Standpunkte aus noch zulässige Schenkellänge und Schenkeldistanz gegeben. Es zeigte sich, dass eine maximale Spannung gegen Gestell von 200 000 Volt durch Gestellverbindung der Hochspannungsmitte, d. h. 400 000 Volt zwischen den Klemmen noch gut realisiert werden kann und ein System der Reihenschaltung mehrerer Transformatoren, welches von Dessauer und Petersen ausgearbeitet worden ist,[1]) gibt die Mittel an die Hand, die Spannung eines Poles gegen Erde auf 500 000 Volt und mehr zu steigern, wobei die Spannungsunterschiede eines Transformators in beliebig niedrigen Grenzen gehalten werden können. Die einfache Transformatorenserieschaltung mit Parallelerregung des Niederspannungskreises kann auch bei isolierter Aufstellung der Transformatoren keine Reduktion der Isolationsverhältnisse zur Folge haben, denn praktisch entspricht die Niederspannungserregung dem Erdpotential, und wenn man irgend einen Pol der Transformatorenkette an Erde legt, beispielsweise den Aussenpol des letzten Transformators, so wird der erste Transformator das maximale Potential gegenüber der Erde, also auch gegenüber der Niederspannungswicklung desselben entwickeln, d. h. dieser Transformator wäre für die volle der Serien-

[1]) Vgl. Schweiz. Patent Nr. 85 126.

schaltung entsprechende Spannung zwischen Hoch- und Niederspannung zu isolieren. Die Verwendung von Zwischentransformatoren oder noch besser die Erregung des oder der Zusatztransformatoren in Sparschaltung von einem Teil der Hochspannungswicklung des primären Transformators aus gestattet gegen Erde eine beliebige Spannung zu erzeugen, ohne dass hiervon die Innenisolation irgendeines der in Serie geschalteten Transformatoren berührt wird. Hierbei erhält also nur das erste Glied der Gruppe, dessen einer Pol an Erde liegt, die Niederspannungserregerwicklung. Da die Erregerspannung für die dem ersten Glied folgenden Transformatoren, wie erwähnt, nur einem Teile der Hochspannungswicklung eines Schenkels entnommen wird, so würde diese Erregerwicklung eine beträchtliche Streuung gegen den andern und auch den sekundären Wicklungsteil des gleichen Schenkels aufweisen. Aus diesem Grunde wird auf den einzelnen Zusatztransformatoren eine sogenannte Schubwicklung vorgesehen, welche derart unterteilt ist, dass parallele Teile derselben sowohl dem Erreger-(Primär)kreis, wie auch dem Sekundärkreis gegenüberstehen. Die Streuverluste zwischen Primär und Sekundärwicklung werden infolge der sich zwischen den parallelen Teilen der Schubwicklung bildenden Ausgleichströme auf ein Minimum reduziert. Die Schubwicklung legt man am besten an das Gestell, um derselben ein festes

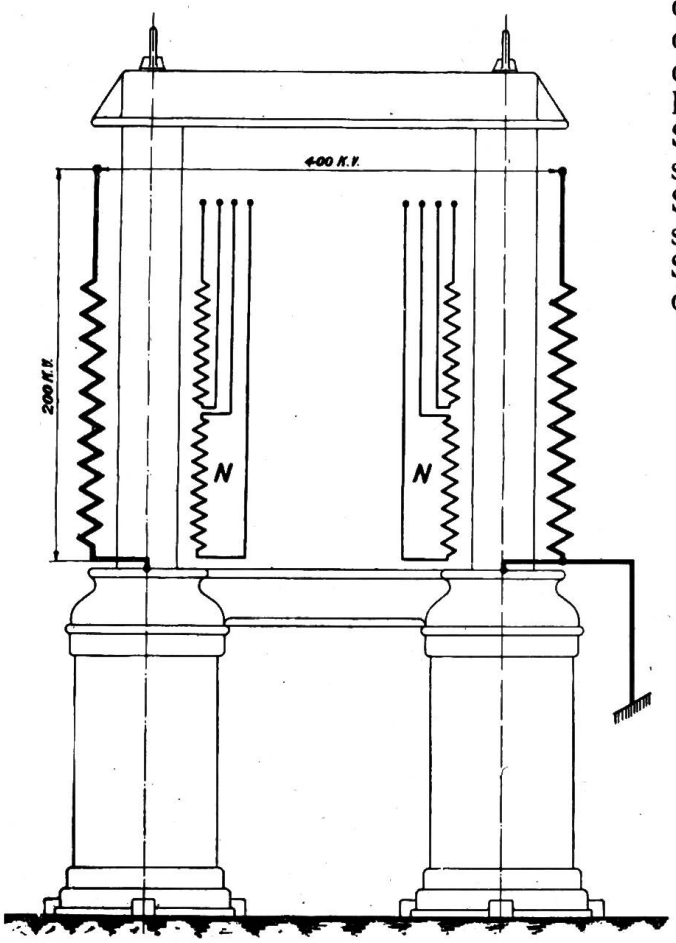

Fig. 4

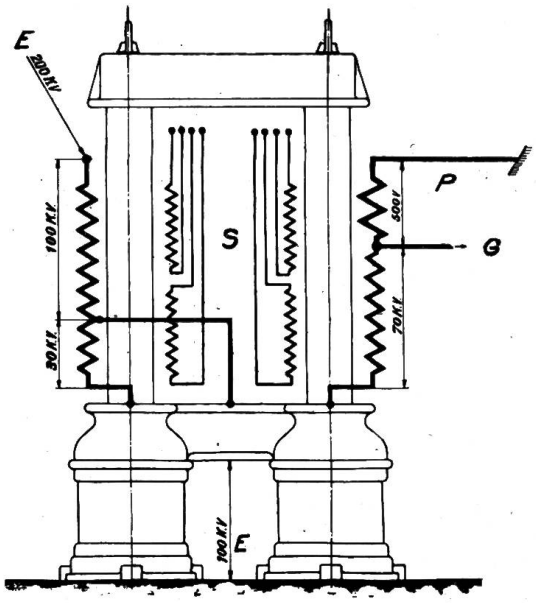

Fig. 5

Potential zu geben. Beifolgende Fig. 4 ÷ 6 zeigen ein Anwendungsbeispiel dieser speziellen Schaltung, wie dieselbe für die neue Prüftransformatorenanlage der Technischen Prüfanstalten des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins in Zürich zur Ausführung vorgesehen ist. Die Gruppe besteht aus dem Haupttransformator für 400 kV zwischen Klemmen mit Gestellpotential des Mittelpunkts der Hochspannungswicklung, so dass dieser Transformator bei Erdung des Gestells für 200 kV gegen Erde Verwendung finden kann. Die Niederspannungswicklung, welche jedoch auch als Schubwicklung dienen kann, ist zu diesem Zwecke in zwei getrennten Wicklungen pro Schenkel ausgeführt. Bei Gebrauch dieses Transformators allein werden die Niederspannungswicklungen der beiden Schenkel parallel geschaltet. Ferner erhält die Hochspannungswicklung auf einem Schenkel noch eine Anzapfung auf halber Wicklungs-

höhe, deren Zweck später klargelegt werden wird. Kein Teil ist einem höheren Potential gegen Gestell oder Niederspannung als 200 kV ausgesetzt. Zwecks gemeinsamer Benützung dieses Transformators mit dem nachbeschriebenen Vorspann-Transformator ist eine isolierte Aufstellung vorgesehen. Der letztere wird, wie Fig. 3 zeigt, in seiner totalen Hochspannungswicklung das Potential von ebenfalls 200 kV gegen Erde entwickeln. Er besitzt einen etwas verschiedenen Wicklungsaufbau gegenüber dem Haupttransformator, indem die Hochspannungswicklung einen Schenkel voll und den zweiten nur zur Hälfte bedeckt, während die andere Hälfte für die Niederpannungserregerwicklung, deren Aussenpol geerdet ist, benutzt wird. Dieser Transformator arbeitet also in Sparschaltung, ja sogar doppelter Sparschaltung, da auch der Schenkel mit voller Hochspannungswicklung bei 100 kV von der Klemme höchsten Potentials entfernt, eine weitere Anzapfung erhält, welche gleichzeitig mit

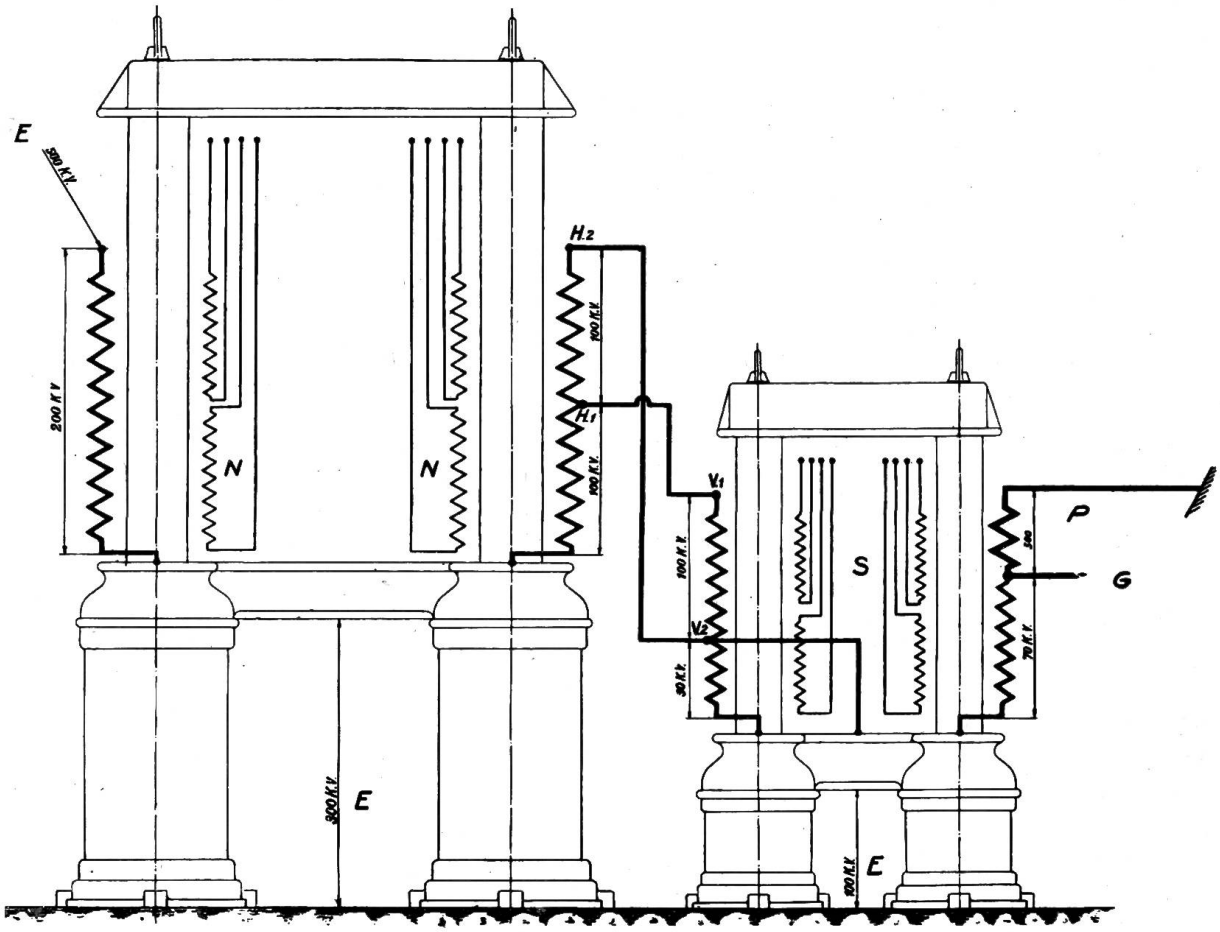

Fig. 6

dem Gestell verbunden ist. Der Vorspann-Transformator erhält des fernern noch die hier sehr wichtige Schubwicklung in ebenfalls vier Kreisen auf den beiden Schenkeln. Die höchste Spannung dieses Vorspann-Transformators gegen Gestell beträgt 100 kV gegen dessen obere Seite, während auf der untern Seite eine Potentialdifferenz von 30 kV auftritt. Es muss nicht speziell betont werden, dass die Niederspannungswicklung, welche gegen den symmetrisch gelegenen Hochspannungspol des andern Schenkels 200 kV entwickelt, vollständig abgeschirmt werden muss, um dieselbe gegen etwaige Ueberschläge von der Hochspannungsseite aus zu schützen. Auch dieser Transformator ist gegen Erde isoliert und zwar für eine Spannung von 100 kV.

Wir kommen nun zur Zusammenschaltung der beiden Transformatoren, gemäss Fig. 4, und wie aus den dort eingetragenen Spannungsdifferenzen der Wicklungsteile gegen Gestell hervorgeht, werden dieselben in keinem Teile gegenüber früher

geändert, obwohl jetzt die Gruppe eine Spannung von 500 kV gegen Erde entwickelt. Der Vorpann-Transformator liefert über die Klemmen V_1 und V_2 die Erregung des Haupttransformators zu den Klemmen H_1 und H_2, bei dem jetzt ebenfalls die Schubwicklung in Funktion tritt. (Dank diesen Schubwicklungen kann der maximale Spannungsabfall der Gruppe bei der vorgesehenen Belastung von 100 kVA auf maximal 25 % gehalten werden.) Die isolierte Aufstellung der beiden Transformatoren macht noch eine zweckmässige abgerundete Ausbildung der Eisenteile, speziel des Haupttransformators zur Bedingung, um die Coronabildung möglichst zu reduzieren. Grosse Krümmungsradien der Gussteile und Abdeckung scharfer Kanten mit abgerundeten Blechen erfüllen diesen Zweck.

Wie schon vorher erwähnt, ist die Gruppenleistung auf 100 kVA angesetzt worden, da dieselbe reichlich allen Anforderungen der Prüfanstalt genügt. Es darf nicht unbemerkt bleiben, dass die vorgeschriebene Schaltungsart natürlich auch die Verwendung wesentlich kleinerer Leistungen gestattet, wie z. B. in Verbindung mit Gleichrichtern für Staub- und Gasreinigung oder ähnliche Zwecke, für welche bekanntlich nur Leistungen von maximal 20 kVA in Frage kommen. Dass die Schaltung natürlich ebensogut für die Oeltype vorteilhafte Verwendung findet, braucht nicht erwähnt zu werden.

Zu dem Lufttransformator zurückkehrend darf noch die Frage gestellt werden, ob derselbe nicht auch als Leistungstransformator ausgebildet werden könnte. Ohne heute schon in dieser Beziehung ein abschliessendes Urteil bilden zu wollen, darf gesagt werden, dass die Lösung dieser Aufgabe keine unüberwindlichen Schwierigkeiten, sowohl vom Standpunkte der Erwärmungsfrage wie auch der Abstützungsfrage bietet.

Ueber die Mittel zur Beeinflussung des Skalencharakters von Messinstrumenten.

Von Dipl. Ing. *Alfr. Imhof,* Winterthur.

In der Praxis des Messinstrumentenbaues sind viele Mittel üblich, um den Skalencharakter, d. h. die Funktion zwischen Zeigerausschlagwinkel und Messgrösse zu beeinflussen. Man sucht damit z. B. eine Skala proportional zu teilen, oder das Skalenende weit zu gestalten usw. Zweck dieser Arbeit ist es, auf solche Mittel in ganz allgemeiner Form einzutreten, während spezielle konstruktive Ausführungen nur als Beispiele behandelt werden. Dazu mussten die Vorgänge bei der Einstellung des Zeigers analysiert werden. Man gewinnt auf diese Weise gleichzeitig die Grundlage zur Behandlung weiterer, sonst nicht so deutlich übersehbarer Erscheinungen bei Messinstrumenten, wie z. B. der früher von mir erklärte Einfluss des Skalencharakters auf die Reibungsfehler.[1])

Die ganze Behandlung des Themas stützt sich auf die unten folgenden Charakteristiken. Wir bezeichnen die Grösse, welche vom Instrument gemessen werden soll, kurz mit Messgrösse x, den Zeigerausschlagwinkel, von der Nullstellung aus gemessen, mit φ. Die Funktion $\varphi = f(x)$, graphisch dargestellt, nennt man meist Skalenbild oder auch Skalencharakteristik. Auf das bewegliche System des Instrumentes wirken zwei Drehmomente in entgegengesetztem Sinne: Das durch die Messgrösse x erzeugte Messmoment D_m und das den Zeiger in die Nullage zurückführende Richtmoment D_r (erzeugt durch Spiralfedern, Gewichte usw.). Der Zeiger bewegt sich über einen solchen Winkel φ, dass sich die beiden Momente aufheben, d. h. bis zum Schnittpunkt der Linien, welche das Messmoment D_m bezw. das Richtmoment D_r in Funktion des Zeigerausschlagwinkels φ darstellen. Allgemein nennen wir $D = f(\varphi)$ die Drehmomentcharakteristik für konstante Messgrösse; letztere ist dabei ein Para-

[1]) Bulletin des S. E. V. 1919, S. 266.