Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 35 (1944)
Heft: 23

Artikel: Betriebserfahrungen mit Transformatoren
Autor: Schiller, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061614

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: 14.12.2025

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

fügung. Dies ist kürzer als die Zeit einer Periode des Netzstromes. Wir verwendeten daher mit Vorliebe Induktivimpulse. Diese lassen sich exakt abgeben, sind aber ungenau in der Frequenz.

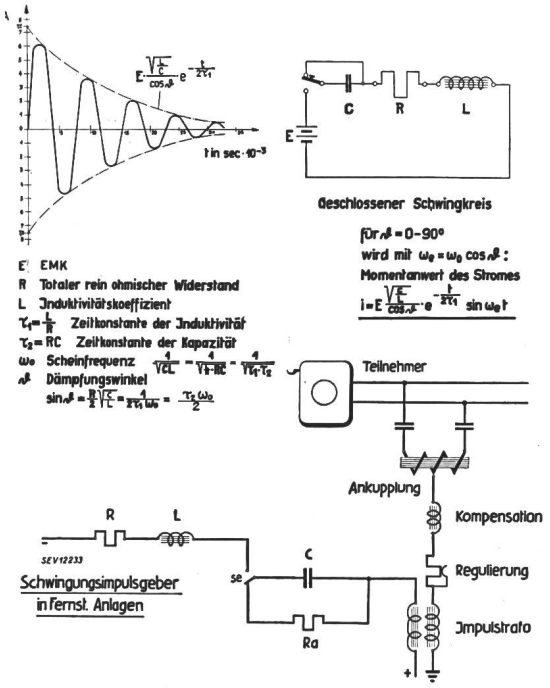

Fig. 14.
Schwingungsimpulsgeber

Ein Simplexkanal mit kompensierter Ankopplungskapazität verlangt aber genaue Frequenz. Aus diesem Grunde entwickelten wir einen Schwingungsimpulsgeber (Fig. 14).

Schaltet man eine Gleichspannung auf einen Stromkreis mit der Kapazität C, der Selbstinduktion L und dem Widerstand R, so fliesst ein gedämpft schwingender Strom. Durch entsprechende Dimensionierung der Grössen C, L und R hat man es in der Hand, die Amplitude, die Frequenz und die Dämpfung beliebig zu wählen. Im Schwingungsimpulsgeber wird durch den Sendekontakt *se* eine solche gedämpfte Schwingung erzeugt und über einen Transformator auf die Leitung gegeben. Der Kanal und der Impulsgeber können also aufeinander abgestimmt werden.

Dieser Impulsgeber bewährt sich gut. Lässt man mehrere Impulsgeber mit verschiedenen Frequenzen gleichzeitig arbeiten und schaltet man den Empfangsrelais entsprechende Filter vor, so lassen sich mehrere Stromkreise auseinanderhalten. Wir können also auf einem Simplexkanal gleichzeitig steuern und messen. Ganz allgemein wird man gut tun, auf solchen Simplexkanälen mit genügender Leistung zu arbeiten, um zu verhindern, dass induzierte Störspannungen den Steuerbetrieb beeinflussen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei richtiger Dimensionierung der einzelnen Schaltelemente der Betrieb auf einem solchen durch Sperrspulen geschützten Simplexkanal einwandfrei ist.

Die Telephonverwaltung lässt daher in Fällen, wo eine Anlage dem allgemeinen Wohl dient, diese Schaltung zu.

Leistungstransformatoren

Bericht über die Diskussionsversammlung des SEV vom 13. Juli 1944 in Zürich

(Fortsetzung von Seite 646)

Betriebserfahrungen mit Transformatoren

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 13. Juli 1944 in Zürich,
von *H. Schiller*, Baden

621.314.21

Es wird über Erfahrungen der Motor-Columbus A.-G. und einer Reihe von Elektrizitätswerken, die der Referent angefragt hat, berichtet. Zunächst wird die Wahl des Kühlungssystems behandelt, wobei die äussere Wasserkühlung mit künstlichem Oelumlauf in den Vordergrund gestellt wird. Dann kommt das Problem des Transformatorgeräusches zur Sprache und die Frage der Aufstellungsarten, die sich zur Lärmdämpfung bewährten. Weiter wird über die Erfahrungen berichtet, die mit Isolieröl, besonders solchem von Kriegsqualität, gemacht wurden. Schliesslich werden eine Reihe von Störungen an einzelnen Teilen und die Lehren, die daraus gezogen werden, erörtert. Dabei kommen auch die Schutzmassnahmen — Differentialschutz und Buchholzschutz — zur Sprache; die vorliegenden Erfahrungen deuten auf die grossen Dienste hin, die insbesondere der Buchholzschutz leisten kann.

Le conférencier présente un rapport sur les expériences faites par la S. A. Motor-Columbus et quelques entreprises électriques, auxquelles il avait demandé des renseignements à ce sujet. Il traite tout d'abord du choix du système de refroidissement, notamment du refroidissement extérieur par eau avec circulation d'huile forcée, puis du bourdonnement des transformateurs et des systèmes de montage qui permettent de diminuer ce bruit. Il parle ensuite des expériences faites avec l'huile isolante, surtout avec les qualités forunies pendant la guerre. Pour terminer, il signale une série de perturbations provoquées par diverses pièces des transformateurs et en tire les conclusions qui s'imposent. Il mentionne à ce propos les mesures de protection appropriées: protection différentielle et système Bucholz; les expériences faites jusqu'ici prouvent, en particulier, que le système de protection Buchholz peut rendre de grands services.

Wenn im folgenden über Betriebserfahrungen mit Transformatoren berichtet wird, so muss auch von Fehlern und Mängeln gesprochen werden. Es ist in der Technik wie im Leben, von dem ja auch die Technik ein Teil ist, dass man den Blick oft auf das Mangelhafte richtet; wenn dies nicht nur geschieht, um zu kritisieren, sondern um zu verbessern und zu vervollkommnen, so ist dies auch gut; denn erst dieses Streben nach Vollkommenheit gibt ja auch dem Leben seinen tiefsten Sinn, und so

möchte ich auch die folgenden Ausführungen aufgefasst wissen, wenn ich von Mängeln spreche.

Die folgende Zusammenfassung schliesst die Erfahrungen mehrerer Werke ein, und ich möchte an dieser Stelle den Betriebsleitern all dieser Kraftwerke dafür danken, dass sie diese in so ausgiebigem Masse zur Verfügung stellten. Alle Betriebsleiter machten zur Bedingung, dass die Publikation der Störungen in einer solchen Form erfolgen solle, dass auf keinen Fall auf die Fabrikanten des betreffenden Apparates geschlossen werden könne, welchem Wunsche ich selbstverständlich nachkomme und deshalb auch die Namen der Werke, aus denen die Erfahrungen stammen, nicht anführe; es befinden sich darunter in- und ausländische Gesellschaften, wie auch die Transformatoren von in- und ausländischen Lieferanten stammen. Sie sehen, dass also keine Rückschlüsse über die Herkunft der Apparate gezogen werden können.

Bei der Wahl eines Transformators sind die Leistung, die Spannung und die Aufstellungsart (Innenraum, Freiluft) meist gegeben. Mehr oder weniger unabhängig kann noch die Kühlung gewählt werden. Aus unseren Erfahrungen heraus geben wir nun immer der äusseren Wasserkühlung mit forciertem Oelumlauf den Vorzug. Es hat sich nämlich im Betrieb erwiesen, dass diese Transformatoren sehr stark überlastbar sind, ohne dass die Temperaturen das erlaubte Mass überschreiten. Die Transformatoren dieser Kühlungsart sind auch in den Abmessungen und im Anschaffungspreis vorteilhaft. Natürlich sind bei der Beurteilung des Preises, um vollständig zu sein, auch die Kosten für das Wasser und die Energie für die Oelumwälzpumpe zu berücksichtigen. Aber wenn auch dann kein grosser finanzieller Vorsprung mehr vorhanden wäre, so sind die übrigen Vorteile doch derart, dass wir der genannten Kühlungsart dennoch den Vorzug geben würden. Von der Wasserkühlung gehen wir nur in jenen Fällen ab, wo die Wasserbeschaffung Schwierigkeiten macht oder die atmosphärischen Bedingungen, z. B. Frostgefahr mit starkem Wind, sie nicht ratsam erscheinen lassen. In diesem Falle haben wir neulich forcierte Oelumlaufkühlung mit forcierter Luftkühlung angewendet. Erfahrungen mit dieser speziellen Kühlungsart besitzen wir noch nicht.

An mehreren Orten befinden sich aber auch Grosstransformatoren mit natürlicher Oelzirkulation und forcierter Luftkühlung in Betrieb, die sich sehr gut bewährt hat. Der Platzbedarf ist dabei aber recht beträchtlich und auch das Oelvolumen ist grösser als bei forciertem Oelumlauf mit forcierter Kühlung. Vom Betriebsstandpunkt aus haben diese Transformatoren den Vorteil, dass sie auch ohne Ventilatoren immer noch eine Teillast führen können. Bei Transformatoren dieser Kühlungsart kann bei kalter Witterung von einer gewissen Temperatur an der Ventilator zur Beblasung der Kühler abgestellt werden, da dann die natürliche Kühlung für sich ausreicht. Dies wird denn im Betrieb auch verschiedentlich so gemacht.

Wir gehen aber, wie schon gesagt, immer mehr darauf aus, forcierten Oelumlauf anzuwenden, da dadurch auf alle Fälle das Oelvolumen und der Platzbedarf reduziert werden. Transformatoren dieser Kühlungsart eignen sich denn auch gut zur Lösung von Spezialaufgaben, wie später noch ausgeführt wird (Fig. 1).

Fig. 1.
35-MVA-Transformator 150/50 kV
mit forciertem Oelumlauf und äusserer Wasserkühlung. Die Verlustleistung dieses Transformators ist ungefähr gleich wie diejenige des Transformators Fig. 7. Man beachte den kleinen Platzbedarf des angebauten Wasserkühlers.

Ein Problem, das sich bei der Transformatorenaufstellung hie und da stellt, ist das des Lärms. Es gibt zu dessen Bekämpfung verschiedene Mittel, von denen unter der Annahme, dass ein lautloser Transformator nicht gebaut werden kann, das beste darin besteht, den Transformator in ein Gebäude zu stellen. Hier leistet wiederum der forcierte Oelumlauf mit Wasserkühlung sehr gute Dienste, indem erstens sehr wenig Platz beansprucht wird und zweitens alle Teile des Transformators im Innern des Gebäudes liegen, wodurch der Schall bei entsprechender Bauweise des Gebäudes besonders stark gedämpft wird. Kann diese Kühlungsart wegen Schwierigkeiten in der Wasserbeschaffung nicht angewendet werden, so kann man den Transformator in einen geschlossenen Raum stellen und die Kühler mit natürlichem Oelumlauf ins Freie bringen, was in zwei Fällen gemacht wurde; der Erfolg war auch in diesen Fällen gut, Klagen wegen Lärmbelästigung sind nicht eingegangen. Auch bei Aufstellung im Gebäude muss der Transformator auf ein isoliertes Fundament gestellt werden, um die

Uebertragung des Schalles durch den Boden nach Möglichkeit einzuschränken. Als Isolation gegen den Boden wurde Kork gewählt und dabei darauf geachtet, dass das Fundament auf den Seiten keine

führt, um den Bodenschall zu verringern, wobei der Transformator sonst offen aufgestellt ist. Die isolierte Aufstellung wirkt sich auch verringernd auf die Entstehung des Luftschalls aus (Fig. 2...6).

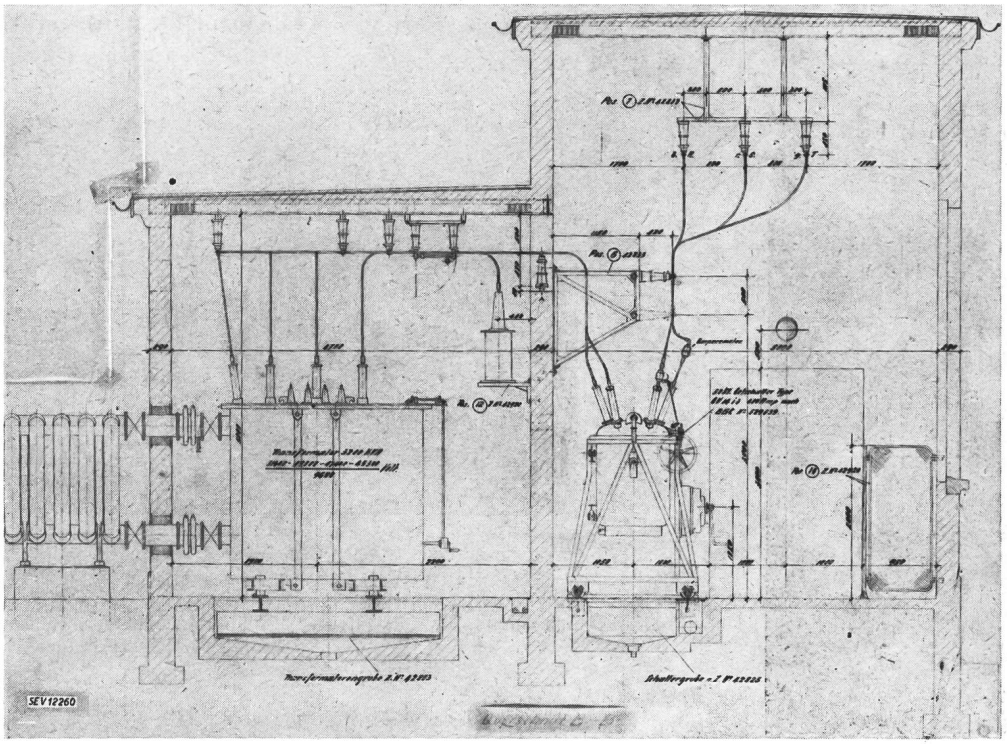

Fig. 2.
3,2-MVA-Transformator 50/10 kV
Innenaufstellung auf schallisoliertem Fundament, Kühler im Freien; natürlicher Oelumlauf und natürliche Kühlung.

Berührung mit der Umgebung hat. Wir haben ein Transformatorenfundament auch in einer Freiluftanlage nach diesen Gesichtspunkten isoliert ausge-

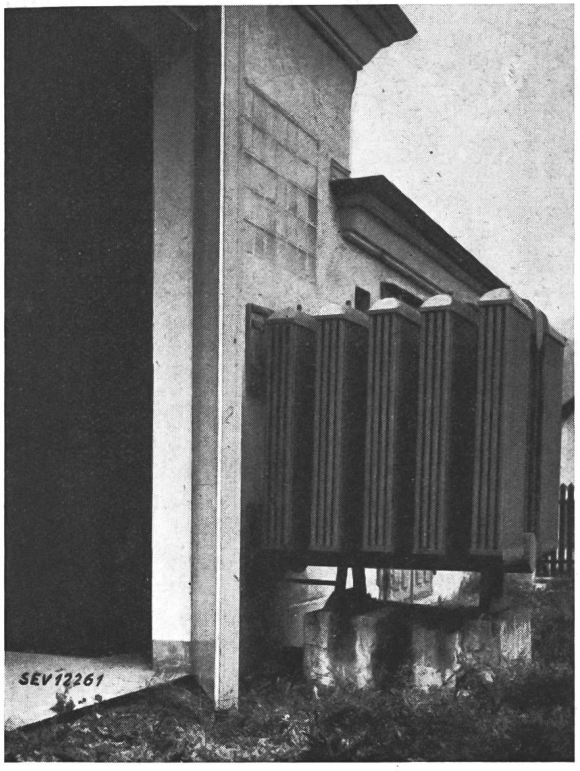

Fig. 3.
Die ausgeführte Anlage nach Zeichnung Fig. 2

Auch bei Verschmutzungsgefahr leistet die oben beschriebene Aufstellungsart im Gebäude gute Dienste, indem die spannungsführenden Teile ins Gebäudeinnere zu stehen kommen und so der Verschmutzung nicht ausgesetzt sind.

Einen besonderen Fall bot ein 35-MVA-Transformator in einer Freiluftanlage, wo wegen Lärm Reklamationen der Bewohner der Umgebung (bis

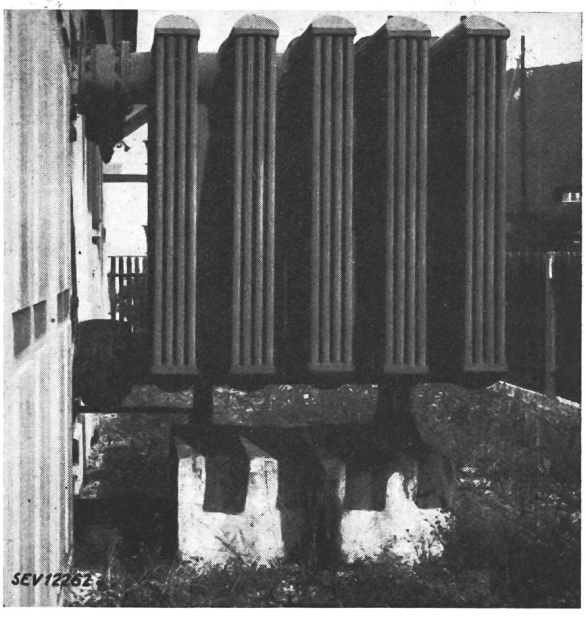

Fig. 4.
Kühler der Anlage Fig. 2

ca. 500 m Entfernung) einliefen. Nach vielen Versuchen blieb nichts übrig, als den Transformator isoliert aufzustellen und ihn mit einem schalldämpfenden Schutzbau zu umgeben, aus dem oben die Freiluftisolatoren der Transformatoren herausragen. Die Decke dieses Raumes wurde dabei folgendermassen konstruiert: auf den Transformatordeckel wurde eine Schicht Sand aufgebracht und diese mit Bleiblech abgedeckt. Die Kühler wurden, wie früher erwähnt, im Freien belassen. Der schalldämpfende Schutzbau ist im Innern zugänglich, so dass der Transformator dort im Betrieb besichtigt werden kann; dagegen kann der Deckel nicht kontrolliert werden, was als grosser Nachteil empfunden wird. (Fig. 7...9).

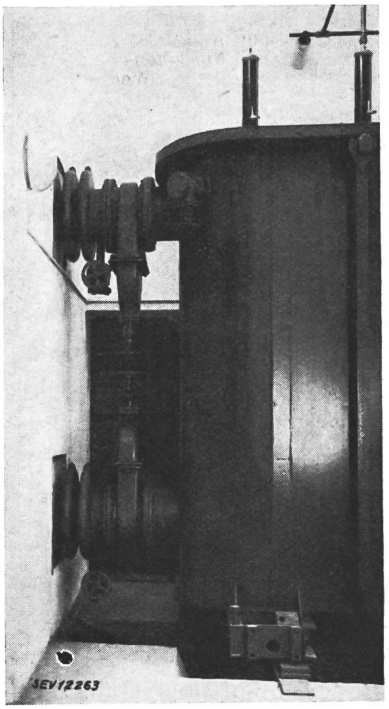

Fig. 5.
Transformator der Anlage Fig. 2

Fig. 6.
Isoliertes Fundament des Freilufttransformators Fig. 1
In der rechten Ecke ist der vertikale Luftspalt, welcher das Fundament von der Umgebung trennt, abgedeckt (siehe Pfeil).

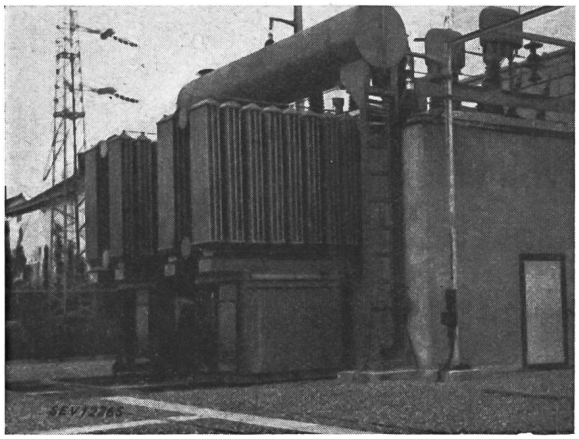

Fig. 7.
35-MVA-Transformator 150/80/50 kV
mit natürlichem Oelumlauf und forcierter Luftkühlung. Transformator in schalldichter Umbauung. Kühler im Freien.

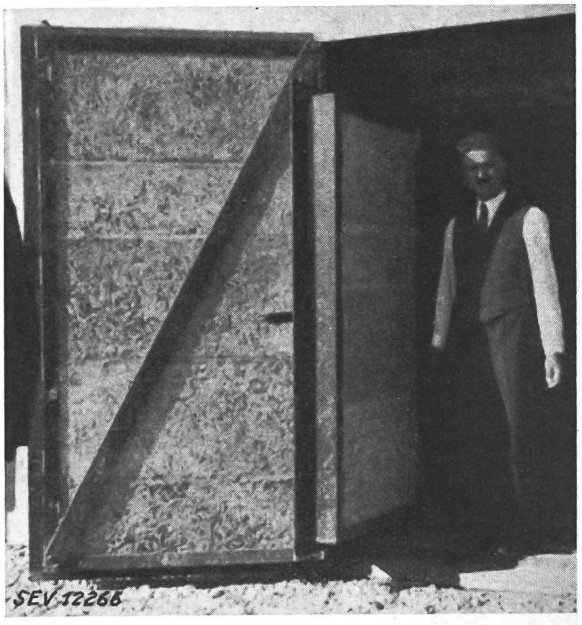

Fig. 8.
Eingang in die schalldichte Umschalung des Transformators Fig. 7
Das Bild gibt einen Begriff von der Stärke der Wandkonstruktion.

Ein sehr wichtiger Teil des Transformators ist das Isolieröl. Auch die Qualität dieses Materials hat unter den heutigen Kriegsverhältnissen zu leiden, wenn auch nicht in dem Masse, wie im Kriege 1914/18. Man wird aber gut tun, die damals gemachten Erfahrungen heute zu berücksichtigen,

weshalb ich hier ein klassisches Beispiel anführen möchte.

Ende 1917 kamen eine grössere Anzahl Transformatoren von 7 MVA in Betrieb, die mit Kriegsöl gefüllt waren. Die Transformatoren hatten forcierten Oelumlauf und äussere Wasserkühlung. Es

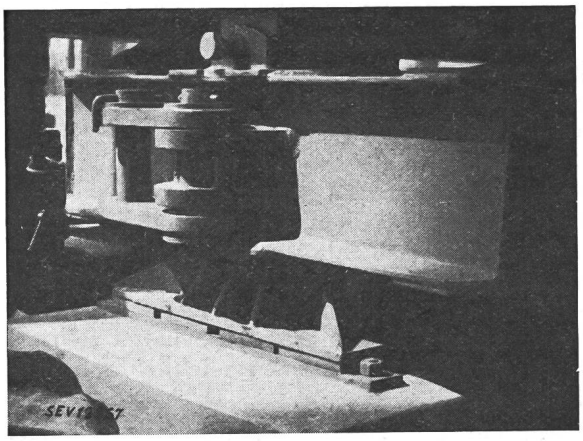

Fig. 9.
Schallisolierte Auflagerung des Transformators Fig. 7
Diese wurde an Stelle der Räder montiert.

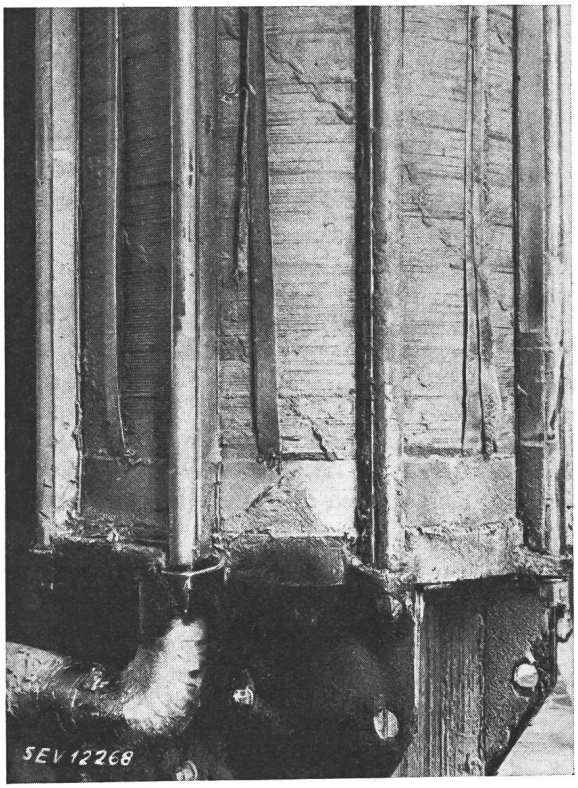

Fig. 10.
Verschlammte Transformatorwicklung

zeigte sich nun schon nach relativ kurzer Zeit, dass die Transformatoren sehr warm wurden, und man suchte nach dem Grund. Dabei wurden in erster Linie die Kühler kontrolliert und es wurde konstatiert, dass einzelne Röhren mit Schlamm verstopft waren. Man filtrierte nun das Oel des ganzen Transformators, um den Schlamm herauszubringen, und als dies keinen dauernden Erfolg zeigte, zog man den Transformator aus, um zu entdecken, dass dieser stark mit Schlamm beschlagen war, auf horizontalen Flächen bis zu einer Höhe von 40...50 mm. Die Farbe des Oeles war braun und trübe. Man be-

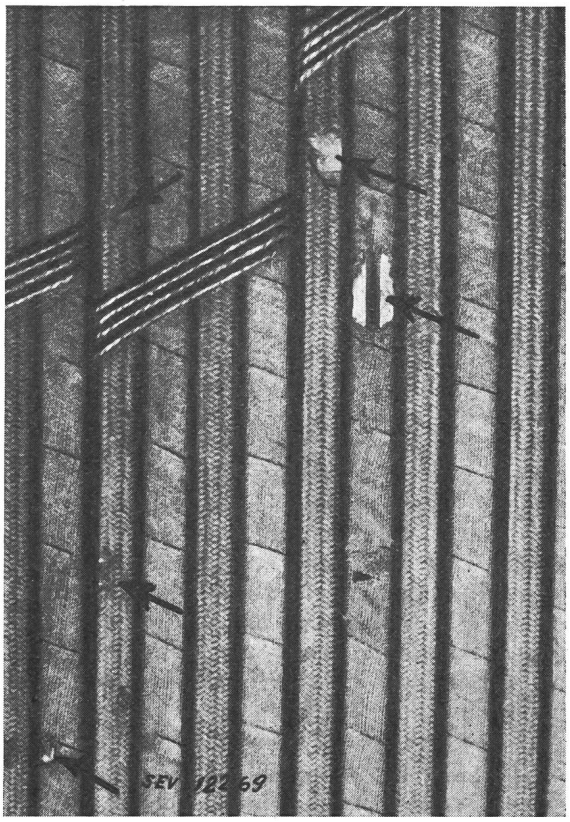

Fig. 11.
Detail des Transformators Fig. 10
Man beachte die mit Pfeilen bezeichneten defekten Stellen der Isolation.

merkte bei dieser Gelegenheit auch, dass die Baumwollisolation nur noch eine sehr geringe Festigkeit zeigte, so dass ein Abbürsten des Schlammes nicht in Frage kam; schon mit den Fingernägeln konnte man bei leichtem Druck die Baumwollisolation abschaben, wodurch blanke Stellen am Kupfer entstanden. Es blieb deshalb nichts anderes übrig, als den Schlamm durch Bespritzen mit dem Oel abzuwaschen. Natürlich erreichte man mit dieser Prozedur nur die äusserste Wicklung und die Joche des Eisengestells. Auf diesem war übrigens der Schlamm durch die Wärme zu hartem Koks zusammengebacken (Fig. 10, 11).

Diese Schlammbildung ging in den folgenden Jahren weiter, so dass nichts weiter übrigblieb als die Transformatoren, je nachdem es der Betrieb gestattete, alle 2...3 Jahre auf oben angeführte Weise mit Oel abzuwaschen und die Kühler öfters zu reinigen. Der Schlamm schlug sich mit Vorzug auch in den Kühlern nieder und behinderte so die Abkühlung des Oeles. Die ersten Wasserkühler waren horizontal aufgestellt; man ging dann mit gutem Erfolg dazu über, sie vertikal zu stellen; bei dieser

Stellung fiel nämlich der Schlamm nach unten, und die Kühler mussten weniger oft gereinigt werden.

Von diesen 7 Transformatoren sind heute noch drei in Betrieb und man muss eigentlich gestehen, dass trotz des schlechten Isolationszustandes recht wenig Störungen vorgekommen sind. 1934 trat ein Windungsschluss auf, der so starke Verbrennungen zur Folge hatte, dass man sich entschloss, in Anbetracht des schlechten Allgemeinzustandes des Transformators, diesen nicht mehr zu reparieren, sondern durch einen neuen zu ersetzen. Bei dieser Gelegenheit ist es nicht uninteressant, zu erwähnen, dass der alte Kasten dieses Transformators wieder verwendet wurde und bei einer Erhöhung um ca. 40 cm in den gleichen Kasten ein Transformator von 16 MVA plaziert werden konnte, wo vorher ein solcher von 7 MVA stand. Es zeigt dies deutlich den Fortschritt der Technik.

Zur Illustration der Qualität des obgenannten Oeles sei angeführt, dass es eine Säurezahl bis zu 5 aufwies, während Spezialisten die obere Grenze der im Betrieb zulässigen mit 1 angeben.

Aus der Erfahrung muss strikte davon abgeraten werden, in solchen Transformatoren das *stark* versäuerte Oel durch gutes Oel auswechseln zu wollen, da das gute Oel durch die Reste des alten ebenfalls schlecht wird. Was man aus dieser Erfahrung für die gegenwärtigen Verhältnisse lernen kann, ist, dass das Oel häufig kontrolliert und bei den *geringsten* Anzeichen einer zunehmenden Versäuerung durch eine Friedensqualität erstezt werden soll, von der wir annehmen, dass sie nun doch in absehbarer Zeit wieder erhältlich sein wird.

Wir haben bis jetzt viel Gutes gesagt von der äusseren Wasserkühlung und möchten es deshalb nicht unterlassen, auf verschiedene Störungen infolge Korrosionsanfressungen hinzuweisen, die auf ältere Typen mit ungeeigneten Materialien zurückzuführen sind. Auf eine Störung, die erst kürzlich auftrat und auf eine solche Anfressung zurückzuführen war, sei noch speziell hingewiesen. Eine von den beiden Kühlergruppen eines Transformators war gereinigt worden und wurde wieder in Betrieb gesetzt, und zwar wurde zuerst die Wasserseite des Kühlers eingeschaltet und dann der Oeldruck daraufgegeben. Trotzdem der Kühler normalerweise mit Ueberdruck im Oelteil über den Wasserdruck arbeitete, war für den kurzen Moment, wo das Oel noch nicht in Zirkulation war, ein Ueberdruck des Wassers über das Oel vorhanden, so dass für diese Zeit, die nach Minuten bemessen war Wasser ins Oel übertrat, was sofort bemerkt wurde, worauf der Transformator nach höchstens 5...10 Minuten Dauer des fehlerhaften Betriebes abgeschaltet wurde. Die Oelprobe zeigte noch absolut keinen Wassergehalt und trotzdem war das Oel stark trübe und beim Ausziehen des Transformators waren bereits Kriechspuren über eine Enddistanz zu sehen. Nach Auskochen und Filtrieren wurde das Oel wieder klar. Es ist also wichtig, immer zuerst den Oeldruck auf den Kühler zu geben und dann den Wasserdruck, damit im Falle eines Schadens nicht Wasser in das Oel gelangt. Wie schon bemerkt, bezieht sich die beschriebene Störung auf einen Kühler älterer Bauart. Mit Kühlern neueren Modells haben wir keine Störungen mehr erlebt; solche Kühler sind 6 Jahre beinahe im ununterbrochenen Betrieb, ohne dass sie auf der Oelseite gereinigt wurden.

Nach diesen etwas allgemeinen Ausführungen möchte ich auf einige spezielle Teile des Transformators selbst zu sprechen kommen.

Ueber Klemmen ist nichts besonderes zu sagen. Wir haben ungefähr die gleichen Erfahrungen gemacht wie andere auch; ich erinnere an die Füllung mit zähem Kompound.

Einige anormale Erscheinungen traten an Anzapfschaltern auf. Es wurde beim Leerabschalten einer Leitung aus dem Transformator Oel ausgeworfen und das Buchholzrelais sowie der Differentialschutz schalteten ab. Der Befund ergab Ueberschlagsspuren an den Ableitungen des Anzapfschalters und Kriechspuren am Schalter selbst. Der Schalter wurde durch einen reichlicher dimensionierten ersetzt.

Auf einen mechanischen Versager ist folgende Störung zurückzuführen: Infolge Bruch einer Befestigungsschraube rutschte der Schalter aus der Zentrierung und anlässlich eines Blitzschlages in die angeschlossenen Leitungen kam es zu einem Ueberschlag am Anzapfschalter; das Buchholzrelais sprach an und beim Oeffnen des Transformators entdeckte man die erwähnten Erscheinungen. Es zeigten sich Kriechwege am Schalter, den die Blitzüberspannung zum Ueberschlagen brachte. Die beiden Vorkommnisse zeigen deutlich, dass auch im Sternpunkt der Transformatoren, wo sich die Anzapfschalter befanden, beträchtliche Ueberspannungen auftreten.

Im Verlaufe des Monats Juni 1944 traten zwei weitere Störungen an Anzapfschaltern auf, die auf grosse Kurzschlußströme zurückzuführen sind. Durch diese Ströme wurden die Kontakte offenbar durch Abhebung so angeschmort und dadurch der Kontakt so stark verschlechtert, dass während des normalen Betriebes im einen Fall der Buchholzschutz ansprach, im andern aus dem Deckel Oelrauch aufstieg, der von der periodischen Kontrolle bemerkt wurde, worauf der Transformator, bevor er Schaden genommen hatte, abgeschaltet wurde. Da es sich um einen Innenraumtransformator ohne Expansionsgefäss handelte, war kein Buchholzschutz vorhanden. Es zeigt aber, wie wichtig es ist, dass die Betriebskontrollen in nicht zu grossen Zeiträumen erfolgen. Mehrere Schäden sind durch solche Kontrollen vermieden worden.

Zwei interessante Störungen beziehen sich auf den Oelstand.

Im einen Fall war im Gehäuse eines gewöhnlichen Oelstandszeigers das Belüftungsloch durch Insekten verstopft worden; deswegen konnte das Oel im Glas des Oelstandszeigers dem Niveau des Oeles im Transformator nicht mehr folgen. Es wurde nun durch Zufall entdeckt, dass der Oelspiegel im Transformator sank, während der Oelstandzeigers aus dem angegebenen Grunde das

richtige Niveau vortäuschte. Durch die rechtzeitige Entdeckung wurde ein Schaden verhindert, aber der Betriebsleiter hat aus diesem Vorkommnis ein Bedürfnis nach einer automatischen Signaleinrichtung, wenn der Oelstand sinkt.

Eine interessante Ergänzung zu diesem Fall ist deshalb die Störung, wo im Winter bei grosser Kälte der Oelstand so stark zurückging, dass das Expansionsgefäss eines Transformators entleert wurde, wobei der vorhandene Buchholzschutz ansprach und das Vorkommnis meldete. Der Buchholzschutz entspricht also dem gewünschten Oelstandsmelder.

Es wurde schon des öftern der Buchholzschutz erwähnt; es soll nun noch einiges über den Schutz der Transformatoren gesagt werden. Als spezifischer Transformatorenschutz sind der Differential- und der Buchholzschutz zu erwähnen. Beide Schutzarten sind in ihrem Prinzip genügend bekannt, so dass nicht weiter darauf eingegangen werden muss; immerhin sei allgemein auf einige Eigenheiten der beiden Schutzarten hingewiesen, die dann durch Vorkommnisse im Betrieb bekräftigt werden sollen.

Der Differentialschutz ist theoretisch wohl der umfassendste Schutz, indem er alles, was zwischen den abgrenzenden Stromwandlern liegt, in seinen Bereich einbezieht, so auch die Transformatorklemmen, da die Stromwandler wohl meist ausserhalb derselben liegen. Im Gegensatz dazu beschränkt sich der Buchholzschutz auf die Erfassung der innern Schäden.

Nun kommen beim Differentialschutz aber mit Rücksicht auf die Betriebsverhältnisse einige Forderungen dazu, in deren Folge seine Wirksamkeit und Empfindlichkeit bedeutend herabgesetzt werden und die den Buchholzschutz wieder in die vordere Reihe bringen. Es sind dies folgende Erscheinungen:

1. Infolge des Leerlauf-Stromes der Transformatoren muss dem Differentialschutz eine gewisse Unempfindlichkeit gegeben werden, damit er die Schalter nicht auslöst.

Da die Stromwandler der verschiedenen Wicklungen meist mehr oder weniger starke Verschiedenheiten in den Charakteristiken aufweisen, ist noch eine vermehrte Unempfindlichkeit nötig, wenn nicht, was wohl jetzt ausschliesslich der Fall ist, das sogenannte Prozent-Differentialrelais angewendet wird, das den von den ungleichen Stromwandler-Charakteristiken herrührenden Fehlerstrom zum grossen Teil kompensiert.

2. Um den Einschaltstoss des Magnetisierungsstromes, der ein Vielfaches des Leerlaufstromes sein kann, nicht zur Wirkung kommen zu lassen, wird im allgemeinen durch ein Hilfsrelais der Differentialschutz beim Einschalten des Transformators für eine gewisse Zeit unwirksam gemacht, so dass während dieser Zeit der Transformator überhaupt ohne Differentialschutz ist.

3. Wegen Vorgängen im Netz muss darüber hinaus jede Auslösung des Differentialschutzes verzögert werden.

Alle diese Einschränkungen sind beim Buchholzschutz nicht vorhanden, denn der Buchholzschutz spricht überhaupt nur auf Grössen an, die erst bei einem Fehler auftreten, wo dann der Schutzapparat möglichst rasch wirken soll. Fehlauslösungen sind also hier kaum möglich. Immerhin sei darauf hingewiesen, dass bei der Inbetriebnahme z. B. von neuen Transformatoren sich in der ersten Betriebszeit noch Luft oder Gas abscheiden können, die Falschanzeigen bringen; deshalb wird der Buchholzapparat in der ersten Betriebszeit oft nur auf Signalisierung, nicht aber auf Auslösung der Schalter angeschlossen.

Es gibt auch innere Fehler, auf die der Differentialschutz gar nicht ansprechen kann, während sie vom Buchholzschutz erfasst werden; dies sind z. B. fehlerhafte Kontakte an Anzapfschaltern, zufolge deren kleine Lichtbogen entstehen und dergleichen.

Für den Buchholzschutz spricht auch die grosse Einfachheit der Apparatur.

Es ist in neuerer Zeit noch ein weiterer Schutz auf den Markt gekommen, der auf ähnlichem Prinzip aufgebaut ist wie der Buchholzschutz, der sogenannte Täuberschutz, und es wäre interessant, über die Betriebserfahrungen, die damit gemacht wurden, etwas zu vernehmen, da von diesen Apparaten auch in der Schweiz eine Anzahl im Betrieb steht.

Die geschilderten Verzögerungen und Unempfindlichkeiten der Einstellung des Differentialrelais bringen es mit sich, dass der Differentialschutz oft langsamer arbeitet als der Buchholzschutz. Es hat z. B. bei einem Windungsschluss der Buchholzschutz einen Transformator abgeschaltet, bevor der Differentialschutz überhaupt angesprochen hat. Der Buchholzschutz darf ohne weiteres als der Feinschutz betrachtet werden und sein Einbau kann überall dort empfohlen werden, wo ein Expansionsgefäss vorhanden ist. Nachdem nun auch der Preis in normale Bahnen gekommen ist, dürfte seine Verbreitung noch wesentlich zunehmen.

An einigen Beispielen mag noch das Verhalten von Buchholzschutz und Differentialschutz bei verschiedenen Störungen illustriert werden.

Ein instruktiver Fall über den Differentialschutz ist folgender: Ein Generator arbeitet als Separatbetrieb über einen Transformator auf eine einzelne Leitung. Bei Kurzschlüssen auf der Leitung schaltete nun der Differentialschutz zu wiederholten Malen den Transformator ab. Es handelte sich dabei um ein modernes Prozent-Differentialrelais, das also den Fehlerstrom kompensiert und dessen Einstellung sich als richtig erwies. Die Fehlauslösung wird nun so erklärt, dass durch den Kurzschluss die Spannung sehr stark zusammenbrach; beim Abschalten des Kurzschlusses stieg die Spannung plötzlich wieder an, so dass, ähnlich wie beim Einschalten eines Transformators, ein Magnetisierungsstromstoss entstand,, der durch die Spannungserhöhung des entlasteten Generators noch verstärkt wurde. Nachdem dann am Verzögerungsrelais eine entsprechende Korrektur vorgenommen worden war, kamen keine Fehlauslösungen mehr vor.

Es wurde bereits der Fall angeführt, wo bei einem Windungsschluss in einem Transformator der Buchholzschutz den Transformator abschaltete, während der Differentialschutz nicht ansprach.

Aehnlich liegen die Verhältnisse bei einem inneren Ueberschlag an einem Grosstransformator, bei dem eine beträchtliche Oelmenge durch das Sicher-

heitsventil ausgeworfen wurde. Der Differentialschutz sprach nicht an und da der Buchholzschutz aus den angegebenen Gründen nur auf Signalisierung angeschlossen war (kürzlich in Betrieb gesetzter Transformator), kam nur das Buchholzsignal. Der Transformator blieb ohne weitere Störung im Betrieb und wurde nur vorübergehend zur Kontrolle von Hand abgeschaltet. Wäre der Buchholzschutz nicht vorhanden gewesen, so hätte man zur Zeit der Störung überhaupt nichts bemerkt und es wäre später bei einem Kontrollgang nur der Oelauswurf konstatiert worden.

Es sind auch Fälle bekannt, wo beide Schutzrelais angesprochen haben, so die erwähnten Ueberschläge an Anzapfschaltern und ihren Ableitungen.

In den zwei erwähnten Fehlern an Anzapfschaltern, wo zufolge Kurzschlussabhebung Lichtbogen an den Kontakten entstanden, konnte der Differentialschutz seiner Natur nach gar nicht ansprechen, während der Buchholzschutz ordnungsgemäss funktionierte. Der Schutzbereich des Buchholzschutzes ist also, wie schon erwähnt, bei Fehlern dieser Art grösser als der des Differentialschutzes.

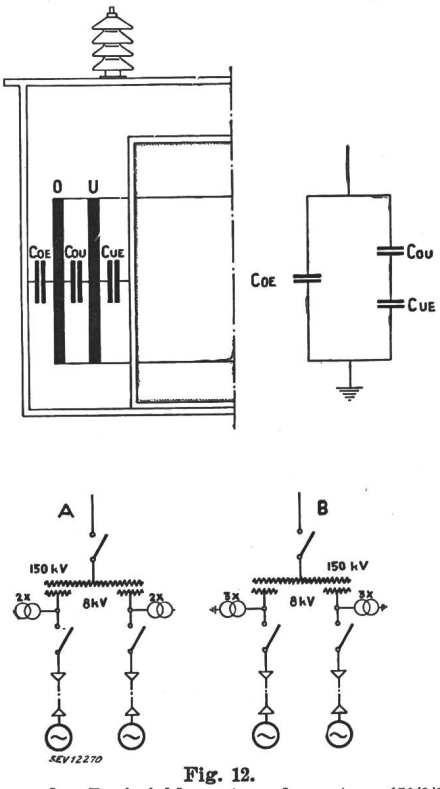

Fig. 12.
Schema des Dreiwicklungstransformators 150/8/8 kV
A auf der 8-kV-Seite: 2 Spannungswandler in V-Schaltung,
B auf der 8-kV-Seite: 3 Spannungswandler als Erdungsdrosselspulen geschaltet.

Es sei noch eine Störung an einem Transformator durch kapazitive Spannungsteilung zufolge der Verhältnisse der Kapazitäten der Wicklungen angeführt. Es handelt sich um einen Dreiwicklungstransformator mit zwei Unterspannungswicklungen von 8 kV, die über Oelschalter an je einen Generator angeschlossen sind, und einer Oberspannungswicklung von 150 kV. Es wurde auf der Oberspannung für einen Versuch ein Erdschluss gemacht und in diesem Zustand mit einem Generator hochgefahren; der andere Generator war abgetrennt, so dass die daran angeschlossene Transformatorwicklung leer mitlief. Infolge des Erdschlusses auf der Oberspannungsseite trat nun wegen der kapazitiven Spannungsteilung auf der freien Unterspannungswicklung eine so hohe Spannung (ca. 46 kV) auf, dass es an einer Spannungswandlerklemme zu einem Ueberschlag kam. Die Spannung verteilt sich in einem solchen Falle umgekehrt wie die Kapazitäten Oberspannung-Unterspannung und Unterspannung-Erde (Fig. 12).

Es bestehen mehrere Möglichkeiten für Abhilfe. Man hätte die beiden Unterspannungswicklungen einfach parallel schalten können, welcher Weg aber nicht beschritten wurde, um die Kurzschlussleistung auf der Unterspannungsseite nicht zu erhöhen.

Ferner hätte man die jeweilen nicht im Betrieb befindliche Wicklung einpolig an Erde legen können oder dauernd die Kabel des abgeschalteten Generators an der Wicklung belassen können, was die nötige Kapazitätsvergrösserung Unterspannung-Erde ergeben hätte. Beide Lösungen wurden nicht gewählt, um nicht durch anormale Schaltungen die Betriebsbereitschaft herabzusetzen. Man entschloss sich deshalb, drei Spannungswandler, deren Nullpunkt fest an Erde gelegt wurde, an die 8-kV-Wicklung zu schalten, wodurch das Potential dieser Wicklung gegenüber Erde zwangsweise festgehalten wurde. Es kam dann allerdings in dieser Schaltung nochmals zu einer Störung, da bei einem Leiterbruch oberspannungsseitig durch Ferroresonanz einer höheren Harmonischen wieder Spannungserhöhung verursacht wurde, was weitere Massnahmen nötig machte.

Bei Mehrwicklungstransformatoren ist also immer zu prüfen, ob bei Leerlauf einer Wicklung nicht in gewissen Betriebsfällen (Erdschluss) zufolge kapazitiver Spannungsteilung Ueberspannungen entstehen können. Grundsätzlich existiert die gleiche Gefahr auch bei Zweiwicklungstransformatoren, wenn sie leer an der Leitung hängen, was aber nie über längere Zeit der Fall sein dürfte.

Zum Schluss seien noch einige allgemeine Betriebserfahrungen mit dem genannten Dreiwicklungstransformator angeführt. Infolge seiner Konstruktion verlangte der Lieferant in einem späteren Zeitpunkt, dass die beiden 8-kV-Wicklungen mit beinahe gleichem $\cos \varphi$ fahren sollten. Da man die Wicklungen, wie erwähnt, nicht parallel schalten wollte, entschloss man sich zum Einbau eines $\cos \varphi$-Reglers. Diese Bedingung des gleichen $\cos \varphi$ schliesst natürlich aus, dass mit einem Generator nur Blindleistung erzeugt wird, während der andere die Wirklast liefert, was eventuell zu schlechterer Ausnützung des Betriebswassers der Turbinen führt. Im vorliegenden Falle spielte dies nicht eine so wesentliche Rolle, da die Turbinen ohnehin auch bei Phasenschieber-Betrieb nicht völlig unbeaufschlagt hätten betrieben werden dürfen, also Wasserverluste immer hätten in Kauf genommen werden müssen.

Ein weiterer Nachteil eines solchen Dreiwicklungstransformators ist auch der, dass mit den beiden Generatoren keine Separatbetriebe geführt werden können, was in diesem Falle auch keine ausschlaggebende Rolle spielte, da die gesamte Energie meist en bloc über eine 150-kV-Leitung abtransportiert wurde. Interessieren mag der Umstand, dass durch das Aufstellen dieses Dreiwicklungstransformators gegenüber zwei Zweiwicklungstransformatoren etwa 100 000 Fr. gespart wurden.

Der Transformator hat sich im Betrieb im übrigen sehr gut gehalten. Er wurde nach ca. 10 Betriebsjahren zur Revision aus dem Kessel ausgezogen, und alle Teile befanden sich in bestem Zustand. Anlass zum Ausziehen gab die Dichtung zwischen Kasten und Deckel, die mit den Jahren schwarz und morsch geworden war, was zu Oelverlusten führte. Diese Dichtung war, wie zur Zeit der Aufstellung allgemein üblich, nach dem Auskochen des Transformators nicht durch eine neue ersetzt worden. Wie die Erfahrung aber zeigt, leiden die Dichtungen beim Auskochen, und sie werden nun allgemein nach dieser Prozedur durch neue ersetzt.

Diskussion

Vorsitzender (Prof. E. Dünner): Ich danke Herrn Schiller sehr für seine ausserordentlich interessanten Mitteilungen über Betriebserfahrungen. Herr Schiller hat besonders zwei Fragen zur Diskussion gestellt:

Erstens sprach er von einem neuen Schutzapparat für Transformatoren, der auf ähnlichem Prinzip aufgebaut ist wie der Buchholzschutz, dem sogenannten Täuberschutz. Es stellt sich die Frage, ob Herren aus der Praxis und aus dem Betrieb den neuen Schutz kennen und über Erfahrungen verfügen. — Das Wort wird nicht gewünscht. Es scheint, dass der alte bewährte Buchholzschutz überall vorherrschend ist.

Das zweite Problem, das uns beschäftigen sollte, ist das der Geräusche. Man ist oft genötigt, Transformatoren in der Nähe von Ortschaften und bewohnten Gebäuden aufzustellen; immer wieder ergeben sich dabei Schwierigkeiten mit den Anwohnern. Herr Schiller berichtete von einem Fall, wo um den Transformator herum ein Gebäude gebaut wurde; ich bin nicht sicher, ob das genügend genützt hat. Ich möchte deshalb die Frage nach weiteren Erfahrungen mit Transformatorengeräuschen stellen. — Wer wünscht sich weiter zu äussern?

Dr. J. Goldstein, Zürich: Ich glaube, dass Sie mir gestatten, einige Bemerkungen über Kühlung von Transformatoren zu machen, um so mehr, als der Referent, Herr Oberingenieur Schiller, so viel und ausführlich über Kühlanlagen gesprochen hat. Es ist vielleicht gut, dass man die schweizerischen Erfahrungen ergänzt durch einige Erfahrungen im Ausland. Ich betone, es ist nicht mein Wunsch, zu kritisieren, sondern ich möchte dazu beitragen, dass das Kühlproblem umfassender durchdacht wird, und vielleicht werden meine Aeusserungen meinen Fachkollegen Anregungen geben.

Ich unterstreiche voll und ganz, was Herr Schiller gesagt hat, dass nämlich die Kühlsysteme in mancher Hinsicht nicht ganz befriedigen. Speziell muss betont werden, dass die Frage des Raumbedarfes sehr wichtig ist. Man muss möglichst gedrängte Ausführungen bevorzugen und man soll mit möglichst wenig Oel auskommen; also kommt man von selbst zu den sogenannten forcierten Kühlungen. Gerade diese forcierten Kühlungen haben vor etwa 15 Jahren uns sehr viel zu schaffen gegeben bei der AEG. Ich habe mich viele Jahre mit einem sehr ausgedehnten Studium dieser Frage befassen müssen, und ich will Ihnen einige Resultate mitteilen.

Ich möchte speziell noch etwas sagen über Wasserkühlung. Es ist bekannt, dass diese die intensivste Kühlung darstellt. Man kann auf kleinstem Raum die ganze Kühlanlage einrichten, und man ist in der Lage, grosse Wärmemengen abzuführen. Sie hat aber grosse Nachteile — ich spreche jetzt wirklich aus meiner langjährigen Erfahrung. Ich kann Ihnen sagen, dass im Auslande die Wasserkühlung in vielen Fällen — in der übergrossen Zahl der Fälle — abgelehnt wird, weil erstens einmal nicht überall Wasser vorhanden ist, zweitens wegen der Frostgefahr, und drittens, wie das Herr Schiller auch erwähnt hatte, wegen Korrosionserscheinungen. Im Ausland ist deshalb die Wasserkühlung so ziemlich zurückgedrängt und ersetzt worden durch forcierte Luftkühlung. Und um in dem Problem wirklich Remedur zu schaffen, haben wir uns mit der Frage befassen müssen: woran liegt es, dass die natürlichen Oelumlaufskühlungen einen so grossen Raumbedarf beanspruchen?

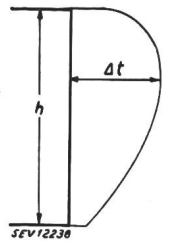

Fig. 1.
Wärmegefälle Oel - Luft
(Δt) über Kastenhöhe (h).

In Fig. 1 ist h, die Kastenhöhe, und Δt, das Wärmegefälle, als Kurve aufgezeichnet. Δt hat in der oberen Kastenhälfte ein Maximum und geht dann wieder auf eine ziemlich kleine Temperaturdifferenz zurück — es sind immer die Uebertemperaturen über die Aussentemperatur gemeint. Man sieht also, das Verhalten ist äusserst ungünstig. Die Wärmeabfuhr ergibt sich aus der bekannten Formel $P_w = C \cdot A \cdot \Delta t^{1,25}$, d. h. eine Wärmekonstante C mal Oberfläche A mal Temperaturdifferenz Δt zu 1,25facher Potenz.

Nun haben wir uns vorgenommen, eine Verbesserung zu schaffen. Man musste dazu möglichst hohe Temperaturdifferenzen auf der ganzen Kastenhöhe haben. Das ist mit Radiatorkästen nur in unbefriedigender Weise zu erreichen; Sie haben gesehen, welch grosse Batterien verwendet werden müssen.

Der Schätzung nach handelt es sich bei den von Herrn Schiller vorgeführten Transformatoren um solche grosser Leistung; speziell bei den grössten Transformatoren aber wird das Problem um so dringlicher.

Wenn man die Temperaturdifferenz Δt über die ganze Höhe möglichst konstant halten kann, so ergeben sich grosse Vorteile. Das hat uns auf die Idee geführt, forcierte Kühlung anzuwenden; denn dann hat man einen guten Wärmeausgleich, und man kommt auf eine wesentlich bessere Konstante C pro m². Man kann den Endeffekt ausrechnen, wenn man unter Zugrundelegung der mittleren Temperaturdifferenzen

für natürliche Oelkühlung . . . . . Δt mittel = 50° C
für forcierte Oelkühlung . . . . . Δt mittel = 40° C
für Wasserkühlung . . . . . Δt mittel = 25° C

die spezifische Konstante C in Watt pro m² benetzter Oelfläche kennt.

Kann man durch eine neuartige Kühlung Δt_{mittel} auf den Wert, der der Wasserkühlung nahezu entspricht, herabsetzen, so hat man auch die von Herrn Schiller so hoch eingeschätzte Ueberlastbarkeit des Transformators erreicht. Es leuchtet jedem Fachmann ein, dass man dann und nur dann für die Ueberlastung einen grösseren Spielraum für das Wärme-Gefälle Wicklung-Oel erhält. Setzt man, um einen Vergleich zu haben, die Konstante C für einen Kasten mit natürlicher Kühlung mit 4 Reihen unberippter Kühlrohre mit 1 pro m² benetzter Oelfläche ein, so gibt folgende Tabelle eine übersichtliche Darstellung.

1. bei unberippten vierreihigen Röhrenkasten $C = 1$
2. bei berippten Rohren und natürlicher Kühlung . . . . . $C = 1{,}8 \ldots 2{,}0$
3. bei berippten Rohren und Anblasung durch lokalisierte Luftströmung . . . . . $C = 2{,}4$
4. bei berippten Rohren und horizontaler Luftanblasung . . . . . $C = 4$
5. wie 4. + Oelzirkulation . . . . . $C =$ ca. 6

Die von mir in den Jahren 1934/35 angegebene Kühlung mit berippten Rohren nach 4. und 5. ist das Resultat einer ausgedehnten Vergleichsstudie aller Kühlungsarten gewesen.

Man hat heute hier schon oft gesagt, man müsse tunlichst vermeiden, den Transformator an Ort und Stelle zusammen-

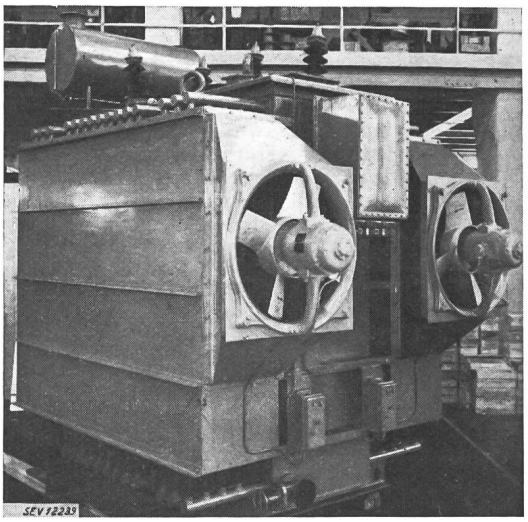

Fig. 2.
Transformator, dessen Leistung von 6000 kVA bei natürlicher Kühlung durch künstliche Beblasung auf 9000 kVA erhöht werden konnte.

zubauen. Das ist etwas, was ganz bestimmt in Zukunft von Verbrauchern abgelehnt werden wird. Man sollte den Transformator in betriebsbereitem Zustand bekommen; der Wandertyp, das ist eine der richtigen Lösungen, zu welcher man im Jahre 1936 bei der AEG und Siemens gelangt ist.

Eine weitere Forderung ist die, dass man auch die Kühlapparate nicht abnehmen muss, wie das gezeigt wurde auf dem Bild, wo der Wasserkühler mit dem Transformator direkt in Betrieb genommen werden kann. Das kann man mit den hier gezeigten Kühl-Batterien nicht erreichen, hingegen mit Wandertransformatoren und den Kühlsystemen nach Fig. 2, 3 und 4.

In den Bildern möchte ich einige Transformatoren der ASEA (Schweden) zeigen; soviel ich weiss, ist die Transformatorenfabrik der ASEA eine der grössten auf dem Kon-

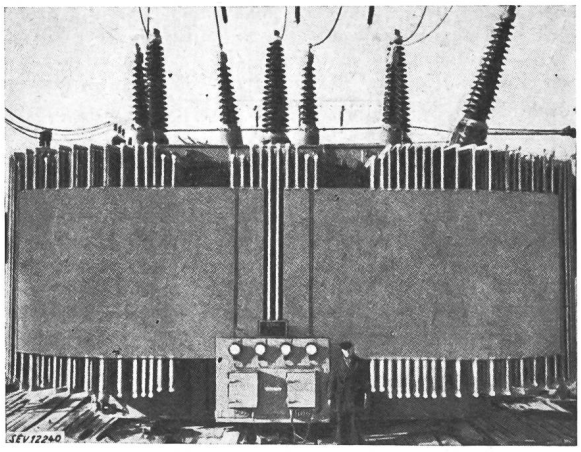

Fig. 3.
Dreiwicklungs-Grosstransformator von 120 000/120 000/40 000 kVA mit horizontaler Luftanblasung.

tinent. Die Konstrukteure dieser Fabrik hatten früher eine Transformatorkühlung nach 3. (siehe Tabelle oben) ausgeführt, die auch berippte Rohre verwendet hatte.

Fig. 2 zeigt einen Transformator, der für 6000 kVA mit natürlicher Kühlung bestimmt war und durch die neue Kühleinrichtung (nach 4.) auf etwa 9000 kVA — wie die Rechnung ergibt — erhöht werden kann. Man erkennt links unten die berippten Rohre, und man sieht eine ganz andere Kühlanordnung als sonst üblich. Das Belüften unten würde in diesem Falle nämlich keine genügende Wirkung haben. Es wurde ursprünglich tatsächlich eine solche Belüftung ausgeführt; die Wirkung aber war unbefriedigend und trotzdem wollten die Leute zuerst nicht von dieser Lösung abgehen; aber schliesslich haben sie dann durch Versuche feststellen müssen, dass die neue Kühlung viel intensiver wirkt. Wie Sie sehen, muss man auch hier mit dem Luftstrom möglichst grosse Flächen erfassen.

Ein weiterer Transformator mit viel grösserer Leistung ist in Fig. 3 dargestellt. Er hat eine dritte Wicklung und eine Totalleistung gleichwertig mit ca. 130 000 kVA. Die Lüfter sind hier nicht sichtbar; hinter dem Schutzmantel hat es horizontale Ventilatoren, die berippte Kühlrohre anblasen. Speziell wurde bei diesem Transformator gesagt: Ja, wenn man solche grossen Wärmemengen abführen kann, dann besteht eigentlich keine Notwendigkeit, eine noch bessere Lösung zu finden. Die Kühlart nach 5. ist deshalb praktisch von den ASEA noch nicht ausgeführt worden. Der Krieg kam dazwischen und ich weiss nicht, wie weit die Sache gediehen ist.

Ich will die Lösung 5 an Hand einer Zeichnung aus einer Patentschrift [1]) darstellen (Fig. 4). Hier ist die Oelumlaufkühlung kombiniert mit einer Pressluftkühlung. Die Berippung ist einfachheitshalber nicht eingezeichnet. Es sind aber gedacht berippte Rohre und ein Luftstrom, der senkrecht zu den Rohren geführt wird. Die spezifische Konstante dieser Kühlungsart ist etwa 6; somit sind wesentliche Fortschritte damit zu erzielen.

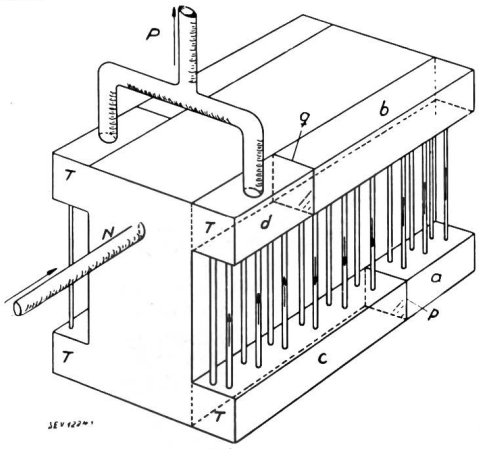

Fig. 4.
Prinzip der Kühlung bei berippten Rohren und horizontaler Luftanblasung, plus künstliche Oelzirkulation.

Der erzwungene Umlauf geht folgendermassen vor sich: Wir denken uns bei *N* eine Pumpe. Das Oel geht durch verschiedene Kanäle in die Kammern *a*. Irgendwelche zusätzliche Konstruktionen braucht man nicht, es sieht allerdings der Kasten nicht wie ein Kasten normaler Konstruktion aus. Gelangt das Oel nach *b*, so ist es gezwungen, den Weg nach *c* zu nehmen. Und nun kann der Rückwärtsstrom nur in der Richtung nach *d* erfolgen, weil Sperrwände (*q*) eingebaut sind. Das Oel gelangt so zur Austrittstelle *P*. Auf beiden Seiten parallel haben wir auf diese Weise einen forcierten Oelumlauf und auf die bereits angedeutete Art eine forcierte Luftkühlung.

Ich hoffe, mit diesen Bemerkungen und Ergänzungen unseren Exportfirmen einen Dienst erwiesen zu haben. Der Grosstransformatorenbau wird sich mit diesem Problem befassen müssen. Im Hinblick auf den Export grosser Transformatoren wird es wichtig sein, an dieses Problem heranzugehen.

A. Brunner, Ingenieur des EW Winterthur: Das EW Winterthur muss einige grosse Transformatoren in eine unterirdische Anlage versetzen, wo die Kühlung derselben mit Luft ziemliche Schwierigkeiten bietet, so dass der Umbau der Transformatoren auf Wasserkühlung erwogen wird. Wie sind die Betriebserfahrungen mit Wasserkühlern bei

[1]) Schwedische Patentschrift 21 : d² : 50 Nr. 94475.

Kühlung mit Frischwasser, insbesondere in bezug auf Verkalken oder Verschlammen; wie häufig ist eine Reinigung notwendig?

Wie Herr Schiller erwähnt hat, kann der Differentialschutz bei Transformatoren zu Fehlauslösungen führen, wenn die Spannung wegbleibt und plötzlich wiederkehrt. Beim Wegbleiben der Spannung wird durch die Nullspannungsauslösung in den angeschlossenen Betrieben die Last abgeschaltet, so dass beim Wiederkehren der Spannung der Transformator unbelastet ist; der primärseitige hohe Einschaltstrom wird nicht durch einen entsprechenden Sekundärstrom kompensiert, so dass der Differentialschutz anspricht. Beim normalen Einschalten des Transformators wird das Differentialrelais während einer bestimmten Zeit blokkiert, dann erfolgt keine Auslösung. Wenn jedoch die Spannung infolge einer äusseren Störung wegbleibt und dann ohne Betätigung eines Transformatorschalters wiederkehrt, wird das Relais nicht blockiert und eine Fehlauslösung ist die Folge. Können die Firmen, die solche Relais bauen, hier einen Vorschlag zur Verhütung solcher Fehlauslösungen machen?

H. Schiller, Oberingenieur der Motor-Columbus A.-G., Baden: Die Erfahrungen in uns nahestehenden Werken über die Reinigung der Kühler zeigen, dass es unbedingt nötig ist, die Kühler von Zeit zu Zeit zu reinigen. Ein Betriebsleiter hat einen besonderen Anschluss aus einer Wasserversorgung mit höherem Druck an einen solchen Kühler gemacht. Durch Oeffnen des Hahnes dieser Leitung spült er den Kühler mit grosser Wassergeschwindigkeit durch und entfernt so den grössten Teil des Schlammes.

In diesem Werk wurde auch, wie ich im Vortrag bereits erwähnte, die Erfahrung gemacht, dass die vertikale Anordnung der Kühler der horizontalen weit überlegen ist, indem der Schlamm sich hauptsächlich am Boden absetzt und so von den Kühlröhren ferngehalten wird.

Ueber die Entkalkung kann ich nichts weiteres sagen, da wir mit kalkhaltigem Wasser keine Erfahrung haben. (Nachtrag: Wie ich inzwischen von zuständiger Seite erfahren habe, ist ein Entkalken der Kühler nicht nötig, da sich infolge der niederen Temperatur des Kühlwassers, die weit unter 80° liegt, kein Kalk ausscheidet.)

Dr. P. Waldvogel, Oberingenieur der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden: Die von Herrn Brunner aufgeworfene Frage ist nicht neu. Sie hat schon ziemlich alle Konstruktionsfirmen beschäftigt. Es wurden schon verschiedene komplizierte Lösungen vorgeschlagen, die nach verschiedenen Prinzipien arbeiten. Zum Beispiel sind zu diesem Zwecke entweder die Gleichstrom-Komponenten, oder die Oberwellen der Magnetisierungs-Stromspitzen verwendet worden.

Wir haben einen andern Weg eingeschlagen und glauben einstweilen, das Problem in befriedigender Weise gelöst zu haben, indem wir nur eine Verzögerung verwenden. Wird der Transformator durch seinen eigenen Schalter eingeschaltet, so gewährleistet die Blockierung des Differentialschutzes mit Hilfskontakten am betreffenden Schalter ein erfolgreiches Einschalten. Schwieriger ist das Problem, wenn nach einer Störung im Netz ohne Auslösung des betreffenden Transformator-Schalters die Spannung plötzlich wiederkehrt. Das Verzögerungsrelais muss in diesem Falle durch diese wiederkehrende Spannung ausgelöst werden.

Der Nachteil dieser Lösung besteht offenbar darin, dass der Differentialschutz nur mit einer gewissen Verzögerung eintritt, mit andern Worten, dass während der Verzögerungszeit der Transformator ungeschützt bleibt. Demgegenüber steht aber die grosse Einfachheit des Systems.

A. Brunner: Der Vorschlag, die Blockierung des Differentialschutzes durch das Wiederkehren der Spannung auszulösen, stösst bei uns auf die Schwierigkeit, dass der Differentialschutz mit Rücksicht auf die im speisenden Netz vorgeschalteten Relais mit sehr kleiner Auslöse-Verzögerung — ca. $^1/_{10}$ s — arbeiten muss, so dass es fraglich ist, ob die Blockierung noch rechtzeitig wirken kann.

Der **Vorsitzende** dankt den Herren Diskussionsrednern für ihre Voten und gibt das Wort Herrn Rometsch, Ingenieur für den Betrieb des Elektrizitätswerkes Basel.

Die Erfahrungen mit Transformatoren des EW Basel

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 13. Juli 1944 in Zürich,
von *E. Rometsch*, Basel

621.314.21

Es wird über die Erfahrungen mit den Grosstransformatoren des EW Basel, von denen die ersten im Jahre 1920 in Betrieb kamen, berichtet. Diese Erfahrungen sind völlig befriedigend. Schwierigkeiten ergaben sich einzig bei den Fittings der Oelleitungen und den Dichtungen zwischen Oberteil und Unterteil des Transformatorkastens. Dann werden die Verteiltransformatoren beschrieben, wobei hauptsächlich die Lufttransformatoren berücksichtigt werden. Das EW Basel hat über 400 Lufttransformatoren bis 300 kVA Einzelleistung im Betrieb. Die Transformatoren des Einheitsnetzes sind in runden Kiosken aufgestellt, und sie haben sich in jeder Beziehung bewährt.

Le conférencier parle des expériences faites jusqu'ici avec les grands transformateurs du Service de l'électricité de Bâle, dont les premiers ont été mis en service en 1920. Ces transformateurs ont donné toute satisfaction. On n'a eu guère que quelques petits ennuis avec les raccords des conduites d'huile et les dispositifs d'étanchéité entre les parties supérieure et inférieure de la cuve des transformateurs. M. Rometsch décrit ensuite les transformateurs de distribution, notamment les transformateurs dans l'air. Le Service de l'électricité de Bâle a installé plus de 400 transformateurs de ce genre, pour des puissances allant jusqu'à 300 kVA. Les transformateurs du réseau unifié sont montés dans des kiosques cylindriques et ont toujours parfaitement fonctionné.

a) Die ersten *Grosstransformatoren* kamen beim Elektrizitätswerk Basel im Jahre 1920 im Unterwerk *Birsbrücke* auf der Ostseite der Stadt in Betrieb. Es sind Transformatoren von 7000 kVA Leistung für ca. 50 kV Ober- und 6 kV Unterspannung. Heute sind daselbst 3 solche Transformatoren vorhanden, ferner einer von 12 000 kVA für die gleichen Spannungen.

Im Unterwerk *Voltastrasse* (auf der Westseite der Stadt) stehen heute 4 Transformatoren von je 12 000 kVA. Alle diese Transformatoren haben Aussenkühlung des Oeles; Defekte sind bis heute keine aufgetreten.

Im Unterwerk *Brislach*, wo die Spannung der von dem Kraftwerk Oberhasli ankommenden Energie sowohl für Basel, als auch für die Bernischen Kraftwerke von 150 auf 50 kV abtransformiert wird, stehen heute 3 Freiluft-Transformatoren von je 20 000 kVA Leistung mit unter Last schaltbarem unterspannungsseitigem Stufenschalter für ± 10 Stufen. Die Transformatoren haben künstliche Luftkühlung. Zwei dieser Transformatoren kamen 1932 in Betrieb, der dritte 1941, eigentliche Defekte sind auch hier nicht aufgetreten. Dagegen mussten an den ersten zwei Transformatoren die Oelentlüftungsleitungen auf dem Transformatordeckel geändert werden; alle Fittings mit Gewinde wurden entfernt, da diese einfach nicht dicht zu bringen waren. Es wurde eine geschweisste Rohrinstallation erstellt und, wo nötig, Flanschverbindungen mit