

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 29 (1938)  
**Heft:** 26

**Artikel:** Die schwingfreie Petersenspule und ihr Aufbau  
**Autor:** Kristen, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059025>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

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

Welche Vorzeichen sich nach den Gleichungen  $P_w = UI \cos \varphi$  und  $P_b = UI \sin \varphi$  für die Wirk- und die Blindleistung bei Aufnahme und Abgabe einstellen, hängt ab von den für Klemmenspannung und Strom gewählten Bezugssinnen und davon, welchen Winkel man unter der Phasenverschiebung verstehen will. Das sind aber Dinge, die man nicht allge-

mein festsetzen kann. Die Folge davon ist, dass auch die Frage des Vorzeichens der Wirk- und der Blindleistung offen bleiben sollte.

Darüber, was sich für den Sprachgebrauch besser eignet, sind Herr Haerberli und ich offenbar entgegengesetzter Meinung. Hier könnten nur Beispiele Klarheit bringen.

## Die schwingungsfreie Petersenspule und ihr Aufbau.

Referat, gehalten an der Kurzvorträge-Veranstaltung des SEV vom 9. Juli 1938 in Freiburg,

von J. Kristen, Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich-Oerlikon,

und Diskussion.

621.316.935.2

*Nach einem Ueberblick über die Konstruktionen von Erdschluss-Spulen und die Forderungen, die an sie gestellt werden müssen, wird eine durch Regulierschalter regulierbare Erdschluss-Spule beschrieben, die bei keiner Regulierung offene Wicklungsenden aufweist.*

*Après un aperçu des diverses constructions de bobines d'extinction et des conditions qu'elles doivent remplir, l'auteur décrit une bobine réglable par commutateur qui ne présente en aucune position de réglage des bouts morts.*

Mit dem Zusammenschluss der Kraftwerke ist das Erdschlussproblem zu einer der brennendsten Fragen der Betriebsführung geworden; nach verschiedenen tastenden Versuchen hat 1916 Petersen durch die Erfindung eines ganz neuen Prinzips mit einem Schlage das ganze Problem in eigenartiger Weise gelöst. Dieses Prinzip bestand in der Aufhebung der kapazitiven Kopplung der Kraftsysteme einerseits gegen Erde mittels der Erdschlußspule, andererseits verschiedener Kraftsysteme untereinander mittels der Querspule. Diese Erdschlusslöschung hat sich in Europa, wo der isolierte Betrieb der Netze die nötigen Vorbedingungen gab, sehr schnell und mit grossem Erfolg durchgesetzt; während Amerika wegen der dort üblichen Nullpunktserdung nur zögernd nachfolgte.

Heute kann als unbestritten gelten, dass in Netzen, die mit Erdschlußspulen geschützt sind, die weit- aus häufigsten Erdfehler als kurzer Ueberschlag an der Anlage vorübergehen; die Rückzündungen des aussetzenden Erdschlusses und dessen Ueberspannungen sind unterdrückt; die Aufhebung des Stromes an der Fehlstelle verhindert Abbrennen von Leitungen, Isolatoren und Einbrennen von Entladungsbahnen und Uebergreifen des Erdschlusslichtbogens auf die gesunden Phasen mit Einsetzung eines Kurzschlusses. Bei Dauererdschluss kann der Betrieb erhalten bleiben und so Zeit gewonnen werden für Eingrenzung der Fehlstellen und anderweitigen Dispositionen. Die Generatoranlagen erfahren keine einphasigen Belastungen, es fallen fort Störungen durch Oberwellen und die gefährlichen Schrittspannungen an der Erdschlußstelle werden aufgehoben; die Stabilität grösserer Anlagen erfährt eine wesentliche Erhöhung.

Das Petersensche Prinzip ist durch die Jahre unangetastet geblieben, nur die Betriebsweise desselben hat eine Korrektur erfahren, z. B. durch die Maschinenfabrik Oerlikon betreffend die Querspule, wobei sich diese Korrektur lediglich auf die Spannungsverlagerungen im stationären Betrieb bezieht. Grössere Wandlungen hat der konstruktive Aufbau der Erdschlußspulen erfahren, hauptsächlich ist die Forderung der Regulierbarkeit hinzuge-

kommen, um die Löschwirkung der Erdschluss- spulen den verschiedenen Netzkonfigurationen anzupassen.

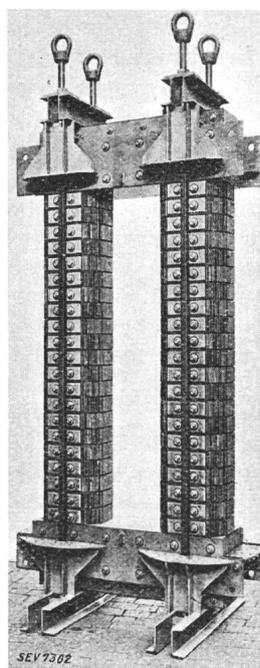


Fig. 1.  
Eisenkörper einer  
5650-kVA-Oerlikon-Erd-  
schlußspule.

Die konstruktive Aufbau weicht in gewissen Punkten stark ab vom Transformatorbau. Der Eisenkern (Fig. 1) ist in den Säulen durch relativ kleine Luftspalte stark unterteilt; der einzelne Luftspalt darf nicht zu gross gemacht werden, um einerseits zu verhindern, dass die magnetischen Kraftlinien nicht weit hinausgedrängt werden und in benachbarten metallischen Teilen, z. B. Wicklungen, Pressbolzen usw. Zusatzverluste auslösen, andererseits um den Kraftfluss nicht über die Flachseiten der Bleche herauszupressen und zu grosse Zusatzverluste, speziell in den Deckblechen zu verursachen. Die Zusammenpressung der Bleche erfolgt über zwei Avional-Platten durch zwei Bolzen; die Höhe der einzelnen Blechpakete wird so klein wie noch konstruktiv zulässig gehalten; meist beträgt sie 70 bis 80 mm. Die Distanzierung der einzelnen Blechpakete erfolgt durch Isolierplatten. Hierdurch ergäbe sich eine isolierte Aufsichtung, so dass kapazitiv von der einseitig geerdeten Drossel- spulwicklung eine Aufladung erfolgen könnte; durch Ableitungen wird jedoch ein Potentialausgleich zu den Jochen bewirkt. Die so aufgebauten Säulen werden mittels Bronzezugstangen mit den Jochen fest verspannt.

Den wichtigsten Teil der Erdschlußspule bildet die Wicklung. Schwierigkeiten bietet für den Konstrukteur der meist grosse, geforderte Regelbereich. Wird z. B. eine Einstellbarkeit des Drossel- spulen-

stromes im Verhältnis 1 : 4 verlangt, so heisst dies, dass bei konstanter Netz-Phasenspannung als Drosselspulenspannung im Erdschluss die Windungszahl der Wicklung im Verhältnis 1 : 2 geändert werden muss. Bei höchstem Drosselspulenstrom muss daher die Wicklung auf halbe Windungszahl reduziert werden. Die Abschaltung so grosser Wicklungsteile ist von jeher ein schwieriges Problem für den Konstrukteur gewesen, wenn man bedenkt, dass bei den üblichen Transformatoren in die Anzapfungen  $\pm 5\%$  verlegt werden und dass bei Regeltransformatoren mit ca.  $\pm 15\%$  gearbeitet wird; grössere Regelbereiche gehören nicht zu den Annehmlichkeiten. Wenn auch das Stromkraftproblem bei Löschspulen nicht die Bedeutung besitzt wie bei den Regeltransformatoren, so ist man doch bestrebt, die Symmetrie im Wicklungsaufbau soweit wie möglich zu wahren.

Die Abschaltung so grosser Wicklungsteile muss von drei Gesichtspunkten aus gewertet werden. Der eine betrifft die räumliche Verteilung der magnetomotorischen Kräfte der Wicklung relativ zu der Verteilung der magnetischen Widerstände im Eisenkreis, der zweite betrifft das Erwärmungsproblem der Erschlußspulen und der dritte das Spannungsproblem der Wicklung.

Um diesen Gesichtspunkten gerecht zu werden, hat die Maschinenfabrik Oerlikon eine neuartige Wicklungsanordnung für regulierbare Erdschlussspulen entwickelt. Es ist einer Ausschreibung der Nordostschweizerischen Kraftwerke zu verdanken, dass sie das Problem gestellt hat, eine regelbare Wicklungsanordnung zu suchen, die abgeschaltete Wicklungsteile soweit wie möglich vermeidet. Die einfachste Anordnung einer solchen regelbaren Wicklung mit einer Stromregelung 1 : 4 zeigt Fig. 2. Es werden die gleichgewickelten Schenkel der Einphasen-Drosselspule, ausgehend von einer Parallelschaltung beider Schenkel (Fig. 2a), über eine Serie-Parallelschaltung (Fig. 2b) in eine reine Serie-Schaltung (Fig. 2c) übergeführt; hierbei ändert die effektive Windungszahl 1 : 2. Natürlich lassen sich auch kleinere Stromregelverhältnisse als 1 : 4 bauen, wobei 1 : 4 wohl als oberste Grenze zu betrachten wäre.

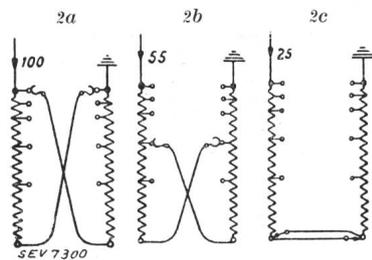


Fig. 2. Schematische Wicklungsanordnung einer regulierbaren Oerlikon-Erdschlussspule.

Um die Verteilung der magnetomotorischen Kraft der Wicklung über die Schenkellänge stets symmetrisch relativ zu den Säuleneisen zu halten, wurde eine Parallelschaltung pro Säule vorgenommen (Fig. 3). Im Verlauf der Regelung ist die Verteilung der magnetomotorischen Kraft längs der Säule eine gebrochene Linie, indem durch den seriegeschalteten Wicklungsteil eine magnetomoto-

rische Kraftkonzentration an die Enden der Säulen verlegt ist. Es bedingt dies eine Forcierung der Kraftlinien über alle Luftspalte, somit kleine Zusatzverluste. Meist wird eine Stufung derart verlangt, dass der Stromregelbereich gleichmässig auf

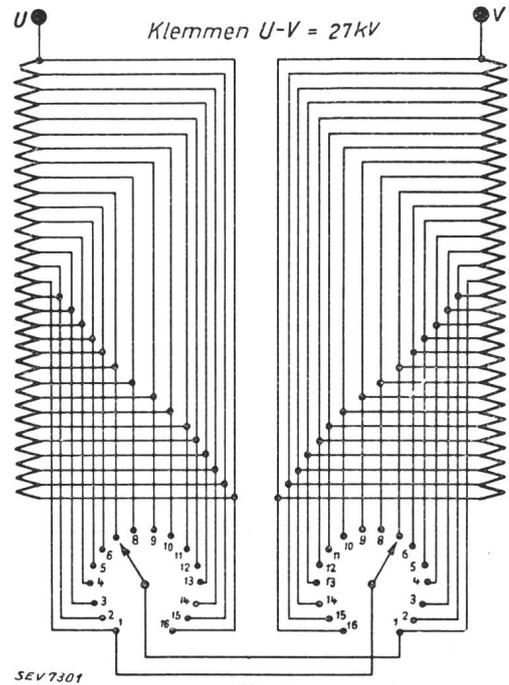


Fig. 3. Verbindungsschema einer in 16 Stufen regulierbaren Oerlikon-Erdschlussspule, mit Parallelschaltung pro Säule.

Stellung	A	Stellung	A	Stellung	A	Stellung	A
1	20	5	36	9	52	13	68
2	24	6	40	10	56	14	72
3	28	7	44	11	60	15	76
4	32	8	48	12	64	16	80

die Stufen des Anzapfschalters aufgeteilt ist, was eine Konzentration der Anzapfungen am Säulende bedingt.

Bezüglich der Abfuhr der Verlustwärme, die nicht einmal 1 % beträgt, ist zu sagen, dass heute Erdschlussspulen entweder für Dauerbetrieb oder für Zweistundenbetrieb vorgesehen werden. Dementsprechend baut die Maschinenfabrik Oerlikon die Kessel mit angeschweissten Radiatoren oder als glatte Kessel. Die ganze Wicklung wird abgestuft mit mehreren Kupferquerschnitten ausgeführt und hat während der gesamten Regelung stets das gesamte Kupfergewicht und die gesamte Spulenoberfläche zur Reduktion der Verlustwärme und zur Ueberleitung der Verluste ans Oel wirksam.

Der spannungstechnische Detailaufbau der Wicklung entspricht dem modernen Transformatorenbau; die MFO isoliert meist durchwegs mit viellagiger Papierisolation und verwendet am Wicklungseingang Schutzringe für gute Spannungsverteilung. Die Erdschlussspule unterbindet die Folgeerscheinungen des aussetzenden Erdschlusses; diese betriebsmässigen Beanspruchungen bilden aber nur ein Teilproblem im Ueberspannungsproblem der stossartigen Gewitterüberspannungen; letztere kann die Erdschlussspule nicht eliminieren, nur liefern dieselben

bei Isolationsdurchbruch das Netz nicht den Folgen des aussetzenden Erdschlusses aus. Die Statistik zeigt, dass 70 bis 80 % aller Netzstörungen einphasiger Natur sind; als wahrscheinlichste Ursache mehrpoliger Ueberspannungen sind die rückwärtigen, z. B. bei Masteinschlag, anzusehen. Zum Anschluss der Erdschlußspule dient entweder der Nullpunkt eines entsprechenden Leistungstransformators oder es wird ein künstlicher Nullpunkt für den Anschluss mittels Hilfstransformators geschaffen. Die übliche Schaltung ist Stern-Dreieck mit herausgeführten Nullpunkt, welche Schaltung eine kleine Impedanz, in der Größenordnung der Streuspannung eines Transformators, für die Nullpunktströme schafft. Bei Gewitterueberspannungen im Netz treffen dieselben den Hilfstransformator, doch erreichen die Wanderwellen nicht in dieser Form die Erdschlußspule, sondern sie werden ent-

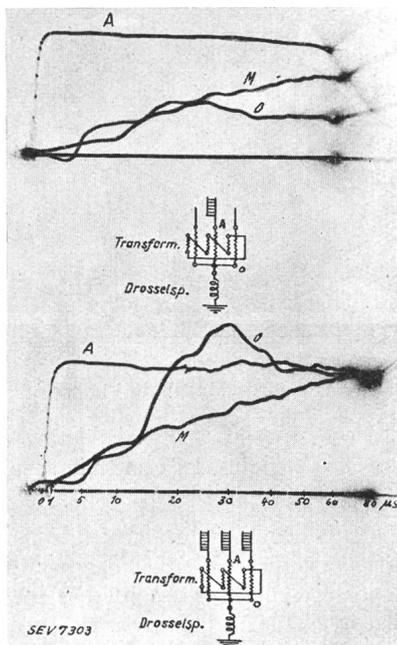


Fig. 4.

Kathodenstrahl-Oszillogramm einer einpoligen und dreipoligen Transformator-Stossbeanspruchung mit Erdschlußspulen-Anschluss.

sprechend der Eigenschwingung des Hilfstransformators umgeformt. Die Spule selbst ändert die ganze Nullpunktschwingung nicht wesentlich. Der untere Teil von Fig. 4 zeigt einen Hilfstransformator mit angeschlossener Erdschlußspule unter dem Einfluss atmosphärischer Wanderwellen, die gleichsinnig auf allen Leitungen verlaufen. Am Wicklungseingang zeigt Kurve A den Spannungsverlauf; dieser entspricht einer Rechteckwelle, die in die Wicklung einzieht und am offenen Nullpunkt reflektiert wird; es entsteht dort eine Nullpunktschwingung O, deren Frequenz ca. 17 000 Per./s oder das 350fache der Betriebsfrequenz beträgt. Die dritte Kurve M ist der Spannungsverlauf an der Mittelstelle einer Phasenwicklung; dieser Punkt war hier zugänglich. Man sieht, dass der offene Nullpunkt für die einziehende Wanderwelle einen Reflexionspunkt darstellt; die Spannung pendelt über dem Wert, der am Wicklungseingang herrscht. Dieses Ueberpendeln wird nur durch die Dämpfung gemildert; die durchgeführten Versuche ergaben den 1,2fachen Spannungswert. Normalerweise

liegt diese Frequenz im Bereich der 100- bis 1000fachen Netzfrequenz. Wird der Hilfstransformator nur einpolig durch eine atmosphärische Wanderwelle getroffen, so liegen die Verhältnisse entsprechend der oberen Figur. Es ist A wieder

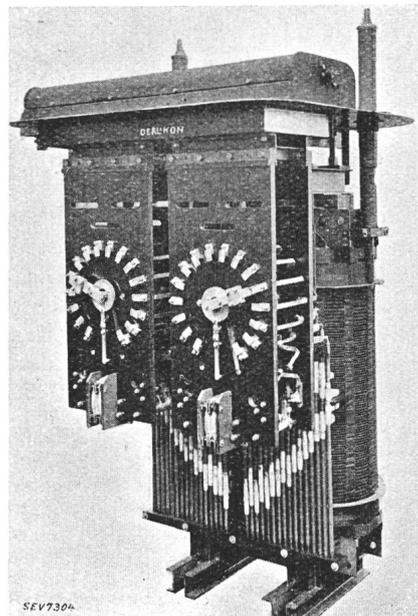


Fig. 5.

Innenaufbau einer 2300-kVA-Oerlikon-Erdschlußspule für ein 50-kV-Netz.

der Spannungsverlauf am Wicklungseingang; die Wanderwelle zieht in den mittleren Schenkel ein und gabelt sich am Nullpunkt, der jetzt kein offener Punkt ist, in die zwei anderen Schenkel und

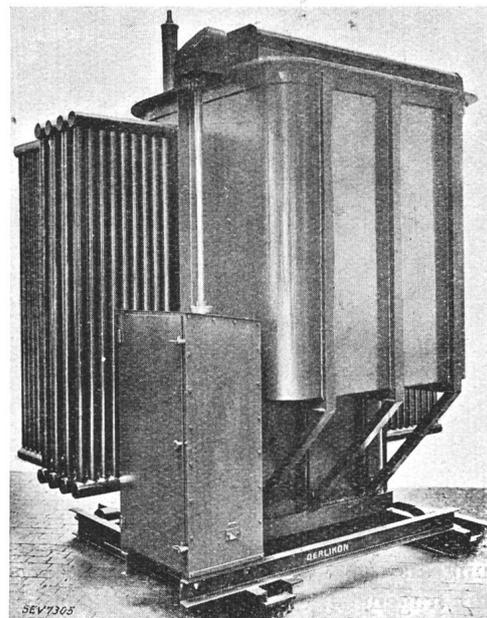


Fig. 6.

Aussenaufbau der Oerlikon-Erdschlußspule Fig. 5.

läuft geteilt auf den beiden unendlich lang gedachten Leitungen weiter. Den Spannungsverlauf am Nullpunkt zeigt wieder Kurve O; er ist wesentlich gemildert. Dasselbe gilt vom Mittelpunkt M. Diese

Rechteckwellen-Beanspruchung ist nur ein häufiger, aber wichtiger Sonderfall. Erfolgt nämlich die Beanspruchung durch hochfrequente Wellenzüge, so können diese immer als sukzessive positive und negative Rechteckwellen-Beanspruchungen aufgefasst werden und die obigen Ergebnisse superponieren sich. Diesen zu erwartenden Beanspruchungen am Nullpunkt der Anschlusstransformatoren ist die Isolation des Nullpunktes selbst als auch aller Anschlüsse zu koordinieren.

Wie erwähnt, ist die Erdschlußspule stets Wellenzügen ausgesetzt. Andererseits verlangt die Regelbarkeit Aenderung der Windungszahl, wobei die abzuschaltenden Wicklungsteile meist in ganzen konzentrischen Spulen, die über eine konstante Stammwicklung angeordnet sind, lagenweise abgezapft werden. Eine Abschaltung der Regelwindungen kann am Anfang, in der Mitte oder am Ende der gesamten Wicklung erfolgen. In jedem Falle aber wird der abgeschaltete offene Wicklungsteil sowohl induktiv wie kapazitiv eine starke Kopplung mit der Stammwicklung besitzen. Grosse, offene Wicklungsteile haben als schwingungsfähige Reflexionspunkte in nächster Nähe der eingeschalteten Stammwicklung, spannungsmässig gesehen, Eigenheiten, denen bei der Isolation sowohl der

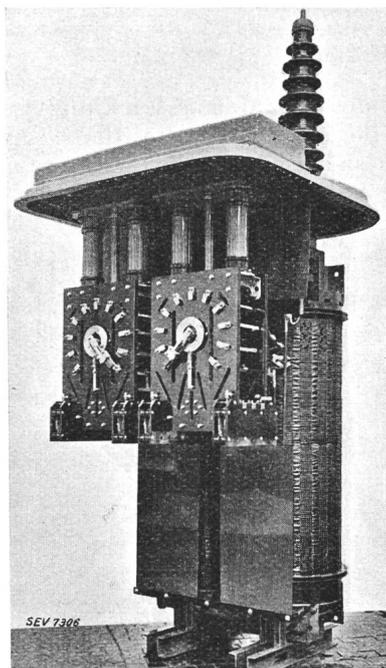


Fig. 7.

Innenaufbau einer 5650-kVA-Oerlikon-Erdschlußspule für ein 150-kV-Netz.

Wicklung als auch des Anzapfswitchers stets Rechnung zu tragen ist. Es ist ja seit langem bekannt, wie z. B. bei Spannungsproben streng darauf geachtet wird, alle offenen Enden der auf Prüfspannung gebrachten Wicklung untereinander metallisch zu verbinden, denn die kleinste Anregung an einem Ort kann an den offenen Enden Schwingungen auslösen, die oft zu unbegreiflichen Ueberschlägen führen.

Die neue Wicklungsanordnung bedeutet in diesem Sinne einen wesentlichen Fortschritt, indem keine abgeschalteten offenen Wicklungsteile vorhanden sind und stets die Wicklung der ganzen Säule eingeschaltet ist; auch ist der jeweils parallel geschaltete zweite Wicklungsteil der andern Säule

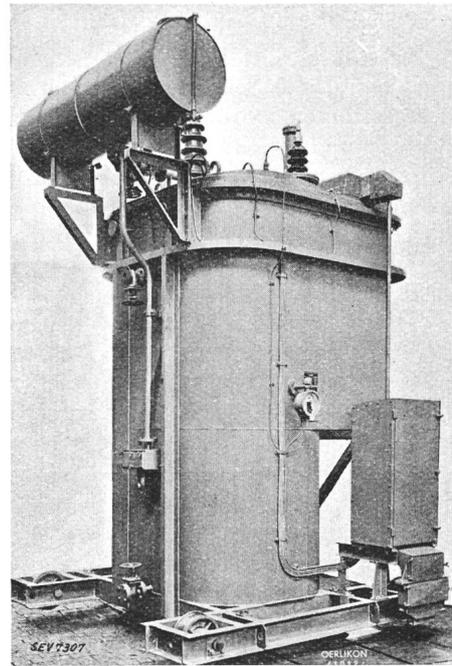


Fig. 8.

Aussenaufbau der Oerlikon-Erdschlußspule Fig. 7.

weit entfernt und von ganz gleichem elektromagnetischem Aufbau.

Normalerweise erfolgt die Regelung mittels Anzapfswitcher, der in erdschlussfreiem Netzzustand betätigt wird. Grosse Betriebe stellten in den letzten Jahren jedoch die Forderung, eine Schaltung unter Last vorzunehmen, wodurch der von den Regeltransformatoren bekannte Lastschalter übernommen wurde. Solche Erdschlußspulen sind seit 1935 im Betrieb. Der Lastschalter hat einen Wähler in Plattenbauart und separate Lastschalter über Widerstände; die Betätigung erfolgt über einen Kraftspeicherantrieb.

Zum Schlusse seien noch einige Bilder der wohl heute grössten in der Schweiz installierten regelbaren Erdschlußspulen gezeigt.

In Fig. 5 und 6 wird eine 2300-kVA-Spule für ein 50-kV-Netz mit einer Stromregelung von 20 bis 80 A, für Dauerbetrieb, gezeigt. Fig. 7 und 8 beziehen sich auf eine 5650-kVA-Spule für ein 150-kV-Netz mit einer Stromregelung 25 bis 65 A, für Zweistundenbetrieb und Freiluftaufstellung.

### Diskussion.

Der Vorsitzende verdankt diese Ausführungen bestens. Herr Kristen hat eine hübsche Lösung des vom Betrieb gestellten Problems des Baues solcher Drosselspulen bekanntgegeben.

Herr A. van Gastel, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden: Die Bedeutung der Erdschlusskompensation spiegelt sich ab in der Grösse der Löserspulenleistung. Herr Kristen hat bereits Lichtbilder gezeigt von Spulen mit einer Leistung von 5650 kVA für ein 150-kV-Netz. Im Anschluss hieran möchte ich zwei Bilder einer 12 000-kVA-Spule zeigen (Fig. 1 und 2). Die Spule wurde kürzlich in Betrieb genommen; sie schützt die 150-kV-Leitung Bodio-Gösigen. Weitere grosse Einheiten

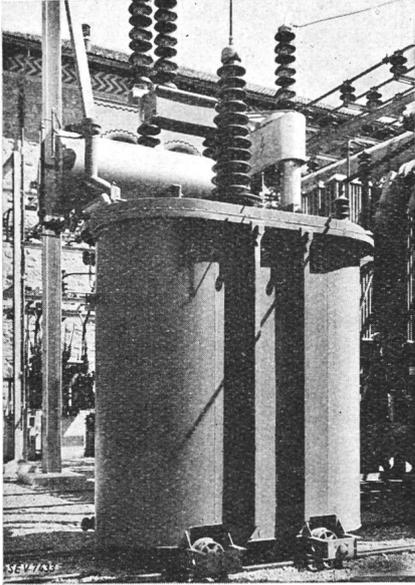


Fig. 1.

befinden sich augenblicklich in den Werkstätten in Baden im Bau; es seien erwähnt:

- 2 Spulen mit Leistungen von 18 000 kVA zum Schutze einer 150-kV-Kabelstrecke,
- 1 Spule mit einer Leistung von 23 000 kVA und
- 2 Spulen mit je 27 000 kVA, bestimmt für die Erdschlusskompensation von 220-kV-Leitungen.

Die letztgenannten Spulen dürften meines Wissens zu den grössten Einheiten gehören, die je gebaut wurden.

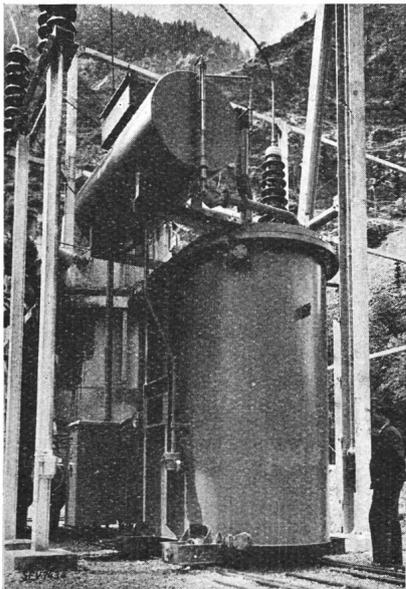


Fig. 2.

Alle diese Spulen sind nicht-schwingungsfreie Löserspulen, ebensowenig wie die von der Maschinenfabrik Oerlikon gebauten Erdschlussspulen. Der Titel des Vortrages: «Die schwingungsfreie Petersenspule und ihr Aufbau» ist in dieser

Beziehung wenig präzise und kann deshalb leicht zu Missverständnissen führen. Was bei Transformatoren — und das gilt auch für Löserspulen — unter «Schwingungen» zu verstehen ist, wurde seinerzeit im Vortrag des Herrn Dr. Goldstein und im anschliessenden Diskussionsbeitrag des Herrn Kübler in klarer Weise auseinandergesetzt<sup>1)</sup>. Es handelt sich hier um den periodisch wechselnden Austausch von Ladungen der Wicklungskapazitäten (Kapazitäten der Windungen gegen Erde und gegeneinander) und magnetischen Energiemengen der Windungsinduktivitäten (Eigeninduktivitäten und Induktivitäten der Windungen gegeneinander). Am Anfang werden die Schwingungen eingeleitet mit der nicht-stationären kapazitiven Verteilung der Spannung der einlaufenden Welle über die Wicklung. Die Schwingungen bilden den Uebergang zur stationären Verteilung der Spannung entsprechend den Wicklungsinduktivitäten. Ausser den erwähnten Wicklungskonstanten (die im Grunde genommen nur zum Teil konstant sind) spielt noch die Art der Nullpunktserdung eine Rolle.

Durch spezielle Massnahmen können die Schwingungen grösstenteils unterdrückt werden. Da aber im Vortrag des Herrn Kristen von solchen Massnahmen nicht die Rede war, kann es sich nicht um eine schwingungsfreie Lösung handeln, wie nach dem Titel des Vortrages eigentlich zu erwarten gewesen wäre. Spulen in der von Herrn Kristen beschriebenen Schaltung dürfen deshalb nicht als schwingungsfreie Petersenspulen bezeichnet werden.

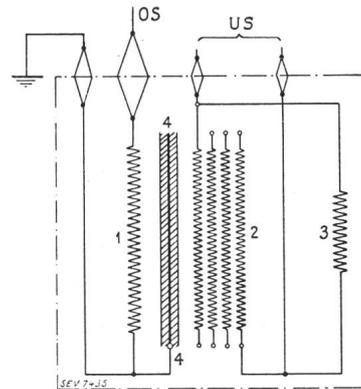


Fig. 3.

Was nun die von Herrn Kristen erläuterte Schaltung betrifft, so sei hier festgehalten, dass auch andere Lösungen möglich sind, bei denen die Stromregelung so erfolgt, dass an der mit dem Netznullpunkt metallisch verbundenen Wicklung keine abgeschalteten Wicklungsteile auftreten. Eine solche Lösung ist schematisch in Fig. 3 dargestellt. In diesem Falle besteht die Spule aus einer Primärwicklung 1, einer Sekundärwicklung 2 und einer Hilfsdrosselspule 3. Die Primärwicklung ist am Netznullpunkt angeschlossen und besitzt keine Anzapfungen. Dementsprechend arbeitet die Spule mit unveränderlicher Windungszahl und, da die Nullpunktspannung als konstant anzusehen ist, auch mit konstantem Fluss. Die Verhältnisse sind somit die gleichen wie bei einem Transformator, allerdings mit dem Unterschied, dass durch den Einbau der Luftspalte im Eisenkern der aufgenommene Magnetisierungsstrom bedeutend grösser ist als beim Transformator. Er bildet die unterste Grenze des Stromregulierbereiches.

Um den Strom zu vergrössern, wird die Löserspule als Transformator belastet. Zu diesem Zweck ist die Sekundärwicklung mit Anzapfungen versehen und über eine Drosselspule geschlossen. Auf der Primärseite addieren sich der Magnetisierungsstrom und der Belastungsstrom.

Die Vorteile dieser Schaltung sind offensichtlich. Besonders bei den hohen Spannungen ist die Wicklung ohne Anzapfungen, deren Isolation durch keine Ableitungen geschwächt wird, immer noch als die beste Lösung zu betrachten. Ein weiterer Vorteil ist in der Verlegung des Stufenschalters auf die Sekundärseite zu erblicken. Die Spannung sekundärseitig kann frei gewählt werden und somit besteht die Möglichkeit, die Spannung dem Stufenschalter so anzupassen, dass dieser unter den günstigsten Bedingungen zu

<sup>1)</sup> Bull. SEV 1934, Nr. 22, S. 58.

arbeiten hat. Schliesslich werden die modernen Lösschspulen sowieso mit Sekundärwicklung ausgeführt, da diese Sekundärwicklung die verschiedensten Aufgaben erfüllen kann (Spannungswicklung, Schutzwicklung, Leistungswicklung).

Um eine kapazitive Uebertragung der Ueberspannungswelle auf die Sekundärwicklung auszuschalten, kann ein gedrehter Belag 4 zwischen Primär- und Sekundärwicklung eingebaut werden, wie dies in Fig. 3 angegeben ist.

Herr Dr. J. Goldstein, Zürich: Zu den interessanten Ausführungen des Herrn Kristin gestatte ich mir folgende Bemerkungen zu machen:

Die Möglichkeit, viele Stromstufen mit einer in weiten Grenzen variablen Erdschluss-Stromstärke zu erhalten, ist meines Erachtens durch die von der AEG entwickelte Erdschlußspule mit Doppelkern (Ausführung nach A. Hundt) gegeben. Man kann die Spulen der beiden Kerne einzeln oder parallel schalten, wobei jede Spule durch entsprechende Schaltungen noch für sich regelbar ist. Nach dieser Ausführungsart des öfteren gelieferte Erdschlußspulen wiesen Regelbereiche mit Stromstärken im Verhältnis von etwa 1 : 12 auf.

Was die Abschaltungen an Wicklungen von Erdschlussspulen anbetrifft, so muss die Parallele zu Transformatorwicklungen, die vom Herrn Referenten gezogen wurde, in einer Beziehung richtiggestellt werden. Die Gefahren, die von Abschaltungen bei Erdschlußspulen herrühren könnten, dürften keineswegs mit denjenigen Gefahren, die Abschaltungen bei Transformatorwicklungen zeitigen, verglichen werden. Schon aus dem Grunde nicht, weil bei Erdschlussspulen nur eine stromführende Wicklung vorhanden ist und daher die dynamischen Kräftwirkungen der Transformatorwicklungen gar nicht auftreten können. In anderen Beziehungen, und darin muss ich dem Herrn Referenten beipflichten, ist eine Wicklung ohne Abschaltungen auch für Erdschlußspulen günstig. Das Vorhandensein toter Wicklungsteile ist zweifellos eine Gefahrenquelle in isolations-technischer Beziehung; auch ist eine ungleichmässige Ampereverteilung auf der Schenkellänge aus den vom Referenten erwähnten Gründen unerwünscht.

Die Schwingungsfreiheit der vom Referenten beschriebenen Spule müsste ich in Uebereinstimmung mit meinem Vorredner, Herrn van Gastel, als unerwiesen und fraglich bezeichnen. Die Schwingungsfreiheit einer Wicklung in dem Sinne, wie sie heute als akute Frage im Transformatorbau verstanden wird, bedeutet doch nichts anderes, als dass beim Auftreffen einer Stosswelle der Anfangs- und Endzustand der Spannungsverteilung an der Wicklung einander näher gerückt, womöglich zur Deckung gebracht werden. Ohne besondere Vorkehrungen, die eine gleichmässige Verteilung der gegenseitigen Kapazität und Induktivität der Wicklungselemente zum Ziele und eine Kompensation der durch die ungleiche Kapazität der Wicklungselemente gegen Kern verursachten Ströme zur Folge haben, ist es wohl kaum möglich, eine Wicklung schwingungsfrei zu gestalten. Es wäre interessant, vom Herrn Referenten zu erfahren, inwiefern diese Gesichtspunkte bei der von ihm geschilderten Petersenspule zur Geltung gekommen sind.

**Schlusswort des Referenten:** Der Titel meines Vortrages sollte nur als Abkürzung dienen für eine regelbare Petersenspule ohne frei schwingende Enden, wie dies auch klar in der Problemstellung gesagt wurde, indem «eine Ausschreibung der Nordostschweizerischen Kraftwerke das Problem gestellt hat, eine regelbare Wicklungsanordnung zu suchen, die abgeschaltete Wicklungsteile soweit wie möglich vermeidet».

Mit dem Problem des schwingungsfreien Transformators im Sinne der grundlegenden und erschöpfenden Arbeiten von Blume und Boyajian 1919 und Pahueff 1929, die Herr Dr. Goldstein 1933 wiederholt hat, hat unsere Anordnung nur insofern Verwandtschaft, dass abgeschaltete Wicklungsteile einen solchen Aufbau noch äusserst komplizieren würden und keinesfalls mit den von Dr. Goldstein erwähnten Lagerwicklungen gelöst sind.

Die Verlegung der Regelung der Petersenspule auf die Sekundärseite nach Herrn van Gastel ist keine vollwertige Lösung der Spannungsfrage, da die kapazitive Abschirmung nur den kleinsten und unwichtigsten Teil der übertragenen Ueberspannungswellen trifft und man sich mit dem grössten Teil derselben auch hier an der Sekundärseite auseinandersetzen muss.

## Schnellwirkende Schutzrelais.

Referat, gehalten an der Kurzvorträge-Veranstaltung des SEV vom 9. Juli 1938 in Freiburg,

von J. Stöcklin, Baden.

621.316.925.45

*Zum Aussertrittfallen ist eine für jedes Netz verschiedene kritische Störungsdauer nötig. Der einzig gangbare Weg zur allgemeinen Lösung des Stabilitätsproblems besteht darin, die Störung innerhalb der kritischen Störungsdauer abzuschalten. Diese Dauer kann in ungünstigen Fällen 0,3 s betragen. Um allen Fällen zu genügen, dürfte also die Abschaltzeit nur 0,25 s betragen. Es wird im folgenden ein Schnell-Distanzschutz beschrieben, der diese Forderung erfüllt.*

*Pour que les machines d'une usine cessent de marcher en synchronisme, une durée de perturbation critique, variable pour chaque réseau, est nécessaire. Dans les cas les plus défavorables elle sera de l'ordre de 0,3 s. La solution du problème de stabilité est donc à rechercher dans la déconnection rapide (ne dépassant pas 0,25 s) de la partie du réseau dans laquelle la perturbation s'est produite. L'auteur décrit par la suite un dispositif de protection à distance remplissant cette condition.*

Vor 10 Jahren, zur Zeit als die Serienfabrikation der Brown-Boveri-Distanzrelais aufgenommen wurde, galten Abschaltzeiten von 0,5 bis 1,5 Sekunden als kurz und erstrebenswert. Sie entsprachen den kürzesten Zeiten gestaffelter Maximalstromrelais. Das Distanzprinzip, wie auch seine konstruktive Lösung, bewährten sich in der Folge stets, wenn bei Kurzschluss die Kraftwerke im Synchronismus blieben. In vielen Netzen ist dies, mit der seltenen Ausnahme dreipoliger Kurzschlüsse an bestimmten Stellen, der Fall; andere Netze erreichen schon bei zweipoligen Störungen die Stabilitätsgrenze. Das Aussertrittfallen verursacht beim Distanzschutz überzählige Relaisauslösungen, weil die entstehenden Spannungs-Strom-Verhältnisse naheliegenden Kurzschluss vortäuschen. Diese Erfah-

rungen bildeten seit Jahren den Anstoss zur theoretischen Behandlung des Stabilitätsproblems der Hochspannungsnetze bei Kurzschluss. Sie führten auch zu praktischen Massnahmen an den vorhandenen Relais in Form besonderer Einstellung und sogenannter Pendelsperren, die beide überzählige Abschaltungen bei Aussertrittfallen verhindern oder beschränken sollen. Offensichtlich können diese Behelfsmassnahmen nur die Folgen des Aussertrittfallens mildern; sie bekämpfen das Uebel in seiner Auswirkung, nicht bei der Ursache.

Der Kampf gegen die Ursachen ist zunächst kein Relaisproblem. Die Ursachen der Unstabilität bei Kurzschluss liegen im verschiedenen Aenderungsdrang der Drehzahl der einzelnen Kraftwerke, hervorgerufen durch die plötzliche Aenderung der Be-