Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 18 (1927)

Heft: 11

Artikel: Über den Einfluss der räumlichen Anordnung von nichtarmierten, mit Drehstrom gespeisten Einleiter-Kabeln auf die Ausbildung von Bleimantelströmen

Autor: Schmid, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058648

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: 22.08.2025

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

d) Einen wichtigen Punkt der ganzen Untersuchung bilden natürlich die *spezifischen Backkosten.* Die Tabelle zeigt, dass diese für die elektrisch beheizten Backöfen etwas höher als bei den übrigen Backöfensystemen waren; dass aber, wenn der mittlere Strompreis von 3,8 auf 3 Rp./kWh noch heruntergesetzt werden kann und der spezifische Stromverbrauch durch die bereits früher erwähnten Mittel auf ca. 0,6 kWh/kg Brot (anstatt 0,87 kWh/kg bei den untersuchten, im allgemeinen viel zu grossen Oefen) erniedrigt wird, die spezifischen Backkosten ungefähr gleich hoch werden wie bei den Dampf- und Holzbacköfen und etwas niedriger als bei den direkt beheizten Kohlenöfen. Der Vollständigkeit halber erwähnen wir noch, dass die Brennstoffpreise, die wir unsern Berechnungen gemäss Angaben der Bäcker zu Grunde gelegt haben, auch heute noch gelten.

Bei diesem Kostenvergleich darf nicht ausser acht gelassen werden, dass der elektrische Betrieb eine ganze Reihe anderer Vorteile mit sich bringt (wie z. B. den saubereren und bequemeren Betrieb), die durch solche Zusammenstellungen nicht erfasst werden können.

Ueber den Einfluss der räumlichen Anordnung von nicht armierten, mit Drehstrom gespeisten Einleiter-Kabeln auf die Ausbildung von Bleimantelströmen.

Von der *Materialprüfanstalt und Eichstätte des S. E. V.*
(Ing. *P. Schmid,* Zürich).

621.319.34 (0068)

In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss der räumlichen Anordnung von nicht armierten, mit Drehstrom gespeisten Einleiter-Kabeln auf die Ausbildung von Bleimantelströmen untersucht. Von der Ueberlegung ausgehend, dass diese Ströme zu Energieverlusten und damit zu einer zusätzlichen Erwärmung der Kabel führen, beauftragten die Kraftwerke Oberhasli A.-G. die Materialprüfanstalt des S. E. V. mit der Durchführung entsprechender Messungen an drei Versuchskabeln. Die gewonnenen Ergebnisse gelangen bei der Anordnung der Kabel im Stollen Handeck-Guttannen zur Anwendung. Dieser Stollen ist 5 km lang, die zu transportierende Leistung ist ca. 100 000 kVA. Im folgenden wird über Art und Umfang der Versuche berichtet. Ferner werden an Hand von Kurventafeln die erhaltenen Resultate mitgeteilt und kurz besprochen.

Le présent article est consacré à examiner l'influence de la disposition mutuelle de câbles non armés, à un conducteur, pour courant triphasé, sur la production de courants induits dans le manteau de plomb. Ces courants parasites ayant pour conséquence des pertes d'énergie, d'où un échauffement supplémentaire des câbles, les Forces Motrices de l'Oberhasli, S. A. ont chargé la station d'essai des matériaux de l'A. S. E. de procéder à des mesures spéciales sur trois câbles d'essai. Les résultats obtenus sont appliqués à la disposition des câbles dans le tunnel Handeck-Guttannen, de 5 km de longueur, prévu pour le transport d'une puissance de 100 000 kVA environ. On trouvera ci-après un compte-rendu des essais, puis la discussion des résultats, reportés graphiquement dans des tableaux.

I. Einleitung.

Fliesst durch die Seele eines Einleiter-Kabels ein Wechselstrom, so induziert das ihn umgebende Magnetfeld im Bleimantel eine E. M. K., die, bei sonst gleichen Umständen, von der Stromstärke und der Länge des Kabels linear abhängig ist.

Betrachten wir nun drei Kabelstücke, die durch eine Drehstromquelle gespeist werden, so ist die E. M. K. zwischen Anfang und Ende jedes Bleimantels von allen drei Strömen abhängig. Deshalb tritt hier als weiterer Faktor, der auf die Grösse der induzierten E. M. K. von Einfluss ist, die *räumliche Anordnung der Kabel* in Erscheinung.

Im Kraftwerksbetrieb ist es notwendig, die Bleimäntel mindestens an beiden Enden zu erden, d. h. die nebeneinander liegenden Enden der Bleimäntel werden durch eine Verbindung von sehr geringem Widerstand an die Erdsammelschiene angeschlossen. Dadurch bilden sich in den Bleimänteln Ströme aus, deren Stärke ebenfalls von obgenannten Faktoren abhängig ist. Man wäre versucht, ein solches System mit einem eisenlosen, sekundär kurzgeschlossenen Transformator zu ver-

gleichen, nur ist dabei zu beachten, dass *alle* sechs Ströme miteinander gekoppelt sind. Der Vergleich ist hingegen insofern richtig, als die Energie zur Deckung der in den Bleimänteln auftretenden Verluste dem Primär-System entzogen wird.

Diese zusätzlichen Verluste lassen sich, bei Betriebsspannungen unter rund 50 kV (verkettet) und nicht zu grossen Kupferquerschnitten dadurch vermeiden, dass man Dreileiter-Kabel verwendet. Andernfalls sind sie nicht zu umgehen und erfordern, bei Hochspannungskabeln, wegen der zusätzlichen Erwärmung des Bleimantels die Aufmerksamkeit des projektierenden Ingenieurs.

Diese Ueberlegung führt dazu, dass in besonders wichtigen Fällen durch Versuche die Grösse der Bleimantelströme experimentell ermittelt werden sollte.

Ein solcher Fall liegt bei dem im Bau begriffenen Kraftwerk Handeck[1]) der Kraftwerke Oberhasli A.-G. (K. W. O.) Innertkirchen vor. Hier handelt es sich darum, die gesamte Leistung des genannten Kraftwerkes, von der Grössenordnung 100000 kVA, vermittelst Kabeln über eine 5 km lange Strecke weiterzuleiten. Die Kabel werden hiebei in einem begehbaren Stollen verlegt, der im Winter eine sichere Verbindung zwischen Handeck und dem talabwärts gelegenen Dorfe Guttannen gewährleistet.

Bei der Wichtigkeit dieser Leitung und in Anbetracht, dass Betriebserfahrungen mit Anlagen ähnlicher Grösse bis jetzt nur in geringer Zahl vorliegen, beauftragten die K. W. O. die Technischen Prüfanstalten des S. E. V. mit der Durchführung von Messungen an Versuchs-Kabeln, gemäss einem weiter unten angegebenen Programm.

Da unseres Wissens nur wenige Untersuchungs-Ergebnisse[2]) über den Einfluss der räumlichen Anordnung auf die Ausbildung von Bleimantelströmen veröffentlicht worden sind, glauben wir, dass einige Angaben über die obgenannten Versuche die Leser des Bulletins S. E. V. interessieren dürften.

Die Erlaubnis zur Bekanntgabe der Versuchs-Ergebnisse sei hiermit unserer Auftraggeberin, der *Kraftwerke Oberhasli A. G.* bestens verdankt. Zu Dank verpflichtet sind wir ferner der *Kabelwerke Brugg A.-G.*, in deren Fabrikareal die Versuche durchgeführt wurden, und die uns bei der Vornahme der Messungen tatkräftige Unterstützung angedeihen liess.

II. Art und Umfang der Versuche.

A. Allgemeine Angaben.

Für die Versuche standen drei Kabelstücke von je 83,6 m Länge zur Verfügung. Die Verlegung war durch die örtlichen Verhältnisse bedingt und ist in Fig. 1 wieder-

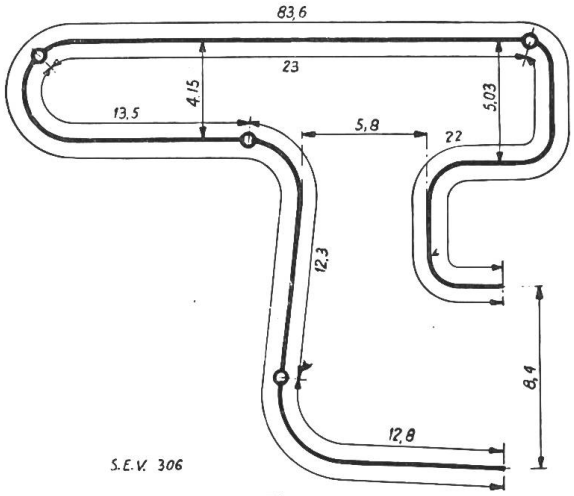

Fig. 1.
Verlegungsplan der Kabel (Masse in m).

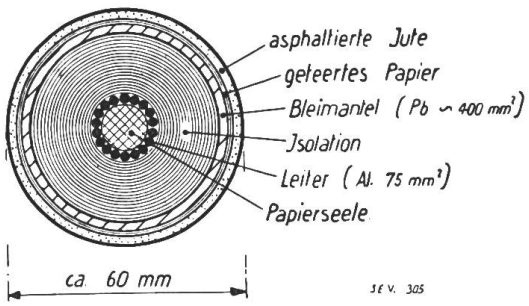

Fig. 2.
Aufbau eines Versuchskabels

[1]) EineBeschreibung des Projektes findet sich in Schweiz. Bauzeitung, Bd. 85, Seite 13 und ff. Siehe ferner Schweiz. Bauzeitung Bd. 90, Seite 225 und ff.

[2]) Siehe z. B. E. T. Z. 1927, Seiten 1150 und 1361.

gegeben. Anfang und Ende des Stranges mündeten durch Deckenfenster in einen, im Untergeschoss befindlichen Maschinenraum. Hier war ein geschütztes Aufstellen der Instrumente, sowie der Anschluss der Kabel an einen besonderen Drehstrom-Generator in bequemer Weise möglich.

Der Leiterquerschnitt des Kabels beträgt 75 mm² Al, der Bleimantelquerschnitt rund 400 mm². Ueber den Aufbau des Kabels dürfte Fig. 2 genügenden Aufschluss geben. Es sei noch betont, dass es sich hier um Versuchskabel in dem Sinne handelt, dass zu Studienzwecken ein Leiter von geringem Querschnitt, aber normaler, radialer Beanspruchung des Dielektrikums geschaffen werden sollte.

Es sei ferner auf die Umhüllung des Bleimantels mit getränktem Papier und asphaltierter Jute hingewiesen, welche die Ableitung von Strömen zur Erde verhinderte.

B. Versuchsprogramm.

Bei der Ausführung der Versuche zur Bestimmung des Einflusses der räumlichen Anordnung auf die Bleimantelströme beschränkte man sich auf die praktisch in Betracht kommenden Anordnungen. Es sind dies:

1. *Anordnung der Kabel in einer Ebene.*
   a) Direkt nebeneinander liegend (Achsabstand ca. 60 mm).
   b) Abstand zwischen den Leiterachsen 100 mm.
   c) Abstand zwischen den Leiterachsen 200 mm.
   d) Abstand zwischen den Leiterachsen 300 mm.
2. *Anordnung der Kabel im gleichseitigen Dreieck.*
   a) Direkt nebeneinander liegend (Achsabstand ca. 60 mm).
   b) Abstand zwischen den Leiterachsen 100 mm.
   c) Abstand zwischen den Leiterachsen 200 mm.
   d) Abstand zwischen den Leiterachsen 300 mm.

Die unter 2*b* bis 2*d* genannten Anordnungen wurden durch Verwendung von rund 40 hölzernen Profilstützen hergestellt.

Verlangt war für jede dieser acht Anordnungen die Bestimmung der Bleimantel-Ströme oder -Spannungen, sowie der Energieverluste bei geschlossenen und offenen Bleimantelstromkreisen in Abhängigkeit vom Leiterstrome.

C. Messeinrichtung.

Die Messungen wurden mit Drehstrom von rund 50 Per./sec durchgeführt. Die Variation der Leiterstromstärke erfolgte durch Veränderung der Erregung des stromliefernden Generators.

Die in Fig. 3 angegebene Messchaltung ermöglichte es, folgende Grössen zu messen:

1. *Bei offenen Bleimantelstromkreisen.*
   a) Die Phasenspannungen der Leiter.
   b) Die Leiterströme.
   c) Die in jedem Leiter entstehenden Verluste.
   d) Die Spannungsdifferenzen zwischen den Bleimänteln am Ende des Stranges, wobei die Bleimäntel am Anfang miteinander verbunden waren.
2. *Bei geschlossenen Bleimantelstromkreisen.*
   a) Die Phasenspannungen der Leiter.
   b) Die Leiterströme.
   c) Die in jedem Leiter entstehenden Verluste (welche um die in den Bleimänteln entstehenden Verluste grösser sind, als in 1*c*).
   d) Die Bleimantelströme.

Durch Anlöten der Kupfermanchetten an die Bleimäntel, durch Verzinnen der Kontakte und Anwendung möglichst kurzer Verbindungsstücke suchte man den zusätzlichen Widerstand in den Bleimantelstromkreisen möglichst niedrig zu halten.

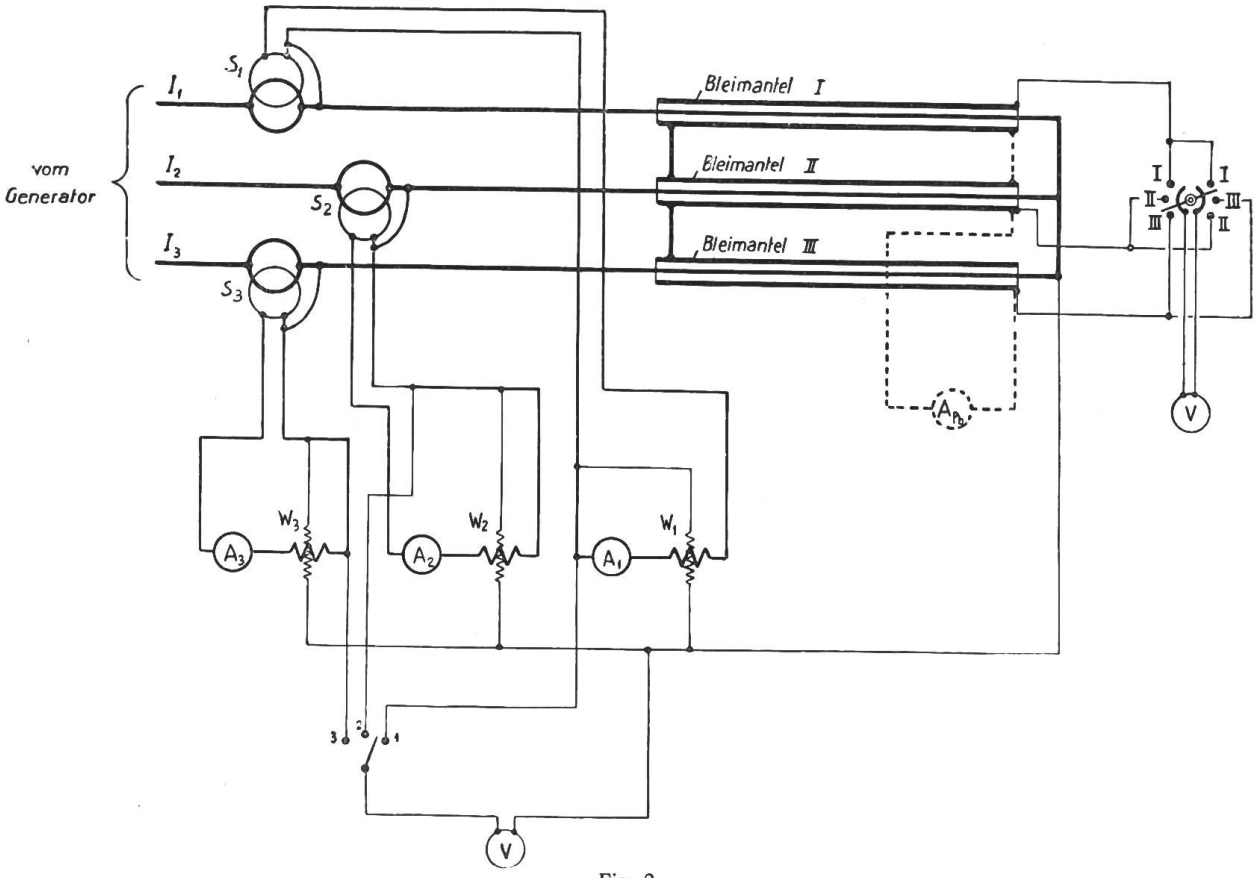

Fig. 3.
Schema der Mess-Schaltung.

V,	Voltmeter
A_1, A_2, A_3,	Amperemeter
A_{pb},	Amperemeter im Bleimantelstromkreis
W_1, W_2, W_3,	Wattmeter
S_1, S_2, S_3,	Stromwandler $^{200}/_5$ A.

Die Messungen wurden bei Leiterströmen zwischen 90 A und 200 A durchgeführt. Unter 90 A waren die Verluste nicht mehr gut messbar, eine Stromstärke von über 200 A durfte dem zur Verfügung stehenden Generator nicht zugemutet werden.

III. Versuchsergebnisse.

Die oben genannte Messeinrichtung erlaubte es, den Spannungsabfall und den Leistungsverlust in jedem Leiter festzustellen und es wurde hierdurch möglich, auch die, durch die gegenseitigen magnetischen Beeinflussungen bedingten, elektrischen Eigenschaften jeder Anordnung zu beurteilen.

Es würde jedoch zu weit führen, auf diese Einzelheiten einzugehen, wir beschränken uns darauf, die am meisten interessierenden Werte in Funktion des Leiterstromes in Kurvenform anzugeben. Obschon wir auch hierbei nicht alle untersuchten räumlichen Anordnungen berücksichtigt haben, glauben wir doch, mittelst der unten besprochenen Fig. 8 und 9 die aus den Versuchen zu ziehenden Schlüsse einwandfrei belegen zu können.

Die Fig. 4, 5, 6 und 7 beziehen sich je auf eine bestimmte räumliche Anordnung der Kabel. In jeder Figur erkennen wir die lineare Abhängigkeit der Bleimantelströme vom Leiterstrom, sowie das quadratische Anwachsen der Gesamt-Verluste in Abhängigkeit von derselben Variabeln.

In bezug auf die Verluste wäre eine Anordnung der Kabel nach Fig. 4 oder 6 am günstigsten, die Verlustkurven bei offenen und geschlossenen Bleimantelstromkreisen fallen fast zusammen. In Wirklichkeit sind diese Anordnungen wegen der schlechten Wärmeabfuhr nicht anwendbar. Auch wären beim Durchschlag eines Kabels die beiden andern stark gefährdet.

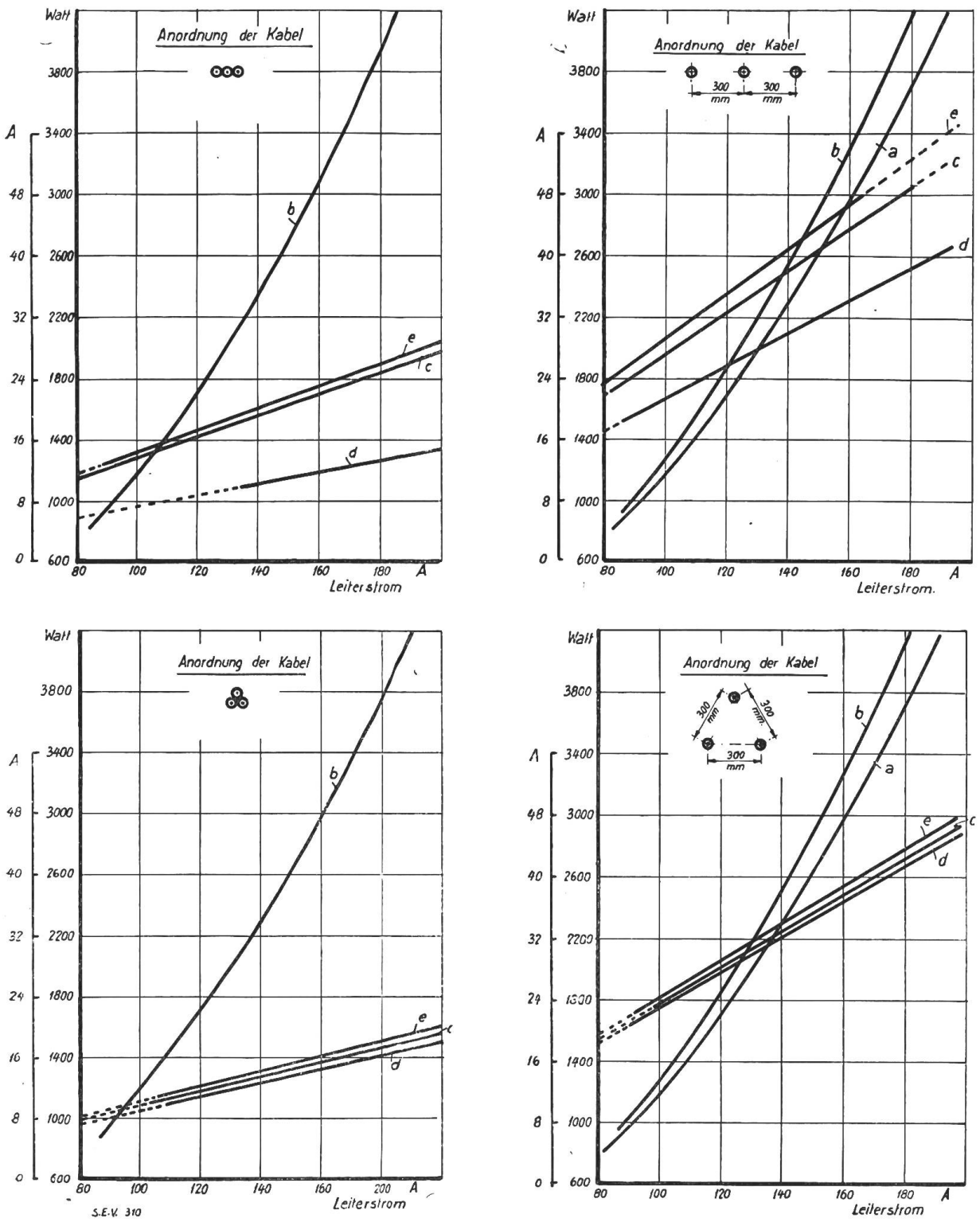

Fig. 4, 5, 6 und 7.
Bleimantelströme und Gesamtverluste in Funktion des Leiterstromes bei verschiedener, räumlicher Anordnung der Kabel.
Kurve *a*: Gesamtverluste bei offenen Bleimantelstromkreisen
Kurve *b*: Gesamtverluste bei geschlossenen Bleimantelstromkreisen
Gerade *c*: Bleimantelstrom im Mantel I
Gerade *d*: Bleimantelstrom im Mantel II
Gerade *e*: Bleimantelstrom im Mantel III.
(In Fig. 4 und 6 fallen die Kurven *a* und *b* praktisch zusammen).

Bei der Beurteilung der Bleimantelverluste, wie sie in Fig. 5 und 7 als Differenz zwischen den Kurven *a* und *b* abgelesen werden können, ist zu beachten, dass die Leiter der Kabel aus Aluminium bestehen. Der prozentuale Anteil der

Bleimantelverluste an den Gesamtverlusten wäre also, unter sonst gleichen Umständen, bei Verwendung von Versuchskabeln mit Kupferleitern gleichen Querschnitts grösser, als aus den genannten Figuren geschlossen werden kann.

Um nun einen vollen Ueberblick des Einflusses der räumlichen Anordnung auf Bleimantelströme und Gesamtverluste zu erhalten, wurden die Fig. 8 und 9 konstruiert. Es sind hier der Verlauf von Bleimantelströmen und Gesamtverlusten bei kurzgeschlossenen Bleimantelstromkreisen in Abhängigkeit des Achsabstandes der Kabel eingetragen. Sämtliche Angaben beziehen sich auf einen *konstanten Leiterstrom* von 150 A.

Aus diesen Figuren lässt sich die Ueberlegenheit der Dreieckanordnung der Kabel in bezug auf Bleimantelströme und Grösse der Verluste unschwer erkennen. Hervorzuheben ist ferner die Tatsache, dass die Gesamtverluste nur schwach mit wachsendem Achsabstand zunehmen. Aus Fig. 9 ersieht man, dass

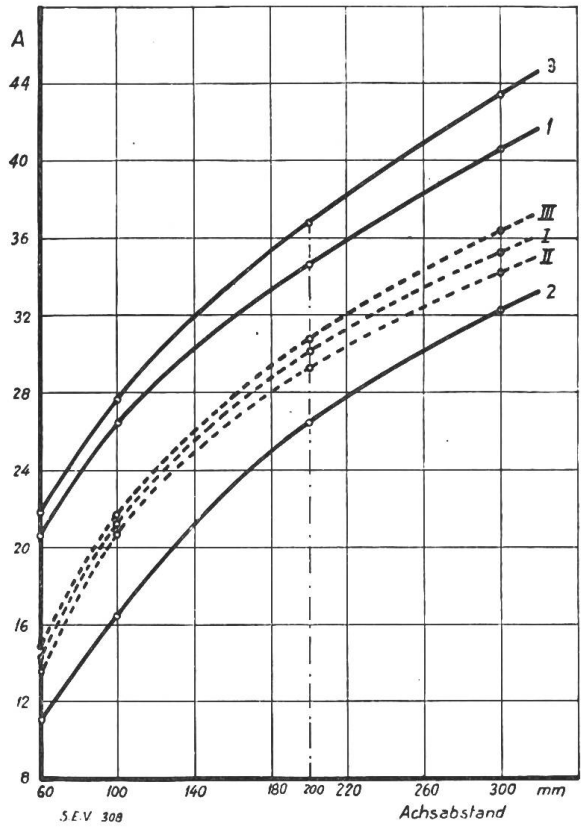

Fig. 8.
Bleimantelströme, bei 150 A Leiterstrom, in Funktion des Achsabstandes.
Kurven 1, 2 und 3: Bleimantelströme in Mantel I, II, und III bei Anordnung der Kabel in einer Ebene.
Kurven I, II und III: Bleikabelströme in Mantel I, II und III bei Anordnung der Kabel im gleichseitigen Dreieck.

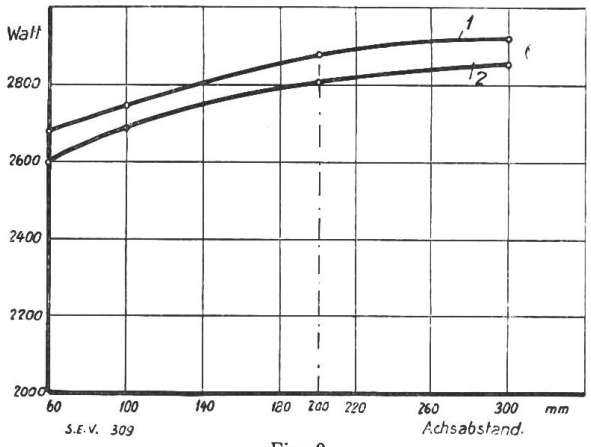

Fig. 9.
Gesamtverluste bei 150 A Leiterstrom und geschlossenen Bleimantelstromkreisen, in Funktion des Achsabstandes.
Kurve 1: Anordnung der Kabel in einer Ebene.
Kurve 2: Anordnung der Kabel im gleichseitigen Dreieck.

bei einer Vergrösserung des Achsabstandes von 60 auf 300 mm, die Verluste bei beiden Anordnungen nur ca. 11 % ansteigen.

IV. Anhang.

Wir beabsichtigten ursprünglich, in dieser Arbeit nicht weiter auf die Spannung zwischen den Bleimantelenden bei offenen Stromkreisen einzutreten, von der Erwägung ausgehend, dass hiefür kein praktisches Interesse vorliegen dürfte. Wie wir nun aber aus einer kürzlich an dieser Stelle veröffentlichten Arbeit[3]) ersehen, kommt es auch im Kraftwerksbetrieb vor, dass auf eine zweite Erdung der Bleimäntel verzichtet wird. Infolgedessen halten wir es für angezeigt, die folgende Tabelle unserer Mitteilung beizufügen.

---

[3]) Siehe Bulletin S. E. V. 1927, Seite 551 und ff.: Die 50-kV-Kabelleitung des E. W. der Stadt Zürich. Von Dipl. Ing. H. Leuch. (Der bezügliche Passus findet sich auf Seite 561 oben.)

Bleimantelspannungen zwischen den Enden der Bleimäntel, umgerechnet auf einen Leiterstrom von 150 A.

Anordnung der Kabel	Spannungen zwischen		
	Mantel I u. II Volt	Mantel II u. III Volt	Mantel I u. III Volt
1. Kabel in einer Ebene.			
a) Achsdistanz = 60 mm	1,3	1,3	2,1
b) „ = 100 „	1,8	1,8	2,6
c) „ = 200 „	2,7	2,7	3,5
d) „ = 300 „	3,1	3,1	3,9
2. Kabel in Dreieck angeordnet.			
a) Achsdistanz = 60 mm	1,1	1,2	1,3
b) „ = 100 „	1,7	1,8	1,8
c) „ = 200 „	2,5	2,6	2.7
d) „ = 300 „	3,0	3,0	3,2

Bezogen auf einen Leiterstrom von 150 A und auf eine Stranglänge von 1 km stellen sich, bei einseitig geerdeten Bleimänteln, am andern Ende Spannungen ein, die im ungünstigsten Fall 37 V zwischen Mänteln I und II, oder Mänteln II und III, sowie 45 V zwischen Mänteln I und III betragen würden.

Einige Angaben über eine Widerstandsschalttafel zur angenäherten Bestimmung von Kurzschlusstromstärken in Verteilungsnetzen.

Vom *Generalsekretariat des S. E. V. und V. S. E.*
(Ing. *H. F. Zangger).*

621.317.8 (0068)

Nach einleitenden Angaben über die Bedeutung der Kenntnis der Grössenordnung von Kurzschlussströmen in Netzen von Elektrizitätswerken beschreibt der Autor eine Widerstandsschalttafel zur angenäherten Bestimmung dieser Ströme in beliebig geschalteten Netzen, die im Generalsekretariat des S. E. V. und V. S. E. zur Verfügung von Interessenten steht.

Après quelques remarques sur l'utilité de connaître à peu près les courants de court-circuit dans les réseaux de centrales d'électricité, l'auteur décrit un tableau de résistances permettant de déterminer approximativement l'intensité de ces courants, dans des réseaux interconnectés d'une façon quelconque. Ce tableau est à la disposition des intéressés, au secrétariat général de l'A. S. E. et de l'U. C. S.

Durch Erstellung neuer Kraftwerke, das Zusammenschliessen von früher einzeln betriebenen Leitungsnetzen und Verringerung der Impedanzen bestehender Leitungen oder deren Umbau für höhere Spannungen treten bei Kurzschlüssen grössere Stromstärken auf als bis anhin an den gleichen Orten. Die Kenntnis der ungefähr zu erwartenden Kurzschlussströme an beliebigen Netzpunkten bei Kurzschluss an verschiedene Orten des Netzes ist wichtig, um festzustellen, ob die vorhandenen Anlageteile den zu erwartenden mechanischen und thermischen Wirkungen des Stromes gewachsen sind. Die Kenntnis derselben ist aber auch nötig bei Bestellung von neuen Anlageteilen, insbesondere von Schaltern. Die Auswahl der Schalter darf nicht nur nach dem maximal zu erwartenden Strome im normalen Betriebszustand erfolgen, sondern nach dem am Aufstellungsorte zu erwartenden maximalen Kurzschlusstrom.

Es kann sehr wohl der Fall eintreten, dass, trotzdem der maximale Betriebsstrom verhältnismässig klein ist, mit einem Schalter kleiner Kurzschlussleistung nicht auszukommen ist wegen der Aufstellung des Schalters an einem Orte grosser Kurzschlussleistung. Es muss entweder ein dieser Leistung entsprechender, grosser Schalter aufgestellt werden, oder z. B. durch Zwischenschaltung von zusätzlichen Reaktanzen der Kurzschlusstrom auf einen für den bestehenden oder neu zu wählenden Schalter zulässigen Wert herabgesetzt werden. Oft werden Untersuchungen