

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 23 (1932)
Heft: 24

Artikel: Selektivschutz bei schwierigeren Netzverhältnissen mittels Distanzrelais
Autor: Holzach, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059354>

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: 21.02.2026

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des
Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G., Zürich 4
Stauffacherquai 36/38

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXIII. Jahrgang

N° 24

Mittwoch, 23. November 1932

Selektivschutz bei schwierigeren Netzverhältnissen mittels Distanzrelais.

Von Obergeringenieur F. Holzach, Basel.

621.316.925

Die vorliegende Veröffentlichung soll einen Beitrag zum aktuellen Thema der Netzstabilität in Verbindung mit Selektivschutz bilden, der die Verhältnisse unter dem Gesichtswinkel des wirklichen Betriebes beleuchtet. Sie dürfte daher, trotzdem sie auf einen konkreten Fall bezogen ist, manchem Betriebsleiter nützliche Anregung bieten.

La présente publication est une contribution à l'étude de la stabilité des réseaux en relation avec la protection sélective. Quoiqu'elle se rapporte à un cas concret, qu'elle traite au point de vue pratique de l'exploitation, cette étude apportera certainement à plus d'un chef d'exploitation des suggestions utiles.

1. Einleitung.

Im nachfolgenden Aufsatz soll die Frage des Selektivschutzes eines Netzes mit schwierigen elektrischen Verhältnissen und deren Lösung näher besprochen werden, mit dem Zweck, darzulegen, dass es auch unter den scheinbar hoffnungslosen elektrischen Zuständen bei einem aussertrittgefallenen Netz doch möglich ist, die Selektivität eines eingebauten Distanzschutzes, unter Einhaltung der vorausbestimmten Abschaltzeiten beizubehalten.

Im beschriebenen Netz waren bisher im allgemeinen *Maximalzeitrelais* mit gestaffelten Auslösezeiten, und zwar Relais verschiedener Provenienz, eingebaut. Mit der allmählichen Entwicklung des Netzes ergab sich eine etwas uneinheitliche Gestaltung des Relaischutzes, was, zusammen mit der prinzipiellen Unmöglichkeit einer allen Fällen genügenden Zeitstaffelung, schliesslich dazu führte, dass bei Kurzschlüssen die Störungen nicht auf die kranke Stelle beschränkt blieben, sondern sich weit darüber hinaus unangenehm bemerkbar machten. Es kam sogar in schwereren Fällen, z. B. bei Drehstromkurzschlüssen, immer zu einem vollständigen Auseinanderfallen des Netzes.

Die Entwicklung des Netzes brachte eine Erhöhung der Kurzschlußströme, womit die Frage eines Schalterersatzes im 15-kV-Netz akut wurde, da die vorhandenen Schalter den sich steigenden Beanspruchungen nicht mehr gewachsen waren. Vor Auswechslung der Schalter wurden dann seinerzeit Kurzschlussversuche im betriebsmässigen Netz durchgeführt, um sowohl die Eignung der zum Einbau vorgesehenen Schalter zu prüfen, als auch die tatsächliche Höhe der Kurzschlußstromstärken festzustellen. Dabei zeigten die Oszillogramme, dass bei Kurzschluss die Kraftwerke sehr schnell in

Phasenopposition geraten und grosse Ausgleichströme auftreten, durch welche dann auch grösstenteils die unrichtigen Abschaltungen ihre Erklärung fanden.

Der erste Teil der Aufgabe war eine Modernisierung der Anlagen durch Einbau von Spannungs- und Ueberstromreglern, sowie von *Distanzrelais* zur Lokalisierung der Störungen, der zweite Teil, die getroffenen Anordnungen durch Kurzschlussversuche auf ihre Eignung hin zu kontrollieren. Dabei war weiter die Absicht, über die Verhältnisse des bei Kurzschlüssen aussertrittfallenden Netzes Klarheit zu schaffen.

Diese Versuche wurden im März 1930 durchgeführt. Obwohl schon jetzt eine wesentliche Besserung in der Auswirkung der Störungen festgestellt wurde, waren doch infolge der erwähnten grossen Ausgleichströme zwischen den Kraftwerksgruppen immer noch eine Anzahl unerwünschter Abschaltungen zu verzeichnen. Nachdem die Ursachen erkannt und Massnahmen zur Abhilfe getroffen worden waren, wurden die Kurzschlussversuche nochmals, und zwar im Januar 1931, wiederholt und dabei ein durchaus befriedigendes Funktionieren des neuen Distanzschutzes festgestellt.

Die Versuche wurden gemeinsam mit der Firma A.-G. Brown, Boveri & Cie. (BBC) als Lieferantin der Distanzrelais und der Spannungs- und Ueberstromregler durchgeführt.

2. Beschreibung des Netzes.

Das Schema der Kraftwerksanlagen und Leitungsnetze ist in Fig. 1 dargestellt. Das Netz kann im grossen und ganzen in zwei Hauptgruppen aufgeteilt werden, die durch eine 50-kV-Leitung untereinander verbunden sind:

Die Gruppe I, Energieerzeuger A bis F, hat eine max. Leistung von ca. 43 000 kVA;
die Gruppe II, Energieerzeuger G bis K, hat eine max. Leistung von ca. 35 000 kVA.

relais an den durch Kreise bezeichneten Stellen der Gruppe II eingebaut. Als Relais fand durchwegs das Distanzrelais der Firma BBC, Type LB 2, Verwendung. Der Schutz ist zweiphasig durchgeführt

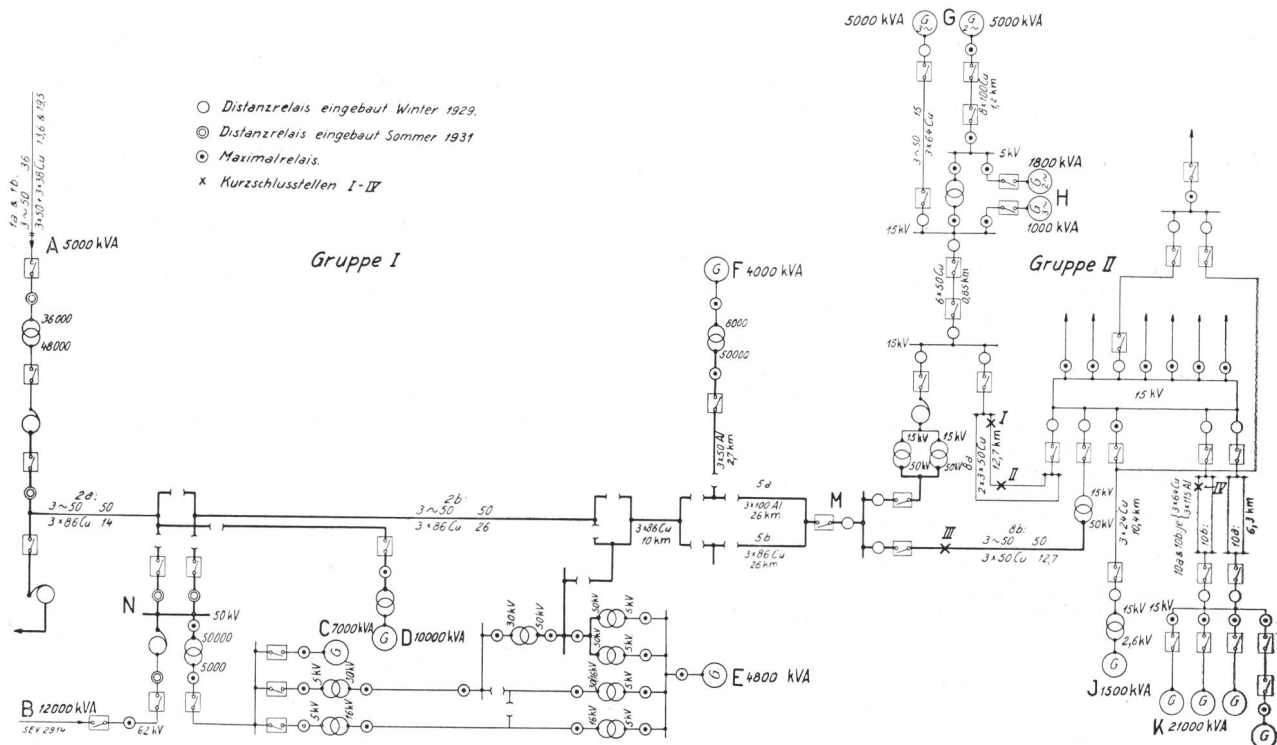


Fig. 1.

Generelles Schema der Kraftwerksanlagen und Verbindungsleitungen.

Bei der Gruppe I sind eine Anzahl verschiedener Kraftwerke an die 50-kV-«Sammelschienenleitung» angeschlossen.

Die Gruppe II dagegen ist eine 15-kV-Gruppe, die an zwei Stellen, L und M, durch Transformatoren mit der 50-kV-«Sammelschiene» verbunden ist.

Der Punkt L ist als Hauptverbraucher der Gesamterzeugung anzusehen.

Die grösseren Energielieferanten, d. h. die Kraftwerke B, D, G und K, sind mit Spannungsschnellreglern und Überstromreglern ausgerüstet.

In den Kuppelstationen M und N besteht Spannungsregelung durch Stufentransformatoren, bzw. Induktionsregler.

Bei den Versuchen waren die neuen Distanz-

und dementsprechend sind die Stromwandler in die Phasen R und T gelegt, während die Spannung durch zwei Einphasenspannungswandler zwischen den Phasen RS und ST geliefert wird.

Fig. 2 zeigt das Bild eines der Relaisfelder.

Es sei noch hervorgehoben, dass im normalen Vollbetrieb sämtliche Maschinen und alle Leitungen voll belastet sind, also gar keine Reserve besteht. Um bei Ausfällen eines Energielieferanten oder einer Leitung ein Zusammenbrechen des Netzes infolge Ueberlastung zu vermeiden, ist vorgesehen, dass in L eine bestimmte Leistung sofort automatisch abgeschaltet wird.

3. Ausführung der Versuche.

Bei den Versuchen wurden die Kurzschlüsse durch Lichtbogen künstlich eingeleitet. Die einzelnen Phasen der Leitung wurden an den gewählten Stellen angezapft und über Trenner zu drei in offenem Stern geschalteten Hörnern geführt. Nach Wiedereinschalten der angezapften Leitung wurde mittels Isolierstange ein Draht zwischen die Hörner gelegt und damit der Kurzschluss veranlasst. Das Abschalten des Kurzschlusses wurde betriebsmässig durch die Distanzrelais besorgt. Fig. 3 zeigt die beschriebene Vorrichtung während des Kurzschlusses.

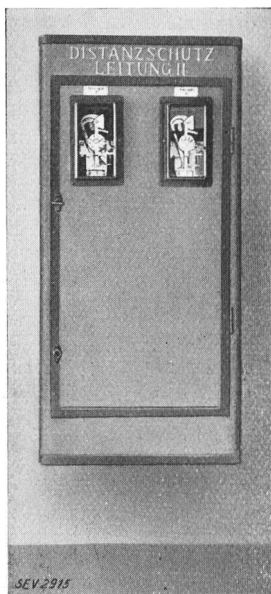


Fig. 2.
Ansicht eines Relaisfeldes.

An den in Fig. 1 bezeichneten Orten I bis IV wurden 15 Kurzschlüsse, sowohl zweipolige als auch dreipolige durchgeführt, und zwar:

- Stelle I: drei zweipolige Kurzschlüsse, zyklisch, und ein dreipoliger Kurzschluss;
 Stelle II: drei zweipolige Kurzschlüsse, zyklisch, und ein dreipoliger Kurzschluss;
 Stelle III: drei zweipolige Kurzschlüsse, Phase TR;
 Stelle IV: drei zweipolige Kurzschlüsse, zyklisch, und ein dreipoliger Kurzschluss.

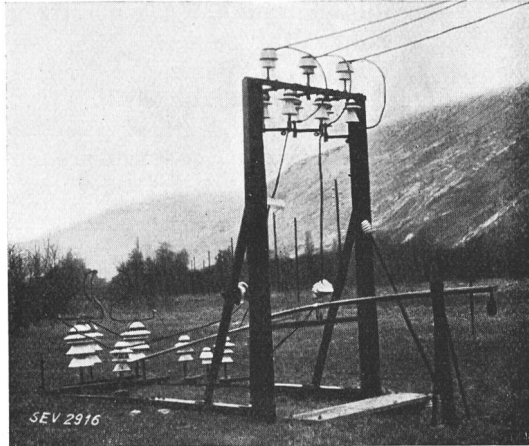


Fig. 3.

Ansicht der Kurzschliessungsapparatur.

Zur Aufnahme der Ströme und Spannungen, sowie zur Beobachtung des Kurzschlussverlaufes war in L ein *Dreischleifenoszillograph* aufgestellt.

Bei der zyklischen Wiederholung der zweipoligen Kurzschlüsse an ein und derselben Stelle wurden den zur Verfügung stehenden drei Oszillographenschleifen zum Vergleich und zur Vervollständigung der Messungen nacheinander alle interessierenden Ströme bzw. Spannungen der in L abgehenden Leitungen zugeschaltet.

Im übrigen wurde in den Kraftwerken und Stationen G, K, L und M der jeweilige Verlauf des Kurzschlusses durch Beobachten der Instrumente, Turbinenregler etc. verfolgt.

Die Versuche fanden im normalen Betriebszustand der Anlage, jedoch ohne Kraftwerk J, bei der dem Winterbetrieb entsprechenden schwachen Netzbelastung statt. Die Generatoren der einzelnen Werke waren jedoch sämtlich angeschlossen und erregt, ebenso waren sämtliche Leitungen eingeschaltet.

Die Belastungsverhältnisse der Gruppe II waren während der Versuche ungefähr folgende:

Verbrauch in L: ca. 9200 kW, davon
 von K: 3200 kW,
 von G: 2700 kW,
 von Gruppe I: 3300 kW.

4. Versuche im März 1930:

a) Elektrisches Verhalten des Netzes.

Die Versuche zeigten wesentliche Unterschiede im Verhalten des Netzes zwischen den zweipoligen

und den dreipoligen Kurzschlüssen. Die Ergebnisse aller zweipoligen und aller dreipoligen Kurzschlüsse unter sich sind dagegen nur in der Grössenordnung der Ströme und Spannungen, je nach dem Ort des Kurzschlusses abgestuft. Es sollen daher die folgenden Ausführungen auf wenige typische Einzelfälle der beiden Versuchsgruppen beschränkt werden. Alle Vorgänge werden vom Knotenpunkt L aus, dem Aufstellungsort des Oszillographen, betrachtet.

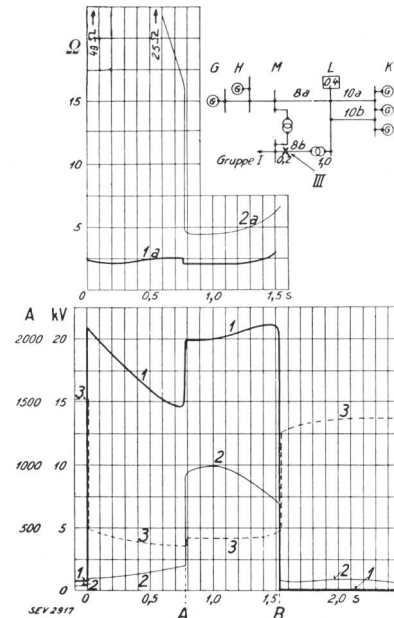


Fig. 4.

Zweipoliger Kurzschluss (Phase TR) an der Kurzschlußstelle III (x).

- 1 Strom in Leitung 8b, Phase T.
 - 2 Strom in Leitung 8a, Phase T.
 - 3 Spannung RT.
 - 1a Sekundäre Impedanz der Leitung 8b, Phase T.
 - 2a Sekundäre Impedanz der Leitung 8a, Phase T.
 - A Abschalten der Leitung 8b in M.
 - B Abschalten der Leitung 8b in L.
- Im Schema geben die Zahlen bei den Stationen die Relaisauslösezeiten in s an.

Zweipolige Kurzschlüsse.

Als typisches Beispiel für den Verlauf der zweipoligen Kurzschlüsse soll ein Kurzschluss an der Stelle III, zwischen den Phasen T und R, näher betrachtet werden.

In Fig. 4 sind die aus dem Oszillogramm entnommenen Effektivwerte aufgezeichnet. Der Kurzschlußstrom auf der 50-kV-Leitung 8_b (Kurve 1) setzt mit ca. 2100 A_{eff} ein und sinkt nach ca. 0,8 s auf ca. 1460 A ab. Der Strom auf der 15-kV-Leitung 8_a (Kurve 2) nimmt dagegen während dieses Zeitabschnittes zu. Im Zeitpunkt 0,78 s schaltet der Schalter der Leitung 8_b in M ab; der Kurzschlußstrom der Werke der Gruppe I fließt jetzt über Leitung 8_a nach L und von hier zur Kurzschlußstelle, was das in Fig. 4 ersichtliche plötzliche Hochschnellen des Stromes in den beiden Leitungen bewirkt. Etwa im Zeitpunkt 1,0 s hat der Kurzschlußstrom in der Leitung 8_a ein Maximum erreicht, während gleichzeitig in Leitung 8_b

eine Stromsenke besteht. Die beschriebene Stromänderung bildet also eine Schwebung, die nach 1,5 s durch die Abschaltung der Leitung 8_b in L unterbrochen wird.

Der beschriebene Stromverlauf ist typisch für zweipolige Kurzschlüsse: Der Kurzschlußstrom zur Störungsstelle sinkt während 0,8 s auf einen Minimalwert, steigt dann wieder an und pendelt so längere Zeit weiter, falls er nicht durch eine Abschaltung unterbrochen wird. Dagegen ist Beginn und Verlauf des Stromes in den gesunden Verbindungsleitungen der Werkgruppen I und II entgegengesetzt: Der Strom steigt nach Kurzschlussbeginn an und hat seinen Maximalwert im Zeitpunkte des Stromminimums zur Kurzschlußstelle.

Die Resultate der *Kurzschlussversuche am Ort IV* zeigen, dass der geschilderte Stromverlauf am ausgeprägtesten ist, wenn der Kurzschluss sehr nahe beim Werk K, dem Hauptwerk der Gruppe II und

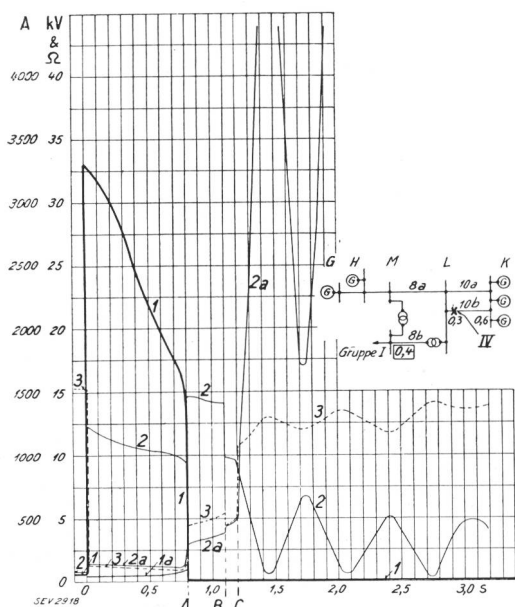


Fig. 5.

Zweipoliger Kurzschluss (Phase TR)
an Kurzschlußstelle IV (x).

- 1 Strom in Leitung 10b, Phase T.
 - 2 Strom in Leitung 10a, Phase T.
 - 3 Spannung TR.
 - 1a Sekundäre Impedanz der Leitung 10b, Phase T.
 - 2a Sekundäre Impedanz der Leitung 10a, Phase T.
 - A Abschalten der Leitung 10b in L.
 - B Abschalten der Leitung 8b in M.
 - C Abschalten der Leitung 10b in K.
- Zu 2: Nach Abschaltung der Leitung 10b kehrt die Richtung von Strom I_{10aT} bei jedem Minimum (um 180°) um.
- Im Schema geben die Zahlen bei den Stationen die Relaisauslösezeiten in s an.

damit in grosser Entfernung von den Werken der Gruppe I, auftritt. Wie Fig. 5 zeigt, geht der Kurzschlußstrom in diesem Falle vom Anfangswert 3300 A innerhalb 0,8 s auf ca. 1600 A zurück.

Die Ursache dieser Erscheinung bilden Ausgleichströme, vornehmlich zwischen dem der Kurzschlußstelle nahegelegenen Werk K gegenüber den entfernteren Werken der Gruppe I, die bei M ein-

speisen. Rechnung und Versuche zeigen, dass die Kurzschlüsse für die Generatoren des Werkes K eine plötzliche starke Wirkleistungsbelastung bilden, die ein Zurückstehen innerhalb der Polstellung dieser Generatoren gegenüber den weit entfernten Werken zur Folge hat. Würde das Werk K allein den Kurzschluss speisen, so würde die plötzliche Mehrbelastung einen Drehzahlabfall hervorrufen. Bei dem vorliegenden Parallelablauf tritt dieser Abfall aber nicht ein, indem die ferne Werksgruppe I die fehlende Leistung zur Konstanthaltung der Drehzahl liefert, d. h. die Generatoren des Werkes K im Tritt hält.

Die oszillographischen Messungen lassen sich unter Zugrundelegung der zeitlichen Polrad- bzw. EMK-Verschiebung zwischen den beiden speisenden Werksgruppen auch mit dem Vektordiagramm gut übereinstimmend wiedergeben. Im folgenden soll dies für den oben beschriebenen Kurzschluss III, Fig. 4, untersucht werden.

In Fig. 6 ist $R_1 S_1 T_1$ das EMK-Dreieck der Gruppe I, $R_2 S_2 T_2$ dasjenige des Werkes K, das dem EMK-Dreieck der Gruppe I und dem Winkel ψ nacheilt. Da der Zeitpunkt nach der Abschaltung der Leitung 8_b in M, d. h. ca. 0,8 s (Fig. 4) für die spätere Betrachtung des Verhaltens der Distanzrelais besonders interessiert, wird das Folgende auf diesen Zeitpunkt bezogen, bei dem also die Leitung 8_b im M bereits geöffnet ist. Der Kurzschluss besteht, wie erwähnt, zwischen den Phasen T und R. Von K fließt in L der Teilstrom I'_{2T} ein, um den Winkel φ_2 gegenüber der EMK $R_2 T_2$ verschoben. Die Gruppe liefert nach L über die Leitung 8_a den Teilstrom I'_{1T} , um den Winkel φ_1 gegenüber $R_1 T_1$ verschoben. Der unerhebliche Stromanteil der kleineren Werke G und H wird dabei vernachlässigt. Den Kurzschlußströmen überlagert sich ein Ausgleichstrom, herrührend von der Spannung $T_2 - T_1$ der verschobenen EMK-Dreiecke, und zwar I''_{2T} dem Strom vom Werk K und I''_{1T} dem Strom von Gruppe I. Der resultierende Strom von K ist somit I_{2T} , von Gruppe I I_{1T} . Die in L herrschende Kurzschlußspannung TR wird durch die Stromsumme I'_{1T} und I'_{2T} über die Impedanz zur Kurzschlußstelle erzeugt und liegt etwas voreilend gegenüber der EMK $R_2 T_2$ des Werkes K.

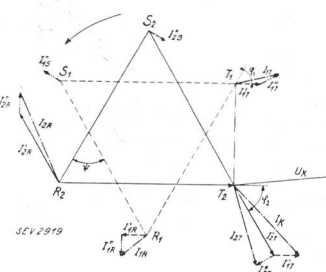


Fig. 6.

Das Diagramm zeigt als wesentlichstes Ergebnis, dass die Teilströme von K und Gruppe I, die sich im Knotenpunkt L vereinigen und von hier zur Kurzschlußstelle fließen, wegen der Ueberlagerung des Ausgleichstromes I'' unter sich nicht mehr in Phase sind. Der Teilstrom von K ist gegenüber der Kurzschlußspannung UK in L stärker nacheilend, der Teilstrom von Gruppe I stärker voreilend als

der zur Kurzschlußstelle fließende Gesamtstrom. Das Diagramm zeigt ferner, in Übereinstimmung mit den Messungen, dass als weitere Folge der Ausgleichströme die Kurzschlußströme in den beiden betroffenen Phasen T und R ungleich gross sind (vergleiche I_{2T} gegenüber I_{2R}). Die Oszillogramme lassen auch erkennen, dass allgemein diese Ungleichheit zu Beginn des Kurzschlusses, wie zu erwarten ist, nicht besteht.

Wie erwähnt, nimmt in der dem Diagramm Fig. 6 folgenden Zeit die Polradverschiebung der Werksgruppen wieder ab, damit auch die Folgeerscheinungen der Ausgleichströme, um dann in weiterdauernden Schwebungen anzusteigen und abzufallen.

Bei einem Versuch wurde durch Abschalten des Transformators in M die Gruppe I 1,4 s nach Kurzschlussbeginn abgeschaltet, so dass nur noch die Werke G, H und K parallel liefen. Das Oszillogramm in der Kuppelleitung 8_a zeigt, dass mit dem Verschwinden des Kurzschlußstromes von Gruppe I die Voreilung des bleibenden Kurzschlußstromes von G und H sprunghaft von 50° auf 20° und nach weiteren 0,5 s auf 10° herabfällt. Es lässt sich daraus schliessen, dass die Polstellungen der Werke der Gruppe II während des Kurzschlusses nahezu in Übereinstimmung bleiben, was übrigens durch einen analogen Fall bei den Kurzschlüssen an Stelle IV bestätigt wurde.

Die Resultate der zweipoligen Kurzschlüsse sind:

1. Alle auf den Kurzschluss arbeitenden Werke bleiben in Tritt.
2. Die Werke der Gruppe II liefern sich untereinander nur unwesentliche Ausgleichströme, d. h. es treten keine nennenswerten Polradverschiebungen auf.
3. Die Werke der Gruppe I pendeln mit denjenigen der Gruppe II innerhalb der Polstellung. Die Pendelungen beginnen mit einer Nacheilung der Werksgruppe II, die ihren Höchstwert ca. 0,7 s nach Kurzschlussbeginn erreichen und dann mit kleineren Amplituden ausklingen.
4. In der «gesunden» Phase fließen kurzschlussartige Ausgleichströme.
5. Die Phasenverschiebung der in einem Knotenpunkt von getrennten Werken einflussenden Teilkurzschlußströme ist gegenüber dem zur Kurzschlußstelle fließenden Gesamtstrom voroder nacheilend, je nach der augenblicklichen gegenseitigen Polstellung der Werke.

Dreipolige Kurzschlüsse.

Von diesen Versuchen sollen zwei, die recht interessante Aufschlüsse geben, und zwar bei Stelle I und IV, genauer geschildert werden.

Durch den Drehstromkurzschluss an Stelle I verschwindet dort die Spannung, wodurch die drei Netzteile, von der Kurzschlußstelle nach Gruppe I, nach Werk K und nach den Werken H und G elektrisch getrennt werden und schon nach wenigen Zehntelsekunden ausser Tritt fallen. Wie Fig. 7

zeigt, sinkt der von L über Leitung 8_a zur Kurzschlußstelle gelieferte Strom (Kurve 1) von 1400 A bei Beginn schon nach 0,6 s auf ein Minimum von 700 A, während gleichzeitig der Strom über die Kupplungsleitung 8_b (Kurve 2) von ca. 800 A auf 1600 A ansteigt. Im Zeitpunkt 0,6 s sind Werk K und Gruppe I in Phasenopposition, die Kraftwerks-EMKe sind in Serie geschaltet und arbeiten auf die Verbindungsleitung als Kurzschlussverbindung, während der eigentlichen Kurzschlußstelle dadurch der Strom weitgehend entzogen wird. Nach

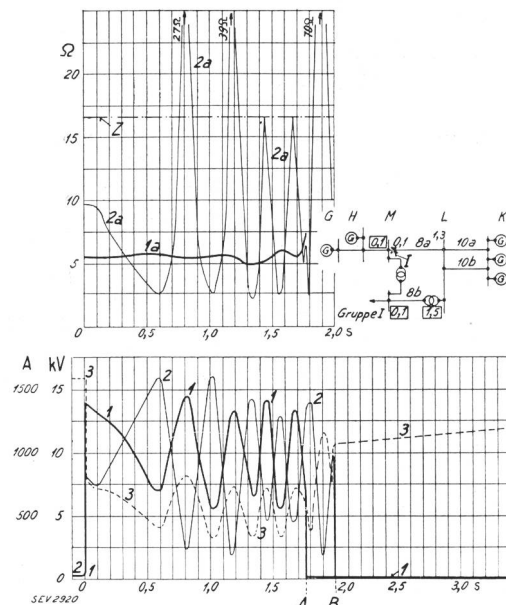


Fig. 7.

Dreipoliger Kurzschluss (Phasen RST)
an Kurzschlußstelle I (x).

- 1 Strom in Leitung 8_a , Phase T.
 - 2 Strom in Leitung 8_b , Phase T.
 - 3 Spannung ST.
 - 1a Sekundäre Impedanz der Leitung 8_a , Phase T.
 - 2a Sekundäre Impedanz der Leitung 8_b , Phase T.
 - A Abschalten der Leitung 8_a in L.
 - B Abschalten der Leitung 8_b in L.
 - Z Ungefähre Rückfallimpedanz der Relais der Leitung 8_b .
- Zu 2: Zwischen zwei Maxima verschiebt sich der Strom I_{8bT} um 360° voreilend gegenüber dem Strom I_{8aT} und der Spannung ST. Bei den Maxima ist I_{8bT} in Phase mit I_{8aT} .
- Im Schema geben die Zahlen bei den Stationen die Relaisauslösezeiten in s an.

ca. 0,8 s sind die Generatoren des Werkes K um eine ganze Periode zurückgeblieben. In diesem Augenblick herrscht Phasenübereinstimmung mit Gruppe I, der Strom zur Kurzschlußstelle ist wieder ein Maximum, etwa gleich gross wie bei Kurzschlussbeginn, der Ausgleichstrom über die Kupplungsleitung 8_a dagegen ein Minimum.

In der Folgezeit wird die Schwebungsfrequenz grösser, der Drehzahlunterschied zwischen K und Gruppe I steigt und im Zeitpunkt 1,5 s lässt sich aus der Schwebungsfrequenz ein Drehzahlabfall des Werkes K von ca. 9 % gegenüber der konstant angenommenen Drehzahl der Gruppe I ableiten. Im Zeitpunkt 1,75 s ist die Kurzschlußstelle selbst abgeschaltet; die Pendelungen dauern trotzdem unverändert weiter und es ist nicht vorauszusehen, ob

die Werke sich in annehmbarer Zeit wieder gefunden hätten. Im Zeitpunkt 2 s wird auch die Kuppungsleitung 8_b unterbrochen. Der ruhige Spannungsanstieg in L (Kurve 3, Fig. 7), wohin jetzt

Fig. 8 zeigt einen Ausschnitt aus dem Oszillogramm zu Beginn des Kurzschlusses an dieser Stelle, während in Fig. 9 die aus dem Oszillogramm entnommenen Effektivwerte aufgetragen sind.

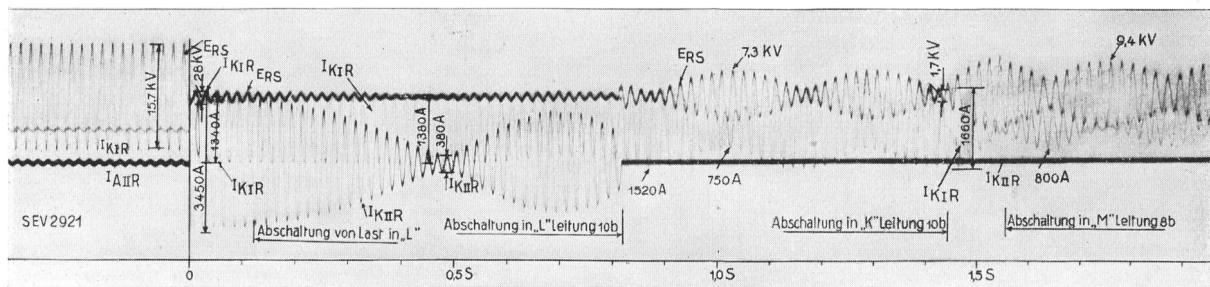


Fig. 8.

Oszillogramm eines dreipoligen Kurzschlusses am Kurzschlussort IV. (Oszillogramm aufgenommen in Werk L.)

I_{KIR} Strom auf Leitung 10a, Phase R.

I_{KIR} Strom auf Leitung 10b, Phase R.

E_{RS} Spannung in Station L zwischen Phasen RS.

nur noch Werk K Energie abgibt, zeigt, dass in K die Generatoren untereinander in Tritt geblieben sind.

Der gleiche Versuch an *Kurzschlußstelle II* ergab ganz analoge Verhältnisse.

Dagegen zeigten sich an Stelle IV wiederum sehr extreme Zustände.

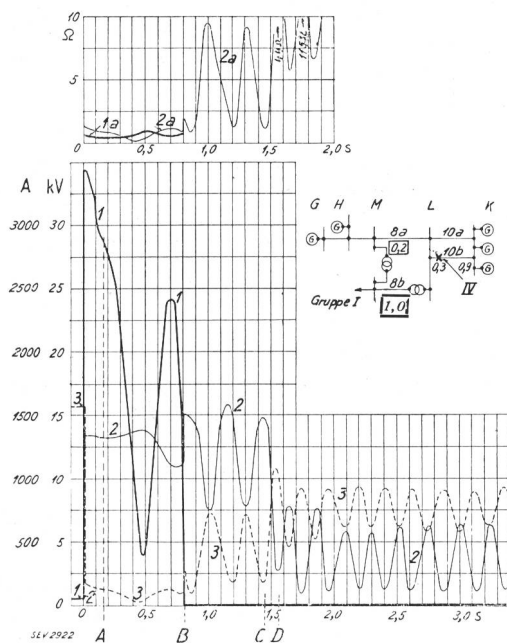


Fig. 9.

Dreipoliger Kurzschluss (Phasen RST) an Kurzschlußstelle IV (x).

- 1 Strom in Leitung 10b, Phase R.
- 2 Strom in Leitung 10a, Phase R.
- 3 Spannung RS.
- 1a Sekundäre Impedanz der Leitung 10b, Phase R.
- 2a Sekundäre Impedanz der Leitung 10a, Phase R.
- A Abschalten der Umformer in L.
- B Abschalten der Leitung 10b in L.
- C Abschalten der Leitung 10b in K.
- D Abschalten der Leitung 8b in M.

Zu 2: Strom I_{10aR} verschiebt sich um 360° nach-eilend gegenüber I_{10bR} und Spannung RS zwischen 0 und 0,7 s. Bei 0,5 s Ströme I_{10aR} und I_{10bR} in Phase.

Im Schema geben die Zahlen bei den Stationen die Relaisauslösezeiten in s an.

Der Kurzschlußstrom von L zur Kurzschlussstelle (Kurve 1) beginnt mit 3400 A, sinkt aber schon in weniger als 0,5 s durch die eingetretene Phasenopposition auf 400 A, d. h. ca. 12 % seines Anfangswertes, um nach weiteren 0,2 s wieder auf 2400 A anzusteigen. Kurz nach diesem Zeitpunkt löst der Schalter der kurzgeschlossenen Leitung in L aus. Im Zeitmoment 1,5 s fällt auch der Schalter der kranken Leitung in K, wodurch die Kurzschlußstelle selbst abgetrennt ist. Gleichzeitig wird auch die Kupplung mit Gruppe I unterbrochen, so dass nach dem Zeitpunkt 1,5 s die Werke K, G und H asynchron zusammenarbeiten. Die Schwelungen dauern an, die Netzspannung erholt sich langsam, um nach ca. 10 s die normale Höhe zu erreichen.

Der verhältnismässig ruhige Verlauf des Stromes in der «gesunden» Leitung (Kurve 2) bis zur ersten Abschaltung nach 0,8 s deutet darauf hin, dass die Maschinen in K untereinander in Tritt bleiben. Die Generatoren liefern ihren angenähert konstanten Kurzschlußstrom, ohne sozusagen zu merken, ob er nun zur Kurzschlußstelle — bei Phasenübereinstimmung mit Gruppe I — oder nach Gruppe I — bei Phasenopposition — fließt.

Zusammengefasst sind die Verhältnisse bei Drehstromkurzschluss wie folgt zu charakterisieren:

1. Die Werke laufen, im Kurzschlussmoment beginnend, ausser Tritt und stehen schon nach 0,4 bis 0,7 s in Opposition.
2. Der Strom zur Kurzschlußstelle zeigt Schwelungen, deren Maximum dem vollen Kurzschlußstrom und deren Minimum Strömen in der Größenordnung der normalen Betriebsströme entsprechen.

b) Verhalten des Distanzschutzes bei den Versuchen.

Wie bereits erwähnt, wurde der Distanzschutz zweiphasig eingebaut, und zwar die Stromwandler in den Phasen T und R, die Spannungswandler zwischen den Phasen RS und ST.

Tabelle I zeigt die Arbeitsweise des Schutzes bzw. die im Relais zusammenarbeitenden Ströme und Spannungen bei den verschiedenen Kurzschlüssen.

Tabelle I.

Art des Kurzschlusses	Es arbeitet das Distanzrelais			
	Phase	mittlere Spannung	Phase	mittlere Spannung
2 polig RS	R	RS	—	—
2 polig ST	—	—	T	TS ¹⁾
2 polig TR	R	RT ²⁾	T	TR
3 polig RST	R	RS	T	TR

¹⁾ Spannung TS durch Umschaltrelais T zugeschaltet.
²⁾ Spannung RT durch Umschaltrelais R zugeschaltet.

Das Messwerk der eingebauten Relais, Type LB 2, berücksichtigt den induktiven Leitungswiderstand (Reaktanz) mit 98 %, während der Ohmsche Widerstand zur Beschränkung des Lichtbogeneinflusses auf die Relaiszeit nur mit 26 % zur Wirkung kommt. Das Ansprechen der Distanzrelais erfolgt bei Unterschreitung der Ansprechimpedanz. Die letztere war bei den Versuchen so eingestellt, dass die Relais bei einer Entfernung des Kurzschlusses von mindestens der dreifachen Länge der zu schützenden Strecke noch anliefen. Es war also damit reichlich für Reserve gesorgt durch das Anlaufen weiter entfernt liegender Relais, für den Fall, dass aus irgendwelchem Grunde die Abschaltung nicht durch das dem Kurzschluss direkt benachbarte Relais veranlasst werden sollte.

In Tabelle II ist das Verhalten des Distanzschutzes bei den vorgenommenen 15 Kurzschlüssen zusammengestellt. Es geht daraus hervor, dass die kranke Stelle immer richtig abgeschaltet wurde. Bei verschiedenen Versuchen sind jedoch, infolge der Pendelvorgänge, weitere Schalter gefallen. Trotz der vorgekommenen überzähligen Abschaltungen konnte doch die beruhigende Feststellung gemacht werden, dass die Distanzrelais beidseitig der kranken Strecke ein genaues Arbeiten zeigten, auch in den Fällen, wo die Werke ausser Tritt und der Kurzschlußstrom zur kranken Strecke in weitesten Grenzen schwankte. Bei Drehstromkurzschluss (Fig. 9) beispielsweise, wo der Kurzschlussstrom vom Anfangswert 3500 A durch das Ausstrittfallen innerhalb 0,75 s auf 400 A sinkt, während der normale Leitungsstrom 450 A beträgt, wäre ein auf Ueberstrom ansprechendes Selektivrelais immer wieder zurückgefallen und hätte entweder nicht oder erst stark verspätet die Schaltauslösung veranlasst. Die Impedanzrelais liefen jedoch, trotz der starken Stromsenkung, ruhig durch. Damit ist erwiesen, dass unter den gegebenen Verhältnissen die Anwendung von auf Impedanz ansprechenden Relais absolut notwendig war.

Ursache der überzähligen Schalterauslösungen.

Im nachfolgenden soll die Ursache der vorgekommenen überzähligen Schalterauslösungen vorerst bei den *zweipoligen Kurzschlüssen* an den Stellen III und IV unter Anknüpfung an die unter 4a beschriebenen elektrischen Verhältnisse bei Kurzschluss an Stelle III näher betrachtet werden.

Nach Abschaltung der 50-kV-Leitung 8_b in M fließt der von Gruppe I gelieferte Kurzschlußstrom über die 15-kV-Leitung 8_a nach L und von hier, gemeinsam mit dem Strom von K zur Kurzschlussstelle. Dieser Strom ist, wie schon erwähnt, gegenüber dem totalen Kurzschlußstrom voreilend, während der von K gelieferte Stromanteil dem Kurzschlußstrom nacheilt. In Fig. 10 ist die Zusammensetzung der drei Ströme im Knotenpunkt L in Uebereinstimmung mit Fig. 6 wiedergegeben. Relais a (Fig. 11) erhält den Strom I_{1T} , Relais b den Strom I_{2T} und Relais c den zur Kurzschlußstelle fließenden Strom I_{KT} . In den Spannungssystemen aller drei Relais fließt der Strom i_e , um $\psi' = 75^\circ$ gegenüber der zusammengebrochenen Spannung U_K nacheilend. Die in jedem Relais wirksame Spannung ist die Projektion von i_e auf den Relaisstrom. Es zeigt sich nun, dass Relais a mit Strom I_{1T} nur die kleine wirksame Spannung i_{e1} aufweist. Da die Phasenverschiebung des Ausgleichstromes periodisch wechselt und noch weiter voreilend sein kann, als in Fig. 6 und 10 angegeben, kann sogar die von diesem Relais gemessene Impedanz durch 0 gehen,

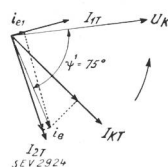


Fig. 10.

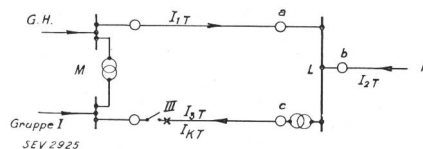
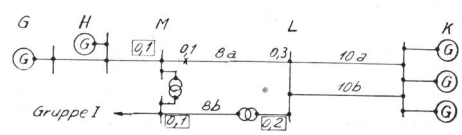
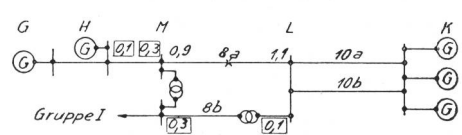
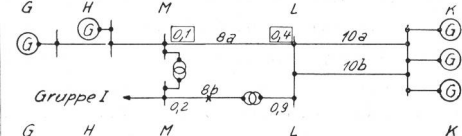
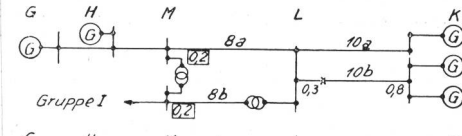


Fig. 11.

wodurch das Relais a mit kürzester Zeit Kontakt gibt. Ausser dem Einfluss der Phasenlage wird aber auch die reine Impedanz der Relais in a und b durch die Ausgleichströme im Sinne einer Verkleinerung gefälscht. Die Ausgleichströme überlagern sich nur den Teilströmen I_{1T} und I_{2T} (Relais a und b), während sie im Strom I_{KT} (Relais c) nicht enthalten sind. Sie bewirken dadurch eine entsprechende Verkleinerung der von den Relais a und b gemessenen Impedanz. In Fig. 4 ist die aus den Oszillogrammen für die Relais a und b entnommene Impedanz $\frac{U_{TR}}{I_T}$ aufgetragen. Während die Kurzschlussimpedanz der kranken Strecke mit Lichtbogen (Kurve 1a) nahezu konstant verläuft, beginnt die Impedanz der Leitung 8a (Relais a) bei Kurzschlussanfang, wo noch Phasenübereinstimmung herrscht, mit 49 Ohm, und sinkt vor dem Abschaltmoment der Leitung 8b im Zeitpunkt 0,78 s auf ca. 16 Ohm. Im Zeitpunkt 1 s beginnt der Ausgleichstrom zu sinken (Kurve 2). Von die-

Tabelle II.

Kurzschluss		Relaiszeiten der kranken Strecke ¹⁾				Ueberschüssige Abschaltungen	
Ort	Art	Ende 1 ²⁾		Ende 2		Zahl	Ort
		Sollzeit s	Wirkliche Zeit s	Sollzeit s	Wirkliche Zeit s		
I	2 polig RS	0,1	0,1	1,0	0,9	keine	NB: Die Zeiten der überschüssigen Abschaltungen sind eingeraht. 
	2 polig ST	0,1	0	1,0	1,0	keine	
	2 polig TR	0,1	0,1	1,0	1,1	keine	
	3 polig RST	0,1	0,1	1,2	0,3	3	
II	2 polig RS	ca. 1,0	1,1	ca. 1,0	0,9	keine	
	2 polig ST	ca. 1,0	1,0	ca. 1,0	1,0	keine	
	2 polig TR	ca. 1,0	1,1	ca. 1,0	1,1	keine	
	3 polig RST	ca. 1,0	0,9	ca. 1,0	1,1	4	
III	2 polig TR	0,2	0,2	1,0	0,9	2	
	2 polig TR	0,2	0,2	1,0	1,0	1	
	2 polig TR	0,2	0,2	1,0	1,0	2	
IV	2 polig RS	0,3	0,3	0,7	0,8	2	
	2 polig ST	0,3	0,3	0,7	0,6	2	
	2 polig TR	0,3	0,3	0,7	0,6	1	
	3 polig RST	0,3	0,3	0,9	0,9	3	

1) Die Relaiszeiten sind die distanzproportionalen Zeiten der Anzeigevorrichtung; für die totale Relaiszeit ist noch die Grundzeit von meist 0,5 s zu addieren.

2) Ende 1 ist stets das dem Kurzschluss zugekehrte; Kurzschlussort II war in Leitungsmitte.

sem Moment an steigt auch die von Relais a gemessene Impedanz, wie aus Kurve 2a ersichtlich ist. Die vorgekommene überzählige Abschaltung der Relais a findet dadurch ihre Erklärung. Wie weiter aus Fig. 10 hervorgeht, besteht diese Gefahr für den gegenüber dem Totalstrom I_K weiter zurückstehenden Strom I_{2T} und damit für Relais b nicht.

In ganz ähnlicher Weise lassen sich auch die überzähligen Abschaltungen an Kurzschlußstelle IV erklären.

Ueber die Ursache der überzähligen Abschaltungen bei den *dreipoligen Kurzschlüssen* gibt Fig. 7 Aufschluss. Kurve 1a zeigt die aus den Oszillogrammen für den Drehstromkurzschluss an Stelle I entnommenen Werte für die Impedanz der Relais, Phase T, d. h. das Verhältnis $\frac{U_{TR}}{I_T}$ und zwar für die vom Kurzschluss betroffene Leitung 8a, während Kurve 2a dasselbe für die «gesunde» Leitung 8b darstellt. Die Impedanz der «kranken» Leitung beträgt etwa 5,5 Ohm, was einem früheren Messwert dieser Leitung, 6 Ohm, bei Zweiphasenkurzschluss gut entspricht, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Drehstromimpedanz mit $\frac{\sqrt{3}}{2}$ -fachem Wert der zweiphasigen Impedanz einzusetzen ist. Wie zu erwarten, bleibt diese Impedanz von den Stromschwankungen nahezu unberührt, trotzdem der Strom, über einen Lichtbogen fließend, zwischen 1500 und 600 A pendelt. Ganz anders ist jedoch der Impedanzverlauf in der «gesunden» Leitung 8b. In den Augenblicken der Phasenopposition, d. h. in den Zeitpunkten 0,6, 1,05 und 1,35 s sinkt die Impedanz dieser Leitung auf die *Hälfte der Impedanz der kranken Strecke*. Den Relais der gesunden Leitung wird somit in diesen Zeitpunkten eine um die Hälfte kleinere Kurzschlussentfernung vorgetäuscht als den Relais der kranken Leitung. In den Zeitpunkten der Phasenübereinstimmung zwischen K und Gruppe I, d. h. bei 0,8 und 1,2 s usw. besteht dagegen ein Impedanzwert, der dem synchronlaufenden Netz entspricht und der gegeben ist durch die über die kurzgeschlossene Leitung in L herrschende Spannung, dividiert durch den von Leitung 8b in L einfließenden Teilstrom.

In Fig. 7 ist ferner die Rückfallimpedanz der Relais in L der Leitung 8b eingetragen; bei Ueberschreitung dieses Wertes kehren die Distanzrelais momentan in ihre Ruhelage zurück. Die Relais der Leitung 8b sind somit bei Kurzschlussbeginn als Reserve angelaufen, haben ihre Grundzeit von 0,5 s durchlaufen und anschliessend sofort abgeschaltet, da der in diesem Zeitpunkt vorhandene Impedanzwert einen ganz nahegelegenen Kurzschluss vortäuscht. Hätte die Grundzeit nicht 0,5 s, sondern z. B. 0,8 s betragen, so wären diese Relais im Zeitpunkt 0,75 s zurückgefallen, da in diesem Moment die an den Relais herrschende Impedanz die Rückfallimpedanz überschritt. Im Zeitpunkt 0,86 s

wären sie wieder angelaufen, nach weiteren 0,2 s wieder zurückgefallen usw., ohne den Kontakt zu betätigen.

Einen gleichartigen Verlauf zeigen für den Drehstromkurzschluss an Stelle IV die in Fig. 9, Kurve 2a, dargestellten, aus den Oszillogrammen ermittelten Werte der Impedanz der «gesunden» Leitung 10a.

5. Abhilfsmöglichkeiten und getroffene Massnahmen.

Die geschilderten Versuche haben nicht nur einen Einblick in die tatsächlichen elektrischen Verhältnisse bei Kurzschlüssen im untersuchten Netze ergeben, sondern auch gezeigt, dass in denjenigen Fällen, wo ausser der Abschaltung der bei Kurzschluss gestörten Leitung noch weitere unerwünschte Schalterfälle vorkamen, diese durch die besonderen Impedanzverhältnisse vorkommen mussten.

Die nächstliegenden Abhilfsmöglichkeiten wären entweder das Eintreten der Phasenverschiebung zwischen den Werken zu verhindern, oder die Abschaltung der Kurzschlüsse so rasch vorzunehmen, dass sich die geschilderten Zustände überhaupt nicht ausbilden können.

Der erste Weg ist ein Problem der Turbinenregulierung, und zwar die absolute Konstanthaltung der Kreisfrequenz ω in jedem Augenblick, da ja, wie die Versuche zeigen, bei den zweipoligen Kurzschlüssen der Synchronismus, bzw. die Gleichheit der Drehzahlen der speisenden Werke erhalten bleibt und die Ausgleichsvorgänge lediglich durch Pendelungen innerhalb der Polstellungen der Werke verursacht sind. Tatsächlich sprachen die Regler der Maschinen im Werk K auf diese Änderungen der Kreisfrequenz bei zweipoligen Kurzschlüssen an. Es ist aber klar, dass bei raschster Regulierung schon infolge der Massenwirkung der Wassersäule keine so schlagfertige Energie an die Turbinenwelle abgegeben werden kann, wie sie der Generatorwelle bei Kurzschluss tatsächlich entzogen wird. Wohl könnte in Frage kommen, dass die Maschinenmassen den plötzlich erforderlichen Energiezuschuss abgeben, doch sind sie zu klein, um diesen mit der zulässig kleinen Verzögerung über die erforderliche Zeit zu liefern. Die verzögerten Schwungmassen müssen vielmehr in Form von Ausgleichströmen der parallel laufenden Werke wieder abgefangen werden und verursachen dadurch die Pendelungen und hohen Amplituden der Ausgleichströme.

Der zweite Weg, die Abschaltung des Kurzschlusses in sehr kurzer Zeit, wäre wohl eine ideale Abhilfsmassnahme, da damit der Uebelstand bei der Ursache erfasst würde. Aus den Oszillogrammen wäre ein Anhaltspunkt über den höchst zulässigen Wert der Abschaltzeit zu gewinnen, innerhalb welcher das Aussertrittfallen nicht zu erwarten ist. Die Oszillogramme für Drehstromkurzschluss zeigen den Eintritt der Phasenopposition an den Kurzschlußstellen I und II nach 0,6 s, an

der Stelle IV nach 0,45 s. Das Oszillogramm dieses letzteren Versuches (Fig. 8) lässt auch erkennen, dass die Polradverschiebung sofort nach Eintritt des Kurzschlusses beginnt. Bei welcher höchsten Abschaltzeit zwischen 0 und 0,45 s das Aussertrittfallen noch verhindert werden könnte, kann auf Grund der Oszillogramme nicht genau gesagt werden. 0,2 s scheinen noch zu genügen, 0,3 s dürften jedoch die äusserste Grenze bilden.

Diese Minimalzeiten überschreiten aber z. T. schon die Eigenzeiten der eingebauten Oelschalter. Die Relais müssten daher praktisch ohne Zeitverzögerung arbeiten, während beim eingebauten Schutz eine Mindestzeit von 0,5 s nicht unterschritten werden kann.

Tatsächlich sind in neuerer Zeit Distanzrelais entwickelt worden, die bereits in Bruchteilen von 0,1 s arbeiten und es ist in vorliegendem Fall interessant, zu untersuchen, inwieweit der Einbau derartiger «Momentanrelais» Abhilfe bringen könnte. Fig. 12 stellt eine Leitungsstrecke AB dar. Die Momentanrelais wirken nach dem Zeitstufenprinzip. Ueber einen gewissen Teil der Streckenlänge, z. B. $\frac{2}{3}$, erfolge Momentanauslösung mit

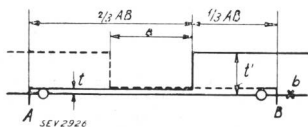


Fig. 12.

Zeit t , der restliche Teil werde nach einer Zeitstufe t' abgeschaltet. Die Momentanauslösung kann nicht über die ganze Strecke, sondern nur auf einen Teil, maximal etwa $\frac{2}{3}$, ausgedehnt werden, da sonst bei Kurzschluss in b ausser dem Relais bei B, auch das Relais bei A momentan auslösen würde. Die Zeitstufe t' ist bedingt durch die Eigenzeit der Oelschalter und müsste, auf das vorliegende Netz angewendet, unter Einschluss einer Sicherheit, zu mindestens 0,5 bis 0,7 s angenommen werden.

Aus dem Gesagten folgt, dass die Momentanabschaltung nur für Kurzschlüsse im Gebiete a der Leitung eintritt, also nur auf ca. $\frac{1}{3}$ der Leitungsstrecke. Ausserhalb dieses Gebietes wird ein Kurzschluss erst nach mindestens 0,5 bis 0,7 s abgeschaltet, also nach einer Zeit, in der das Netz bereits ausser Tritt gelaufen ist. Ein Zeitstufendistanz-

schutz mit Momentanauslösung wäre also nur eine recht unvollkommene Abhilfe.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass mit wirtschaftlich in Betracht fallenden Mitteln eine Verhinderung des Aussertrittfallens der Werke beim Drehstromkurzschluss nicht erreicht werden kann.

Damit entstehen folgende Fragen:

1. Ist es möglich, den Selektivschutz so zu gestalten, dass trotz des Aussertrittfallens die Schalterauslösung nur auf die beiden Schalter der kranken Strecke beschränkt bleibt, und
2. was geschieht bei Erfüllung der Forderung 1 im Netz, d. h. fangen sich die Werke wieder in angemessener Zeit oder muss beim Drehstromkurzschluss durch unerwünschte Netzaufteilung vorgesorgt werden?

Das Studium der Forderung 1 führte in der Hauptsache zu einer Anpassung der Ansprech- und Rückfallimpedanzen der Distanzrelais, die bisher nur unter den Gesichtspunkten der Reservestellung gewählt wurden. Von dieser Massnahme wurde unter Berücksichtigung aller Versuchsergebnisse das Verschwinden überzähliger Abschaltungen bei zweipoligen Kurzschlüssen erwartet, während bei Drehstromkurzschlüssen die Wahrscheinlichkeit solcher Abschaltungen im asynchronlaufenden Netz so stark vermindert erschien, dass eine praktisch befriedigende Auswirkung der erwähnten Abhilfsmassnahme anzunehmen war.

Die Beantwortung der zweiten Frage, d. h., finden sich die Werke wieder, kann nur durch den Versuch festgestellt werden.

Damit wurde beschlossen, sowohl zur Kontrolle der vorgesehenen Neueinstellung der Relais, als auch zur Beantwortung der zweiten Frage, die Kurzschlussversuche teilweise zu wiederholen.

6. Kontrollversuche im Januar 1931.

Diese Versuche wurden unter den genau gleichen Netzverhältnissen wie im März 1930 durchgeführt und ergaben die in Tabelle III zusammengestellten Resultate.

In allen Fällen wurde wiederum die kranke Strecke richtig abgetrennt. Unerwünschte Abschal-

Tabelle III.

Kurzschluss		Relaiszeiten der kranken Strecke				Ueberschüssige Abschaltungen		
		Ende 1		Ende 2		Versuche Januar 1931		Versuche März 1930
Ort	Art	Sollzeit s	Wirkliche Zeit s	Sollzeit s	Wirkliche Zeit s	Anzahl	Ort	Anzahl
II	2 polige TR	ca. 1,0	1,0	ca. 1,0	0,8	keine	Transf. bei M, 50-kV-Seite	(keine)
	3 polige RST	—	1,3	—	0,6	1		(4)
IV	2 polige RS	—	0,3	—	0,6	keine	bei M Leitung 8 _b	(2)
	3 polige RST	—	0,2	—	0,6	1		(3)

tungen sind bei den zweipoligen Kurzschlüssen nicht mehr vorgekommen.

Bei dem dreipoligen Kurzschluss an Stelle II fielen die Werke ausser Tritt, die kranke Strecke wurde richtig abgeschaltet, die Spannung erholte sich unter dauernden Schwebungen, und nach ca. 10 s pendelten die Netzvoltmeter nur noch schwach um den Normalwert. Sämtliche einspeisenden Werke blieben unter sich in Verbindung; nur ein Schalter an der Netzkupplung über den Transformator in M fiel unter dem Einfluss der Ausgleichsströme, ohne aber den Betrieb weiter zu behindern.

Auch bei dem Versuch an der ungünstigsten Stelle, d. h. an Stelle IV, fielen beim Drehstromkurzschluss die Werke wiederum ausser Tritt; der kranke Strang der Doppelleitung wurde mit richtigen Zeiten abgetrennt, der gesunde Parallelstrang verblieb im Betrieb und übernahm den Energietransport. Die Verbindung zwischen sämtlichen Werken blieb erhalten, nur in M fiel der Schalter der Leitung 8 b als überzählig, so dass die Gruppe I

statt direkt über die Transformierung in M und Leitung 8 a nach L speisen musste. Das Wiederfinden der Werke vollzog sich in gleicher Weise wie beim zuvor geschilderten Versuch.

Die Versuche ergaben somit die Zweckmässigkeit der getroffenen Massnahmen und zeigten, dass der vorgesehene Distanzschutz selbst unter den wirklich schwierigen elektrischen Zuständen beim aussertrittgefallenen Netz seine Selektivität unter Einhaltung der vorausbestimmten Abschaltzeiten beibehält.

Interessant ist, dass nach Abschaltung der gestörten Strecke die aussertrittgefallenen Werke ohne irgendwelchen äusseren Eingriff nach ca. 10 s wieder normal zusammenarbeiten.

Im Anschluss an die Versuche wurde der Schutz unverändert im Betrieb belassen und eine Statistik mit genauer Analyse jeder einzelnen Störung geführt. Die seitherigen Betriebserfahrungen decken sich durchaus mit den Versuchsergebnissen.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Neue Regelapparate.

621.314.214:621.316.72

Bei Versuchsaufbauten im Laboratorium und Prüffeld benutzt man zum Regeln von Strom und Spannung meistens Schiebewiderstände, bei denen die benötigten Werte von einer Wicklung abgenommen werden. Sie sind zwar sehr bequem zu benutzen, arbeiten jedoch unwirtschaftlich, da sie in ihrer Wicklung Energie in Wärme umsetzen. Für die Regelung von Wechselstrom gibt es neuerdings kleine Regeltransformatoren, die äusserlich wie ein Schiebewiderstand aussehen (Fig. 1) und ebenso bequem zu benutzen sind. Ein solcher Regeltransformator besteht aus zwei lamellierten

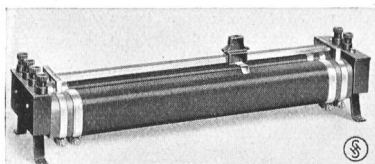


Fig. 1.
Regeltransformator. Ansicht.

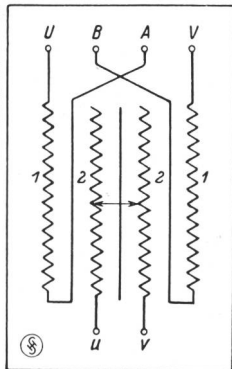


Fig. 2 (rechts):
Regeltransformator,
Grundschaltung.
1 Primäre Wicklung.
2 Sekundäre Wicklung.

Eisenkernen mit zwei Wicklungen. Die Primärwicklung ist nach innen gelegt, so dass die Sekundärwicklung, auf der der Schieber gleitet, mit ihrer geringen Spannung von 40 V aussen liegt; eine Berührungsschutzkappe ist nicht nötig. Die Primärwicklung besteht aus zwei Hälften (Fig. 2), die sich entweder parallel oder in Serie schalten lassen. Infolgedessen sind diese Regeltransformatoren sowohl bei einer Netzspannung von 110 V als auch von 220 V benutzbar. Bei beiden Spannungen erfolgt der Anschluss an die Klemmen UV. Durch Verbindung von A mit B werden die Wicklungen für 220 V in Serie geschaltet, während sie bei 110 V parallel gelegt werden, indem A mit V und B mit U verbunden wird. Siemens & Halske liefert z. B. normale Typen mit Sekundärspannungen von 20, 40 und 80 V bei einer Dauerleistung bis 400 VA, nötigenfalls bis 700 VA. Kurz-

zeitig (für etwa 5 min) kann etwa die doppelte Stromstärke entnommen werden. Ausser für Regelzwecke sind diese Transformatoren auch dort mit Vorteil zu verwenden, wo



Fig. 3.
Regeleinrichtung.



Fig. 4.
Zusatztransformator zur
Regeleinrichtung.

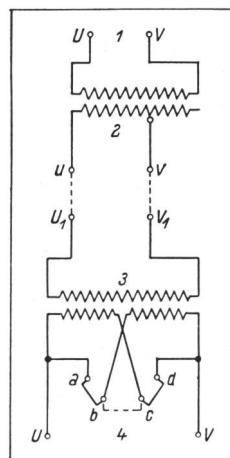


Fig. 5.
Schaltschema der Regelein-
richtung und Zusatz-
apparatur.

- 1 Netz.
- 2 Regeleinrichtung.
- 3 Zusatztransformator.
- 4 Stromentnahme.

kleinere Heiz- oder Schmelzöfen entsprechender Leistungsaufnahme in sparsamer Weise aus dem Netz gespeist werden sollen.