Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 20 (1929)
Heft: 9

Artikel: Das Minimalimpedanzrelais : ein Beitrag zur Lösung der Frage des Schutzes von Hochspannungsfreileitungen

Autor: Puppikofer, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056815

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke | REDAKTION Zürich 8, Seefeldstr. 301 | Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration | Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G. Zürich 4, Stauffacherquai 36/38 | Editeur et Administration

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet | Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XX. Jahrgang
XX^e Année

Bulletin No. 9

Mai 1
Mai 1 1929

Bericht über die Diskussionsversammlung des S. E. V.

Samstag, den 9. März 1929, 8 h 45
im Hotel Schweizerhof in Olten.

Die Diskussionsversammlung fand unter dem *Vorsitz* des Herrn Direktor *J. Chuard,* Präsident des S. E. V., statt. Es nahmen ungefähr 125 Mitglieder und Gäste daran teil. Zur Behandlung kamen folgende

Diskussionsthemata:

1. Leistungsaustausch zwischen unabhängigen Leitungsnetzen (Schlupfumformer). Referent: Herr *F. Grieb,* Ingenieur, Baden.
2. Das Minimal-Impedanzrelais der Maschinenfabrik Oerlikon. Referent: Herr *H. Puppikofer,* Ingenieur, Oerlikon.
3. Automatische Kraftwerke. Referent: Herr *W. Walty,* Ingenieur, Baden.

Aus technischen Gründen muss die Veröffentlichung des Berichtes im Bulletin des S. E. V. auf zwei aufeinanderfolgende Nummern verteilt werden, in der Weise, dass in der vorliegenden Nummer die Veröffentlichung des Referates und der Diskussion zum Thema No. 2, in der nächsten Nummer diejenige der Referate und der Diskussionen zu den Themen No. 1 und 3 erfolgt.

Das Minimalimpedanzrelais.

Ein Beitrag zur Lösung der Frage des Schutzes von Hochspannungsfreileitungen.

Referat von *H. Puppikofer,* Ingenieur, Oerlikon.

621.317.4 : 621.317.8

Der Autor zerlegt die Zeit vom Eintreten eines Kurzschlusses bis zu dessen Abschaltung in ihre Komponenten und zeigt an Hand von Versuchen den Einfluss der Eigenschaften des auslösenden Relais auf diese Zeit; diese kann in erster Linie durch Kleinhalten der Eigenzeit und Staffelzeit des Relais verkürzt werden. Er behandelt dann kurz die Entwicklung des Ueberstromschutzes, des Differentialschutzes, des Spannungsrückgangschutzes und geht auf das Prinzip des Impedanzschutzes ein. Auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse entwickelt er den Aufbau eines zweckmässigen Impedanzrelais, des M. F. O. - Minimalimpedanzrelais, und erläutert seine konstruktive Durchbildung und seine Wirkungsweise. Zum Schlusse werden Versuche und Betriebserfahrungen im Netz der Schweizerischen Bundesbahnen mitgeteilt.

L'auteur décompose le temps qui s'écoule entre le moment d'un court-circuit jusqu'à son déclenchement et montre à l'aide d'essais l'influence des propriétés du relais de déclenchement sur ce temps, qui peut être écourté en première ligne en maintenant aussi bref que possible le temps propre et le temps de gradation. Il traite ensuite rapidement le développement des systèmes de protection basés sur les surintensités, les creux de tension, celui de la protection différentielle et passe au principe de la protection par l'impédance. Il en déduit un type de relais approprié, le relais d'impédance minimum des Ateliers de Constructions Oerlikon, et en explique la construction et le fonctionnement. L'auteur signale enfin des essais et des résultats d'exploitation réalisés dans le réseau des Chemins de fer fédéraux.

An der letzten Generalversammlung des S. E. V., am 16 Juni 1928, wurde in einem vorzüglichen Referat von Herrn Ing. Stöcklin das Wesen des Distanzrelais er-

läutert, oder wie ich es präziser bezeichnen möchte, des „Impedanzzeitrelais“ [1]). Ich möchte nun die Ueberlegungen zeigen, die in der Maschinenfabrik Oerlikon zur Entwicklung eines davon abweichenden Relais geführt haben und dieses neue Relais und seine Wirkungsweise näher beschreiben.

1. Einleitung.

Bevor wir näher auf das Thema eintreten, möchte ich kurz festhalten, welche Anforderungen heute an ein Schutzsystem gestellt werden müssen. Ein brauchbares Schutzsystem muss in erster Linie *selektiv* wirken, d. h. bei einer Störung darf nur der kranke Netzteil ausgeschaltet werden. Die anderen Netzteile sollen ungestört im Betriebe verbleiben. Bei den heutigen Ansprüchen der Industrie und der städtischen Stromverbraucher an die Kontinuität der Stromlieferung ist die Forderung der Selektivität der Schutzsysteme von grundlegender Wichtigkeit.

Mit der zunehmenden Verkoppelung der Netze und Kraftwerke hat man ausserdem die Erfahrung machen müssen, dass die Zeit, die vom Moment des Auftretens der Störung, d. h. des Kurzschlusstromes, bis zu seiner erfolgten Unterbrechung vergeht, nur sehr kurz sein darf, ansonst die Kraftwerke und die einzelnen Maschinen bei starker Spannungs- und Frequenzsenkung ausser Tritt fallen. Es muss also von einem Selektiv-Schutzsystem noch gefordert werden, dass es für die Selektion der defekten Netzteile nur eine ganz kleine Zeit braucht. *Selektive Abschaltung in minimaler Zeit* ist das Qualitätsmerkmal des brauchbaren Selektivschutzes. Die rechnerische Ermittlung der grössten zulässigen Zeitverzögerung der Abschaltung stösst auf Schwierigkeiten. Es empfiehlt sich daher, sie durch Versuche oder Beobachtungen bei Störungen zu ermitteln. Soviel aus der technischen Literatur entnommen werden kann, liegt das zulässige Maximum in den häufigsten Fällen unterhalb 3 Sekunden.

Die grosse Rolle, welche die Zeit t vom Auftreten des Kurzschlusstromes bis zu seiner Abschaltung spielt, hat die Maschinenfabrik Oerlikon schon vor Jahren dazu bewogen, in einer ganzen Reihe von Versuchen die beeinflussenden Faktoren mit dem Oszillographen zu untersuchen.

Fig. 1 zeigt ein solches Oszillogramm, das an einem 135 kV-Schalter aufgenommen wurde. Die Sinuskurve gibt den Verlauf des Kurzschlusstromes im Relais wieder, die obere Kurve den Verlauf des Stromes im Auslösemagnet. Die Zeit vom Moment des Auftretens des Kurzschlusses bis zum Schliessen des Stromkreises des Auslösemagnetes ist die Eigenzeit t_0 des Relais, hier gleich $^5/_{100}$ sec. Die Zeit vom Moment des Schliessens des Stromkreises bis zum Beginn der Bewegung des Oelschalters (gekennzeichnet durch den Beginn der Zeitmarken am untern Rande des Films) ist die Ansprechzeit der Auslösung und bildet einen Teil der Eigenzeit des Oelschalters. Diese Ansprechzeit beträgt hier $^{7,6}/_{100}$ sec.

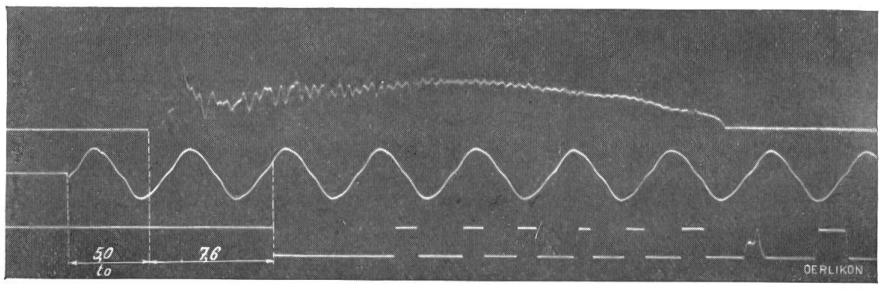

Fig. 1.
Oszillographische Bestimmung der Relais-Eigenzeit.

Für die weitern Ueberlegungen und den Vergleich der verschiedenen Schutzarten ist es von Vorteil, die Zeit t in folgende Summanden zu zerlegen:

$$t = (t_0 + t_1 + t_2) + (t_3 + t_4).$$

(t_0 = Eigenzeit der Relais; t_1 = feste Grundzeit; t_2 = Staffelzeit; $(t_0 + t_1 + t_2)$ = durch die Relais verursachte Verzögerung der Auslösung; t_3 = Eigenzeit der Oelschalter;

[1]) Siehe Bull. S. E. V. 1928, No. 16, S. 507.

t_4 = Lichtbogendauer im Oelschalter; $(t_3 + t_4)$ = durch die Oelschalter verursachte Verzögerung der Abschaltung.)

Die Zeiten t_0 und t_3 sind von der Konstruktion der betreffenden Apparate abhängig und bei den Oelschaltern für eine bestimmte Apparatentype konstant. Die Eigenzeit der Relais hingegen ist bei allen Konstruktionen auch abhängig vom Verhältnis zwischen dem gemessenen Wert und dem an dem Relais eingestellten Grenzwert der zum Schutz herangezogenen charakteristischen Grösse.

Die Grundzeit t_1 wird oft an den Relais eingestellt, um eine momentane Abschaltung zu verhindern und dadurch zu verhüten, dass die zugehörigen Oelschalter mit dem maximalen Kurzschlusstrom ihres Standortes im Netze beansprucht werden. In Hauptnetzen wird man unbedingt die Frage des Selektivschutzes nicht komplizieren wollen durch Verquickung mit der Frage der Reduktion der Schalterbeanspruchung. Man wird daher entweder die Schalter so bemessen, dass sie auch den maximalen Kurzschlusstrom anstandslos unterbrechen können oder durch Einbau von Drosselspulen und zweckentsprechende Schaltung des Netzes den maximalen Kurzschlusstrom selbst entsprechend reduzieren. Diese Grundzeit beträgt bei vielen Relaiskonstruktionen 1 bis 2 sec.

Die Reduktion der Staffelzeit t_2 ist begrenzt durch die Streuung der Relais und durch die Ungenauigkeit im Uebersetzungsverhältnis der Strom- und Spannungswandler. Speziell bei Relais mit distanzabhängiger Staffelzeit muss ausserdem darauf geachtet werden, dass diese bei den kleinsten Strecken nicht unter die Eigenzeit t_3 der Oelschalter fällt. Je nach den verwendeten Relais und Wandlern wird das Minimum von t_2 1 sec, 0,8 bis 0,5 sec betragen.

Man ersieht daraus schon, dass ein Interesse besteht, die Eigenzeit t_3 der Oelschalter möglichst klein zu halten. Diese Eigenzeit kann durch zweckmässige Konstruktion des Oelschalters und seines Auslöseschlosses auf ein gewisses Minimum reduziert werden. Sie liegt je nach der Schaltertype in der Grössenordnung von 0,05 bis 0,1 bis 0,2 sec.

Das Oszillogramm der Fig. 2 wurde bei Kurzschlussabschaltversuchen mit Löschkammerschaltern für 135 und 66 kV aufgenommen, welche die Maschinenfabrik Oerlikon kürzlich im Unterwerk Rupperswil der Schweizerischen Bundesbahnen (S. B. B.) auszuführen Gelegenheit hatte. Es stellt die letzte Ein- und Ausschaltung bei der Durchführung des dreimaligen O C O - Zyklus mit allen Kraftwerken und allen arbeitsfähigen Generatoren der S. B. B. dar. Nach den S. E. V.-Richtlinien rechnet man eine Abschaltleistung von 320 000 kVA aus. Die aus der Federkraft und dem Druck in der Kammer auf die Bolzen sich ergebende Abschaltgeschwindigkeit betrug etwas mehr als 10 m/sec, d. h. ebensoviel wie bei einem Schalter mit 10 Unterbrechungen und 1 m Traversengeschwindigkeit. Dabei hat man aber den Vorteil kleinerer Gesamtlichtbogenlänge, was durch kleinere Schalterarbeit zum Ausdruck kommt. Die Schalterarbeitkonstante lag zwischen 0,075 und 0,091, die Gaskonstante ergab sich aus den Gasmessungen im Mittel zu 70 cm^3/kW sec.

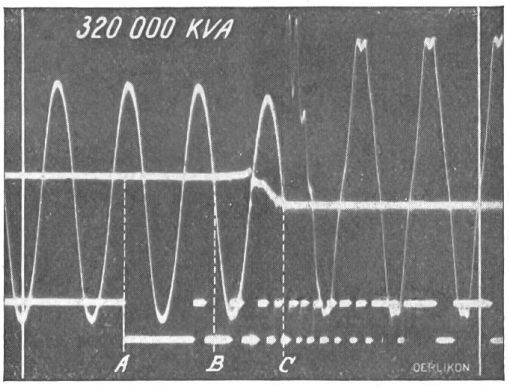

Fig. 2.
Oszillogramm einer Kurzschluss-Abschaltung.

Den Schweizerischen Bundesbahnen, insbesondere den Herren des Bureau für Elektrifikation, sei auch an dieser Stelle der wärmste Dank ausgesprochen für das grosse Interesse, das sie diesen Versuchen entgegengebracht, und die grosse persönliche Arbeit, die sie dabei auf sich genommen haben.

In der Lichtbogenzeit bedeutet offenbar die erreichte Abschaltzeit von zwei Halbperioden oder $^6/_{100}$ Sekunden einen Rekord. Die Lichtbogenzeit ist ausser vom Strom und der Spannung des Kurzschlusskreises noch von der Konstruktion des

betreffenden Oelschalters abhängig. In der Regel wird diese Zeit t_4 bis zu $^{10}/_{100}$ oder $^{15}/_{100}$ sec betragen.

Bei jedem Oelschalter, ob er Tast- oder Schleifkontakte hat, vergeht eine Zeit vom Moment des Beginns der Bewegung bis zum Moment des Oeffnens der Kontakte. Bei den Schaltern mit Tastkontakten, deren Anpressungsdruck parallel, d. h. in der Bewegungsrichtung der Traverse, gerichtet ist, handelt es sich um den Nachlaufweg, der zur Schaffung des Federdruckes nötig ist. Bei den Schaltern mit Schleifkontakten, deren Anpressungsdruck senkrecht zur Bewegungsrichtung der Traverse verläuft, ist es der Weg im Kontaktteil, der zur Schaffung der Kontaktfläche nötig ist. Diese Zeit muss zur Ansprechzeit der Auslösung, die wir im Oszillogramm Fig. 2 gesehen haben, addiert werden, um die Eigenzeit des Oelschalters zu erhalten.

Stellen wir für den vorliegenden Fall die Zahlen zusammen, so ergibt sich die Gesamtzeit: $t = {}^{5}/_{100} + 0 + 0 + ({}^{7,6}/_{100} + {}^{7,5}/_{100}) + {}^{6}/_{100} = {}^{26,1}/_{100}$ sec.

Das verwendete Relais war zur Feststellung der Eigenzeit ohne Grundzeit und ohne Staffelzeit auf Momentauslösung eingestellt worden. Dabei soll noch erwähnt werden, dass die Eigenzeit auf die Hälfte reduziert werden könnte, wenn das Relais stets nur auf Momentauslösung arbeiten müsste.

Selbstverständlich dürfen diese Zahlen nicht verallgemeinert werden; für jede Relais- und Schaltertype muss man sie durch entsprechende Versuche bestimmen. Immerhin zeigen diese Werte, wie weit herunter man auch bei Höchstspannungsschaltern durch entsprechende Wahl der Konstruktion kommen kann.

Ein kurzer Rückblick auf die angegebenen Zahlenwerte zeigt deutlich, dass der grösste Gewinn sich bei der Verringerung der Grundzeit und der Staffelzeit ergeben wird.

Betrachten wir nun vorerst die charakteristischen Grössen, die uns zur Feststellung eines Fehlers resp. Kurzschlusses in einem bestimmten Stromkreis dienen können. Es sind dies:

a) der Strom,
b) die Spannung,
c) das Produkt beider, d. h. die Leistung,
d) das Verhältnis Spannung durch Strom, d. h. Impedanz oder Reaktanz,
e) die Asymmetrie der Spannungen und Ströme bei Drehstrom.

2. *Der Ueberstromschutz.*

Die ersten Schutzeinrichtungen elektrischer Stromkreise, die Schmelzsicherungen, zogen den Strom herbei zur Feststellung eines Fehlers. Mit wachsender Leistung der Netze wurden die Sicherungen durch Schalter, insbesondere durch Oelschalter, ersetzt, die durch momentan wirkende Stromrelais ausgelöst wurden.

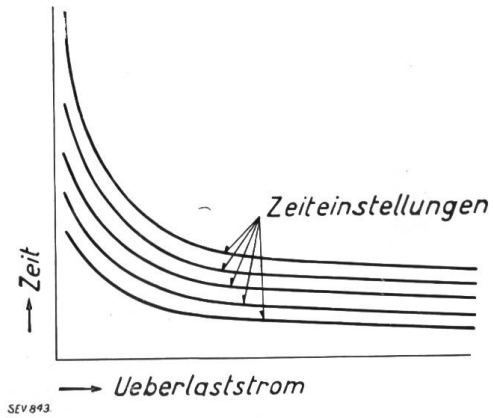

Fig. 3.
Charakteristik des abhängigen Maximalstrom-Zeitrelais.

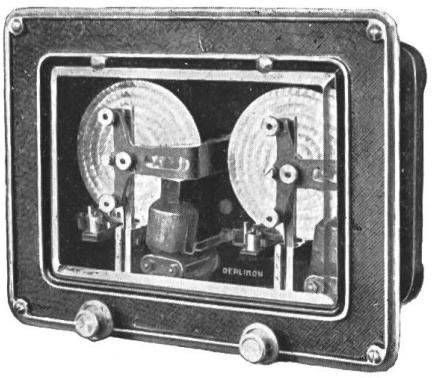

Fig. 4.
Maximalstrom-Zeitrelais.

Die einzige Möglichkeit, bei hintereinander liegenden Schaltern eine Selektion zu erreichen, lag in der Staffelung der Auslösestromstärken. Die Bestrebungen, eine

bessere Selektivität zu schaffen, führten zur Herbeiziehung der Zeit als weiteres Hilfsmittel. Es entstanden daraus die Ueberstromschutzsysteme mit abhängigen und unabhängigen Maximalstromrelais nach dem Induktionsprinzip (Fig. 3 und 4).

Radial verzweigte Netze ohne Vermaschung, sog. „Baum-Netze" können mit den heute bekannten Maximalstromzeitrelais mit grundsätzlich richtiger Selektivität geschützt werden. Die Staffelung der Zeiten erfolgt dabei derart, dass die Schalter an den äussersten Netzabzweigungen die kürzesten Auslösezeiten haben. Beim unabhängigen Maximalstromzeitrelais mit fester Zeiteinteilung ergibt sich allerdings bei grösserer Zahl hintereinander liegender Schalter der schwerwiegende Nachteil, dass die Abschaltung von Kurzschlüssen in der Nähe der Kraftwerke viel zu langsam vor sich geht, so dass die Maschinen ausser Tritt fallen.

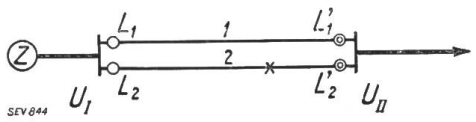

Fig. 5.
Schutz zweier paralleler Leitungen.
◯ Maximalstrom-Zeitrelais.
◎ Richtungsrelais.

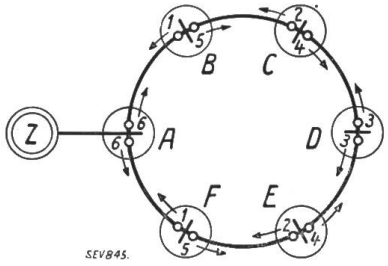

Fig. 6.
Schutz eines einseitig gespeisten Ringnetzes durch gegenläufige Zeitstaffelung.

Sowohl bei Ringnetzen mit einseitiger Speisung, als auch bei Parallelleitungen zwischen zwei Kraftwerken kommt man mit dem Ueberstromprinzip allein nicht mehr aus. Es muss die dritte angeführte charakteristische Grösse herangezogen werden, die Leistung. Bei Parallelleitungen (Fig. 5) genügt der Einbau von Richtungsrelais in der der Stromquelle abgekehrten Unterstation, die die Linienschalter dann auslösen, wenn die Energie von der Sammelschiene wegfliesst. Im angeführten Beispiel mit Kurzschluss in X würde also in der Unterstation U_{II} nur der Schalter L_2' der Leitung 2 auslösen; der Parallelstrang 1 würde ungestört weiter im Betriebe bleiben. Will man die Ansprechgrenze der Ueberstromrelais nahe an den maximalen Betriebsstrom heranbringen, so müssen bei der Ausschaltung der Schalter L_2 und L_2' die Relais der andern noch gesunden Leitung automatisch auf den doppelten Wert des Ansprechstromes heraufgestellt werden, da die Leitung 1 nun die ganze Leistung zu übertragen hat. Dieses Schutzsystem stellt schon grosse Anforderungen an die Empfindlichkeit der Energierichtungsrelais, denn auch dann, wenn der Kurzschluss in der Nähe der Unterstation U_{II} liegt, soll die richtige Selektion erfolgen.

Das klassische Beispiel der Grenze der Anwendungsmöglichkeit des Ueberstromschutzprinzips ist der etwas allgemeinere Fall des einseitig gespeisten Ringnetzes (Fig. 6). Hier ist jedem Maximalstromrelais ein Richtungsrelais zugeordnet, das die Auslösung des zugehörigen Schalters auch bei Ueberstrom dann verhindert, wenn dieser Strom zu den Sammelschienen der betreffenden Station hinfliesst. Bei abfliessendem Strome hingegen kann das Ueberstromrelais den Oelschalter auslösen. Geben wir in Fig. 6 zu jedem Relais der Stationen A bis F die die Auslösung freigebende Stromrichtung durch Pfeile an, so sehen wir, dass alle beim Durchgehen in alphabetischer Reihenfolge *vor* den Sammelschienen liegenden Relais den *Gegen*uhrzeigersinn gemeinsam haben. Alle *nach* den Sammelschienen liegenden Relais zeigen *im* Uhrzeigersinn. Nun werden alle zu einem und demselben Drehsinn gehörigen Relais von A aus wie bei einem gewöhnlichen Baumnetz in der Zeit gestaffelt. Das ist der Schutz mit *gegenläufiger Zeit-Staffelung.*

Bei den erwähnten Fällen und bei Drehstrom ist die Schaltung der Energierichtungsrelais von Wichtigkeit, was lange unbeachtet blieb. Bei der üblichen Verwendung von zwei einphasigen Rückwattrelais in Aaronschaltung oder in 90° Schaltung tritt stets bei einem bestimmten Leistungsfaktor ein Ansprechen des Relais

ein, auch wenn die Energie ihre Richtung beibehält. Diese den Zählertechnikern wohlbekannte Erscheinung trägt sehr oft die Schuld an der lästigen Auslösung der Oelschalter beim Parallelschalten von Generatoren, die durch Rückwattrelais geschützt sind. Abhilfe erhält man am einfachsten durch mechanische Summierung der Drehmomente der beiden einphasigen Relais.

Allen Ueberstromschutzsystemen ist aber der Nachteil gemeinsam, dass eine Auslösung nur dann erfolgt, wenn der Fehlerstrom den Normalstrom übersteigt und die Grösse des eingestellten Ansprechwertes erreicht hat. Bei vermaschten Netzen, in Kuppelleitungen etc. ist das Verhältnis vom Fehlerstrom zum Normelstrom sehr veränderlich und kann bei schwacher Netzbelastung und entsprechend kleinem Maschineneinsatz z. B. nachts oder am Sonntag beträchtlich unter den Wert Eins fallen. Ein Kurzschluss kann also unter gewissen Umständen von den Maximalstromrelais gar nicht mehr abgeschaltet werden, weil der Kurzschlusstrom den eingestellten Wert des Auslösestromes nicht mehr erreicht.

3. Der Differentialschutz.

Ein anderes auf Strommessung aufgebautes Schutzsystem ist der Differentialschutz. Bei einem Differentialschutz werden stets zwei gleichartige Grössen miteinander verglichen, resp. deren Differenz gebildet. Diese Differenzbildung kann mechanisch, magnetisch oder auch elektrisch erfolgen. Die letztere Art wird heute bevorzugt, weil die Bemessung des Relais unabhängig vom Nennstrom der Anlage ist. Die Schaltung wird so vorgesehen, dass im ungestörten Betriebe der Strom den Relaispfad nicht betritt. Tritt eine Störung auf, so wird der Strom auf den Kreis des Relais gedrängt und bringt dieses zum Ansprechen. Die in dieser Schaltung verwendeten Relais sind eigentlich nichts anderes als Maximalstromrelais grösster Präzision.

Beim gewöhnlichen oder Längsdifferentialschutz werden die Ströme am Anfange und am Ende des zu schützenden Objektes gegeneinander verglichen. Es existieren zwei Schaltungen des Differentialschutzes: die Serieschaltung der Stromwandler und

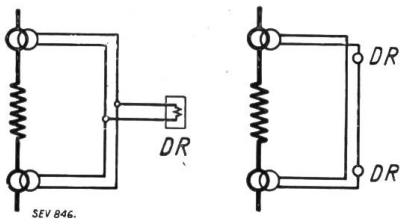

Fig. 7.
Differentialschutz.

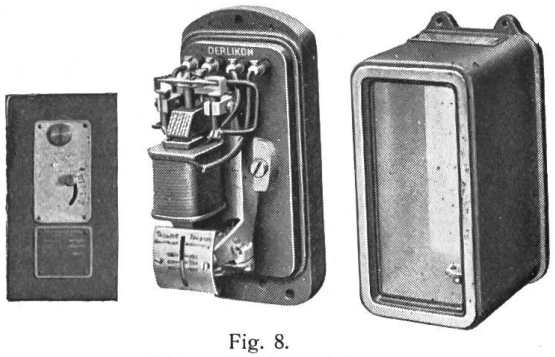

Fig. 8.
Differentialschutzrelais.

die Parallelschaltung der Stromwandler (Fig. 7). Bei der Serieschaltung sind die Hilfsdrähte dauernd stromdurchflossen und das Differentialrelais liegt im Abzweig. Bei der Parallelschaltung sind die EMKe der Wandler einander entgegengerichtet; die Sekundärleitungen sind nur bei Störungen stromdurchflossen, und die Relais liegen in Serie mit ihnen. Hier haben wir also dauernd den sonst peinlichst vermiedenen Zustand offener Stromwandler. Die Wandler müssen daher besonders ausgeführt werden, als eigentliche Serietransformatoren.

Der Differentialschutz wirkt seinem Prinzip nach absolut selektiv. Er überwacht nur den Netzteil, der zwischen den zwei zusammengehörigen Stromwandlern liegt. Da es kein Ueberstrom-, sondern ein Gleichgewichtsschutz ist, kann der Ansprechstrom bis auf Bruchteile des Nennstromes heruntergesetzt werden. Die ausschliessliche Selektivität des Differentialschutzes schliesst einen kleinen Nachteil in sich ein. Versagen bei einem Kurzschluss der Differentialschutz oder die Schalter irgend eines

Netzteiles, so kann der Fehler selbsttätig überhaupt nicht abgeschaltet werden, da die Differentialrelais der vor und hinter dem gestörten liegenden Netzteile darauf nicht ansprechen. Bei allen Schutzsystemen, deren Relais mit gestaffelten Zeiten arbeiten, ist die Selektivität relativ, dafür aber tritt bei Versagen des fälligen Relais sofort das nächstfolgende an seine Stelle und schaltet, wenn auch mit etwas längerer Zeit, sicher ab.

Der Differentialschutz kann als idealer Schutz für alle Einzelobjekte in Anlagen angesprochen werden. In entsprechenden Schaltungen [2]), die alle auf der Serieschaltung aufgebaut sind, kann er alle Fehlerarten solcher Objekte wie Kurzschlüsse, Erdschlüsse und Windungsschlüsse erfassen.

Beim Schutz von Leitungen wendet man vorzugsweise die Parallel- oder Gegenschaltung nach *B* an, um die dauernde Belastung der Wandler d. h. den Leitungsverlust und dadurch den Leitungsquerschnitt möglichst zu reduzieren. Der Anwendung des Längs-Differentialschutzes bei Leitungen steht die Notwendigkeit kostspieliger Hilfsleitungen längs den Hauptleitungen entgegen. Ausserdem müssen besondere Vorsichtsmassregeln getroffen werden, um die Hilfsleitung den induktiven und kapazitiven Einflüssen der Hauptleitungen zu entziehen. Während bei bestehenden Kabelleitungen der nachträgliche Einbau eines Differentialschutzes durch die Kosten verunmöglicht wird, können bei neu zu verlegenden Kabeln die Hilfsleitungen ohne allzu grosse Schwierigkeiten und finanzielle Opfer mit vorgesehen werden. Der Differentialschutz bei Kabelleitungen wird in Amerika besonders häufig angewendet.

Bei parallelgeschalteten Leitungen kann mit der *Querdifferentialschaltung* die Verteilung der Ströme in den gleichphasigen Leitern überwacht werden. Unter dem Namen Achter- oder Polygonschutz sind derartige Schaltungen bekannt, die bei drei und mehr parallelgeführten Leitungen ohne weiteres, bei zwei parallelen Leitungen nur unter Herbeiziehung von Energie-Richtungsrelais selektiv wirken. Damit die letzte im Betriebe verbleibende Leitung nicht schutzlos ist, muss stets zu diesem Differentialschutz noch der Maximalstrom- oder irgend ein anderer Schutz verwendet werden.

4. Der Spannungsrückgangschutz.

Bei Kurzschluss in einem vermaschten Netz nimmt die Spannung naturgemäss gegen den Fehlerort hin bis auf den Nullwert ab. Es entsteht eine Spannungssenkung oder ein Spannungstrichter (Fig. 9), d. h. nach allen Seiten steigt die Spannung vom Fehlerorte weg linear an. Es lag daher der Gedanke nahe, diese Erscheinung zur Entwicklung eines Selektivschutzsystems auszunützen. Es ergaben sich jedoch dieselben Schwierigkeiten wie beim Ueberstromschutz, indem sich die Spannung im gestörten Zustande je nach den Netzverhältnissen weitgehend mit der Betriebsspannung überlappte. Sehr bald kam man dazu, auch die andere charakteristische Grösse des Kurzschlusskreises, den Strom, herbeizuziehen. Um ein Ansprechen des Spannungsrückgangschutzes bei kurzen Spannungssenkungen durch Belastungsänderungen usw. zu verhüten, versah man das Relais mit einem auf Ueberstrom ansprechenden Steuerorgan, welches das Spannungszeitwerk erst freigeben musste. Damit hatte man aber auch wieder den Nachteil des reinen Ueberstromschutzes, der bei Fehlerströmen, deren Werte unter dem des Normalstromes liegen, versagt.

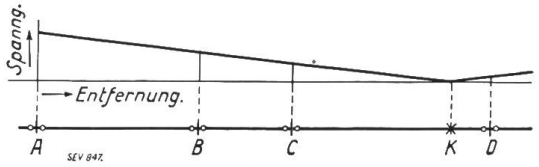

Fig. 9.
Spannungstrichter auf der Leitung *AD* bei Kurzschluss in *K*.

Ums Jahr 1920 studierte man in allen grossen Konstruktionsfirmen an der Lösung der Selektivschutzfrage mit Hilfe von Spannungsrückgangsrelais. Bevor man jedoch zu eigentlichen Anwendungen kam, hatten die aus den Betrieben heraus gewonnenen Erkenntnisse einen andern Weg gewiesen.

[2]) Der Selektivschutz von Kraftwerken, von H. Puppikofer, Bull. S. E. V. 1928, No. 2, S. 48.

5. *Der Impedanzschutz.*

Das Produkt von Strom und Spannung, d. h. die Leistung des Kurzschlusskreises, konnte nicht zum Ausgangspunkt eines Selektivschutzsystems führen, da es nicht nur von der Impedanz der zur Fehlerstelle führenden Leitungen, sondern ebenso sehr von der momentanen elektromotorischen Kraft der Stromerzeuger, d. h. vom vorangegangenen Betriebszustand, abhängt. Zur Feststellung der Energierichtung diente es schon bei den früheren Schutzsystemen und nimmt heute beim Impedanzschutz einen wichtigen Platz ein.

Sowohl die praktischen Erfahrungen als auch die Ueberlegungen zeigten, dass einzig das Verhältnis der Spannung des Kurzschlusskreises zum Strom, welches die Form einer Impedanz hat, zur sicheren Erkennung und Selektion eines Fehlers führen kann. Zur besseren Erläuterung der Bedeutung der betrachteten Grössen kehren wir zum Beispiel der Fig. 9 zurück. Misst man in der Station A Strom und Spannung im ungestörten Betrieb und bildet man das Verhältnis $\frac{E}{I} = Z$, so erhält man bei konstanter Spannung und variabler Leistung, d. h. variablem Strom, Werte von Z, die auf rechtwinkligen Hyperbeln liegen (Fig. 10). Der Wert $\frac{E}{I} = Z$, der den durch diese Kurven dargestellten Verlauf nimmt, wird Betriebsimpedanz genannt. Ist nun am Ende der Strecke $A\,B$ ein Kurzschluss vorhanden, so fällt das Verhältnis $\frac{E}{I}$ von der Betriebsimpedanz auf einen Wert herunter, der gleich ist der Strecke $A\,B$ und als Kurzschlussimpedanz bezeichnet wird. Die Kurzschlussimpedanz ist immer gleich der Impedanz der Leitungen vom Relaisstandort bis zum Fehlerort und wird im Impedanzstromdiagramm durch eine zur Abszissenaxe parallele Gerade dargestellt. Während die zur Betriebsimpedanz gehörige Spannung konstant ist, d. h. durch eine Parallele zur X-Axe repräsentiert wird, steigt die Kurzschlusspannung nach einer durch den Nullpunkt gehenden Geraden, die dem Gesetze $E = \text{konst.} \times I$ folgt.

Diese Feststellungen geben schon das Grundprinzip eines Impedanzschutzes, des Impedanzzeitschutzes. Als Kriterium für das Vorhandensein eines Fehlers gilt der Zusammenbruch der Impedanz von einem Wert der Betriebsimpedanzkurve auf

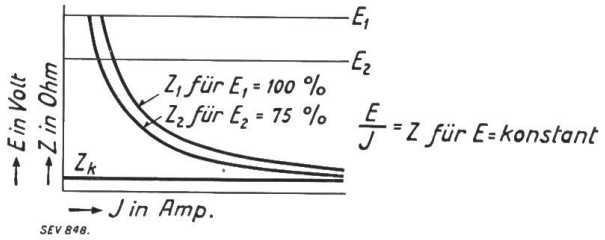

Fig. 10.
Betriebs- und Kurzschlussimpedanz.

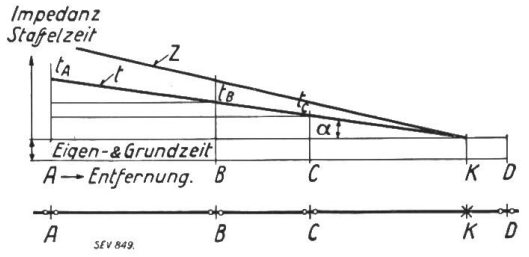

Fig. 11.
Impedanzabhängige Zeitabstufung bei Distanzrelais.

die Kurzschlussimpedanz. Das Relais in A z. B. wird so eingestellt, dass es anspricht, auch wenn der Kurzschluss ausserhalb der auf A folgenden Strecke $A\,B$, d. h. z. B. ganz nahe bei D ist. Durch das Ueberlappen des Schutzbereiches der aufeinander folgenden Relais jeweils über verschiedene Strecken erhält man eine wertvolle Erhöhung der Sicherheit; denn wenn der Schalter des dem Fehler zunächst liegenden Relais aus irgend einem Grunde nicht auslöst, so wird der zweitnächste Schalter an seiner Stelle die Unterbrechung besorgen. Um die richtige Reihenfolge des Auslösens der hintereinander liegenden Schalter zu sichern, erhalten alle Relais eine Zeitverzögerung, die sich selbsttätig entsprechend der Impedanz, d. h. der Distanz zwischen ihrem Standort und dem Fehlerort einstellt. Wie aus Fig. 11 ersichtlich ist, werden bei Kurzschluss in K, nahe bei D, alle Relais in A, B und C

anlaufen. Die Relais in *A* haben der Distanz entsprechend auch die längste Zeitverzögerung. Da man alle Leitungsstrecken bei wechselnder Energierichtung an ihren beidseitigen Enden mit Oelschalter versehen muss, sind in jeder Station je zwei Relaissätze vorhanden, die im Stromkreis nur durch die Sammelschienen voneinander getrennt sind und daher dieselbe Laufzeit in Bezug auf den Fehlerort erhalten. Die richtige Selektion verlangt aber, dass nur der dem Kurzschluss zugewandte Oelschalter abgeschaltet wird. Die dadurch notwendige Auswahl wird durch ein Relais der Kategorie 3, d. h. durch ein Richtungsrelais besorgt, das nur den Oelschalter auslösen lässt, dessen Strom von den Sammelschienen *weg* gerichtet ist. Für die selektive Abschaltung des Fehlers in Fig. 11 kommen also nur die Schalter der Stationen *A, B* und *C* in Betracht, die gegen *K* gerichtet sind.

Fassen wir zusammen, so ersehen wir, dass ein Impedanzzeitrelais aus folgenden Organen zusammengesetzt sein muss:

1. einem Ansprechorgan, das den Zusammenbruch der Betriebsimpedanz überwacht,
2. einem Zeitwerk (Uhr),
3. einem Impedanzmesswerk, das den Ablauf des Zeitwerkes entsprechend der gemessenen Impedanz-Distanz begrenzt,
4. einem Richtungsrelais, welches die Auslösung nur bei nach aussen gerichtetem Energiefluss frei gibt.

Tritt auf der Leitung *A D* (Fig. 11) im Punkte *K* ein Kurzschluss auf, so sprechen je nach Einstellung vielleicht alle drei Relais in *C,* in *B* und in *A* an. Das Relais in *C* liegt der Kurzschlusstelle am nächsten; es wird auch die kürzeste Laufzeit haben. Diese Zeit t_c besteht aus den früher erwähnten Summanden:

$$t_c = t_o + t_1 + t_{2c}.$$

Das Relais in *B* wird die Laufzeit haben:

$$t_b = t_o + t_1 + t_{2b}.$$

Damit die Selektion richtig erfolgt, muss unbedingt das Relais in *C* seinen Schalter so rasch auslösen, dass der Schalter in *B* nicht mehr zum Auslösen kommt. Es muss also die Differenz $t_b - t_c$ grösser sein als die Summe $(t_3 + t_4)$, d. h. als der durch die Oelschalter verursachte Abschaltverzug.

Ausserdem muss die Streuung der Relais und die Ungenauigkeit der Wandler in Betracht gezogen werden. Man wird daher in den meisten Fällen für die Differenz $t_b - t_c$ nicht unter 0,7 bis 1 sec gehen. Betrachten wir nun eine Leitung, die aus ungleich langen Teilstrecken besteht, so ist sofort klar, dass diese Zeit zusammen mit der kleinsten Streckenlänge das Gesetz der Staffelung aller zur selben Leitung gehörigen Relais, d. h. die Neigung der Geraden *t* festlegt. Die Staffelzeit pro km beträgt demnach: $t_s = tg\,\alpha = \frac{1}{L_{min}}$, wobei L_{min} = Länge der kleinsten Teilstrecke der Leitung bedeutet.

Liegt der Kurzschluss nahe bei *D* und ist die Strecke *C D* doppelt so lang wie *B C*, so steigt die Staffelzeit t_{2c} auf 2 mal die Minimaldifferenz, d. h. beispielsweise auf 2 sec an. Beträgt nun die Summe Eigenzeit + Grundzeit 1 sec, so löst das Relais in *C* seinen Schalter erst in 3 sec aus, was für die Aufrechterhaltung des Parallelbetriebes der Stromquellen möglicherweise schon zu lange ist. Schlimmer wird es noch, wenn dieser Schalter aus irgend einem Grunde nicht ausschaltet. Dann tritt der nächste, vom Kurzschluss entferntere Schalter in *B* in die Lücke und schaltet ab. Im besten Falle, d. h. wenn die zweite Teilstrecke gerade diejenige mit der kleinsten Länge ist, ist die Laufzeit des Relais in *B* nur um 1 sec länger als die des Relais in *C*. Der Kurzschluss wird also frühestens erst nach 4 sec abgeschaltet, was für den Betrieb unbedingt zu lang ist. Die Abschaltzeiten werden noch länger, wenn der Längenunterschied der aufeinanderfolgenden Leitungsstrecken grösser ist als hier angenommen.

Dieser entschiedene Nachteil des Impedanzzeitrelais war schon bei seiner Entwicklung bekannt, so dass seit bald zehn Jahren parallel dazu ein anderes System studiert wurde, bei welchem das Impedanzrelais wie ein Differenzialrelais rein selektiv wirkt, ohne selbsttätige Zeitstaffelung. Das beim Impedanz*zeit*relais notwendige Ansprechorgan wird hier zum Hauptorgan und überwacht als *Minimalimpedanzrelais* das nach ihm liegende Leitungsstück. Das Relais ist als Kipprelais auf die Impedanz dieses Leitungsstückes eingestellt. Erfolgt ein Kurzschluss innerhalb dieser Strecke, so sinkt die vom Relais gemessene Impedanz unter seinen eingestellten Minimalwert, und das Relais löst den Schalter aus. Das Relais in der Station *B* der Leitung *A D* würde dann auslösen, wenn der Kurzschluss links von *C* liegt, würde aber nicht zur Funktion kommen, wenn der Kurzschlussort rechts von *C*, also ausserhalb der geschützten Strecke liegt. Beim Minimalimpedanzrelais liegt kein Grund vor, eine Zeitverzögerung anzubringen. Es wirkt also momentan wie das Differentialrelais.

Nun aber ergibt sich für das in *B* gelegene Relais praktisch derselbe Messwert der Impedanz, ob der Kurzschluss sehr nahe *vor* oder sehr nahe *nach C* liegt. Im letztern Falle würden also sowohl der Schalter in *C* als *auch* der in *B* fallen, womit die Selektion gestört wäre. Um dies zu verhindern, baute man an jeder Schalterstelle, z. B. in *B*, zwei Impedanzrelais ein, wovon das eine ohne Zeitverzögerung auf eine Minimalimpedanz eingestellt war, die nur 70 % der Strecke *BC* betrug, während das andere auf 130 % dieser Streckenimpedanz und eine kurze Zeit eingestellt war (Fig. 12). Dadurch konnte man auch die Fehler an der Grenze zwischen zwei Teilstrecken sicher erfassen, musste aber den Nachteil der doppelten Relaisgarnitur in Kauf nehmen. Ein anderer Nachteil, den wir beim Differentialrelais schon erwähnt haben, war damit auch verbunden. Versagte der fällige Schalter, so trat der nächste nicht für ihn ein, ausser der Fehler liege zufällig in der vom zweiten weiter greifenden Relais ebenfalls erfassten Zone (in unserem Beispiel die ersten 30 % jeder Strecke). Um eine weitere Sicherheit zu haben, müsste man an

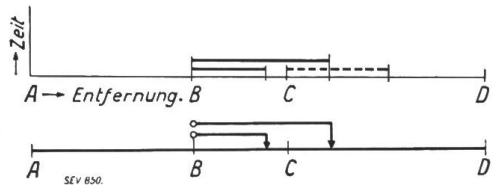

Fig. 12.
Schutz des Grenzbereiches zwischen zwei Leitungsstrecken mit einfachen Minimalimpedanzrelais.

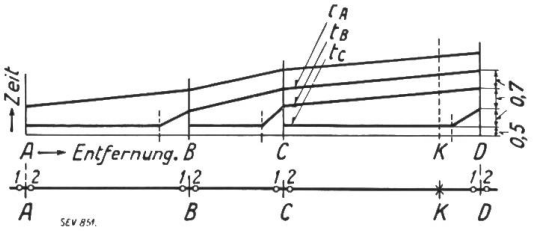

Fig. 13.
Zeitkurven des Minimalimpedanzrelais mit zeitlich fortschreitender Impedanzeinstellung.

jeder Schaltstelle ein weiteres Relais einbauen, das mit grösserer Zeitverzögerung zwei oder mehr Leitungsstrecken überwachen würde, womit der Schutz noch komplizierter würde.

Statt dessen ist es nun der M.F.O. durch einen kleinen Kunstgriff gelungen, ohne vom Prinzip der Minimalimpedanz abzugehen, sowohl die Grenzbereiche zwischen den Teilstrecken, als auch für den Fall des Versagens eines Schalters beliebig viele nachfolgende Strecken mit einem *einzigen Relais* zu schützen. Selbstverständlich musste zur Lösung dieses Problems die Zeit herangezogen werden. Der Kippwert des Minimalimpedanzrelais ist im Ruhestand z. B. auf 80 % der Impedanz der nachfolgenden Strecke eingestellt. Tritt ein Kurzschluss innerhalb dieser Strecke auf, so löst das betreffende Relais ohne Zeitvorschaltung, d. h. in der entsprechenden Eigenzeit den Schalter aus (Fig. 13). Durch das später zu erläuternde Ansprechorgan wird gleichzeitig mit dem Minimalimpedanzrelais auch ein Zeitwerk freigegeben, welches dem ersteren eine Zeit von 0,5 sec zum Ansprechen auf dem Grundbereich freigibt. Spricht das Minimalimpedanzrelais nicht an, so liegt der Fehler ausserhalb seines Grundbereiches, vielleicht gar im Bereich des

nachfolgenden Relais, dessen Schalter aus irgend einem Grunde nicht zur Auslösung kam. Das betrachtete Minimalimpedanzrelais geht nun auf die Fehlersuche. Durch das Zeitwerk wird ihm fortlaufend und stufenlos seine Einstellung verändert, d. h. sein Schutzbereich vergrössert, bis die eingestellte Impedanz die gemessene unterschreitet und das Relais auslöst. Der Fehlerort ist gefunden und seine Distanz kann an einer Zeitscheibe abgelesen werden. Durch die zeitliche Veränderung der Einstellung erhält das Minimalimpedanzrelais dieselben Eigenschaften der selbsttätigen Zeitabstufung, ohne aber die langen Zeiten in Kauf nehmen zu müssen. Nehmen wir das früher betrachtete Beispiel wieder hervor. Wir sahen dort, dass das Impedanzzeitrelais in C bei einem Fehler nahe von D in ca. 3 sec auslöst, wenn $CD = 2 \times BC$ und Fremdzeit + Eigenzeit = 1 sec ist. Für dieselben Verhältnisse würde das Minimalimpedanzrelais, sofern der Kurzschluss *vor* 80 % von CD liegt, praktisch momentan auslösen. Bei einer Lage des Fehlers zwischen 80 und 100 % von CD würde die Auslösezeit von 0,5 bis maximal zu 1,2 sec steigen. Versagt der Schalter in C, so löst das Relais in B seinen Schalter in etwas weniger als 1,9 sec aus.

Der Unterschied in der Zeitabhängigkeit des üblichen Impedanzzeitrelais gegenüber dem Minimalimpedanzrelais ist aus einer Gegenüberstellung der Distanz-Zeitdiagramme in den Fig. 11 und 13 am besten ersichtlich (Fig. 14). Die Zeitgerade des Impedanzzeitrelais steigt vom Kurzschlusspunkt unter einem bestimmten Winkel α an. Die Laufzeiten der einzelnen Relais sind durch die Ordinaten in den Punkten A, B, C usw. gegeben.

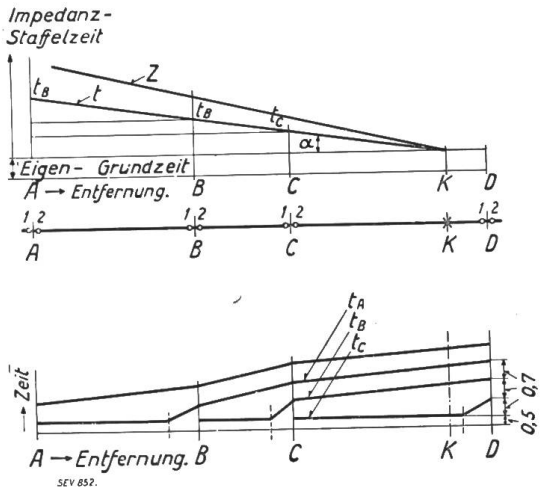

Fig. 14.
Gegenüberstellung von Fig. 11 und 13.

Je nach der Lage des Kurzschlusses verschiebt sich die Zeitgerade im Weg-Zeit-Diagramm parallel, bleibt also unter demselben Winkel zur Abszissenaxe. Eine Anpassung der Weg-Zeit-Charakteristik an die verschiedene Länge der Leitungsstrecken ist eben wegen dieser Verschiebung mit dem Kurzschlussort nicht möglich. Beim Minimalimpedanzrelais hingegen steigen die Zeitkurven vom Standort eines jeden Relais zum Kurzschlussort hin in beliebig einstellbarer, aber fest bleibender Weise an. Die Ordinate im Kurzschlusspunkt schneidet alle Zeitkurven und gibt im jeweiligen Schnittpunkt die Laufzeit der Relais an.

Wie man sieht, passt sich die Zeitkurve des Minimalimpedanzrelais den Verhältnissen der Leitung in idealster Weise an.

Mit einem derartigen Distanzrelais kann man Kabelnetze und Freileitungen (sofern letztere für niedere Spannungen sind) schützen. Handelt es sich aber um Freileitungen hoher und höchster Spannung, so treten die Kurzschlüsse oft über Lichtbogen von beträchtlicher Länge auf. Je nach Strom und Länge repräsentieren diese Lichtbogen ohmsche Widerstände, die die Grösse von 100 bis 200 Ω erreichen können. Diese Widerstände addieren sich geometrisch zur Leitungsimpedanz, fälschen die Angaben der Distanzrelais und würden viel zu lange Laufzeiten ergeben. Trägt man im Impedanz-Stromdiagramm die bei Lichtbogenkurzschluss sich ergebenden Punkte auf, so sieht man, dass sie ein ganzes Gebiet bedecken können, das in Fig. 15 schraffiert angegeben ist. Man ist daher allgemein dazu übergegangen, die *Distanzrelais* von Freileitungen *reaktanzabhängig* zu machen.

Es wäre nun bei flüchtigem Zusehen naheliegend, auch das bei allen zeitabhängigen Distanzrelais notwendige Ansprechorgan reaktanzabhängig zu machen. Nun aber ist die Netzreaktanz eine Grösse, die im Betriebe nicht nur mit der Spannung, sondern auch mit dem jeweiligen Leistungsfaktor variiert. Sie kann irgend

einen Wert innerhalb des schraffierten Gebietes der Fig. 16 annehmen. Es ist daher auch beim Minimalreaktanzrelais notwendig, ein Ansprechorgan vorzuschalten, das auf *Impedanz* reagiert.

Die bekanntesten Distanzrelais weisen als Charakteristik des Ansprechorgans eine gerade Linie oder eine Linie auf, die beinahe gerade und parallel zur Abszissenaxe verläuft. Die Entfernung dieser Geraden vor der X-Axe richtet sich je nach der

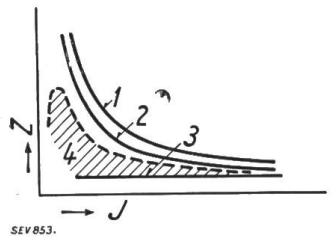

Fig. 15.
Betriebsimpedanz und Lichtbogenkurzschlüsse.
1 Betriebsimpedanz für $E = 100\%$.
2 Betriebsimpedanz für $E = 75\%$.
3 Kurzschlussimpedanz.
4 Gebiet der Lichtbogenkurzschlüsse.

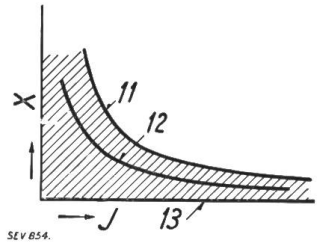

Fig. 16.
Betriebsreaktanz.
11 Betriebsreaktanz für $\cos\varphi = 0$.
12 „ „ $\cos\varphi = 0{,}7$.
13 „ „ $\cos\varphi = 1$.

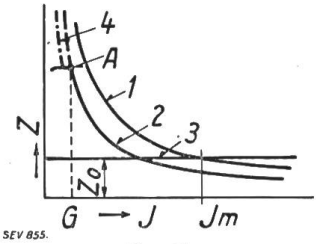

Fig. 17.
Ansprechkurve des Impedanz-Ansprechorgans.
1 Betriebsimpedanz.
2 Ansprechcharakteristik des MFO-Impedanzrelais.
3 Ansprechcharakteristik bekannter Distanzrelais.
4 Betriebsimpedanz bei abnormaler Spannungssenkung.

Anzahl Relais, die man bei einer Störung anlaufen lassen will. Entspricht die Impedanz Z_0 einer Distanz L, auf welcher sich im Minimum drei mit Relais ausgerüstete Stationen befinden, so heisst das, dass bei einem Kurzschluss stets mindestens drei hintereinander befindliche Relais anlaufen werden. Löst das erste seinen Schalter nicht aus, so ist doch Aussicht vorhanden, dass das zweite oder dritte Relais die Abschaltung besorgt.

Dieser Verlauf der Ansprechcharakteristik hat zwei grosse Nachteile. Das Funktionieren der Relais setzt erstens voraus, dass jedem Lichtbogenkurzschluss ein metallischer Kurzschluss vorangeht, der die Impedanz so stark unter die Ansprechgerade zusammenfallen lässt, dass das Steuerorgan Zeit hat anzusprechen. Wie Versuche und Praxis gezeigt haben, kommen aber häufig Lichtbogenschlüsse vor, die durch verhältnismässig hohe elektrische Widerstände, wie Baumäste, Vögel, Beschlagen der Isolatoren mit Salz oder anderer Lauge etc. eingeleitet werden, so dass die Impedanz gar nie unter diese Ansprechgerade sinkt. Wenn aber das Ansprech- oder Steuerorgan nicht zum Funktionieren kommt, ist der ganze Distanzschutz nutzlos.

Bildet man für jeden Stromwert das Verhältnis der Impedanz Z_0 zur Betriebsimpedanz, so sieht man ferner, dass diese Zahl bei kleinen Strömen weit über 1 liegt, bei I_m gleich 1 wird und bei grösseren Strömen unter 1 fällt. Die Sicherheit gegen unzeitgemässes Ansprechen nimmt also gegen I_m bedenklich ab. Es muss also Z_0 durch einen Kompromiss mit der oben erwähnten Gedankenfolge so gewählt werden, dass I_m stets grösser als der maximale jemals auftretende Belastungsstrom ist.

Die Maschinenfabrik Oerlikon hat nun dem Ansprechorgan ihres Minimalimpedanzrelais die Ansprechcharakteristik nach Kurve 2 der Fig. 17 gegeben. Diese Kurve ist wie die Betriebsimpedanz eine Hyperbel und besitzt dieselben rechtwinkligen Asymptoten. Es bleibt daher auf dem ganzen Kurvenverlauf das Verhältnis der zu einer und derselben Abszisse zugehörigen Ordinaten konstant. Der maximale Betriebsstrom ist nicht mehr begrenzt durch den Schnitt der Ansprechgerade mit der Betriebsimpedanz, sondern lediglich durch die Bemessung der Leitungen und Apparate. Durch Anzapfungen am Impedanzansprechorgan kann die Kurve beliebig höher oder tiefer gelegt werden.

Wie wir eingangs gesehen haben, nimmt die Betriebsimpedanz bei sinkender Spannung ab. Die Hyperbel nähert sich ihren Asymptoten. Bei schwacher Netz-

belastung und entsprechend kleinem Maschineneinsatz (Sonntagsbelastung z.B.) könnte bei Kurzschluss in einem Netzteil die Spannung der gesunden Netzteile stark sinken und damit vielleicht die Impedanz vorübergehend unter die Ansprechgrenze zu liegen kommen. In diesem Falle würde ein unerwünschtes und dauerndes Ansprechen des Impedanzsteuerrelais erfolgen, was selten eine Fehlschaltung, stets aber eine Ueberlastung der Spannungsspule des Reaktanzrelais verursachen würde. Auch dies kann durch rechtzeitiges Umbiegen der Ansprechkurve bei *A* verhindert werden.

Das Minimalimpedanzrelais besteht also aus folgenden Organen:

1. einem Impedanz-Ansprechorgan, das die Betriebsimpedanz überwacht und als Ansprechcharakteristik eine Hyperbel hat,
2. einem Minimalreaktanzorgan,
3. einem Zeitwerk, welches die Einstellung des Minimalreaktanzrelais von einem minimalen zu einem maximalen Distanz-Kippwert verändert,
4. einem Richtungsrelais, welches dieselbe Funktion auszuüben hat, wie bei andern Distanzrelais.

Konstruktive Durchbildung der einzelnen Organe.

Sowohl Impedanzansprechorgan als auch Minimalreaktanzorgan sind Balance- oder Kipprelais und können konstruktiv ähnlich ausgeführt werden. Die grundsätzliche Wirkungsweise wird am leichtesten verständlich, wenn man sich diese Relais als Spannungswage vorstellt. An jedem Ende eines Wagebalkens 1 (Fig. 18), der in der Mitte im Punkte 2 drehbar gelagert ist, greift ein Magnet an. Der Magnet rechts wird von der Spannung, der andere, links, vom Strom des überwachten Stromkreises erregt. Solange das Verhältnis von Strom und Spannung, also die Impedanz, unverändert ist, bleibt der Wagebalken in der Gleichgewichtslage. Sobald die Impedanz zusammenbricht, überwiegt der Einfluss des Strommagnetes, der Wagebalken wird nach links gekippt und schliesst den Kontakt der Oelschalterauslösung. Fliesst die Kurzschlussenergie von den Sammelschienen der betr. Station weg, so ist der Auslösekreis vom Richtrelais freigegeben und der Schalter fällt heraus.

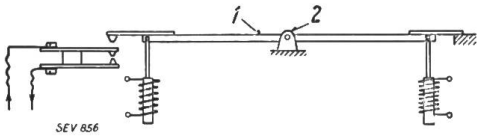

Fig. 18.
Prinzip des Minimalimpedanzrelais.

Dieses Relaisprinzip kann auf verschiedene Art verwirklicht werden, u. a. auch mit Ferrarisscheiben oder mit Drehspulen. Nach gründlichen Untersuchungen über Drehmoment und Eigenverbrauch entschied sich die Maschinenfabrik Oerlikon für das in Fig. 19 dargestellte System, welches bei maximalem Drehmoment den kleinsten Eigenverbrauch, sowie eine für die Werkstattausführung günstige Konstruktion aufweist. Es ist im Grunde genommen nichts anderes als ein Drehspulensystem, bei welchem die Drehspule nur eine einzige Windung besitzt und der Strom transformatorisch auf sie übertragen wird. Es sind also keine Stromzuführungen notwendig. Bei Wechselstromerregung des Magnetes wird sich die Schleife in diejenige Lage zu stellen suchen in der der maximale Fluss fliesst und kein Strom induziert wird, d. h. in die Mittelebene des Magnetes.

Das Drehmoment des obern Systems, welches die Spannungsspule trägt, ist proportional dem Quadrat der Spannung. Das Drehmoment des untern Systems, welches die Stromspule trägt, ist proportional dem Quadrat des Stromes. Das Relais reagiert daher auf die *kleinsten Aenderungen der Impedanz.*

Anderseits folgt das Drehmoment eines jeden Systems in Abhängigkeit der Winkellage ebenfalls einem ungefähr quadratischen Gesetz. Der Verlauf der beiden Drehmomente über dem Ausschlagwinkel des Relais zeigt Fig. 20. Während das Drehmoment des treibenden Systems von der Anfangslage zur Endlage sehr rasch zunimmt, nimmt das Drehmoment des bremsenden Systems ebenso plötzlich ab. Die Drehmomentdifferenz wächst an bei Unterschreiten der Minimalimpedanz wie

durch die vertikalen Schraffuren in der Fig. 20 angedeutet ist. Dies gibt dem Relais den ausgesprochenen Charakter eines hochempfindlichen *Kipp*relais, welches sich *sehr scharf auf einen Minimalwert einstellen lässt.*

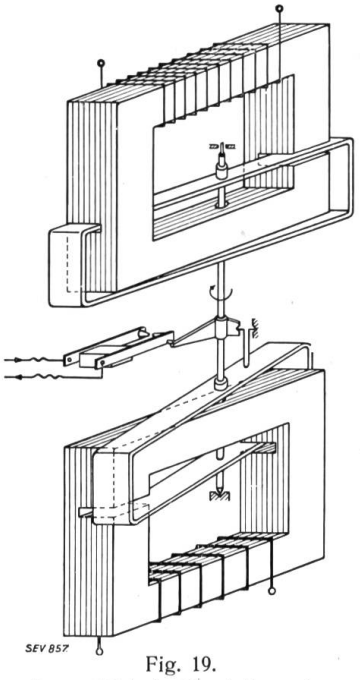

Fig. 19.
Perspektivische Darstellung des Minimalimpedanzrelais.

Der Verlauf der Ansprechcharakteristik des Impedanzansprechorgans nach einer Hyperbel, die sich der Betriebsimpedanz beliebig nahe anschliesst, wurde durch einen sehr einfachen Kunstgriff erreicht, wie in Fig. 21 dargestellt ist. Das Relais arbeitet grundsätzlich nach demselben Prinzip wie das einfache Minimalimpedanzrelais und ist auch gleich gebaut. Hingegen wurde zwischen dem Stromsystem (links in der Figur) und dem Wagebalken eine Feder eingesetzt. Der Strom kann nun noch so hoch anwachsen; er kann lediglich die Feder spannen. Ist diese gespannt und ist die Betriebsimpedanz unter der Einstellung des Ansprechorgans zusammengebrochen, was sich am Sinken der Spannung bemerkbar macht, dann wird der Wagebalken nach links kippen und der Schutz in Aktion treten. Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass die Ansprechcharakteristik $\frac{E_a}{I_a} = Z_a$ in Funktion von I_a einer Hyperbel folgt, da E_a durch die Feder einen fest bestimmten Wert erhält. Durch Anzapfen der Spannungsspule und entsprechendes Aendern der Federlänge kann die Ansprechcharakteristik beliebig nahe an die Betriebsimpedanz verlegt werden.

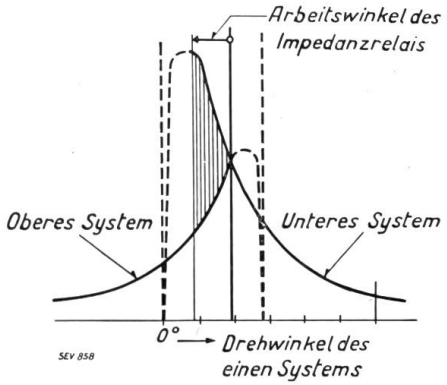

Fig. 20.
Drehmomentkurven des Minimalimpedanzrelais.

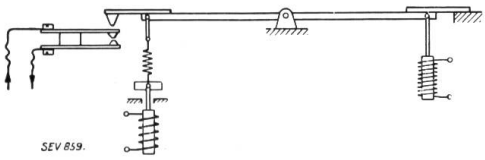

Fig. 21.
Prinzip des Impedanzansprechorgans.

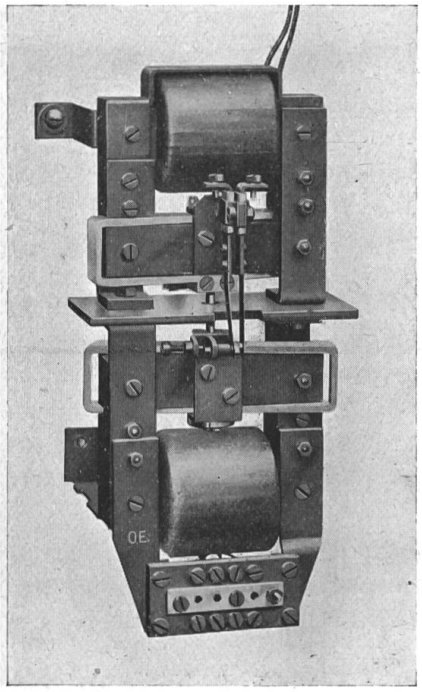

Fig. 22.
Impedanzansprechorgan.

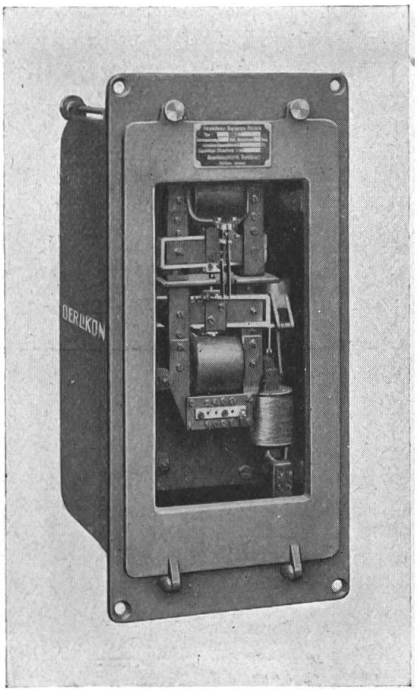

Fig. 23.
Impedanzansprechorgan.

Diese Feder ist bei der konstruktiven Ausführung als Federkupplung zwischen beiden Systemen ausgebildet worden.

Fig. 22 und 23 zeigen ein Impedanzansprechorgan, Fig. 24 ein einfaches Minimalimpedanzrelais.

Dieselbe konstruktive Lösung wurde auch für das Minimalreaktanzrelais verwendet mit dem Unterschied, dass das obere System nicht mehr als Strommessorgan, sondern als Blindleistungsmessorgan geschaltet wurde. Zu diesem Zweck wurde der bewegliche Rahmen mit einer Spannungswicklung versehen und die innere Abgleichung dieses Systems so gewählt, dass das Relais auf einen bestimmten Minimalwert anspricht:

$$\frac{E\,I\sin\varphi}{I^2} = \frac{E\sin\varphi}{I} = Z\,\sin\varphi = \text{Reaktanz } X.$$

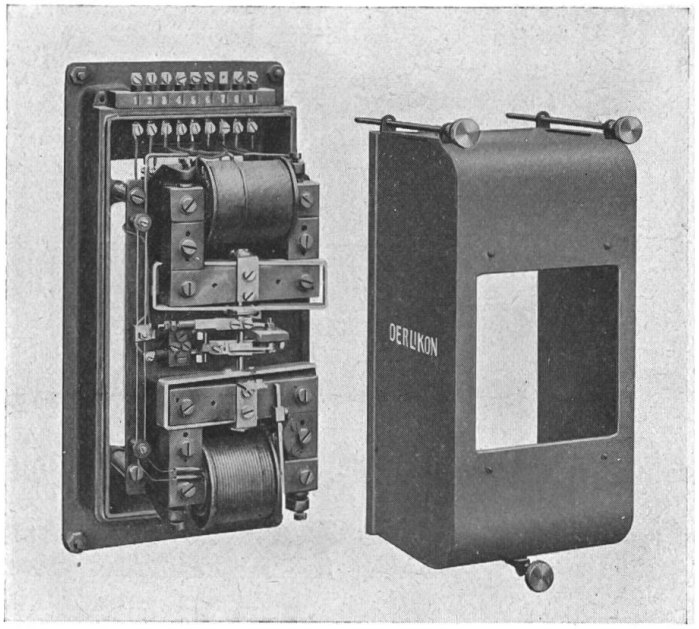

Fig. 24.
Minimalimpedanzrelais.

Das obere System des Reaktanzrelais wird auf 90° resp. 60° abgeglichen mit Hilfe von Kondensatoren nach Fig. 25. Der Strom der Spannungsspule wird durch den vorgeschalteten Kondensator *C* beinahe um 90° der betreffenden Spannung vorangedreht. Ein gleich grosser aber induktiver, also nacheilender Strom wird durch die parallel geschaltete Drosselspule *D* aufgenommen. Der Gesamtstrom *I*, der dem Spannungsteiler entnommen wird, bleibt sehr klein, da er nur die Wattverluste der beiden Kreise zu decken hat. Er beeinflusst daher die Spannung an den verschiedenen Punkten des Spannungsteilers nur in minimaler, leicht zu berücksichtigender Weise. Dadurch wurde erreicht, dass man die Spannungsreduktion und Anpassung von der von den Spannungswandlern gelieferten, auf die für die Spulen benötigte Spannung mit dem einfachsten, billigsten und dauerhaftesten Apparat mit einem *Spannungsteiler,* d. h. einem Widerstand, vornehmen kann.

Durch Abgreifen verschiedener Spannungen am Spannungsteiler kann man das Minimalimpedanz- oder Reaktanzrelais den verschiedenen Wandlerübersetzungen entsprechend und auch für verschiedene Impedanzwerte einstellen. Es kann letzteres in wenigen Stufen geschehen, entsprechend Fig. 11 oder stufenlos beim Minimalimpedanzrelais mit Zeitabhängigkeit. Im letzteren Falle wird durch einen kleinen Motor der Anschlusspunkt am Spannungsteiler fortlaufend verstellt. Durch entsprechendes Wikkeln des Spannungsteilers kann jede beliebige Form der Distanz-Zeit-Charakteristik in bester Anpassung an die Verhältnisse der zu schützenden Leitung erreicht werden.

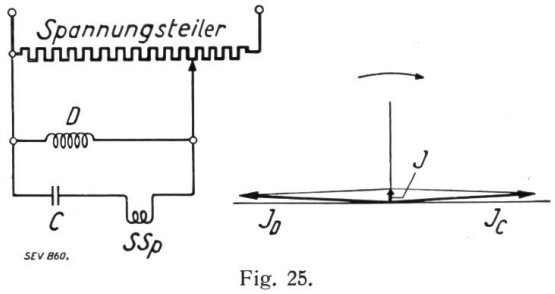

Fig. 25.
Schema des Anschlusses der Spannungsspule des Minimalreaktanzrelais.

Will man auch für die Grundstrecke vom Vorteil der Distanzanzeigevorrichtung (Fig. 26 und 27) Gebrauch machen, so muss man mit zunehmender Entfernung zunehmende Schaltzeiten in Kauf nehmen, d. h. man kommt zu einer Distanz-Zeit-Charakteristik ohne horizontalen Anfangsteil, die aber zum Unterschied von der des üblichen Distanzrelais entsprechend den Verhältnissen der zu schützenden Leitung einen gebrochenen Verlauf aufweist.

Als Richtungsorgan wird ein neues, einpoliges besonderes Energierichtungsrelais verwendet, das in Fig. 28 in dreipoliger Ausführung zur Verwendung als Generatorschutzrelais und zum Schutz paralleler Leitungen veranschaulicht ist. Es be-

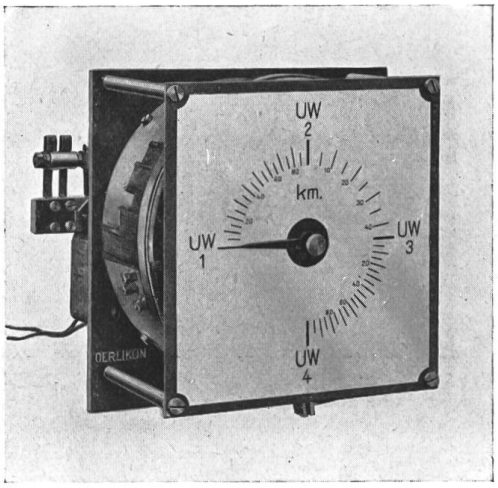

Fig. 26.

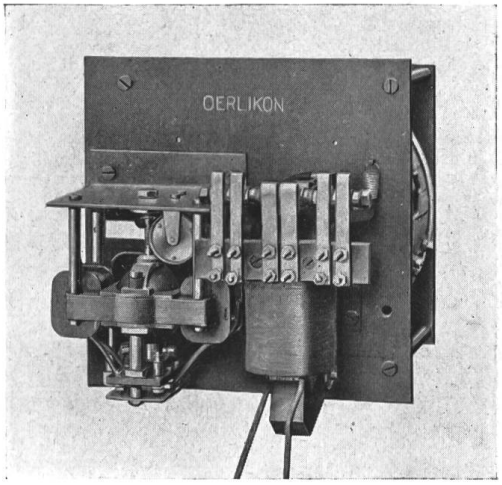

Fig. 27.

Distanzanzeigevorrichtung und Zeitwerk.

ruht auf einem ähnlichen Prinzip wie das Impedanzorgan. Auf die bewegliche Kurzschlusswindung wird die eine zu messende Grösse durch den damit verketteten Eisenkern transformatorisch übertragen. Auf den Strom in der Windung wirkt das Feld des zweiten Magneten, der von der andern Messgrösse erregt ist. Diese Konstruktion hat infolge der vorzüglichen magnetischen Verhältnisse bei kleinem Eigenverbrauch ein hohes Drehmoment. Die grosse Spannungsempfindlichkeit wird noch durch entsprechende Vorsteuerung erhöht.

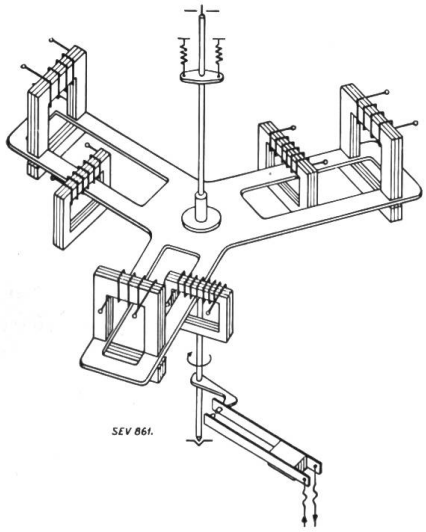

Fig. 28.
Perspektivische Darstellung eines dreipoligen Energierichtungsrelais.

Das Zusammenarbeiten der verschiedenen Organe wird in Fig. 29 veranschaulicht. Das Impedanzansprechorgan stellt eine Unterschreitung der Betriebsimpedanz fest. Fliesst die Energie von der Station weg, so spricht das Energierichtungsrelais ebenfalls an. Beide Relais geben das Minimalreaktanzrelais und gleichzeitig auch das Uhrwerk frei. Das Minimalreaktanzorgan schliesst den Auslösekreis momentan, sofern der Fehler in der eigenen Strecke liegt. Liegt er ausserhalb und hat der vorgeschaltete fällige Schalter versagt, so wird die Einstellung des Reaktanzorgans vom Zeitwerk nach vorbestimmtem Gesetz stetig geändert, bis das Relais den Kurzschlussort erreicht hat. Dann erfolgt die Auslösung.

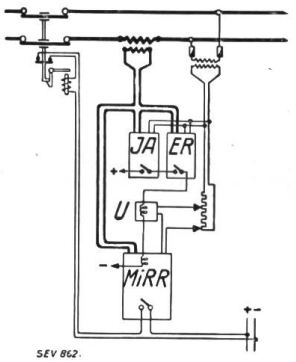

Fig. 29.
Zusammenwirken der verschiedenen Organe beim Minimalimpedanzrelais.

Die Relais werden für einen Normalstrom von 1 A und eine Normalspannung von 110 V gebaut. Der kleinste Arbeitsstrom beträgt bei der normalen Ausführung $^1/_2$ des Normalstromes.

Der Energieverbrauch beträgt 10 VA im Stromsystem und 15 VA im Spannungssystem.

Versuche und Betriebserfahrungen.

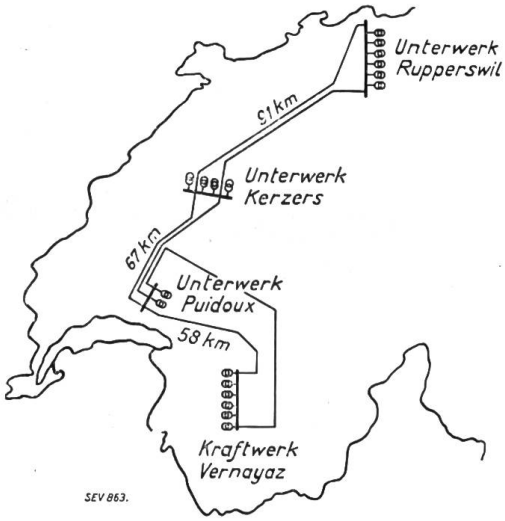

Fig. 30.
135 kV-Netz der S. B. B.

Einfache Minimalimpedanzrelais (Fig. 24), die nach dem Prinzip der Fig. 12 arbeiten, sind seit über zwei Jahren in 4 Stationen des 15 kV Netzes der Schweiz. Bundesbahnen eingebaut. Es wurde dort kein Ansprechen auf Reaktanz vorgesehen, da der relativ niederen Spannung wegen der ohmsche Widerstand der Lichtbogen keine so hohen Werte annimmt. Um den Schutz nicht zu komplizieren, hat man die event. sich daraus ergebenden Fehler in Kauf genommen. Trotz dieser Fehlermöglichkeit sind die mehr als zweijährigen Betriebserfahrungen sehr gute und aus den genauen Aufzeichnungen der Betriebsleute ist zu entnehmen, dass die Anzahl der Fälle, in denen die Selektivität nicht absolut scharf war, kaum 10% der Gesamtzahl der Störungen betrug.

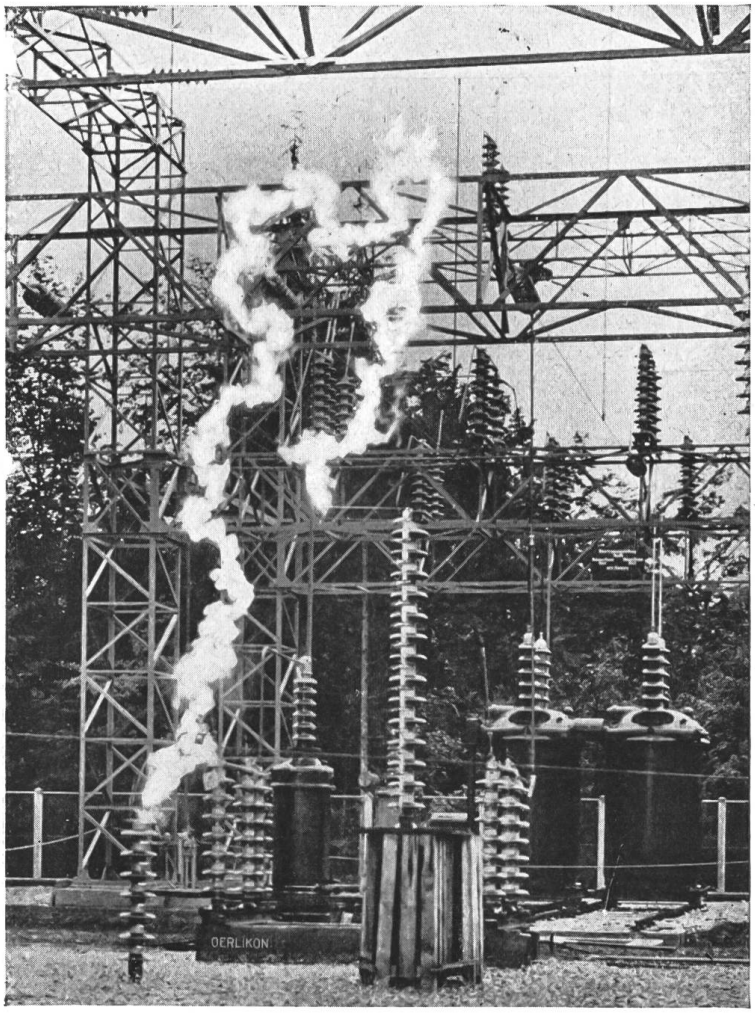

Fig. 31.
Kurzschlusslichtbogen bei 135 kV.

Minimalreaktanzrelais mit Impedanzansprechorgan für den Schutz der 132 kV Leitungen der Schweiz. Bundesbahnen (Fig. 30) sind z. Z. in Lieferung. Diese Doppelleitung mit einer Gesamtlänge von rund 220 km stellt die wichtige Nord-Südverbindung des elektrischen Netzes der Schweiz. Bundesbahnen dar, mit Hilfe welcher ein Austausch der Energie zwischen den beiden Gotthardwerken und den beiden Walliserwerken stattfinden kann. In einer ganzen Reihe von Versuchen, die mit den eingangs erwähnten Schalterversuchen verbunden wurden, sind alle möglichen Störungen nachgeahmt und das Verhalten der Relais kontrolliert worden. Der Mittelpunkt des 132 kV Netzes der Bundesbahnen ist an Erde gelegt. Nun wurde dem Impedanzschutz die Aufgabe gestellt, sowohl Kurzschlüsse als auch Erdschlüsse zu erfassen und selektiv abzuschalten, was eine nennenswerte Erschwerung der Arbeitsbedingungen der Relais bedeutet. Mit Hilfe einer Umschaltung des Minimalreaktanz-

relais, welches sich dafür vorzüglich eignet, wird es je nach der Art des vorkommenden Fehlers automatisch auf einen andern Wert eingestellt.

Diese Relais haben sich sehr gut bewährt. Sie konnten dank der besonderen Charakteristik des Impedanzansprechorgans auch Lichtbogenkurzschlüsse sicher und scharf selektiv erfassen. Eine Vorstellung von der Länge der Lichtbogen, die sich bei 132 kV bilden können, gibt Fig. 31. Wenn man dabei beachtet, dass der Stützer, der den linken Ansatzpunkt bildet, selber eine Höhe von 1,20 m besitzt und dass dazu noch eine perspektivische Verkürzung des Bildes hinzutritt, kommt man zu einer Bogenlänge von über 10 m. Dabei ergaben sich Widerstandswerte bis zu 200 Ω, was die Beobachtungen, die von anderer Seite gemacht wurden, bestätigten.

Der *Vorsitzende* verdankt dieses Referat bestens und eröffnet die *Diskussion.*

Habich-S. B. B., Bern, berichtet über 2-jährige Erfahrungen mit dem M. F. O.-Impedanzrelais. Während dem letzten halben Jahr wurde eine genaue Statistik geführt. An den Schutz von Fahrleitungen müssen besonders hohe Anforderungen gestellt werden, denn die im Bahnbetrieb sehr häufig auftretenden Kurzschlüsse sind durch grosse Stromstärken charakterisiert. Es kommt ausnahmsweise vor, dass selbst bei einer Abschaltzeit von ca. $^3/_4$ sec Kupferleiter von 107 mm^2 Querschnitt durch den Lichtbogen durchgeschmolzen werden. Als Hauptbedingung hat deshalb eine minimale Ansprechzeit zu gelten. Man glaubte, dass einzig ein Kipprelais dieser Bedingung genügen könnte und beschloss deshalb, Versuche mit dem M. F. O.-Impedanzrelais zu machen. Genaue Beobachtungen wurden an den Strecken Vernayaz-Puidoux und Olten-Brugg gemacht. Der auf diesen Strecken zur Verwendung gekommene Impedanzschutz entspricht demjenigen der Fig. 12 des Referates. An jeder Relais-Einbaustelle waren demnach zwei Relais vorhanden: eines mit Nullzeit- und Minimalimpedanz-(70%) Einstellung und ein zweites, das auf 130% der Streckenimpedanz und kurze Zeit eingestellt war.

Auf der Strecke Vernayaz-Puidoux wurden 35 Kurzschlüsse beobachtet. Alle wurden abgeschaltet; 7 Abschaltungen entsprachen dabei nicht ganz den Erwartungen, indem von den beiden Relais dasjenige auslöste, welches nicht hätte auslösen sollen. Dasjenige, welches hätte auslösen sollen, zeigte eine verlängerte Distanz an. Diese 7 Fälle sind aber nicht als Versager anzusehen, denn die Selektivität der Abschaltung war einwandfrei. Trotz der Kleinheit der Lichtbogenlänge wurden gelegentlich Zeitverzögerungen beobachtet, die dadurch erklärt werden, dass der Lichtbogenwiderstand die Impedanz der Leitung scheinbar vergrössert.

Auf der Strecke Olten-Brugg wurden zwei eigentliche Versager festgestellt, deren Ursachen nicht ermittelt werden konnten.

Bei im ganzen 72 registrierten Kurzschlüssen kamen also nur 2 Versager vor, ein Resultat, welches als gut bezeichnet werden kann.

Das bei den Fahrleitungen eingebaute Richtrelais arbeitet bei nahe am Relais gelegenen Kurzschlüssen nicht immer richtig, weil die Spannung für das Richtmoment zu klein ist. Die Empfindlichkeit des Richtrelais kann aber durch verschiedene Mittel noch gesteigert werden, und Versuche mit den neuesten Ausführungen haben gezeigt, dass z. B. 132 kV-Lichtbogenkurzschlüsse in unmittelbarer Nähe des Relais noch richtig abgeschaltet werden.

Stoecklin-B. B. C., Baden, äussert die Ansicht, dass die beobachteten Fälle nicht einwandfreier Abschaltung, von welchen Herr Habich berichtete, möglicherweise auf die Nachteile der Zeitstufencharakteristik zurückzuführen sind; bei Anwendung des Zeitstufenprinzipes ist die Gefahr von Ueberlappungen unvermeidbar. Demgegenüber ist dieser Uebelstand bei linear ansteigender Charakteristik nicht vorhanden. Durch passende Abstimmittel lässt sich – im Gegensatz zu den Ausführungen des Referenten – die Neigung der Zeitcharakteristik zudem stets so wählen, dass kurze Abschaltzeiten eingehalten werden.

Habich weist daraufhin, dass jene 7 nicht ganz einwandfreien Abschaltungen bei Versuchen mit einer ältern Relaisform vorgekommen seien. Versuche mit neueren Relais ergaben einen wesentlich schärferen Grenzbereich der beiden Relais. Ueberlappungen werden nie ganz zu vermeiden sein, sind aber viel weniger betriebsgefährlich, als die längeren Abschaltzeiten der Relais mit linear ansteigender Charakteristik. Vor einigen Jahren wurde das auf der Erscheinung der Spannungsabsenkung nach der Kurzschlusstelle hin aufgebaute Schutzsystem verlassen, weil sich für Fahrleitungen zu grosse Abschaltzeiten ergaben.

Der *Referent* bemerkt, dass sich die Kritik des Herrn Stöcklin nur auf die alte Ausführung des M. F. O.-Selektivschutzes mit zwei Relais beziehe, bei der tatsächlich eine gewisse Streuung im Schutzbereich der einzelnen Relais auftrat. Die neue Ausführung mit nur einem Relais weist diese Streuung nicht mehr auf. Die gestaffelte Charakteristik zieht keine nachteiligen Konsequenzen nach sich.

Prof. *Wyssling*-Wädenswil weist auf die grosse Bedeutung des Selektivschutzes im Hinblick auf die heutige weitgehende Vermaschung der Netze hin und auf die interessanten Lösungen dieses Problems, mit welchem unsere Fabrikationsfirmen an die Oeffentlichkeit treten. Letztes Jahr hörten wir Herrn Ing. J. Stöcklin über das B. B. C.-Impedanzrelais sprechen, heute Herrn Ing. Puppikofer über das M. F. O.-Impedanzrelais. Es geht daraus hervor, dass die Fabrikationsfirmen dem Selektivschutz der Netze ihre volle Aufmerksamkeit zuwenden und mit ihren Arbeiten bereits schöne Erfolge zu

verzeichnen haben. Um so überraschender ist es, dass man wenig oder nichts von der Beteiligung der Elektrizitätswerke an der Ausarbeitung des Selektivschutzes hört, und dass sie auch heute zu der Frage keine Stellung nehmen. Und doch sind es die Elektrizitätswerke, welche die Betriebserfahrungen sammeln und das letzte Wort zu sprechen haben. Diese scheinbare Uninteressiertheit der Werkskreise kommt auch dadurch zum Ausdruck, dass der im Juni 1927 auf Antrag des Kuratoriums der Denzlerstiftung vom Vorstand des S. E. V. ausgesetzte Preis von Fr. 6000.— für die Lösung der Preisaufgabe:

> „Systematische und kritische Studie der bisher angewandten Systeme und Mittel zum Schutze der Kraftwerke und der Hochspannungsverteilanlagen gegen Ueberstrom (Selektivschutz-Relais etc.), sowie Entwicklung eines praktisch brauchbaren, zuverlässig und richtig selektiv wirkenden Ueberstromschutz-Systems für den allgemeinen Fall verbundener Kraftwerke mit verknoteten Leitungsnetzen"

bisher nicht verteilt werden konnte, weil keine Arbeiten eingegangen sind[1]). Möglicherweise ist diese Erscheinung darauf zurückzuführen, dass unsere Werks-Ingenieure keine Zeit zu Forschungsarbeiten finden, weil sie durch den Betrieb überlastet sind. Die schweizerischen Elektrizitätswerke hätten aber sehr wohl die materielle Möglichkeit, wissenschaftlich gebildetes Personal zum systematischen Studium technischer Fragen anzustellen. Die Aufwendungen zu solchen Zwecken machen sich bezahlt. Eine löbliche Ausnahme machen die Schweizerischen Bundesbahnen, indem sie Betriebsfragen durch ihre Ingenieure eingehend studieren lassen, was sich auch in der heutigen Diskussion wieder in schöner Weise gezeigt hat. In der Schweiz sind die Netzverhältnisse ausserordentlich kompliziert, alle Werke sind gekuppelt. Es ist deshalb notwendig, dass durch Zusammenarbeit aktuelle technische Fragen – der Selektivschutz steht dabei an erster Stelle – gelöst werden. Es ist falsch, wenn die Werke ihre Betriebsstudien und Erfahrungen geheimhalten. Sie sollen diese bekanntgeben. Prof. Wyssling schliesst mit dem Appell an die Werke, den Selektivschutz einzuführen und Ingenieure zum Studium technischer Fragen anzustellen. Dann wird auch der Denzlerpreis verteilt werden können.

Der *Vorsitzende* dankt den Diskussionsrednern, insbesondere Herrn Prof. Wyssling, und weist darauf hin, dass der Eingabetermin für die Preisaufgabe der Denzler-Stiftung bis zum *30. Juni 1930* verlängert worden ist.

(Fortsetzung folgt.)

[1]) Siehe Bulletin S. E. V. 1927, No. 6, S. 405 und Bulletin S. E. V. 1928, No. 20, S. 678.

Wirtschaftliche Mitteilungen. — Communications de nature économique.

Gas- und Stromverbrauch für den Kochherd.

643.36

In Frankfurt ist eine Siedelung von 1220 Wohnungen, genannt «Römerstadt», mit elektrischer Küche und Warmwasserversorgung, ohne Gasanschluss, erstellt worden. Ueber die Wirtschaftlichkeit der Versorgung mit Strom oder Gas entstanden Meinungsverschiedenheiten, welche die «Frankfurter Zeitung» zu beheben suchte, indem sie durch einen unabhängigen Fachmann, Ing. Hans Blum, Erhebungen über den Gas- bzw. Stromverbrauch in Haushaltungen anstellen liess. Das Resultat dieser Erhebungen wurde in der Technischen Beilage der «Frankfurter Zeitung» vom 24. und 31. Januar 1929 veröffentlicht. Die Publikation ist auch als Sonderdruck erschienen.

Das «Bulletin des Schweizerischen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern» hat in seiner Nummer vom Februar 1929 seinen Lesern bekannt gegeben, dass nach den Feststellungen von Ing. Blum das Verhältnis von Gas und Elektrizität in der Küche für die deutschen Städte zwischen 1 : 3 und 1 : 4, also für die schweizerischen Verhältnisse infolge des um 20 % höheren Heizwertes des Schweizergases zwischen 3,6 und 4,8 kWh für 1 m^3 Gas liege.

Wenn damit gesagt werden wollte, dass die von uns festgestellte Verhältniszahl von 1 : 3 für Kochherde ohne Warmwasserapparate[1]) durch die deutschen Erhebungen widerlegt worden ist, so befindet man sich im Irrtum. Man übersah offenbar, dass Ing. Blum für Frankfurt das Verhältnis von Kochstrom plus Warmwasserstrom mit Boilern zu Kochgas plus Warmwassergas mit Gaswarmwasserapparaten festgestellt hat. Er kam so zu einer Verhältniszahl von 2,7 bis 4,2, im Mittel etwa 1 : 3,5.

Es ist klar, dass diese Verhältniszahl mit der von uns festgestellten Zahl von 1 : 3 für den Verbrauch des Kochherdes allein nicht verglichen werden kann. Denn die Verhältniszahlen für Gas- und Stromverbrauch für den Kochherd allein sind infolge des verschiedenen Wirkungsgrades ganz andere als für die Warmwasserbereitung. Bei der Warmwasserbereitung aus Gas oder Strom gilt die mittlere Verhältniszahl von ca. 1 : 4,2[2]). Da nun aber der Strompreis für Warmwasserbereitung im allgemeinen nur etwa die Hälfte des Kochstrompreises beträgt, wird das Verhältnis wieder zugunsten der Elektrizität verschoben. *Man muss daher bei solchen Vergleichen den Verbrauch für den Kochherd und für die Warmwasserversorgung trennen.*

In Frankfurt wurde diese Trennung zwar für den Stromverbrauch durchgeführt, nicht aber für den Gasverbrauch. Wenn man dies tut, indem man für den Warmwasserverbrauch

(Fortsetzung siehe Seite 270)

[1]) Bulletin S. E. V. 1928. No. 15.

[2]) Für deutsches Gas mit einem unteren, nicht korrigierten Heizwert von ca. 3600 Cal/m^3.