Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 25 (1934)

Heft: 13

Artikel: Die Entwicklung der schnellschaltenden Schutzsysteme in Amerika, Deutschland, England, Frankreich

Autor: Schimpf, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060157

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: 02.10.2025

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

Durchschnitt der bisher durchgeführten ca. 100 Kremationen je 30 kWh inklusive Transformatorverluste und Energieaufwand für die Ventilator-Motoren verbraucht. Die modernsten in der Schweiz in Betrieb stehenden Gasöfen verbrauchen pro Kremation durchschnittlich 25 bis 35 m^3 Gas; ihr Wärmeverbrauch ist somit ca. fünfmal grösser als der Wärmeverbrauch des elektrischen Kremationsofens.

Fig. 6 zeigt noch einen Streifen des Temperaturschreibers, der sechs charakteristische Temperaturen des Ofens registriert. Es ist daraus zu ersehen, dass durch die Verbrennung der Leiche selbst ganz bedeutend Wärme erzeugt wird und dass sich die Verbrennung der Gase bis zum Rekuperator fortsetzt; denn die Temperatur vor dem Rekuperator ist zeitweise höher als im Verbrennungsraum selbst. Die Temperaturkurven zeigen auch deutlich, wie rasch der Rekuperator, dank seiner geringen Masse, den Wärmeaustausch zwischen abziehenden Ofengasen und Frischluft vermittelt. Der Verlauf der einzelnen Kremationen ist ausserordentlich vielgestaltig. Die Temperatur im Verbrennungsraum kann bis über 1200° steigen, ohne dass dem Ofen von aussen durch elektrische Energie Wärme zugeführt wird. In anderen Fällen werden kaum 900° erreicht. Dies hängt in erster Linie damit zusammen, dass die Verbrennung in der Hauptsache entweder im Verbrennungsraum selbst oder aber in den Nachverbrennungskanälen stattfindet, und dies wiederum ist auf den Zustand der Leiche zurückzuführen. Auch die Dauer der Kremation, welche im allgemeinen zwischen 1½ und 2 Stunden schwankt, ist auf die gleiche Ursache zurückzuführen.

Mit der Inbetriebnahme des elektrischen Kremationsofen in Biel wurden zum erstenmal alle Bedingungen, die in bezug auf Ethik, Pietät und Hygiene an die Kremation gestellt werden müssen, restlos erfüllt. Es ist deshalb anzunehmen, dass auch andere Krematorien rasch dem Beispiel Biels folgen und ihre Anlagen elektrifizieren werden.

Die Entwicklung der schnellschaltenden Schutzsysteme in Amerika, Deutschland, England, Frankreich.

Von *R. Schimpf*, Berlin.

621.316.925

Vom Selektivschutz wird in steigendem Masse gefordert, dass er sehr schnell arbeite. Der Distanzschutz schaltet zu langsam; es besteht auch keine Aussicht, ihn zu einem wirklichen Schnellschutz auszugestalten. Hierzu eignen sich die Vergleichssysteme. Als brauchbar hat sich der «Streckenschutz», eine Kombination aus Vergleichs- und Zeitstaffelsystem, erwiesen, dessen Schaltungen beschrieben und in ihrer Entwicklung verfolgt werden. Die Kritik der einzelnen Schaltungen gibt Hinweise für ihre richtige Anwendung je nach der zu lösenden Selektivschutzaufgabe.

Der Streckenschutz ist für längste und kurze Leitungen in Netzgebilden beliebiger Art gleichermassen gut geeignet und auch für Sammelschienen anwendbar.

Weiter werden die neueren Differentialschutzschaltungen beschrieben, von denen eine für den Sammelschienenschnellschutz nötige Eigenschaften besitzt.

On exige de plus en plus de la protection sélective qu'elle fonctionne rapidement. Le système par relais de distance réagit trop lentement, de sorte qu'on en fera peu probablement un jour un système à action vraiment rapide. Les systèmes «par comparaison» se prêtent mieux à ces fins. L'auteur expose ici un système de protection «par section», une combinaison du système par comparaison et du système à temporisation graduée, et en décrit la genèse. L'examen critique du couplage du réseau fournit les indications nécessaires pour appliquer correctement le nouveau système suivant les exigences posées au point de vue de la protection sélective.

Le système de protection «par section» se prête aussi bien pour les lignes les plus longues que pour les tronçons de lignes courts et pour les barres collectrices.

L'auteur décrit ensuite les nouveaux montages pour la protection différentielle, dont un possède les qualités nécessaires pour la protection rapide des barres collectrices.

Man ist stets bestrebt gewesen, Kurzschlüsse möglichst schnell abzuschalten. Dagegen war der Grad der Schnelligkeit verschieden je nach den Bedürfnissen des Betriebes und den zur Verfügung stehenden Mitteln. Mit dem Zusammenschalten früher getrennt betriebener örtlicher Versorgungsnetze und der zentralen Erzeugung der elektrischen Energie in wenigen sehr grossen Kraftwerken wuchsen die Kurzschlussleistungen an. Damit war ein Antrieb gegeben, mit Kurzschluss behaftete Anlagenteile schneller als früher abzuschalten, um stärkere Zerstörungen zu vermeiden und um den viel breiter gewordenen Einfluss der Spannungssenke auf spannungsempfindliche Stromverbraucher einzuschränken. Zu einer wirklichen Schnellabschaltung ist man aber nicht gekommen; einmal hätte schnelle Abschaltung nicht die dynamischen Zerstörungen durch den Stosskurzschlußstrom verhindern können, da sie hierzu doch zu spät gekommen wäre, zum anderen existierten keine Schalter, die in der Lage gewesen wären, derartige Schaltleistungen zu bewältigen. Man musste also den Stosskurzschlußstrom auf beherrschbare Werte herabsetzen, was durch Wahl höherer Streuung in Maschinen und Transformatoren und durch Einbau von Kurzschlussbegrenzungsdrosselspulen gelang. Die nach Abklingen des Stosskurzschlußstromes fliessenden Dauerkurzschlußströme waren nicht mehr zu gross für die Leistungsfähigkeit der Schalter. Auch die thermischen Beschädigungen, die sie hervorrufen und die von der Dauer der Stromeinwirkung abhängen, blieben bei den erreichbaren mittleren Auslösezeiten in zur Not erträglichem Rahmen. Man hatte sogar ein Interesse daran, nicht schnell abzuschalten, um die Schalter zu schonen und die Gefahr ihrer Zerstörung zu vermeiden.

Sehr schnell schaltende Selektivschutzsysteme (wie z. B. den Differentialschutz) verzögerte man daher künstlich.

Im gleichen Zeitabschnitt gelang es, die Zeitstaffelsysteme, die die selektive Auslösung fehlerhafter Leitungen mit Hilfe einer starren, vom Strom unabhängigen Zeitstaffelung und Energierichtungsrelais nur bei ganz einfachen Ringen sicherstellen konnten, erheblich zu verbessern. Das geschah durch automatische Einstellung der Auslösezeit durch das Zeitrelais selbst, die sich nach der Fehlerentfernung richtete — Distanzrelais, Impedanz- und Reaktanzrelais. Hierbei gewann man eine erhebliche Verkürzung der Auslösezeit, die sich bei neueren Ausführungen zwischen 0,5 und 1,5 s bewegt. Das wichtigste war aber, dass diese Schutzsysteme theoretisch scheinbar jedes beliebige, noch so vermaschte Netz selektiv zu schützen gestatteten. Man wurde also im Schutz unabhängig von der Gestalt des Netzes und der Zahl, Grösse und Lage der einspeisenden Kraftwerke. Jahrelang hat man sich bei der fortschreitenden Verwendung dieser Systeme damit beschäftigt, sie auszugestalten, zu vervollkommnen und den Bedürfnissen des Betriebes anzupassen; die reiche Literatur legt Zeugnis davon ab.

Inzwischen haben sich aber auch die Leistungsgrenzen der ursprünglich überschätzten Distanzschutzsysteme gezeigt; sie treten bei der fortschreitenden Technik immer schärfer hervor. Der Distanzschutz versagt, wenn die zu schützenden Leitungen eine gewisse Länge unterschreiten; ihr Widerstand ist dann zu klein, um eine zur Selektivität ausreichende Zeitdifferenz zwischen den einzelnen Relais zu sichern. Damit entfällt die Möglichkeit, den Distanzschutz anzuwenden, und man ist gezwungen, zu anderen Schutzsystemen zu greifen. Die zweite Schwierigkeit ist die Auslösezeit des Distanzschutzes, die bei den heutigen Verhältnissen vielfach als zu hoch anzusehen ist. Die Forderung, Kurzschlüsse schnellstens abzuschalten, wird mit Recht wieder stärker erhoben.

Bei der stark fortgeschrittenen, vielseitigen Vermaschung der einzelnen Netze lässt die Rücksicht auf die Selektivität eines Anschlussnetzes die volle Ausnutzung der gegen früher verhältnismässig kurzen Auslösezeiten des Distanzschutzes nicht zu. Man findet daher überall Auslösezeiten, die grösser als 1 s sind und nicht selten näher an 2 s oder darüber liegen. Entsprechend lange dauern die Spannungssenken, die jedem Abnehmer das Auftreten eines Kurzschlusses und seine Dauer durch Dunkelbrennen der Lampen melden, vor allem aber viele spannungsempfindliche Abnehmer zum Abschalten bringen können. Im Interesse der ungestörten Versorgung dieser Abnehmer muss man also die Auslösezeiten in den Netzen herabzudrücken suchen.

Nicht nur für die Abnehmer wirken sich die Spannungssenken ungünstig aus, sondern auch für die Kraftwerke selbst. Je länger sie dauern, um so leichter fallen die Maschinen oder Kraftwerke ausser Tritt. Damit ist regelmässig eine mehr oder minder grosse, oft vollständige Störung des Netzbetriebes verbunden. Gewöhnlich vergeht eine geraume Zeit, bis ein normaler Betriebszustand wieder erreicht werden kann. Es werden daher erhebliche Anstrengungen gemacht, um diese Stabilitätsstörungen zu vermeiden. Die meisten Abhilfemassnahmen sind aber verhältnismässig teuer oder lassen sich schwer nachträglich ergreifen. Als zuverlässiges und einfaches Mittel, die Stabilität zu sichern, das auch fast stets nachträglich angewendet werden kann, muss die Abkürzung der Spannungssenke bei einem Kurzschluss angesehen werden; der Kurzschluss muss so schnell als möglich abgeschaltet werden. Die Anforderungen an die Schnelligkeit sind sehr scharf; so soll die Gesamtzeit vom Auftreten eines Kurzschlusses bis zu dessen Beseitigung (Relaiszeit und Schaltzeit zusammen) 0,1 s nicht übersteigen. Dies gilt allerdings nur für den schwierigsten Fall, nämlich einen dreipoligen Kurzschluss in nächster Nähe einer Kraftwerkssammelschiene. Bei anderer Lage des Kurzschlusses kann man bequem mit längerer Zeit auskommen, die aber auch möglichst klein gehalten werden sollte.

Der Bau leistungsfähiger Schalter hat in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht. Grosse Schaltleistungen werden bewältigt, und die Abschaltung darf erfolgen, auch wenn der Stosskurzschlussstrom noch nicht abgeklungen ist. Dazu ist die Geschwindigkeit sehr erhöht; die Schaltzeit moderner, in Serienfabrikation hergestellter Schalter liegt durchweg unter 0,25 s (Zeit vom Unterspannungsetzen des Auslösers bis zum Erlöschen des Lichtbogens). Von dieser Seite steht kein Hindernis mehr im Wege.

Es gilt also, die Zeiten des Selektivschutzes entsprechend zu erniedrigen und sie in die Grössenordnung dieser Zeiten zu bringen, um einem Aussertrittfallen der Kraftwerke möglichst auszuweichen.

Auch aus einer ganz anderen Richtung kommt die Forderung, die Auslösezeiten des Selektivschutzes zu erniedrigen. Das Herabgehen der Auslösezeiten in den Hochspannungsnetzen drückt notwendig auf die der Mittelspannungsnetze. Besonders fühlbar ist das bei Kabelnetzen, bei denen häufig wegen der niedrigen Widerstände der zu schützenden Leitungen der Einbau eines Distanzschutzes unmöglich ist. An der Einspeisestelle in diese Mittelspannungsnetze darf die Auslösezeit einen vorgeschriebenen Wert nicht überschreiten (z. B. 2 s), wenn Störungen im Mittelspannungsverteilungsnetz nicht in das übergelagerte Versorgungsnetz hineingetragen werden sollen. Im eigentlichen Verteilungsnetz muss dann die Auslösezeit unter 1,0 s oder vielleicht 1,3 s eingestellt werden, um die Selektivität aufrechtzuerhalten. Selbst die einfachste Ringbildung oder Hintereinanderschaltung von zwei oder mehr Stationen ist dabei unmöglich geworden. Auch der Distanzschutz, soweit er mit Rücksicht auf die Länge der Leitungen (ihren Widerstand) anwendbar wäre, vermag diese Zeiten nicht zu erreichen.

Für jedes Schutzsystem, das zur Selektivität die Zeit als wesentliches Element benötigt, liegt die Gesamtauslösezeit über 1,0 s, da die Auslösezeiten der Schalter an beiden Leitungsenden und die Relaiszeiten oft — je nach Lage des Kurzschlusses — zu addieren sind. Nun hat man in den letzten Jahren die Grundzeit der Distanzrelais herabgesetzt und durch Einführen des Zeitstufenprinzips mit einer schnellen Kippstufe (z. B. Zeitstufenreaktanzschutz, Minimalimpedanzrelais, Ratio Balance system, Highspeed-Impedanzrelais, Principe de réactance à temps échelonnés) Erfolge erzielt und die Auslösezeit deutlich verbessert. Leider ist dabei für einen wirklichen Schnellschutz nicht viel gewonnen, da für den dem Relais ferneren Teil der geschützten Strecke die Relaiszeit doch erhöht werden muss. Beiderseitig soll aber die fehlerhafte Strecke in max. 1,0 s, besser aber in weniger als 0,5 s bis zu 0,1 s abgetrennt sein. Damit keine unnötige Zeit verfliesst, wurde deshalb in letzter Zeit von verschiedener Seite vorgeschlagen, die Schalter an den beiden Leitungsenden so zu kuppeln, dass sie gleichzeitig auslösen, sowie nur das Relais, dem der Kurzschluss nahe liegt und das infolgedessen sehr schnell arbeitet, den Auslöse-Impuls an seinen Schalter gibt. Das jeweils schnellere Relais würde auf diese Weise den Auslöse-Impuls an beide Schalter geben, der Impuls wird dabei über irgendeinen Kanal zum anderen Leitungsende übertragen. Man kommt zu einem ferngesteuerten Abschalten (transferred tripping). Der Vorschlag wirkt zunächst bestechend, da beide Schalter der fehlerhaften Leitung gleichzeitig und zudem sehr schnell zum Auslösen gebracht würden. Der praktischen Ausführung stellen sich jedoch erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Jeder Fremdimpuls, der in den Kanal gelangt, führt zu einer Fehlauslösung, die aber keinesfalls vorkommen darf. Da jedoch Fremdimpulse (kapazitiver oder induktiver Art, Abfliessen statischer Ladungen usw.) immer in den Uebertragerkanal kommen können, so müssen besondere Massnahmen ergriffen werden, um ihre Auswirkung unbedingt zu verhindern. Das führt automatisch zu einer anderen Ausnützung des Kanals, zu Schaltungen, die durch Fremdimpulse nicht beeinflusst werden, und damit zu einer Gruppe neuer Schnellschutzsysteme, die mit dem Distanzschutz prinzipiell nichts mehr zu tun haben.

Einen Schnellschutz aus einem Schutzsystem zu entwickeln, dessen Relais nur an einem Leitungsende konzentriert sind wie beim Distanzschutz, ohne die Zeit als Selektivmittel zu Hilfe zu nehmen, erscheint aussichtslos, da es kein Messverfahren gibt, das gestattete, die Entfernung einer Fehlerstelle von einem Relaissatz aus mit so grosser Genauigkeit festzustellen, dass unterschieden werden kann, ob der Fehler vor oder hinter dem nächsten für eine Abschaltung in Frage kommenden Schalter liegt. Das ist nur durch eine Messung an dem Einbauort dieses Schalters selbst möglich. Das Ergebnis dieser Messung wird zu dem Relaissatz am Eingangsschalter übertragen, und hier kann durch Vergleich der eigenen Messung mit dem vom anderen Ende übertragenen Messwerte über Abschalten oder Nichtabschalten entschieden werden. Anstelle der Zeit als Selektivmittel tritt ein Vergleich gleichartiger Zustände, mit dem allein ein Schnellschutz möglich ist. In den letzten Jahren ist die Entwicklung dieser Vergleichsschutzsysteme sehr rege gewesen. Da nunmehr ein gewisser Abschluss erreicht ist, ist es an der Zeit, einen Rückblick zu werfen und eine Gegenüberstellung der verschiedenen Systeme zu geben.

Streckenschutz.

(Richtungsvergleichsschutz; Interlock system, Dispositif à relais wattmétriques de déséquilibre, Overall protection by directional comparison, Pilot protection.)

Der diesen Schaltungen zugrunde liegende Gedanke ist, allen Schaltern einer Leitung gleiche kurzfristige Auslösezeit zu geben und von der defekten Leitung aus die Auslösung aller Schalter vor gesunden Abschnitten zu verriegeln (Interlock system)[1]) (Fig. 1)[2]). Die Schalter der zu schützenden Leitung erhalten wie üblich ein Ueberstrom- und Zeitrelais (dieses ist in den Abbildungen nicht

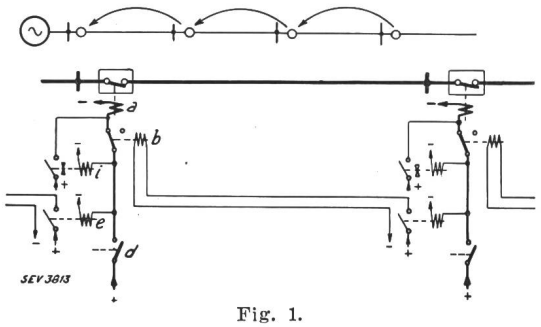

Fig. 1.
Verriegelungsschaltung für Stichleitungen.
a Auslöser. *b* Vergleichssperrelais. *d* Anregerelais. *e* Steuersperrelais. *i* Zeitkontakt des Einspringschutzes.

gezeichnet), die das Auslösekommando bei Kurzschluss an den Schalter geben. Im Auslösekreis liegt ein Sperrelais, dessen Kontakt im Ruhezustand geschlossen ist und die Auslösung freigibt; erhält das Relais Spannung, so öffnet es den Kontakt und den Auslösestromkreis und sperrt die Auslösung. Der Sperrstrom wird durch die Hilfsleitung von der der Einspeisestelle ferner liegenden Station übertragen. Wenn in dieser das Ueberstromrelais anspricht, so ist das der Beweis, dass der Fehler nicht in dem vorherliegenden Abschnitt sein kann, und

[1]) Schimpf, Elektr. im Bergb. 1931, Heft 11; Longfield, Metrop. Vickers Gaz., Dez. 1932.

[2]) Die Schaltbilder zeigen nur die Kontakte der Anrege- und Richtungsrelais; ihre Anschlüsse an Strom- und Spannungswandler interessieren im Rahmen dieser Abhandlung nicht und sind deshalb fortgelassen.

Der Auslösekreis zeigt im Gleichstromschema den Verlauf der Auslösung, auch wenn in Wirklichkeit vielleicht der Auslösestrom gar nicht über den Kontakt des Relais fliesst. Die gegenseitige Abhängigkeit zwischen den einzelnen Relais wird durch diese Zeichenmethode aber am deutlichsten. Sie wurde deshalb für alle Abbildungen gewählt. Soweit Schaltbilder aus den zitierten Aufsätzen hier wiedergegeben sind, sind sie entsprechend umgezeichnet.

es darf ein Sperrimpuls (Arbeitsstrom) zur vorhergehenden Station gegeben werden. Für die Entscheidung über Ausschalten und Nichtausschalten sind also die Angaben zweiter Relaissätze, am eigenen Schalter und am nächsten, massgebend, die miteinander verglichen werden. Das unmittelbar vor der Kurzschlußstelle liegende Sperrelais erhält keinen Sperrimpuls, da der nächste Relaissatz keinen

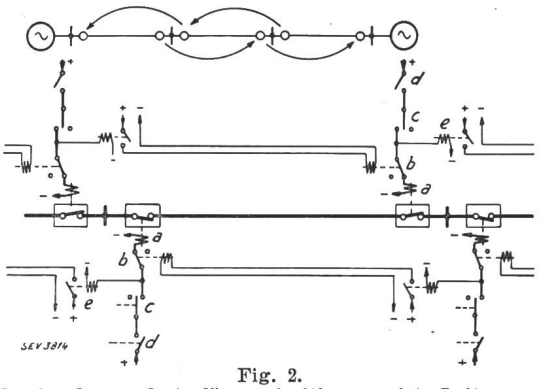

Fig. 2.
Verriegelungsschutz für zweiseitig gespeiste Leitungen.
a Auslöser. *b* Vergleichssperrelais. *c* Richtungsrelais. *d* Anregerelais. *e* Steuersperrelais.
Zeitrelais und Einspringschutz der Uebersicht halber fortgelassen.

Kurzschlußstrom mehr führt, und der richtige Schalter wird durch seine zugehörigen Relais zum Auslösen gebracht. Alle vorherliegenden Schalter sind gesperrt. Diese Sperre wird erst aufgehoben, wenn der Kurzschlußstrom abgeschaltet ist und die Ueberstromrelais ihre Kontakte öffnen. Die Zeitrelais verzögern die Auslösung nur so lange, als für das sichere Ansprechen der Sperrelais nötig erscheint; der Schutz arbeitet also sehr schnell.

Beim Versagen einer Auslösung schaltet der in Richtung zur Speisestelle folgende Schalter nicht ab, da ja sein Sperrelais die Auslösung verhindert. Um nicht den Schalter der Speisestelle selbst herauszuwerfen, muss eine Reserveeinrichtung vorgesehen sein, die in solchem Versagerfalle einspringt (Reservezeit, back up system, Einspringschutz). Sie lässt sich sehr leicht schaffen, indem man nämlich dem Zeitrelais einen zweiten verzögert schaltenden Kontakt gibt (oder, falls das konstruktiv nicht möglich ist, ein zweites Zeitrelais hinzufügt), der den Sperrkontakt nach der eingestellten Zeit überbrückt (in Fig. 1, sonst nicht gezeichnet). Die Auslösezeiten dieser Einspringkontakte werden in der üblichen Weise gestaffelt. Der so geschaffene Schutz hat vorzügliche Eigenschaften. Er schaltet sehr schnell und selektiv ab; bei einem Versager springt automatisch der nächste Schalter ein. Damit sind die Grundbedingungen erfüllt, die man an einen modernen Schnellschutz stellen muss. Das wurde scheinbar ziemlich gleichzeitig an den verschiedensten Orten erkannt, als man durch den dringenden Bedarf, schnelle Auslösezeiten für den Selektivschutz zu erreichen, zur Umschau nach geeigneten Systemen gezwungen wurde.

Ueber die Grundform musste der Schutz hinaus entwickelt werden, um ihn den jeweiligen Bedürfnissen anzupassen. Bei Ringbetrieb oder zweiseitiger Speisung kommt man mit dem beschriebenen System nicht mehr aus. Da der Kurzschlussstrom in zwei Richtungen fliessen kann und nur bei einer gesperrt werden darf, muss jedem Relaissatz ein Energierichtungsrelais beigefügt werden. Dazu ist ein zweites gegenläufiges System für die an der anderen Seite jeder Station beim Ringbetrieb erforderlichen Schalter (Fig. 2) nötig. Die Auslösung wird nicht nur vom Sperrsignal des von der Speisestelle entfernten Relaissatzes (Richtungsrelais) abhängig gemacht, sondern auch vom eigenen Richtungsrelais, das dann sperrt, wenn der Strom nicht von der Sammelschiene fort in die Leitung fliesst (Vergleich der Angaben zweier Richtungsrelais)[3]. Diese Schaltung hat den Vorzug, dass bei Sammelschienenfehlern die Auslösung auch schnell erfolgt. Dem steht aber als Nachteil gegenüber, dass bei Doppelsammelschienen oder bei Mehrfachleitungen oder mehreren Abzweigen an der Sammelschiene der Unterstation kompliziertere Schaltungen und Umschaltemöglichkeiten für die Verriegelungsstromkreise getroffen werden müssen. Um diesen Nachteilen aus dem Wege zu gehen, wählte man ganz allgemein eine andere Verknüpfung der Sperr- und Richtungsrelais, bei der die Sammelschienen aus dem Vergleichsbereich der Richtungsrelais ausgeschieden werden.

Der Vergleich erstreckt sich nur auf die Relais am Anfang und Ende einer Leitung. An jedem Leitungsende muss dazu die Stellung des Richtungsrelais des anderen Endes bekannt sein, die gegenseitig übermittelt wird. In der einfachsten Schaltung werden die Kontakte der beiden Richtungsrelais und der Ueberstromrelais in Reihe geschaltet. Sprechen die Ueberstromrelais an und weisen beide Richtungsrelais in die Leitung hinein, so wird der Auslösestromkreis für beide Schalter geschlossen

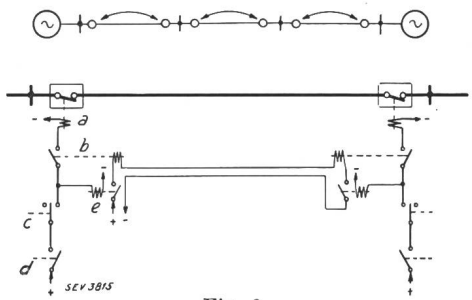

Fig. 3.
Streckenschutz für zweiseitig gespeiste Leitungen.
a Auslöser. *b* Vergleichsfreigaberelais. *c* Richtungsrelais. *d* Anregerelais. *e* Steuerfreigaberelais.

(Fig. 3)[4]. Die Ueberstrom- und Richtungsrelais werden natürlich auch für den überlagerten Reserveschutz ausgenutzt, so dass dieser ganz einfach aufzubauen ist[5].

[3]) Longfield, Metrop. Vickers Gaz., Dezember 1932.

[4]) Garrard, J. Instn. electr. Engr. 1908, S. 525; Vedovelli, Rev. gén. Electr. 1923, S. 53.

[5]) Die konstruktiven Eigenschaften der verschiedenen Relais und die wechselstromseitige Schaltung insbesondere der Richtungsrelais ergeben Unterschiede in der Wirkungsweise. Es muss darauf verzichtet werden, sie näher zu erläutern.

Bei einem Sammelschienenfehler erfolgt natürlich keine Auslösung, ihr Schutz wird den Einspringrelais überlassen, die mit verzögerter Zeit ausschalten. Wird für die Sammelschienen auch ein Schnellschutz für erforderlich gehalten, so kann die gleiche Schaltung als Sammelschienenschutz dienen, wobei besondere Richtungsrelais nicht erforderlich sind, da diejenigen der abgehenden Leitungen mit ihren Rückwärtskontakten benutzt werden können. Bei Mehrfachsammelschienen ergeben sich kompliziertere Schaltungen; deshalb wird man diese Schaltung selten allein anwenden, sondern besser eine andere Verriegelungsschaltung benutzen, die sich auf dem Differentialschutz aufbaut und wesentlich einfacher ist (siehe am Schlusse des Aufsatzes).

In der soeben beschriebenen Prinzipschaltung ist dieser «Streckenschutz» — das ist der gebräuchlich gewordene Name für Richtungsvergleichsschutz mit zusätzlichem Zeitstaffelschutz — jedoch wenig geeignet und auch wohl kaum angewendet worden. (Er war schon vor mehr als 25 Jahren bekannt, z. B. 1907 in Deutschland, 1908 in England.)

Eine ganze Reihe von Schaltungen sind vorgeschlagen und auch ausgeführt worden. Die Kenntnis nur der einen oder anderen Streckenschutzschaltung und ihrer bestimmten Eigenschaften führt leicht zu einem falschen Urteil über den Schutz. Die Meinungen über die Wertigkeit der einzelnen Schaltungen schwanken daher noch sehr, wenn auch *heute Einhelligkeit darüber besteht, dass mit Streckenschutzschaltungen ein wirklicher Schnellschutz ausführbar ist.* Im folgenden werden die wichtigsten bisher benutzten Streckenschutzschaltungen, soweit sie in der amerikanischen, deutschen, englischen und französischen Literatur veröffentlicht sind, einander gegenübergestellt und kritisch betrachtet. Da sie auf dem Vorhandensein eines Hilfskanals aufgebaut sind, so kann ihr Arbeiten nicht zuverlässiger sein als der Hilfskanal selbst [6]). Jedes Urteil über die eine oder andere Streckenschutzschaltung muss daher von der Betrachtung des Hilfskanals ausgehen; ein Urteil über die Güte einer Schaltung oder ihr typisches Anwendungsgebiet lässt sich schnell finden, wenn man das Verhalten bei Hilfsleitungsstörungen betrachtet [7]).

Einleitend wurde schon festgestellt, dass es gefährlich ist, unmittelbar über die Hilfsleitung den Schalter auszulösen, da jeder Impuls, der fehlerhaft in die Leitung von aussen her kommt, zu einer unerwünschten Auslösung führen muss. Umgekehrt darf aber auch ein Verschwinden eines dauernd fliessenden Ruhestromes, der den Leistungsschalter in der «Ein»-Stellung hält (ähnlich Nullspannungsauslöser), durch Unterbrechen oder Kurzschluss der Hilfsleitung nicht zum Auslösen der Schalter der geschützten Leitung führen, wenn überhaupt kein Kurzschluss vorhanden ist. In dieser Hinsicht kann man keinen Hilfskanal als sicher ansehen, alle derartigen Schaltungen scheiden also von vornherein aus. Wenn allerdings der Impulskanal als vollständig immun anzusehen wäre, würde der Anwendung nichts im Wege stehen. Bei allerkürzesten Strecken und entsprechend kurzen Hilfsleitungen ist dies der Fall. Ein Anwendungsbeispiel ist die Kupplung der beiden Schalter der Ober- und Unterspannungsseite eines Transformators, deren wenige Meter Steuerleitung als immun anzusehen sind. Bei einem Dreiwicklungstransformator ist diese einfache Kupplung schon nicht mehr zweckmässig, da bei Auslösen eines Transformatorschalters bei aussenliegendem Fehler die beiden anderen Schalter nicht auslösen dürfen, wenn nicht der gesunde Energieaustausch über sie fehlerhaft unterbrochen werden soll. Auf kürzeste Entfernungen wird man aber sowieso keinen Streckenschutz anwenden, sondern den unter diesen Umständen einfacheren Differentialschutz.

Bei einem zuverlässigen Streckenschutz darf das Abschalten der Leitung nur von der dem Schalter zugeordneten Relaisapparatur veranlasst werden. Dazu stellen die Anregerrelais das Vorhandensein des Kurzschlusses fest, und die Richtungsrelais geben an, ob der Kurzschlußstrom in die geschützte Leitung hineinfliesst. Der Hilfskanal darf nur die Stellung der Richtungsrelais vom einen Ende zum anderen übermitteln und also melden, ob der Kurzschluss diesseits des folgenden Richtungsrelais oder jenseits liegt. Liegt der Fehler noch diesseits innerhalb der geschützten Strecke, so wird schnell abgeschaltet, liegt er bereits jenseits, so wird die Abschaltung so weit verzögert, dass den dann zuständigen Relais und Schaltern das selektive Schnellschalten gesichert ist. *Nur über die Auslösegeschwindigkeit wird also vom Uebertragerkanal entschieden.*

Nach diesem Prinzip arbeiten die in Fig. 2 und 3 wiedergegebenen Schaltungen; sie weisen jedoch gegeneinander einen grundsätzlichen Unterschied auf. Bei der ersten Schaltung wird beim Kurzschluss über die Hilfsleitungen der kurzschlussfreien Strecken ein Arbeitsstrom geschickt, der ihre schnelle Auslösung sperrt (Sperrstrom), während bei der zweiten Schaltung über die Hilfsleitung der kurzschlussbehafteten Strecken ein Arbeitsstrom fliesst, der ihre schnelle Auslösung freigibt (Freigabestrom). Ist die Hilfsleitung der kurzschlussbehafteten Leitung gestört, so wird im ersten Fall die Auslösung doch schnell erfolgen, da ja ein sperrender Arbeitsstrom nicht fliesst. Bei der zweiten Schaltung dagegen erfolgt keine Schnellauslösung mehr, da der sie bewirkende Arbeitsstrom nicht fliessen kann. Ist dagegen die Hilfsleitung einer kurzschlussfreien Strecke gestört und kann über sie kein Arbeitsstrom fliessen, so wird sie bei der ersten Schaltung fehlerhaft schnell abschalten, während bei der zweiten Schaltung richtig die Auslösung verzögert bleibt.

[6]) Sporn und Muller, Elect. Wld. N.Y., Sept. 1932, S. 332.

[7]) Hierauf haben Neher, Electr. Engng., März 1933, und Neugebauer, Siemens-Z., Nov./Dez. 1933, hingewiesen, deren Aufsätze besonders beachtenswert sind.

Beide Prinzipien — der über die Hilfsleitung fliessende Arbeitsstrom sperrt das Schnellschalten (Sperrsystem) (Fig. 2) oder der über die Hilfsleitung fliessende Arbeitsstrom gibt das Schnellschalten frei (Freigabesystem) (Fig. 3) — haben ihre Vorzüge und Nachteile. Je nach den Bedürfnissen des Netzes und der Gefährdung des Hilfskanals wird man das eine oder andere, das Sperrsystem oder das Freigabesystem, wählen.

(Fortsetzung folgt.)

Das Verhalten eines 150 kV-Kabelendverschlusses bei Stoßspannung.

Von *P. E. Schneeberger*, Brugg.

621.315.687.0014

Die Erfolge mit ölgefüllten Kabeln, deren hauptsächlichste Entwicklung der Gesellschaft Pirelli und deren Chefingenieur L. Emanueli zu verdanken sind, haben die Kabelwerke Brugg A.-G. bewogen, die entsprechenden Lizenzen und bewährten Fabrikationseinrichtungen zu erwerben. In Verbindung mit eigenen Erfahrungen und Studien wird es möglich sein, in nächster Zeit die schweizerischen Interessenten mit betriebssicheren Höchstspannungskabeln zu bedienen. Besondere Schwierigkeiten beim Bau solcher Kabelanlagen bieten die Endverschlüsse, da sie im Betrieb sehr hohen elektrischen Beanspruchungen unterworfen sind. Sie wurden daher sehr eingehend untersucht. Im folgenden Aufsatz werden Versuche mit einem Stossgenerator an einem 150 kV-Endverschluss beschrieben.

Les succès que remportent les câbles à remplissage d'huile, dont le développement est dû en grande partie à la Société Pirelli et à son ingénieur en chef M. L. Emanueli, ont incité les Câbleries de Brougg S. A. à se procurer les licences et installations de fabrication nécessaires. Grâce à ses propres expériences et études, cette maison sera sous peu à même de fournir aux intéressés suisses des câbles à très haute tension offrant toute sécurité désirable en service. Une des principales difficultés que l'on rencontre lors du montage de telles installations de câbles réside dans les contraintes électriques extrêmes auxquelles sont exposées les boîtes d'extrémité. C'est pourquoi on a voué à ces dernières une attention toute particulière. L'article ci-dessous contient une description d'essais effectués avec un générateur de chocs sur une de ces boîtes d'extrémité pour 150 kV.

Oelkabelanlagen eignen sich speziell für Spannungen über 70 kV; nur bei besonderen Verhältnissen können sie auch für niedrigere Spannungen in Betracht kommen. In der Schweiz dürften 150 kV-Oelkabel in erster Linie bei Einführungen in Kraftwerke und Unterwerke, ferner bei Unterführungen usw. verwendet werden. Am Ende einer Leitung eingebaut, dient eine entsprechend bemessene Höchstspannungs-Kabelanlage auch als bewährter Ueberspannungsschutz, sowohl gegenüber Wanderwellen als auch anderen hochfrequenten Ueberspannungen. Der exponierteste Teil einer solchen 150 kV-Kabelanlage ist der Kabelendverschluss, da die auflaufenden Ueberspannungen ihn zuerst und in der vollen Höhe treffen. Seiner Durchbildung und Untersuchung wurde daher besondere Sorgfalt gewidmet.

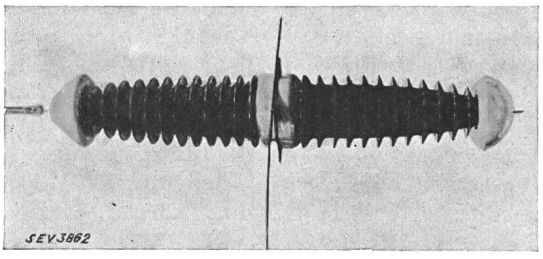

Fig. 1.

Hauptteil eines Höchstspannungsendverschlusses ist der Porzellankörper, der mit dem Kabel durch die Metallarmaturen verbunden ist (Fig. 1). Starke Glimmschutzhauben verhindern aussen Sprüherscheinungen und verbessern das elektrische Feld. Um Gleitfunkenbildung, welche durch starke Rand- und Oberflächenfelder auftreten könnte, im Innern nach Möglichkeit zu verhindern, wird das Kabelende mit einer speziellen Bewicklung aus Isolierpapier versehen. Der Lieferantin der Porzellankörper, der Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren-Gesellschaft (Hescho), Werk Hermsdorf, waren folgende Vorschriften gestellt worden:

Ueberschlagsspannung bei sinusförmigem Wechselstrom von 50 Per./s und Beregnung mit Wasser von 100 μS cm^{-1} Leitfähigkeit nach VDE 385 kV.

Stossüberschlagsspannung bei positiver Polarität bei einer Halbwertsdauer des Rückens von $H = 50$ μs ca. 900 kV$_{max}$.

Alle Werte gelten bei betriebsmässiger Ausrüstung des Porzellankörpers, also mit eingebautem Kabel oder entsprechender Anordnung. Um die Untersuchung ohne Verwendung eines Kabelstückes zu ermöglichen, wurden zwei Porzellanüberwürfe, unter Zwischenschaltung eines Flansches und eines bewickelten Durchführungsbolzens, zusammengebaut. Die Anordnung glich dann in ihrem Aufbau vollkommen einer normalen Betriebsanordnung zweier Kabelendverschlüsse ohne dazwischenliegendes Kabelstück. Der Durchführungsbolzen entsprach dabei der Kabelseele. Der Bolzen besass einen Durchmesser von 18 mm. Er war mit einer Hartpapierumwicklung versehen, die an der Flanschstelle einen Durchmesser von 140 mm aufwies. Der Papierwickel wurde nach beiden Seiten hin konisch verjüngt. An der Flanschstelle war direkt auf dem Papier eine zylindrische Kupferelektrode aufgebracht, deren Ränder durch Ringwulste abgerundet waren. Der Hohlraum zwischen dem Winkel und den Porzellanüberwürfen wurde mit Transformatorenöl gefüllt. Im übrigen waren, um zu starkes Sprühen an den Armaturen zu vermeiden, am Flansch sowie an den beiden Kopfteilen Strahlungshauben angebracht.

Die Stossversuche wurden mit einem Stossgenerator ausgeführt, dessen Schaltung in Fig. 2 skizziert ist. Die Einzelkapazitäten des Generators betrugen $C = 9000$ cm und die wirksame Kapazität *750 cm.*