

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 25 (1934)
Heft: 14

Artikel: Die Entwicklung der schnellschaltenden Schutzsysteme in Amerika, Deutschland, England und Frankreich [Fortsetzung und Schluss]
Autor: Schimpf, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056564>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 18.01.2025

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

Impedanz der Sekundärwicklung $z_i = 1,91$ Ohm (an Hand vorliegender Daten geschätzt);

Grösstmögliche Gesamtbürde $z = 4 + 1,91 = 5,91$ Ohm oder 148 VA;

Spezifische Belastung bei Nennstrom $\frac{P_N}{G} = \frac{148}{18,7} = 7,91$ VA/kg.

I. Vorausberechnung.

Aus Fig. 5 lesen wir bei 16,1 AW/cm eine Auslöse-Induktion $B = 9400$ Gauss und eine spezifische Auslöseleistung von 50 VA/kg ab, das sind insgesamt 935 VA oder 37,4 Ohm. Ferner finden wir für eine spezifische Belastung von 7,91 VA/kg eine Kennziffer $\alpha = 11,0$ bei einer Ueberstrominduktion $B_x = 16\,000$ Gauss.

II. Indirekte Messung ⁶⁾.

a) Auslösebürde.

Aus Fig. 3 entnehmen wir zu $B_A = 9400$ den Faktor $\frac{1}{\cos \psi} = 1,074$. Nach Gl. 6 erregen wir also bei offener Primärwicklung von der Sekundärseite aus mit sinusförmiger Spannung, bis der Erregerstrom $I_{02} = 1,074 \cdot \left(0,1 + \frac{1,46}{100}\right) \cdot 5 = 0,615$ A beträgt. Die gleichzeitig am Voltmeter abgelesene Spannung beträgt $E_{0A} = 141,5$ V. Wir erhalten also insgesamt $\frac{141,5}{0,9 \cdot 5} = 31,45$ Ohm. Nach Abzug der Impedanz der Sekundärwicklung ergibt sich die Auslösebürde zu etwa 30 Ohm.

⁶⁾ Die Messungen wurden ebenso wie die Entwicklung der ganzen Berechnungsweise vom Verfasser im Laboratorium der AEG-Transformatorfabrik, Berlin, durchgeführt.

b) Ueberstromziffer.

Nach Gl. 10 ist zwischen Spannung und Strom ein Verhältnis $\frac{E_{0x}}{I_{02}} = \frac{9 \cdot 5,91}{1 + 0,1 \cdot 1,46} = 46,5$ Ohm einzustellen. Es wird also der Wandler von der Sekundärseite mit sinusförmiger Spannung erregt, bis dieses Verhältnis erreicht ist. Dies ist bei $E_{0x} = 269$ V und $I_{02} = 5,79$ A der Fall. Die Ueberstromziffer beträgt also $\alpha = \frac{10}{1 + 0,1 \cdot 1,46} \cdot \frac{5,79}{5} = 10,1$.

Die Abweichung der Leerlaufmessungen von den vorausgerechneten Werten der Auslösebürde (37,4 anstatt 31,45 Ohm) und der Ueberstromziffer (11,0 anstatt 10,1) erklärt sich aus der Verschiedenheit des verwendeten und des der Berechnung zugrundegelegten Stromwandlerbleches (vergleiche die beiden Leerlaufmessungen mit den Werten der Normalkurve Fig. 4!).

III. Direkte Messung der Ueberstromziffer.

Zur Kontrolle wurde noch eine direkte Messung der Kennziffer derart vorgenommen, dass bei Belastung des Wandlers mit seiner Nennbürde von 4 Ohm, $\cos \beta = 0,5$ der Primärstrom soweit gesteigert wurde, bis der — mit Normalampèremetern gemessene — Stromfehler 10 % betrug. Dies war bei $I_1 = 632$ A der Fall. Der Sekundärstrom betrug hierbei $I_2 = 56,9$ A. Das entspricht einer Ueberstromziffer $\alpha = \frac{632}{50} = 12,6$. Dieser Wert liegt höher als der indirekt gemessene (10,1), da einerseits der der Leerlaufmessung zugrunde gelegte Wert der Sekundärstreuung ($x_i = 1,80$ Ohm) nicht genau mit dem tatsächlichen übereinstimmt, andererseits bei der direkten Messung nur eine Bürde mit $\cos \beta = 0,5$ zur Verfügung stand, bei der der Extremfall der Phasengleichheit zwischen Primär- und Sekundärstrom noch nicht auftrat, die Messung also eine etwas zu günstige Kennziffer ergab.

Vom Bannalpwerk.

621.311(494)

In Nr. 7 des Bulletin haben wir unsern Lesern über die Angelegenheit des Bannalpwerkes in Nidwalden berichtet und die Stellungnahme des VSE zu dieser Frage bekanntgegeben. Leider hat sich dann die Landsgemeinde doch für den Bau dieses Werkes ausgesprochen, so dass nun zu erwarten wäre, dass dieses weder technisch noch wirtschaftlich durchstudierte und jedenfalls sehr teure Werk zur Ausführung kommen sollte. Immerhin hat sich die Sachlage in Nidwalden seither insofern geändert, als zwei grosse Gemeinden ihre Verträge mit den bisherigen Energielieferanten wieder erneuert haben, so dass dem neuen Werk nun nicht einmal mehr der Absatz für seine Energie gesichert

und damit die Wirtschaftlichkeit des Werkes unmöglich erscheint, denn die noch verbleibenden Gemeinden können höchstens noch 200 000 Fr. Jahreseinnahmen bringen, während sogar nach dem bekanntlich ungenügend berechneten Projekt der Initianten die Jahresausgaben mit 330 000 Fr. veranschlagt sind. Es ist daher anzunehmen, dass die ganze Angelegenheit noch einmal frisch studiert werden muss, und es ist nur zu hoffen, dass schliesslich doch die Einsicht in die wirtschaftlichen Bedingungen eines solchen Unternehmens den Ausschlag geben werden, wenn sich die für die Finanzierung massgebenden Instanzen ihrer grossen Verantwortung voll bewusst werden. *Das Generalsekretariat.*

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

Von R. Schimpf, Berlin.

621.316.925

(Fortsetzung von S. 341 und Schluss.)

Schaltungen mit Freigabestrom (Freigabesysteme).

Während, wie wir eben sahen, Sperrsysteme stets dann fehlerhaft bei aussenliegendem Kurzschluss auslösen können, wenn die Hilfsleitung gestört ist, geschieht dies bei den Freigabesystemen nicht. Für den Betrieb ist nichts schlimmer, als wenn bei einem Kurzschluss mehr Schalter fallen, als zum

Abtrennen der Kurzschlußstelle nötig sind. Viel leichter kann es in Kauf genommen werden, dass bei Ausfall der Hilfsleitung einmal ein verzögertes Abschalten erfolgt, da es immer noch selektiv ist. Zudem kommt das verzögerte Auslösen beim Freigabesystem viel seltener vor als das Zuvielabschalten beim Sperrsystem. (Sind 10 Strecken eines Netzes mit dem Sperrsystem ausgerüstet und ist bei

einer die Hilfsleitung defekt, so ist in 9 von 10 Fällen damit zu rechnen, dass ein Kurzschluss auf einer der anderen Strecken auftritt und dass dann ausser der kurzschlussbehafteten Strecke die, deren Hilfsleitung gestört ist, abgeschaltet wird. Ist dagegen bei 10 mit Freigabesystem ausgerüsteten Strecken ein Defekt auf der Hilfsleitung einer Strecke, so kann wieder in 9 von 10 Fällen damit gerechnet werden, dass ein Kurzschluss auf einer der anderen Strecken auftritt. Dann wird die kurzschlussbehaftete Leitung schnell abgeschaltet und keine weitere

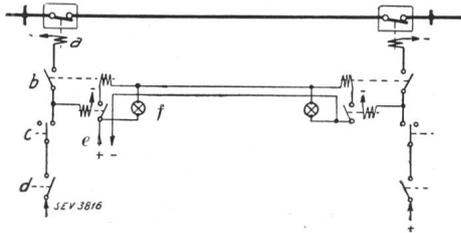


Fig. 4.

Freigabesystem, der flussende Arbeitsstrom gibt die Auslösung frei. Hilfsleitung durch besonderen Prüfstrom überwacht.

a Auslöser. b Vergleichsfreigaberelais. c Richtungsrelais. d Anregerelais. e Steuerfreigaberelais. f Ueberwachungsrelais.

ausgelöst.) Deshalb sind die Freigabesysteme im allgemeinen vorzuziehen.

Um auch das verzögerte Ausschalten möglichst zu vermeiden, wenn die Hilfsleitung defekt ist, ist es erforderlich, sie dauernd zu überwachen, so dass bei irgendeinem Defekt dieser sofort gemeldet wird; es kann dann für Beseitigung Sorge getragen werden. Eine solche Schaltung, die im übrigen der der Fig. 3 gleicht, gibt Fig. 4⁸⁾. Die Hilfsleitung wird durch einen Ruhestrom überwacht, der so schwach ist, dass er die Freigabevergleichsrelais nicht zum Ansprechen bringen kann. Die Ueberwachungsrelais melden jede Störung der Leitung.

Diese Schaltung kann noch nicht als einwandfrei gelten. Die Schnellauslösung erfolgt nur, wenn die Strecke zweiseitig gespeist ist, Kurzschlussstrom also von beiden Seiten zufließt. Bei einseitiger Speisung bleiben die Relais der einen Seite in Ruhe und der Freigabestrom in der Hilfsleitung kann nicht fließen; infolgedessen bleibt die Schnellauslösung aus. Eine Schaltung, die auch bei einseitiger Speisung schnell arbeitet, muss als besser angesehen werden (Fig. 5). Sie unterscheidet sich von der vorhergehenden dadurch, dass die Kontakte der Freigabesteuerrelais, die im normalen Betriebszustand geöffnet sind, durch die normal geschlossenen Kontakte eines zweiten Relais überbrückt sind. Dadurch wird bei einseitiger Speisung erreicht, dass der Freigabestrom fließt und schnell ausgeschaltet wird. Bei aussenliegenden Fehlern wird durch das Ansprechen des Anregerelais auch am entfernten Leitungsende die Kontaktbrücke über die Freigabesteuerrelais geöffnet und damit der Freigabestrom unterbrochen, so dass eine Schnellabschaltung unmöglich ist. Der normal geschlossene Frei-

⁸⁾ Frier, Electr. Engng. 1931, S. 824; Neher, Electr. Engng. 1933, S. 163.

gabestromkreis wird bei der Anregung sofort an beiden Leitungsenden geöffnet, die Richtungsrelais, die in die Leitung hineinweisen, schliessen ihn wieder. Schliessen beide Richtungsrelais bei einem Kurzschluss auf der geschützten Leitung durch die Freigabesteuerrelais den Freigabestromkreis wieder, so schliessen auch die Freigabeempfangsrelais wieder und die Schnellauslösung folgt. Da der Freigabestrom als Ruhestrom dauernd fließt, ist ein besonderer Hilfsstrom zur Ueberwachung der Hilfsleitung nicht nötig, die Hilfsleitung überwacht sich selbst⁹⁾. Diese Schaltung dürfte die beste von allen bisher bekannt gewordenen sein.

Sie hat auch den Vorzug, dass sie mit zwei Adern im Hilfskanal auskommt. Liegen mehrere zu schützende Leitungen parallel, so kann eine Ader als gemeinsame Rückleitung dienen, für jede weitere zu schützende Strecke ist nur eine Ader zusätzlich erforderlich.

Die Erde als Rückleitung zu wählen, wird verschiedentlich vorgeschlagen. Es besteht aber dann die Gefahr, dass vagabundierende Ströme in die Hilfsleitung gelangen und zu fehlerhaftem Arbeiten Anlass geben; deshalb ist davor dringend zu warnen.

Im allgemeinen wird Gleichstrom als Hilfsstrom benutzt. Da Gleichstromrelais mit genügender Empfindlichkeit ausführbar sind, ist die Uebertragung der Signale auch auf grosse Entfernungen möglich, ohne dass hohe Gleichspannungen oder ein grösserer Querschnitt der Adern erforderlich wird. Irgendwelche besonderen Eigenschaften braucht der Hilfskanal nicht zu besitzen, jeder beliebige genügt. Selbstverständlich kann der Kanal auch noch für andere Zwecke, wie Telephonie, Fernmelden, Fernmessen, Steuern benutzt werden.

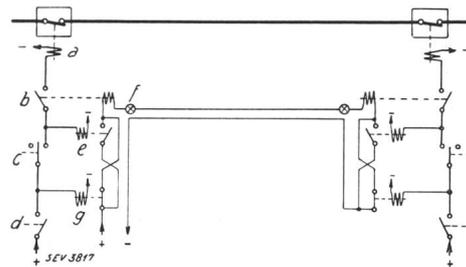


Fig. 5.

Freigabesystem, Auslösung auch bei einseitiger Speisung, Hilfsleitung durch als Ruhestrom fließenden Freigabestrom überwacht.

a Auslöser. b Vergleichsfreigaberelais. c Richtungsrelais. d Anregerelais. e Steuerfreigaberelais. f Ueberwachungsrelais. g Ueberbrückungsrelais (f. Betrieb bei einseitiger Speisung).

Zwei Möglichkeiten bestehen hierfür. Entweder werden die verschiedenen Signale gleichzeitig über die Leitung gegeben und mit den aus der Nachrichtentechnik bekannten Mitteln voneinander an der Empfangsseite getrennt, oder die Hilfsleitung wird normal, z. B. zum Telephonieren, benutzt, bei Kurzschluss aber werden durch die Anregung die Telephonie abgeschaltet und die Steuer- und Vergleichs-

⁹⁾ Sorge, Siemens-Z. 1929, S. 541/542.

relais des Streckenschutzes angeschaltet. Auf Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden.

Es ist zweckmässig, die Hilfsleitung von der der eigentlichen Schutzrelaisapparatur ganz zu trennen, ihr also eine getrennte, unter Umständen isoliert aufgestellte Stromquelle zu geben und die nötige Verbindung zu den Schutzrelais durch genügend isolierte Zwischenrelais herzustellen. Auf der Hilfs-

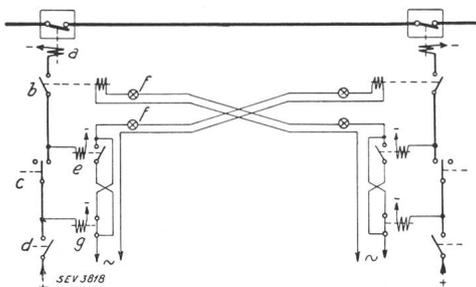


Fig. 6.

Freigabesystem, getrennte Kanäle für die Uebermittlung der Freigabezeichen in den verschiedenen Richtungen, besonders für die Anwendung von Wechselstrom in der Hilfsleitung. *a* Auslöser. *b* Vergleichsfreigaberelais. *c* Richtungsrelais. *d* Anregerelais. *e* Steuerfreigaberelais. *f* Ueberwachungsrelais. *g* Ueberbrückungsrelais.

leitung induzierte Spannungen bleiben dann auf den eigentlichen Hilfskanal beschränkt, dessen Isolation entsprechend zu wählen ist¹⁰⁾.

Ist die Gefährdung durch Induktionsspannungen (Doppelerdschluss oder Erdkurzschluss in Netzen mit geerdetem Sternpunkt) zu hoch, so muss die Hilfsleitung durch Uebertrager unterbrochen werden. Damit verschwindet auch die Möglichkeit, mit Gleichstrom auf der Hilfsleitung zu arbeiten; der Wechselstrom tritt an seine Stelle. Welche Frequenz man wählt, hängt von den jeweiligen Verhältnissen ab. Viele andere aus der Fernmelde-technik bekannte Verfahren können auch benutzt werden.

Vor allem kommt man nicht mehr mit einem Stromkreis wie bei Gleichstrom aus; man muss vielmehr für die beiden Richtungen je einen besonderen Stromkreis vorsehen. Ob man auch zwei getrennte Hilfsleitungen oder eine mit verschiedenen Frequenzen für die in entgegengesetzten Richtungen zu gebenden Signale oder Phantomschaltungen wählt, wird durch die Bedürfnisse bestimmt.

Ein nach der besonders günstigen Schaltung der Fig. 5 aufgebautes Schema mit getrennten Kanälen zeigt Fig. 6, zu deren Verständnis nichts weiter hinzuzufügen ist.

Das Freigabesystem ist also geeignet, auch wenn mechanische Beschädigungen der Hilfsleitung oder Spannungsbeeinflussungen durch Unsymmetriekurzschlüsse der Starkstromleitungen möglich sind. Im allgemeinen sind solche Hilfsleitungen z. B. als Adern eines Signal- oder Fernsprechkabels vorhanden¹¹⁾.

¹⁰⁾ In allen Figuren ist die Trennung des Hilfsstromkreises absichtlich zeichnerisch dargestellt, auch wenn die Wirkungsweise der Schaltungen dadurch etwas weniger deutlich hervortritt.

Schaltungen mit Sperrstrom (Sperrsysteme).

Des öfteren können aber für den Streckenschutz nur Kanäle zur Verfügung gestellt oder mitausgenutzt werden, in die Impulse irgendwelcher Art von aussen hineingelangen können. Solche impulsgefährdete Kanäle sind z. B. die am Gestänge der Hochspannungsleitung verlegte Signalleitung oder die Hochspannungsleitung selbst, über die der Vergleichsstrom als Strom höherer Frequenz, z. B. als Hochfrequenzstrom, fliesst. Die Impulse können die Freigabevergleichsrelais zum Ansprechen bringen; geschieht dies gerade dann, wenn irgendwo im Netz ein Kurzschluss ist, so wird durch den Fehlerimpuls den in Tätigkeit befindlichen Selektivschutzrelais die Schnellschaltung freigegeben und die an sich kurzschlussfreie Leitung wird fehlerhaft abgeschaltet. Das kann bei Gewittern leicht vorkommen¹²⁾. Hier liegt also eine Grenze für die Anwendung der Freigabesysteme. Man verwendet unter diesen Umständen besser die Sperrsysteme, bei denen ein von aussen kommender Störimpuls die Schnellauslösung verhindert. Die Grundschialtung ist in Fig. 7 wiedergegeben¹³⁾.

Da der Sperrstrom nur bei Kurzschluss bei ausserliegenden Fehlern fliesst, so ist der Kontakt des Vergleichssperrelais normal geschlossen und die Auslösung freigegeben. Die Schaltung arbeitet also auch bei einseitiger Speisung richtig. Liegt ein Kurzschluss ausserhalb der geschützten Strecke, so

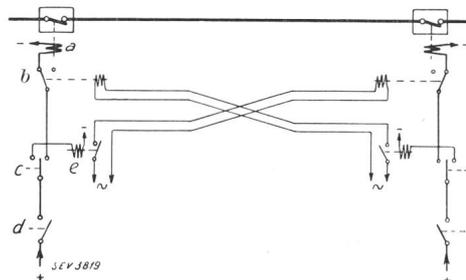


Fig. 7.

Sperrsystem, der fließende Arbeitsstrom sperrt die schnelle Auslösung.

a Auslöser. *b* Vergleichssperrelais. *c* Richtungsrelais. *d* Anregerelais. *e* Steuersperrelais.

wird das Vergleichssperrelais vom Steuersperrelais des anderen Leitungsendes zum Öffnen gebracht. Das Steuersperrelais selbst wird von dem zugehöri-

¹¹⁾ Die Erfahrung zeigt, dass Hilfskanäle irgendwelcher Art bisher überall zur Verfügung gestellt werden konnten, wo der Einbau eines Streckenschutzes nötig war. Es hat selten damit Schwierigkeiten gegeben, da ja auch die Mehrfachausnutzung von Kanälen das Hinzuschalten des Streckenschutzes leicht ermöglicht.

¹²⁾ Frier, Electr. Engng. 1931, S. 824.

¹³⁾ Longfield, Metrop. Vickers Gaz., Dez. 1932; Clothier, J. Instn. electr. Engr. 1932, S. 311; Kapp und Carrothers, J. Instn. Electr. Engr. 1932, S. 685; Fallou, Bull. Soc. franç. Electr., Sept. 1931, S. 952; Neher, Electr. Engng., März 1933; Fitzgerald, Amer. Inst. Electr. Engr., Bd. 47, S. 22.

Das Kapp-Carrothers-System weist interessante Eigenheiten auf, die im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt werden können. Ebenso wird das sehr interessante System von Fitzgerald nicht näher erläutert, da es durch die neueren Schaltungen überholt ist.

gen Richtungsrelais betätigt. Bei Fehlern dicht hinter diesem Richtungsrelais arbeitet es naturgemäß langsam, da die ihm zugeführte Leistung sehr klein ist (dreipoliger Kurzschluss dicht hinter der Sammelschiene der nächsten Station). Die Auslösung in der Eingangsstation muss also stets so lange verzögert werden, bis sicher kein Sperrsignal mehr vom anderen Leitungsende kommen kann. Wenn auch das Richtungsrelais meist schneller arbeiten wird, muss doch mit Rücksicht auf das möglicherweise langsame Arbeiten die Schnellauslösung entsprechend verzögert werden. Man kommt also zu verhältnismässig langen Auslösezeiten, die bei 0,3 s und auch höher für die Relais allein liegen können, wenn nicht Spezialrelais verwendet werden. Aber auch mit diesen wird man die Gesamtzeit nicht viel erniedrigen können, da stets genügende Sicherheit gegen Fehlauflösungen da sein muss.

Der Schaltung fehlt auch noch die Ueberwachung. Das ist besonders ungünstig, wenn als Vergleichskanal die Hochspannungsleitung als Vergleichsstrom benutzt wird; Hochfrequenzkanäle und Hochfrequenzapparaturen sind ja wesentlich störungsanfälliger als andere. Es muss also unbedingt für eine Ueberwachung gesorgt werden¹⁴).

Man hat dazu eine periodische Ueberwachung derart vorgesehen, dass in gewissen Zeitabständen Sperrsignale ausgesandt werden. Voll befriedigen kann diese Lösung nicht. Bei Benutzung einer eigenen Vergleichs- oder einer Telephonleitung an Stelle einer Hochspannungsleitung lässt sich die Ueberwachung leichter schaffen. Die Telephonleitung wird durch die Gespräche, die über sie ge-

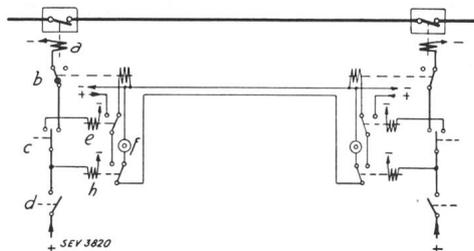


Fig. 8.

Sperrsystem, Hilfsleitung normal als Telephonleitung benutzt, Umschalten auf Schutz bei Ansprechen der Anregerelais.

a Auslöser. b Vergleichssperrelais. c) Richtungsrelais. d Anregerelais. e Steuersperrelais. f Telephon als Ueberwachung. h Umschaltrelais für Umschalten von Telephon auf Schutz.

führt werden, von Zeit zu Zeit nachgeprüft. Für Gleichstrom als Vergleichsstrom wird noch die entsprechende Schaltung mit zwei Hilfsadern hier wiedergegeben (Fig. 8)¹⁵), die jedoch auch darunter leidet, dass sie nur periodisch überprüft und nicht dauernd automatisch überwacht wird.

Befriedigend ist die folgende Schaltung (Fig. 9): Sie weist als wesentlichen Unterschied auf, dass nicht erst vom Richtungsrelais, sondern schon vom Anregerelais das Sperrzeichen gegeben wird; zeigt

das Richtungsrelais in die Leitung hinein, so wird die Sperrung wieder aufgehoben. Liegt der Kurzschluss so nahe am Richtungsrelais, dass dieses langsam arbeitet, so dauert die Freigabe der Schnellauslösung natürlich auch länger; aber eine Sicherheitszeitspanne wie bei den Schaltungen nach Fig. 7 und 8 ist für die Schnellauslösung nicht mehr erforderlich, da das Richtungsrelais vom anderen Ende der Leitung meldet, sobald es die Entscheidung über Freigabe oder Sperren getroffen hat. Dadurch werden mindestens 0,1 bis 0,2 s gewonnen.

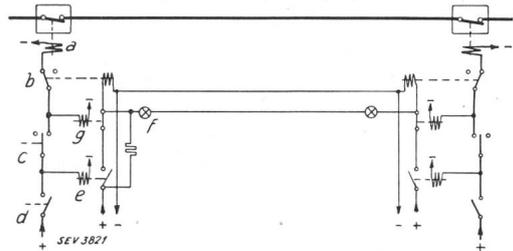


Fig. 9.

Sperrsystem, dauernde Ueberwachung durch schwächeren Ruhestrom. Auslösezeit verkürzt durch Fortfall der Sicherheitszeitspanne.

a Auslöser. b Vergleichssperrelais. c Richtungsrelais. d Anregerelais. e Steuersperrelais. f Ueberwachungsrelais. g Steuerfreigaberelais.

Liegt der Kurzschluss auf der geschützten Leitung so, dass beide Richtungsrelais schnell arbeiten, so wird auch die Sperre für die Auslösung entsprechend schnell aufgehoben und schnell abgeschaltet. Die Hilfsleitung wird durch einen vom Sperrstrom abweichenden Ruhestrom überwacht; dieser kann auch entgegengesetzte Polarität oder eine andere Frequenz haben. Diese Schaltung besitzt da, wo ein Sperrsystem angebracht ist, ähnlich günstige Eigenschaften wie diejenige der Fig. 5.

Bei Benutzung von Wechselstrom als Uebertragungsmittel, insbesondere Hochfrequenz, ist diese mit einem Kanal arbeitende Schaltung nicht geeignet. Um hier ununterbrochen automatisch zu überwachen, muss die Hochfrequenz dauernd fließen, so dass die Sperrelais ständig die Schnellauslösung sperren¹⁶). Wenn infolge eines Kurzschlusses auf dem geschützten Abschnitt die Richtungsrelais in die Leitung hineinzeigen, löst jedes die Sperre für die andere Station auf (Fig. 10). Damit ist auch die gleiche Auslösegeschwindigkeit erreicht wie bei der Schaltung nach Fig. 9, ohne dass eine Zeitspanne zum Verhindern einer Fehlauflösung erforderlich wäre. Jede Störung im Hilfskanal, sei es im Sender oder Empfänger oder auf der Leitung selbst, führt dazu, dass die als Ruhestrom die Kanäle durchlaufenden Dauersperrströme verschwinden, die auf der Sende- und Empfangsseite befindlichen Störungsmelder sprechen dann sofort an. Diese Schaltung ist also, insbesondere für Hochfrequenz, allen anderen überlegen.

Allerdings ist sie zunächst nur für zweiseitige Speisung geeignet, ähnlich wie die einfachen Frei-

¹⁴) Neher, Clothier, Longfield, loc. cit.

¹⁵) Clothier, J. Inst. El. Eng. 1930, S. 832.

¹⁶) Neugebauer, Siemens-Z. 1934, S. 83.

gabesysteme (Fig. 4), und muss wie diese (Fig. 5 und 6) für schnelles Abschalten bei einseitiger Speisung ergänzt werden (Fig. 10). Dazu wird eine zweite Unterbrechungsstelle in Serie mit dem Steuersperrelais gelegt. Bei einseitiger Speisung bleibt bei einem Kurzschluss der Relaisatz am entfernten Leitungsende in Ruhe, so dass das Schnellabschalten der Eingangsseite gesperrt bleibt. Umgekehrt hebt aber die Eingangsseite durch Unterbrechen des von ihr ausgesandten Sperrstromes die Sperrung am entfernten Leitungsende auf. Dadurch wird hier die Unterbrechungsstelle vor dem Steuersperrelais geöffnet (jedoch nur, wenn die Anregung

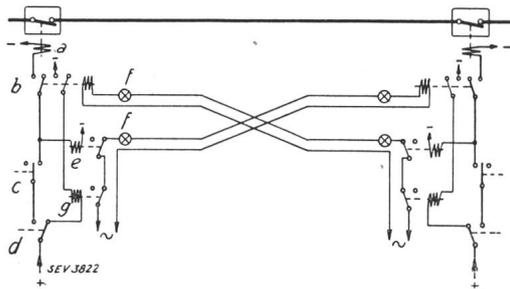


Fig. 10.

Sperrsystem, besonders für Hochfrequenzbetrieb des Hilfskanals. Selbsttätige Ueberwachung durch den als Ruhestrom dauernd fließenden Sperrstrom.

a Auslöser. b Vergleichsperrelais. c Richtungsrelais. d Anregerelais. e Steuersperrelais. f Ueberwachungsrelais. g Unterbrechungsrelais (für Betrieb bei einseitiger Speisung).

in Ruhe ist), der Sperrstrom wird unterbrochen und für die Eingangsseite damit fortgenommen, so dass diese nunmehr schnell auslösen kann.

Gerade beim Hochfrequenzstreckenschutz wird es deutlich, wie ungeeignet für diese Aufgabe ein Freigabesystem wäre. Beim Kurzschluss auf der geschützten Leitung wird die Hochfrequenzverbindung durch ihn leicht unterbrochen, so dass ein Freigabezeichen nicht übermittelt werden und keine Schnellauslösung folgen könnte.

Sämtliche Schaltbilder enthalten Anrege- und Richtungsrelais, beides Glieder jedes selektiven Zeitstufenschutzes. Durch Hinzufügen eines Zeitrelais wird ein Einspringschutz geschaffen, der bei jedem Vergleichsschutz zusätzlich erforderlich ist. Ob für die Zeitstaffelung ein normales, ein impedanz- oder reaktanz-abhängiges Zeitrelais eingesetzt wird, hängt von der Eingliederung in den übrigen Netzschutz ab. Im allgemeinen ist der Gang umgekehrt, dass nämlich ein bestehender Zeitstufenschutz (Impedanz- oder Reaktanzschutz) zu einem Schnellschutz ergänzt wird, indem die erforderlichen Hilfsrelais zwischen Selektivschutz und Uebertragerkanal geschaltet werden.

In der kurzen Zeit, in der der Schutz bisher benutzt wurde, hat er sich ausserordentlich bewährt. Verfolgt man die Meldungen über fehlerhaftes Arbeiten, so kann man stets feststellen, dass dieses auf falschen Einsatz zurückzuführen ist, indem nämlich an Stellen, wo ein Freigabesystem richtig gewesen wäre, aus mangelnder Kenntnis ein Sperrsystem eingebaut wurde oder umgekehrt.

Neue Differentialschutzschaltungen.

Da die Anforderungen, die ein Streckenschutz an den Hilfskanal stellt, gering sind, eroberte er sich schnell seinen Platz und hat selbst dem Differentialschutz in Ländern, in denen dieser bevorzugt wurde, Abbruch getan. Diesem ist er auch für kürzere Leitungsstrecken überlegen, da er keiner Spezialwandler bedarf (es genügen Wandler mit der Kennziffer, die für den Einspringschutz nötig ist, z. B. $n = 3$ bei gewöhnlicher unabhängiger Zeitstaffelung, $n = 10$ bis 15 bei Impedanz- oder Reaktanzschutz) und mit jeder zufällig vorhandenen Hilfsleitung auskommt. Demgegenüber benötigt der Differentialschutz meist Wandler hoher Kennziffer oder Spezialwandler und Hilfsleitungen, die besondere Eigenschaften besitzen müssen. Es ist ausserdem nicht zu verhindern, dass ein Differentialschutz fehlerhaft auslöst, sowie eine Hilfsleitung defekt ist, obwohl der Betriebsstrom weit unter dem Vollaststrom sein kann. Zudem wird eine Störung der Hilfsleitung nicht gemeldet.

Auf aller kürzeste Entfernung aber ist der Differentialschutz einfacher als der Streckenschutz, und da wird er auch in Zukunft sein berechtigtes Anwendungsgebiet haben. Da die Selektivität durch die Schaltung gegeben ist und nur ein einziges Relais die Schalter betätigt, ist der Differentialschutz besonders schnell, und man hat sich deshalb um seine Verbesserung bemüht. Das ist in den letzten Jahren in beträchtlichem Masse geschehen, besonders in dem klassischen Lande des Differential-schutzes, in England.

Zunächst ist hier das «Translay system» zu nennen, bei dem die Hilfsleitung von dem vollen Strom durch eine Gegeneinanderschaltung von Spannun-

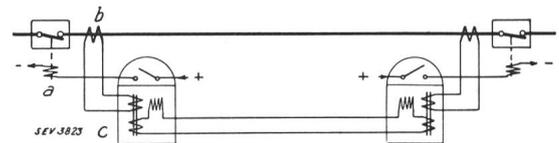


Fig. 11.

Differentialschutz (Translay system).

a Auslöser. b Stromwandler. c «Translay» Relais.

gen entlastet wird¹⁷). Diese Spannungen werden aus dem Stromwandler (normaler Stromwandler, hohe Kennziffer) transformatorisch im Relais gewonnen und über die Hilfsleitung verglichen. Weichen sie voneinander ab, so fließt ein Ausgleichsstrom, dessen in jedem Relais erzeugtes magnetisches Feld infolge seiner Phasenverschiebung gegenüber dem Hauptfeld, das vom Stromwandlerstrom herrührt, in einer Ferrarisscheibe ein Drehmoment hervorruft. Die Bewegung der Ferrarisscheibe führt zum Kontaktschluss (Fig. 11). Durch einen Rücktrieb wird fehlerhaftes Auslösen bei starken Durchgangsströmen eingeschränkt. Kapazitive Störströme in der Hilfsleitung üben ein Drehmoment im kontaktoffnenden Sinne aus, sind also unschädlich.

¹⁷) Ross und Bell, J. Instn. Electr. Engr. 1929/30, S. 801.

Stromwandler und Hilfsleitung sind nicht mehr galvanisch verbunden, so dass Ströme über die Schutzerdungen nicht stören können. Durch passendes Zusammenschalten der Stromkreise der Relais für die verschiedenen Phasen wird mit einem Aderpaar für den Schutz der dreiphasigen Leitung auskommen.

Bei dem «Split Pilot system» wird die eine Ader des für den Vergleich der Ströme erforderlichen Aderpaares aufgespalten. Die Aufspaltung erfolgt in der Mitte der Spule eines Differentialwandlers,

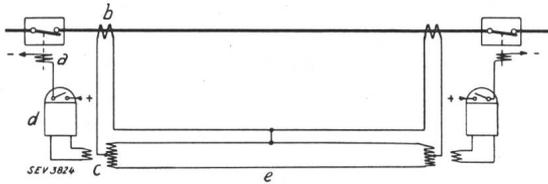


Fig. 12.

Differentialschutz (Split pilot system).

a Auslöser. b Stromwandler. c Spaltwandler. d Differentialrelais. e Spaltleiter mit Querverbindung.

an dessen Sekundärwicklung die Relais hängen (Fig. 12)¹⁸⁾. Im Normalzustand fließt über jede Spulenhälfte der gleiche Strom; die beiden Felder heben sich auf und das Relais kommt nicht zur Wirkung. In der Mitte der Hilfsleitung besteht zwischen den Spaltadern und der zweiten Ader kein Spannungsunterschied, so dass über eine hier hergestellte Querverbindung zu einer Spaltader kein Strom fließen kann. Bei Kurzschluss fließt der Differenzstrom über die Querverbindung und die eine Wicklung der Differenzrelais, die dann ansprechen. Durch diese Aufspaltung der einen Ader ist das Relais unempfindlich gegen Beeinflussungen, die beide Adern gleichmässig treffen. Durch Zusammenschalten der Spezialwandler auf einen Zwischenwandler mit verschiedenen Anzapfungen wird ein Dreiphasenschutz ohne Vermehrung der Hilfsadern erreicht. Die Hauptstromwandler müssen Spezialstromwandler (mit Luftspalten) sein, die eine gerade Kennlinie besitzen. Fehlerströme auf den

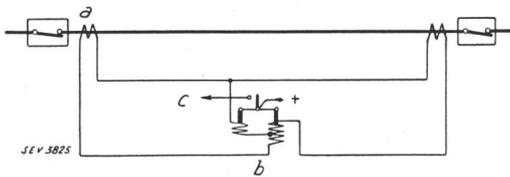


Fig. 13.

Differentialschutz mit Prozentsatzrelais.

a Stromwandler. b Prozentsatzrelais. c Zum Auslöser.

Hilfsleitungen, die durch die Zwischenwandler bei starken Durchgangsströmen entstehen können, werden durch besondere Saugwandler von den Relais ferngehalten, bei starken Durchgangsströmen ist daher ein Fehlauflösen vermieden.

Sehr früh ist schon von McColl ein wertvoller Differentialschutz angegeben, der sogenannte «Pro-

zentsatzschutz» (Percentage differential relay) (Fig. 13). Die normalen Differentialrelais sind auf einen festen Ansprechwert eingestellt; beim McColl'schen Relais ändert sich dagegen der Ansprechwert, indem die Rückzugskraft mit steigendem Durchgangsstrom verstärkt wird, das Relais wird bei starken Strömen unempfindlicher¹⁹⁾. Man hat es mit Erfolg dort angewandt, wo es schwer möglich war, den Stromwandlern das richtige Uebersetzungsverhältnis zu geben, wie beim Differentialschutz von Transformatoren, besonders aber Reguliertransformatoren, bei denen mit jeder Regelung des Transformatorübersetzungsverhältnisses auch das Uebersetzungsverhältnis der Stromwandler nachgestellt werden müsste. Die infolge des falschen Uebersetzungsverhältnisses durch das Differentialrelais fließenden Ströme steigen proportional dem Belastungsstrom und würden das Relais zum Ansprechen bringen, wenn nicht die Rückzugskraft im gleichen Verhältnis stiege. Wird aber von der Proportionalität stark abgewichen, so versagt auch die Gegenwirkung der Rückzugsspule im Prozentsatzrelais. Das ist der Fall, wenn die Sättigung im Wandlerreisen erreicht wird. Das Prozentsatzrelais kann also nur richtig arbeiten, wenn die Stromwandler eine ausreichende Kennziffer besitzen.

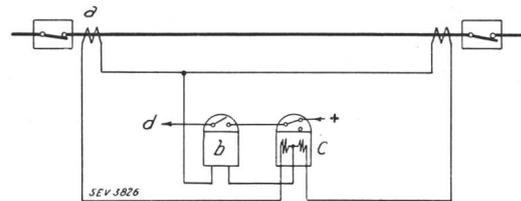


Fig. 14.

Differentialschutz mit Sperrelais.

a Stromwandler. b Differentialrelais. c Sperrelais. d Zum Auslöser.

Unabhängig von diesen Schwierigkeiten ist der «stabilisierte Differentialschutz»²⁰⁾. Hier wird zu dem gewöhnlichen Differentialrelais noch ein Sperrelais hinzugeschaltet, das die Eingangs- und Ausgangsströme der geschützten Leitung (Reguliertransformator usw.) noch einmal vergleicht (Fig. 14). Während das Differentialrelais auf die Differenz der Ströme nach Grösse und Phasenlage anspricht, spricht das Sperrelais auf das Produkt der Ströme an, wenn dieses positiv ist. Das Produkt ist positiv, wenn die beiden Vergleichsströme, der Eingangs- und Ausgangsstrom, gleiche Richtung haben, also der Strom die gesunde Leitung durchfließt. Bei positivem Produkt sperrt das Relais die Auslösung. Bei Kurzschluss der Leitung ist das Produkt null für einseitige Speisung, negativ für zweiseitige Speisung; die Auslösung bleibt freigegeben. An die Stromwandler brauchen keine besonderen Anforderungen gestellt zu werden (es genügt eine niedrige Kennziffer). Auch wenn der Falschstrom im Differentialrelais durch ungleiches

¹⁹⁾ McColl, J. Instn. Electr. Eng. 1920, S. 525.

²⁰⁾ Geise, Siemens-Z. 1932, S. 413.

¹⁸⁾ Clothier u. Leeson, J. Instn. Electr. Engr. 1929/30, S. 828.

Uebersetzungsverhältnis oder Erreichen der magnetischen Sättigung der Stromwandler gross ist, verhindert das Sperrelais doch die Fehlauflösungen.

Durch diese Unabhängigkeit von der Güte der Stromwandler eröffnet sich die Möglichkeit, einen guten, schnellschaltenden Sammelschienenschutz zu schaffen. Bei der verschiedenen Belastung der Sammelschienestromwandler und ihren verschiedenen Bürden (Zwischenwandler für Abstimmen der Uebersetzungsverhältnisse) gleichen sich die Sekundärströme nicht mehr gegenseitig aus und fliessen über das Differentialrelais. Man konnte daher einen Sammelschienenschutz bisher nicht ausführen und musste ihn den langsamer arbeitenden Zeitstufensystemen überlassen. Das Sperrelais stabilisiert den Differentialschutz so vollständig, dass er heute für beliebig umfangreiche Sammelschienen angewendet werden kann. Im Rahmen des Schnellschutzes wird das auch nötig; man darf die Sammelschienen nicht vernachlässigen, wenn das übrige Netz mit Schnellschutz versehen ist.

Auch die Schwierigkeiten für den Quervergleichsschutz von parallelen Leitungen (Querdifferentialschutz durch Stromvergleich — zero current balancing, Achter- und Polygonschutz — oder durch mechanische Differentialrelais, auch Richtungsvergleich über Gleichstromhilfsschienen), die bei ungleichen Stromwandlern oder verschiedenen Leitungslängen auftreten, werden durch das Sperrrelais umgangen. Diesen Schutzsystemen wird man im Rahmen des Schnellelektivschutzes wieder mehr Interesse entgegenbringen, was sich schon bemerkbar macht.

Die Auslösezeiten des Differentialschutzes und Streckenschutzes sind so kurz, dass Kurzschlüsse nur noch in Ausnahmefällen zu Stabilitätsstörungen führen mögen. Da aber noch auf Jahre hinaus in den Netzen Schalter und Schutzsysteme mit längeren Arbeitszeiten vorhanden sein werden, so können von hier aus noch manche Stabilitätsstörungen ihren Ausgang nehmen. Um dann das willkürliche Auslösen von Schaltern zu vermeiden, müssen die Schutzsysteme unempfindlich gegen Pendelvorgänge gemacht werden. Nur wenn die etwa ausser Tritt gefallenen Kraftwerke sich nicht wieder fangen, wird zweckmässig die Kupplung zwischen ihnen an Netzpunkten gelöst, an denen das Synchronisieren bequem möglich ist.

Alle Schutzsysteme mit kürzeren Auslösezeiten können bei Stabilitätsstörungen leicht zur Schalterauslösung Anlass geben²¹⁾. Besonders empfindlich sind die Distanzrelais, bei denen eine bestimmte Komponente des Widerstandes die Auslösezeit bestimmt (vom Winkel zwischen Strom und Spannung abhängige Distanzrelais und Reaktanzrelais). Auch Richtungsrelais sind winkelabhängig; in folgedessen ist der Streckenschutz, wenn er für

²¹⁾ Schimpf, ETZ 1933, S. 1134.

²²⁾ Schleicher und Neugebauer, Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension, Paris, 1933, Bericht Nr. 101.

den Schutz sehr langer Leitungen angewendet wird, nicht völlig immun. Da aber auf kurzschlussfreien Leitungen bei Stabilitätsstörungen ein Richtungsrelais zunächst aus der Leitung hinauszeigt, so kann man diese Tatsache zum Sperren der Schnellauslösung ausnützen und die Auslösung für die Dauer der Stabilitätsstörung auf den langsamer arbeitenden Einspringschutz umschalten²²⁾. Dann ist der Streckenschutz völlig immun geworden. Der Differentialschutz ist gegen Pendelerscheinungen gänzlich immun.

Es steht nichts mehr im Wege, die Schnellschutzsysteme in den Netzen dort einzubauen, wo die Schnellabschaltung nötig geworden ist. Der Erfolg wird nicht ausbleiben, wenn die Auswahl des Schnellschutzsystems nach den Verhältnissen des zu schützenden Netzes und den Bedürfnissen des Betriebes einerseits und den Eigenschaften der Schutzsysteme andererseits getroffen wird.

Wichtige Literatur über den Schnellschutz.

Amerika:

Fitzgerald, Carrier-Current Pilot System of Transmission Line Protection, Trans. Amer. Inst. electr. Engr., Sept. 1927, S. 22.

Frier, Relaying with Two Pilot Wires, Electr. Engng., Okt. 1931.

Sporn und Muller, Carrier-Current Relaying Proves its Effectiveness, Electr. Wld. N. Y., 10. Sept. 1932, S. 332.

Traver, Auchincloss und Bancker, Pilot Protection by Power directional Relays Using Carrier Current, Gen. Electr. Rev., Nov. 1932.

Neher, The Use of Communication Facilities in Transmission Line Relaying, Trans. Amer. Inst. electr. Engr., Juni 1933, S. 595; vgl. auch: Electr. Engng., März 1933, S. 162.

Sleeper, Relaying of High Voltage Interconnections, Electr. Engng., Juni 1933, S. 402.

Sporn und Muller, Carrier-Current Relaying Simplified, Electr. Wld. N. Y., 28. Okt. 1933, S. 556.

Deutschland:

Sorge, Neuerungen auf dem Gebiete des Kurzschluss- und Erdschlusschutzes, Siemens-Z., Sept. 1929, S. 536.

Schimpf, Kabelschutz durch Relais gegen Kurzschlüsse, Elektr. im Bergb. 1931, Heft 11, S. 201.

Geise, Der stabilisierte Differentialschutz, Siemens-Z. 1932, S. 413.

Neugebauer, Was ist Streckenschutz? Siemens-Z. 1933, S. 94.

Neugebauer, Grundsaltungen für den Richtungsvergleich beim Streckenschutz, Siemens-Z. 1933, S. 332.

Neugebauer, Streckenschutz mit Hochfrequenzverbindung, Siemens-Z. 1934, S. 83.

Schleicher und Neugebauer, Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension Paris 1933, Bericht Nr. 101.

Schimpf, Verhalten des Selektivschutzes beim Aussertritt fallen von Kraftwerken, ETZ 1933, S. 1134.

Neugebauer, Fortschritte der Selektivschutztechnik in Richtung der Schnellabschaltung, Vortrag, gehalten am 28. Nov. 1933 im ETV Berlin, vergl. ETZ 1934, Heft 8.

England:

McCull, Automatic Protective Devices for Alternating-current Systems, J. Instn. Engr. 1920, S. 525.

Ross und Bell, Recent Developments in the Protection of Three-Phase Transmission Lines and Feeders, J. Instn. Electr. Engr., Juli 1930, S. 801.

Clothier und Leeson, Diskussion zu dem Bericht Ross und Bell, J. Instn. Electr. Engr. 1930, S. 827.

Clothier und Leeson, The Split-Pilot Feeder-Protective System, World Power 1931, S. 390.

Clothier, Metal-Clad Switchgear, Automatic Protection, and Remote Control, J. Instn. Electr. Engr. 1932, S. 307.

Kapp und Carrothers, Faults and their Clearance on Large Networks, J. Instn. Electr. Engr. 1932, S. 685.

Wilson, Signal Current Protection of Feeders, G. E. C. Journal 1932, S. 142.

Longfield, D. C. Pilot Wire Systems of Relay Protection, Metrop. Vickers Gaz. 1932, S. 417.

Frankreich:

Vedovelli, La sélection, Rev. Gén. Electr. 1923, S. 53.

Fallou, La protection sélective des réseaux contre les courts-circuits au moyen de courants de haute fréquence. Bull. Soc. franç. Electr. 1931, S. 957.

Fallou, Propagation des courants de haute fréquence polyphasés le long des lignes aériennes de transport d'énergie affectées de courts-circuits au de défauts d'isolement, Bull. Soc. franç. Electr. 1932, S. 787.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Neuere Methoden zur Werkstatt-Prüfung von Schweissnähten.

621.791.0014

Die gewaltigen Verbesserungen, welche sowohl die autogenen als auch die elektrischen Schweissverfahren im Laufe der Jahre erfahren, haben das Vertrauen in die Güte und Sicherheit geschweisster Nähte stark gehoben. Die Anwendung der Schweissung auf allen möglichen Gebieten hat sich aber so stark ausgedehnt, dass eine Prüfung und Kontrolle der Schweissnähte heute mehr als je nötig ist. Vor allem muss sie von den kontrollierenden Instanzen überall da vorgenommen werden können, wo die öffentliche Sicherheit eine Rolle spielt.

Man suchte schon vor vielen Jahren nach Verfahren, welche eine Kontrolle, ein «Durchsehen» durch die Schweissnaht gestatten, ohne dass diese zerstört werden muss. Eines der ersten Verfahren, das einigermaßen brauchbare Ergebnisse zeitigte, war das *Feilspäneverfahren*. Hierbei werden über die Schweissstelle Feilspäne gestreut, während von der untern Seite her ein starker Magnet gegen die Schweissstelle gebracht wird. Die Feilspäne stellen sich dann entsprechend den magnetischen Kraftlinien ein, wobei man Störungen im magnetischen Fluss, welche durch Fehlstellen verursacht sind, an der Einstellung der Feilspäne wahrnehmen kann. Es sind jedoch hierzu schwere Magnete nötig und die Grenze der Fehlererkennbarkeit wird übereinstimmend sehr niedrig angegeben. Das Verfahren fand deshalb wenig Eingang. Man entwickelte ferner Verfahren, um Schweissnähte mit Radium- und Röntgenstrahlen zu durchleuchten. Naturgemäss können für dicke Metallflächen nur harte Strahlen in Frage kommen, welche diese durchdringen können. Mit diesem Verfahren wurden gewisse Erfolge erzielt. Namentlich wurden sehr gut entwickelte Prüfapparate mit Röntgenstrahlen gebaut, welche den verlangten Zweck erfüllten. Diese Apparate sind jedoch in Anschaffung und Betrieb recht kostspielig und die Resultate nicht übermässig eindeutig und zuverlässig. Eine von der Gesellschaft zur Ueberwachung von Dampfkesseln in München-Gladbach veranlasste röntgentechnische Untersuchung gleichartiger Probestücke einer wassergeschweissten Kesseltrommel mit bekannten Fehlern¹⁾ durch fünf verschiedene Röntgenlaboratorien ergab unbefriedigende und uneinheitliche Resultate. Es wurden dabei auch wesentliche Fehler nicht gefunden. Ein vom Fachausschuss für Schweissttechnik in Berlin veranlasstes Preisanschreiben der Zeitlerstiftung für ein sicheres, zuverlässiges und in den Kosten tragbares Prüfgerät ergab leider ein negatives Resultat, so dass die Möglichkeiten für solche Apparate jedenfalls beschränkte sind. Man wird sich damit begnügen müssen, mit einem solchen Apparat Fehler in der Schweissnaht in ihrer Lage zu finden, ohne diese in ihrer Art genau zu bestimmen. Die Untersuchung der Fehlstelle kann dann durch deren Oeffnung erfolgen, was ja für die Behebung des Fehlers ohnehin unumgänglich ist.

Ein neues Prüfgerät, welches diesen Anforderungen zu genügen scheint, wurde vor kurzem von der I. G. Farbenindustrie in Gemeinschaft mit der AEG Berlin entwickelt. Das Verfahren beruht auf magnetischer Grundlage. Während aber die bisherigen Apparate für magnetische Prüfung mit

grossen, unhandlichen Elektromagneten arbeiten mussten und nicht befriedigten, wurde bei dem neuen Apparat ein anderer Weg eingeschlagen. Das Prinzip zeigen Fig. 1 und 2. Die Schweissstelle wird durch zwei permanente Magnete magnetisiert. Den Verlauf der Normalkomponente des ungestörten Feldes, also bei guter Schweissnaht, zeigt Fig. 1. Fig. 2 zeigt, wie der Verlauf der Normalkomponente durch

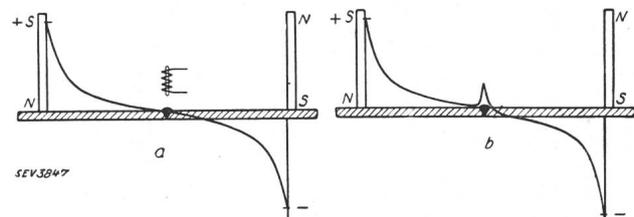


Fig. 1.
Feldverlauf bei guter Schweissverbindung.

Fig. 2.
Feldverlauf bei einer Fehlstelle in der Schweissnaht.

eine Fehlstelle in der Schweissung durch Streuung im magnetischen Feld verändert wird. Bringt man nun über die Schweissung in das magnetische Feld eine kleine Tastspule, die mit einer bestimmten Frequenz und mit kleiner Amplitude hin und quer zur Achse bewegt wird, so wird in der Spule eine Spannung induziert, welche der Normalkomponente des Feldes proportional ist. Bewegt man die Tastspule über die Schweissnaht hinweg, so wird bei fehlerfreier Schweissung (Fig. 1) eine gleichbleibende Spannung induziert. Bei unstetigen Feldänderungen an Fehlstellen der Schweissung ändert aber die Grösse und die Kurvenform der induzierten Spannung. Diese Aenderung der Spannung, und damit die Lage der schlechten Schweissstelle, kann dann mit einem Telefon-Kopfhörer festgestellt werden.

Der Abtaster mit der Tastspule ist nach Fig. 3 ausgebildet. Die in dem Kopf K des Abtasters befindliche Tastspule wird durch einen mit Netzspannung erregten Magneten M zum Hin- und Herschwingen gebracht. Der Abtaster ist äusserlich einem elektrischen LötKolben ähnlich und wird mit einem beliebig langen Anschlusskabel (normal 5 m) geliefert; Fig. 4 zeigt den Gebrauch. Die in der Spule indu-



Fig. 3.
Abtaster.

B Buchsen für Kopfhöreranschluss.

K Kopf mit Tastspule.

M Magnet zur Erregung der Tastspulenschwingungen.

zierten Impulse werden über einen Spezialverstärker zu einem Kopfhörer geführt. Der Verstärker befindet sich in einem kleinen fahrbaren Tisch, in welchem auch sämtliches Zubehör transportsicher untergebracht ist. Das Gesamtgewicht beträgt 33 kg.

¹⁾ Die Wärme, Bd. 56, No. 4, 28. Jan. 1933.