

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 7 (1916)
Heft: 2

Artikel: Die neuere Praxis im Bau und in der Verwendung von Relais zum Schutz elektrischer Anlagen
Autor: Heusser, Emil
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059557>

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: 09.01.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen „Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz“ sowie „Jahresheft“ und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat

des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telefon 9571

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.,
Hirschengraben 80/82 Zürich 1 Telefon 6741

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la „Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse“, ainsi que l'„Annuaire“.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ au

Secrétariat général

de l'Association Suisse des Electriciens
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Téléphone 9571

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Hirschengraben 80/82 Zurich 1 Téléphone 6741

Abonnementspreis
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft und Statistik:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire et la Statistique, Fr. 15.— pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 1.50, port en plus.

VII. Jahrgang
VII^e Année

Bulletin No. 2

Februar 1916
Fevrier

Die neuere Praxis im Bau und in der Verwendung von Relais zum Schutz elektrischer Anlagen.

Von Prof. *Emil Heusser*, Winterthur.

Die fortwährende Zunahme der Verwendung elektrischer Energie in allen Zweigen menschlicher Tätigkeit liess die ununterbrochene Stromlieferung nachgerade für die meisten Elektrizitätswerke zur hervorragendsten Betriebsbedingung herauswachsen. Dies ist kürzlich¹⁾ in prägnanter Weise ausgedrückt worden in dem Satz: „Die Aufgabe der modernen Relaispraxis muss darin liegen: *Die Betriebskontinuität zu sichern*, d. h. bei vorübergehenden Störungen zu schützen vor Aussertrittfallen synchroner Last und durch Vermittlung von wahlweise wirkenden Relais die fehlerhaften Stromkreisteile auszuschalten, ohne dass gesunde Teile in Mitleidenschaft gezogen werden; soweit dies nicht zur Isolierung des Fehlers unumgänglich ist.“

In der Zahl der Mittel, diesen Zweck zu erreichen, sind nun allerdings keine beträchtlichen Vermehrungen im Laufe der letzten Jahre eingetreten, wohl aber haben die Erfahrungen einiger grosser Werke ausgestaltend auf einige bereits bekannte Einrichtungen gewirkt, auch ist in der Wahl der Mittel eine zielbewusstere Richtung zu konstatieren.

Unser Interesse steigert sich natürlich für diejenigen Aufgaben, deren Lösung zufolge der Art der Stromführung verwickelter ist, d. h. wo die Energie dem Verbraucher auf verschiedenen Wegen, durch mehrere parallele Linien oder Ringleitungen zugeführt wird und für Verbindungsleitungen zwischen Kraftwerken die sich gegenseitig unterstützen.

Störungen in elektrischen Anlagen machen sich vornehmlich geltend durch abnormen Energiefluss, Isolationsfehler, besonders durch abnormen Stromfluss nach der Fehlerstelle zu. In einem Radialsystem ist die Richtung des Energieflusses immer von innen nach aussen d. h. zentrifugal, in einem Ringsystem fliesst Energie von beiden Enden des gestörten Leiters auf den Fehler zu.

¹⁾ *Electric Journal*, Sep 1915. Reverse Power Relays by Paul Mac Gahan and R. H. Smith.

Auf diese Tatsachen ist im wesentlichsten die Eingrenzung der Fehlerstelle gegründet und mit einfachen Strommessgeräten, die auf die Selbstauslösung der Schalter einzuwirken vermögen, auch möglich.

Wenn wir von den Fällen mechanischer Ueberlastung von Motoren oder „natürlicher“ Ueberlastung von Stromverbrauchern überhaupt absehen, so macht sich eine Störung meist als mehr oder weniger vollkommener Kurzschluss geltend. Die Folge ist ein Stromanstieg, der sich in so kurzer Zeit bis auf einen kritischen Wert entwickelt, dass es ganz aussichtslos wäre, den mechanischen Vorgang des Ausschaltens während dieser Zeit des Stromanstiegs vornehmen zu wollen. Wir haben also mit den dynamischen Wirkungen der Kurzschlußströme zwischen benachbarten Leitern, besonders in Wicklungen von Maschinen und Transformatoren zu rechnen, gegen ein Uebermass derselben können wir uns nur schützen durch Begrenzung der Ströme selbst durch entsprechende Wahl der Stromkreis-konstanten, d. h. von Widerstand und Reaktanz. Die Gefahr des Kurzschlussstromes liegt nunmehr nur noch in dessen thermischer Wirkung, eventuell in Form des Lichtbogens an der Fehlerstelle selbst und dann in der Temperaturerhöhung aller vom Fehlerstrom durchflossenen Leiter. Auf den ersten Blick erscheint die sofortige Abschaltung das gegebene; Rücksichten auf die Beanspruchung der Schalter einerseits und Rücksicht auf Ermöglichung wahlweiser Schalterauslösung andererseits bedingen vielfach ein gewisses Zeitintervall zwischen Entstehung des Kurzschlußstromes und dessen Abschaltung.

Es ist bekannt, dass der Kurzschlußstrom, den ein Generator im ersten Moment herzugeben vermag, ein Vielfaches des stationären Wertes beträgt, der sich einstellt, nachdem das Magnetfeld infolge der Ankerrückwirkung des Kurzschlußstromes auf seinen tiefsten, dem Erregungszustand entsprechenden Wert gefallen ist.

Das Verhältnis des momentanen zum stationären Kurzschlußstrom¹⁾ ist gegeben durch die Verhältnisse:

$$\frac{J_m}{J_o} = \frac{\text{Synchrone Reaktanz}}{\text{Selbstinduktive Reaktanz}} = \frac{\text{Leerlauf-Feldfluss}}{\text{Kurzschluss-Feldfluss}}$$

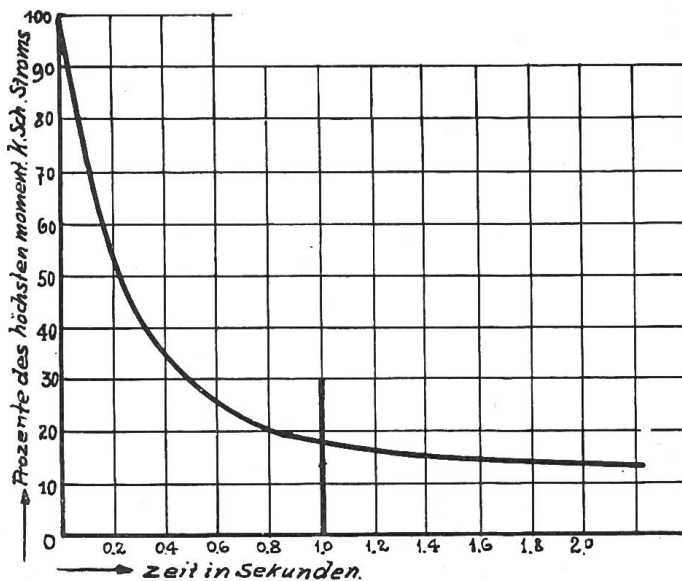


Fig. 1. Zeitlicher Verlauf des Effektivwertes des vorübergehenden Kurzschlussstroms in Drehstrom-Generatoren.

Zeitlich lässt sich der Verlauf des Kurzschlussstrom-Effektivwertes ungefähr darstellen durch die Kurve Fig. 1, die Mittelwerte gibt.

Zur Schonung der Ausschalter ist es wertvoll, wenn nicht mit einem größeren als dem stationären Kurzschlussstrom unterbrochen werden muss; dies ist nach etwa einer Sekunde der Fall.

In Anlagen, wo wahlweise Zeitauslösung für die Isolierung des Fehlers benützt wird,²⁾ ist auch dadurch ein gewisses Zeitintervall für die Eingrenzung der Fehlerstelle bedingt.

Die Grösse dieses Zeitintervalls ist gegeben durch die Zeitcharakteristik der Relais und durch das Zeitmass für das Unterbrechen der automatischen Schalter vom Moment des Kontaktschlusses am Relais bis zum vollständigen Stromunterbruch.

Da zur Erwärmung eines Leiters eine gewisse Zeit nötig ist und in der Regel eine gegenüber der Normaltemperatur beträchtliche Temperaturerhöhung zulässig erscheint, so

¹⁾ Ausführliches hierüber: *Steinmetz, Waves and Impulses*, oder *Kittler, Wechselstrommaschinen*.

²⁾ Siehe hierüber den früheren Aufsatz des Verfassers über Relais in No. 9, Bd. 1913 des Bulletins des S. E. V.

ist gegen eine kurzzeitige Ausschaltverzögerung solange nichts einzuwenden, als keiner der vom Kurzschlußstrom durchflossenen Leiter thermisch gefährdet ist. Eine einfache Ueberlegung zeigt uns wann dies eintritt und es dürfte an dieser Stelle des Interesses nicht entbehren, darauf kurz einzutreten.

Die Auslösezeit.

Frei gespannte Leiter sind durch Erwärmung gefährdet, sobald ihre mechanische Festigkeit dadurch beeinträchtigt wird, isolierte Leiter sobald die Leitertemperatur das für die Isolationshülle zulässige Mass übersteigt. Diese Grenze liegt in beiden Fällen zwischen 200° C und 300° C. Bei mechanisch beanspruchten Leitern genügt bekanntlich eine im Verhältnis zur Glüh Temperatur niedrige Temperaturerhöhung, um die Struktur im Sinne einer Beeinträchtigung der spezifischen Festigkeit zu ändern, bei isolierten Leitern kann infolge langsamer Abkühlung die Einwirkung einer durch Kurzschlußstrom erzeugten Uebertemperatur noch beträchtliche Zeit nach Unterbrechung des Kurzschlußstromes fortbestehen.

Die Verhältnisse im letzteren Fall sind leicht zu übersehen an Hand der typischen Abkühlungskurven. (Fig. 2.)

Für die Berechnung der Uebertemperatur können wir in Anbetracht des hohen Betrags an dem Leiter zugeführter Wärme für die immerhin kurze Einschaltzeit, die durch Berührung mit Luft oder Oel abgegebene Wärmemenge für unsere Zwecke vernachlässigen.

Die durch Joule'schen Effekt entwickelte Wärmemenge beträgt:

$$Q = i^2 \cdot r \cdot t \cdot 0,24 \text{ Cal.}$$

und wird nach Annahme vollständig verbraucht zur Temperaturerhöhung des Leiters, dessen Gewicht G_1 und dessen spez. Wärme C betrage, somit: $Q = C \cdot G_1 \cdot T$, wobei: $T = \text{Uebertemperatur in } ^\circ\text{C}$, oder

$$0,24 \cdot i^2 \cdot \rho \cdot \frac{1}{q} \cdot t = C \cdot \gamma \cdot l \cdot q \cdot T$$

und

$$\frac{i^2}{q^2} \cdot \frac{0,24}{C} \cdot \frac{\rho}{\gamma} = \frac{T}{t}.$$

für Kupfer:

$$0,005 \cdot \left(\frac{i}{q}\right)^2 = \frac{T}{t} = \text{Temperaturanstieg pro Sek.}$$

für Aluminium:

$$0,012 \cdot \left(\frac{i}{q}\right)^2 = \frac{T}{t}$$

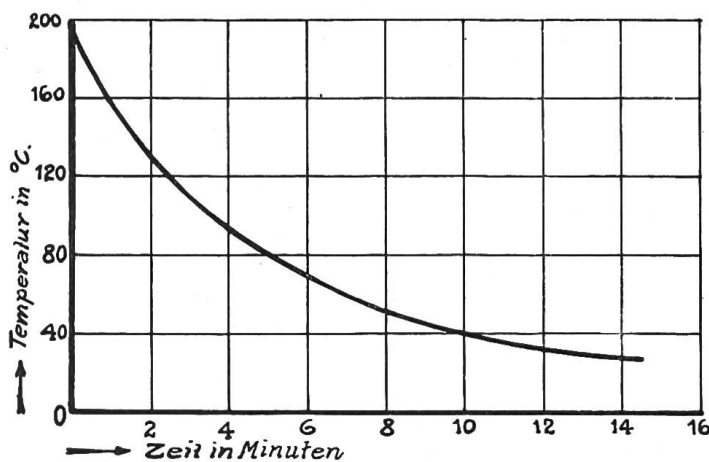


Fig. 2. Abkühlungskurve eines isolierten Leiters in ruhiger Luft oder eines Kabels.

Für die Materialkonstanten C , ρ und γ kann gesetzt werden für:

	Kupfer	Aluminium
C	0,093	0,21
ρ	0,0175	0,028
γ	8,9	2,75
$\frac{0,24}{C} \cdot \frac{\rho}{\gamma}$	= 0,0050	0,012
Schmelzwärme	1080° C	625° C

d. h. der Temperaturanstieg pro Sekunde ist proportional dem Quadrat der Stromdichte im Leiter multipliziert mit einer Materialkonstanten. Er ist bei Aluminium mehr als doppelt

so gross wie bei Kupfer. Beträgt die normale Stromdichte in einer Kupferleitung z. B. 3 Amp. pro mm² und der Kurzschlussstrom das 50fache des Normalstromes, so wird

$$\text{für Kupfer: } \dots \dots \dots \frac{T}{t} = 0,005 \cdot (3 \cdot 50)^2 = 125^\circ \text{ C pro Sekunde}$$

$$\text{für Aluminium: } \dots \dots \dots \frac{T}{t} = 0,012 \cdot (1,9 \cdot 50)^2 = 110^\circ \text{ C pro Sekunde.}$$

(gleiche Leitfähigkeit wie Kupfer)

Die beiden Leitungen kämen in etwa 3 bis 4 Sekunden zum Glühen, die Aluminium-Leitung in 6 Sekunden zum Schmelzen. Eine isolierte Leitung käme schon nach zwei Sekunden auf eine Temperaturerhöhung, die eine Zerstörung der Faser- oder Gummi-Isolation zur Folge hätte.

Es ist als sicher anzunehmen, dass dieser thermischen Seite der Kurzschlussgefahr in der Praxis zu wenig Beachtung geschenkt wird und sich namentlich bei Hochspannungskabelnetzen die eingehende Untersuchung der Verhältnisse nach dieser Richtung lohnt. Dabei kann der vorübergehende Kurzschlussstrom, dessen Dauer wir im Mittel auf eine Sekunde bemessen und dessen Wert im Moment des Entstehens das 4 bis 5fache des stationären Wertes ausmacht, in der Weise berücksichtigt werden, dass wir die Dauer des stationären Kurzschlussstromes entsprechend der Zeitkonstante des Stromkreises verlängern und zwar steigend mit abnehmender Distanz von den Generatoren bis zu etwa zwei Sekunden am Generator selbst. Für die Temperaturberechnung ist diese Korrekturzeit zur wirklichen Zeit des Bestehens des Kurzschlusses zu addieren. Die Schadengefahr durch Ueber-temperatur ist abhängig vom Verhältnis des maximalen Dauerkurzschlussstromes zum Normalstrom; sie ist relativ klein in Generatoren mit grosser Impedanz und in Haupttransmissionsleitungen, die die Leistung ganzer Zentralen völlig oder zum grossen Teil übertragen; sie ist besonders gross in Verteilleitungen mit geringem Spannungsabfall, die von Stromquellen bedeutender Leistung gespeist werden. In letzterem Fall kann das Verhältnis Kurzschlussstrom zu Normalstrom den Wert 100 : 1 in kurzen Kabelstücken in unmittelbarer Nähe der Stromquelle noch übersteigen.

Aus diesen Ueberlegungen lässt sich der Grundsatz entwickeln, dass die Auslöseverzögerung bei Kurzschluss annehmbar ist für Maschinen und Transformer von verhältnismässig grosser Impedanz und für Leitungen mit ähnlicher Charakteristik, aber eng beschränkt für Leitungen mit kleinem Spannungsgefälle, die normal nur einen geringen Teilbetrag der gesamten Energie der Stromquelle führen.

Die wahlweise Zeitauslösung. (Zeitrelais in Serieschaltung.)

Die Schaltzeit der automatischen Schalter kann man im allgemeinen vom Moment der Auslösung bis zur völligen Stromunterbrechung zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$ Sekunden annehmen. Zwischen der Auslösung zweier aufeinander folgender Schalter sei eine Ruhezeit von $\frac{2}{5}$ Sekunden angenommen, die als Sicherheit für event. ungleichmässiges Funktionieren der einzelnen Schalter dient, dann ist bei wahlweiser Zeitauslösung eine Zeitdifferenz zwischen der Auslösung zweier benachbarter Zeitrelais von wenigstens $\frac{3}{5}$ bis $\frac{2}{3}$ Sekunden nötig.

Diese Zeitdifferenz muss daher am Zeitrelais im Kurzschlussfalle unter allen Umständen sicher eingestellt werden können. Die Zahl der für wahlweise Zeitauslösung in Hintereinanderschaltung zulässigen Relais ergibt sich als Quotient aus der Zeit für den maximal zulässigen Temperaturanstieg des exponiertesten Leiterteils und der für eine Auslösung total benötigten Zeit von $\frac{2}{3}$ Sekunden. Beträgt die für den Kurzschluss zulässige Zeit, abzüglich der Korrektur für den höheren momentanen Kurzschlussstrom z. B. noch

$$2,5 \text{ Sekunden, so sind: } n = \frac{2,5}{0,66} = 3 \text{ bis } 4 \text{ Relais in Hintereinanderschaltung für wahl-}$$

weise Zeitauslösung annehmbar. Ob die Relaiseinstellung aber dem besonderen Fall entsprechend möglich ist, hängt von der Zeitkurve der verwendeten Relaisart ab, auf die wir nun etwas näher eintreten wollen.

Maximalstrom-Zeitrelais.

Darunter verstehen wir allgemein ein Relais, das bei Ueberschreitung eines bestimmten Höchststromes die Auslösung einleitet, seinen Kontakt aber erst schliesst entweder 1) nach Ablauf einer Zeit, die nach Sekunden bemessen werden kann, unabhängig vom tatsächlichen Stromwerte in der Leitung (Definitivzeit-Relais), oder 2) nach einer Zeit die für Zurücklegung eines bestimmten Weges durch das kontaktschliessende Element nötig ist, wobei der Weg bei verschiedenen Relais verschieden eingestellt werden kann, die Auslösezeit jedoch von der Geschwindigkeit des Relaismotors bzw. vom Auslösestrom selbst abhängt (Invertzeit-Relais). Dabei ist zu betonen, dass alle bis zur Fehlerstelle seriegeschalteten Relais von demselben Strom, oder wenigstens von einem Strom derselben Grössenordnung durchflossen werden und dass dieser Strom je nach der Art des Stromkreises den Normalstrom um das 5 bis 100fache übersteigen kann im stationären Zustand des Kurzschlusses.

Der Aufbau der Maximalstrom-Relais für Wechselstrom.

Als Motor kommen für Relais hauptsächlich Magnete mit geradliniger oder Drehbewegung des Ankers und Induktionsmotoren nach dem Prinzip der Ferrarisscheibe zur Anwendung. Die gewöhnlichen Magnete besitzen namentlich den Nachteil, dass durch die Bewegung des Ankers der Kraftlinienfluss und damit auch die Zugkraft auf den Anker sich ändert, so dass ein geringerer Strom genügt, den Anker in der angezogenen Stellung zu

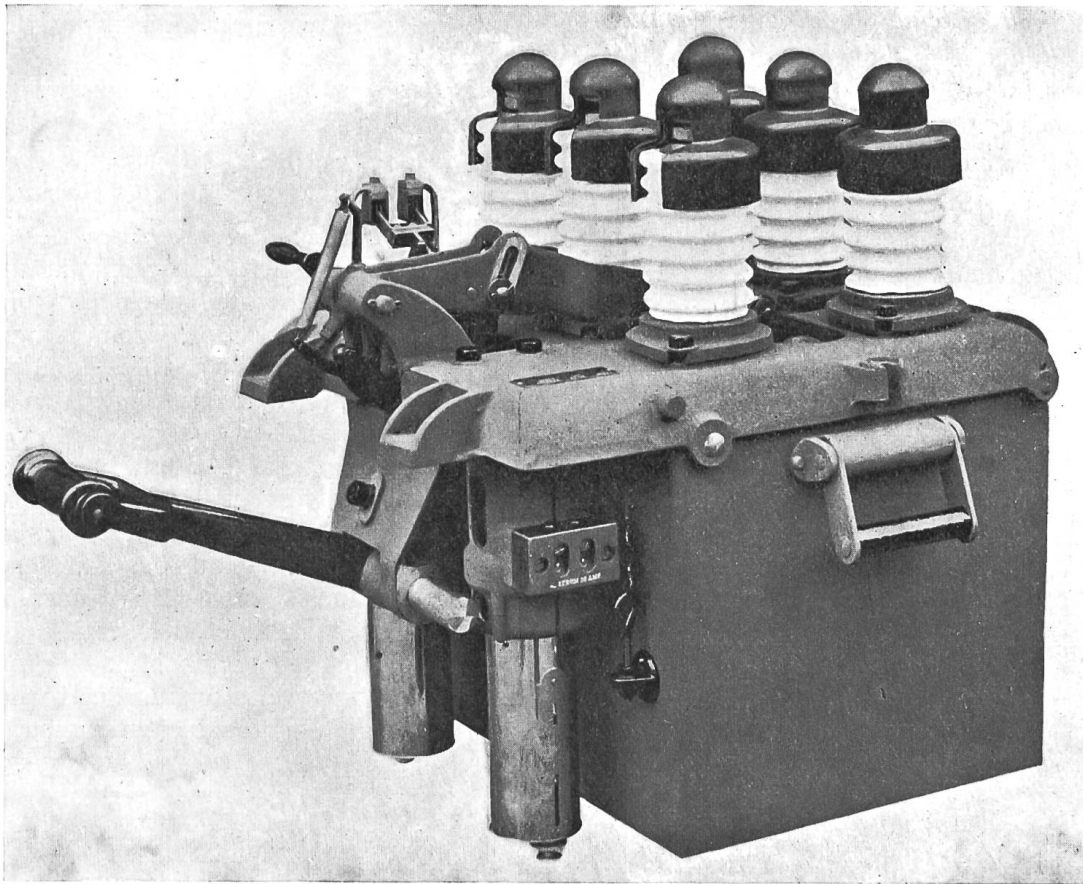


Fig. 3. Auslösrelais mit Invertzeitcharakteristik für direkten Einbau in Oelschalter, Bauart Maschinen-Fabrik Oerlikon.

halten, als zum Anziehen desselben nötig war. Infolgedessen unterbricht ein solches Relais in der Regel die Auslösbewegung im Falle des Verschwindens der Ueberlast erst, wenn der Strom beträchtlich unter den Wert sinkt, bei dem die Anziehung erfolgte.¹⁾ Ausserdem ist

¹⁾ Ein vorzügliches Zeitelement dieser Art liefert die M. F. O., Abb. 3. Die Ablaufkurven sind dargestellt in Abb. 4. Durch besondere Vorrichtung wird hier eine Stromempfindlichkeit von 10% erreicht.

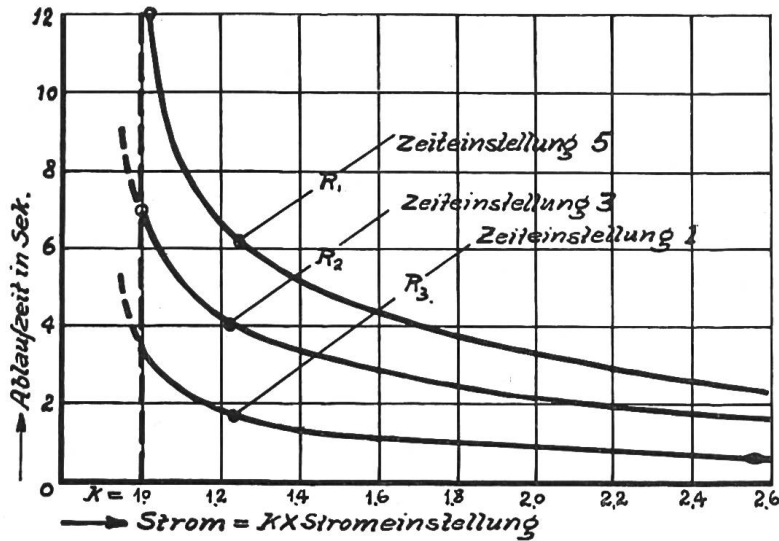


Fig. 4. Ablaufzeitkurven für drei verschiedene Zeiteinstellungen in Abhängigkeit vom Ueberlaststrom des Zeitelementes für Auslösmagnete, Bauart: M.-F. O.

keit des Motors, oder er kann mit dieser Geschwindigkeit ändern. Zu den ersteren gehört: das Heben eines Gewichtes, das Spannen einer Feder und annähernd das Komprimieren und Durchpressen eines bestimmten Quantums von Luft durch ein Nadelventil; zu den letzteren: der Antrieb eines Windflügels, der Antrieb einer Wirbelstrombremsscheibe, der Antrieb eines Ankerhemmwerkes (Uhren-Echappement).

Bei den *Invertzeit-Relais* arbeitet der Motor direkt auf das Zeitelement. Da die Zugkraft des Relaismotors proportional ist dem Relaisstrom und dem dadurch erzeugten Magnetfeld, so wächst das Dreh- oder Zugmoment unterhalb der Sättigungsgrenze des Relais-

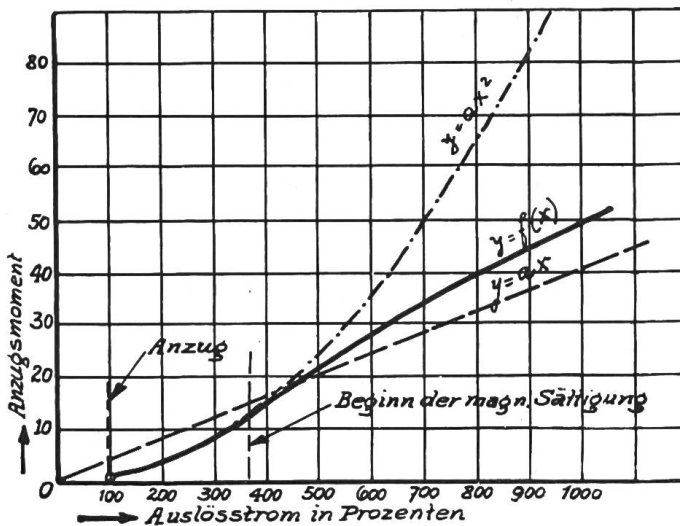


Fig. 5. Kurve des Anzugsmomentes von Relaismotoren.

eiens annähernd proportional mit dem Stromquadrat und nach Sättigung annähernd proportional dem Strom. Wir erhalten also für das Drehmoment als Funktion des Stromes eine Kurve nach Fig. 5. Ist das Gegenmoment des Zeitwerkes konstant, so erhöht sich die Geschwindigkeit des Motors proportional dem Drehmoment. Bezeichnen wir die Zeit für den Ablauf des Zeitelementes beim Auslösestrom 100 % mit *eins*, so reduziert sich die Auslösezeit bei höherem Auslösstrom nach einer Kurve, die wir ohne weiteres aus der Kurve des Anzugsmomentes ableiten können. (Siehe Fig. 6.)

Wegen der in einem Relaismechanismus nicht vollständig ausgeglichenen Reibung läuft ein Relais mit dem Auslösstrom 100 %, bei dem der Motor gerade anzieht, nicht gleichmässig ab, sodass man in der Regel mit einem um etwa 5 % grösseren Strom zu rechnen hat, wodurch die maximale Ablaufzeit auf etwa 0,90 vermindert wird. Nach der Kurve Fig. 6 wird die Ablaufzeit bei einem Strom von 1000 % auf 0,02 reduziert, d. h. auf $\frac{1}{45}$ der Anfangszeit. Als wesentliches Verzögerungsmoment kommt nun aber noch die Arbeit für Beschleunigung der Massen hinzu, da das Gewicht der in Bewegung versetzten Teile des Relais nicht unwesentlich ist. Dieser Einfluss ist umso grösser, je kürzer der Ablaufweg und je grösser die Endgeschwindigkeit des Relaismotors ist. Die Folge davon ist eine Hebung des unteren Teils des Kurvenastes und entsprechende Annäherung an die Horizontale

der Weg des Ankers beschränkt. Demgegenüber besitzen Induktionsscheibenmotoren bei konstantem Strom konstantes Drehmoment und ermöglichen es, einen beliebig langen Auslösweg des Kontaktelementes vorzusehen. Die Auslösbewegung wird unterbrochen, wenn der Anfangsstrom, der die Scheibe in Drehung bringt, um etwa 10 % unterschritten wird.

Das Zeitelement bildet prinzipiell die Belastung des Relaismotors. Der Energiebetrag, der auf dem ganzen Ablaufweg des Zeitelementes vom Motor abzugeben ist, kann entweder konstant sein für jede Geschwindigkeit

des Motors, oder er kann mit dieser Geschwindigkeit ändern. Zu den ersteren gehört: das Heben eines Gewichtes, das Spannen einer Feder und annähernd das Komprimieren und Durchpressen eines bestimmten Quantums von Luft durch ein Nadelventil; zu den letzteren: der Antrieb eines Windflügels, der Antrieb einer Wirbelstrombremsscheibe, der Antrieb eines Ankerhemmwerkes (Uhren-Echappement).

im Sinne der Erreichung konstanter Auslöszeit; d. h. ein *Invertzeitrelais* geht bei hoher Sättigung und Geschwindigkeit des Relaismotors in ein *Definitivzeitrelais* über. Diese konstante Zeit schwankt bei verschiedenen Relaisfabrikaten um $\frac{1}{2}$ bis $\frac{4}{5}$ Sekunden. Rechnen wir unter Berücksichtigung der Beschleunigungsarbeit mit einem Sinken der Auslöszeit von 0,90 beim Anfangsstrom 105 % auf 0,04 bei einem Auslösstrom von 1000 %, so ergibt sich, wenn die Zeit 0,90 beispielsweise 15 Sekunden entspricht, bei 10fachem Strom noch eine Auslöszeit von 0,66 Sekunden. Wollten wir ein solches Relais für wahlweises Auslösen bestimmter Stromkreisteile benützen, so müssten wir ein zweites Relais bei Anfangsstrom auf 30 Sekunden einstellen können, um eine Zeitdifferenz gegenüber dem ersten von nur 0,66 Sekunden bei 10fachem Auslösstrom herauszubringen, also gerade das Minimum, das wir zur wahlweisen Auslösung zweier Schalter in Serie verlangen müssen.

Wir ziehen daraus den Schluss, dass gewöhnliche Invertzeitrelais zur wahlweisen Auslösung mehrerer Schalter in Serie sich nicht eignen, weil der zeitliche Unterschied in der Auslösung zwischen zwei Relais bei hohem Strom im allgemeinen zu klein und die Einstellung dadurch zu unsicher wird. Die Mittel für Verbesserung sind uns aber bereits vorgezeichnet und bestehen in der Anwendung eines sich mit der Geschwindigkeit des Relaismotors steigernden Gegenmomentes als Zeitelement, z. B. Wirbelstrombremse, Ankerhemmung (oder Pendelbremse), Luftflügelbremse und ähnliche oder der Abdrosselung des Stromes im Relais gegenüber dem Strom in der Leitung. Die ersteren Mittel finden wir angewandt bei vielen Relais europäischer Fabrikanten, das letztere bei einem neuen Relais der Westinghouse Electric & Mfg. Co. Die Drosselung geschieht mit einem kleinen Transformator 1:1 (genannt: Drehmoment-Ausgleicher) der einen lamellierten Eisenkern von solchem Querschnitt besitzt, dass er bereits gesättigt ist, sobald der Strom den Normalwert überschreitet.

In beiden Fällen hat die Anwendung dieser Mittel eine Vergrößerung der Auslöszeit zur Folge, die prozentuell mehr ausmacht bei grossem Strom als bei kleinem und zum Ausdruck kommt in den Kurvenbildern Fig. 7 und 8, die das Verhalten neuester Relaiskonstruktionen darstellen. Der allgemeine Charakter der Auslöszeitkurve hat sich allerdings nicht geändert, aber ohne dass die Zeit bei Anfangsstrom besonders hoch eingestellt werden müsste, erreicht man doch bei hohem Auslösstrom zwischen verschiedenen Relais einen genügenden Zeitunterschied, um sie für wahlweise Auslösung brauchen zu können.

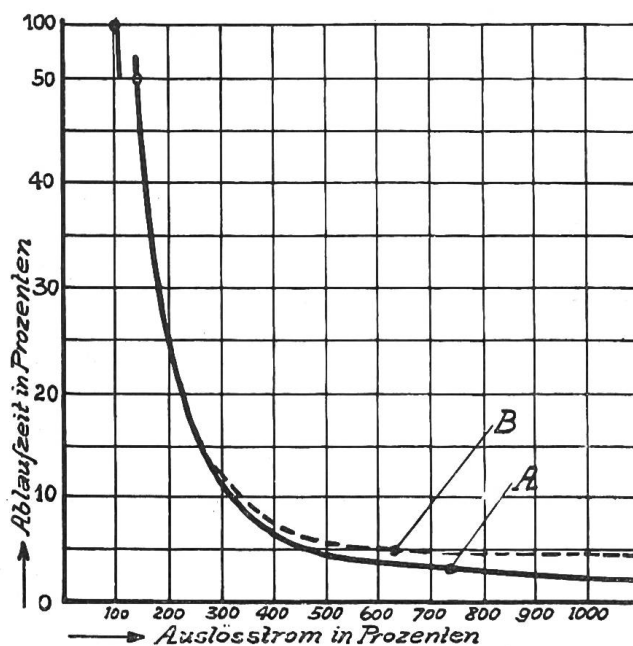


Fig. 6. Aus Fig. 5 konstruierte Kurve der Ablaufzeit eines Zeitrelais mit konstantem-Gegenmoment des Zeitwerkes.

A = Kurve mit Vernachlässigung der Beschleunigungsarbeit.

B = Kurve mit Berücksichtigung der Beschleunigungsarbeit.

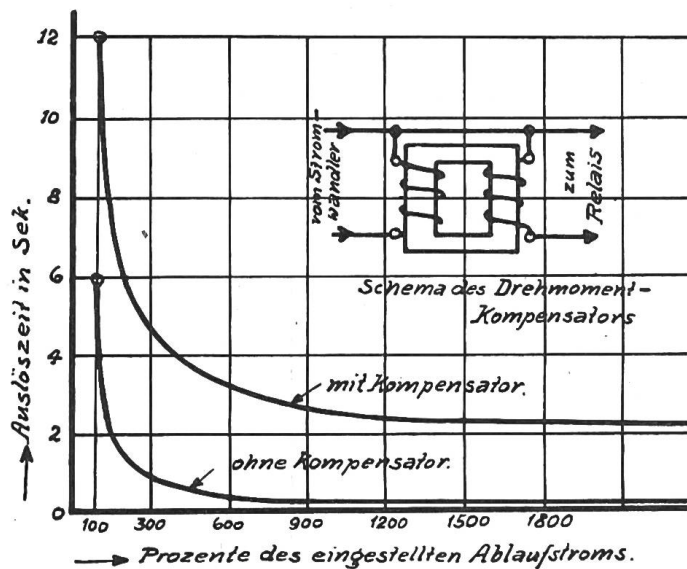


Fig. 7. Ablaufzeiten eines Maximal-Zeitrelais. Bauart: Westinghouse El. & Mfg. Co., Pittsburg.

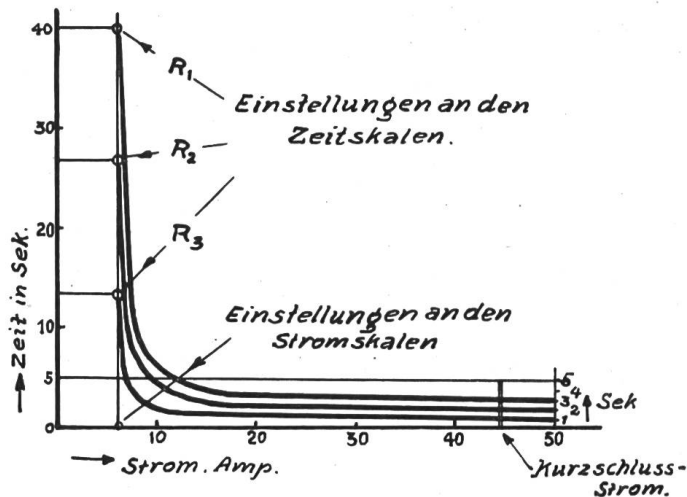


Fig. 8. Ablaufzeiten mehrerer in Serie geschalteter Maximalstrom-Wahlrelais. Bauart: Siemens-Schuckert.

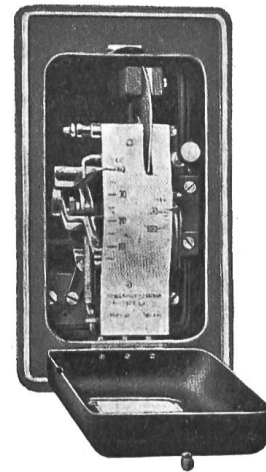


Fig. 9. Maximalstrom-Zeitrelais mit Zeitcharakteristik nach Fig. 8. Bauart: Siemens-Schuckert.

Da der Invertzeitcharakter dieser Zeitkurven aber nur für den vertikalen Ast und das Knie vorhanden ist, d. h. ausgedrückt durch den Auslösstrom nur innerhalb eines eng begrenzten Auslösbereichs, während der horizontale Teil des Astes Definitivzeitcharakter hat, so erhält daraus, dass wir dieselben Aufgaben ebensogut, wenn nicht besser, mit *Definitivzeit-Relais* lösen können.

Diese Art Relais unterscheidet sich von den Invertzeitrelais vornehmlich dadurch, dass der Relaismotor nicht direkt auf das Zeitelement arbeitet, sondern dasselbe lediglich auslöst. Da das Zeitelement während seines Ablaufs Arbeit verbraucht, so muss diese entweder vorher aufgespeichert sein (Feder- oder Gewichtsakkumulator) oder von einer fremden Kraftquelle unmittelbar nach der Auslösung geleistet werden. Die Aufspeicherung kann aber auch erfolgen durch den Relaismotor selbst unmittelbar vor der Auslösung, indem die Zugkraft des Relaismotors zum Spannen einer Feder oder Heben eines Gewichts verwendet wird, welche letztere den größten Teil dieser Arbeit zur Betätigung des Zeitelementes abgeben (Fig. 10).

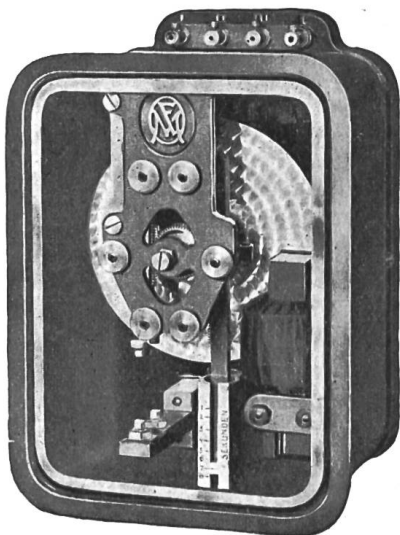


Fig. 10. Definitivzeit-Relais mit Gewichtsakkumulator und Flügelbremse. Bauart: Maschinen-Fabrik Oerlikon.

Die verschiedenen Anordnungen ergeben verschiedene Charakteristiken in der Zeitkurve, auf die kurz aufmerksam gemacht werden soll.

1. Relais mit aufgespeicherter Fremdkraft (Zeitwerk mit Feder- oder Gewichtsantrieb und Aufzug von Hand oder Zeitwerk mit Antrieb durch Elektromotor von einer Fremdstromquelle aus).

Die Auslöszeit des Zeitelementes kann nach Sekunden geeicht werden und ist innerhalb der Genauigkeitsgrenzen einer Uhr konstant. Dazu addiert sich die Zeit für die Auslösung des Zeitelementes durch den Relaismotor, die je nach den zu beschleunigenden Massen $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{50}$ Sekunden zu schätzen ist. Die Auslöszeit ist somit innerhalb der praktischen Grenzen unabhängig vom Strom und genau kontrollierbar.

2. Relais mit aufgespeicherter Eigenkraft. (Zeitwerk mit Feder- oder Gewichtsantrieb und Aufzug im Moment der Auslösung durch den Relaismotor).

Ist die vom Relaismotor an das Zeitwerk abzugebende Leistung im Vergleich zu seiner Normalleistung beträchtlich, so besitzt das Relais bis zur vollen Arbeitsaufspeicherung im Zeitwerk überwiegend Invertzeitcharakteristik, d. h. bei kleinen Auslösströmen und geringer Leistung des Relais-

motors kann die sekundliche Arbeitsspeicherung kleiner werden als die sekundliche Energieabgabe an das Zeitwerk bei normaler Grösse der Antriebskraft sein würde, was natürlich eine Verzögerung der Auslösezeit, entsprechend der verminderten Ablaufgeschwindigkeit, zur Folge hat.

Die so entstehende Ablaufzeitcharakteristik nähert sich den Kurven Fig. 8. Die Mittel zur Annäherung der Ablaufzeitkurve an die reine Definitivzeit-Charakteristik sind gegeben durch entsprechende Aenderung des Verhältnisses von Relaismotor-Leistung zu Leistungsverbrauch des Zeitwerkes. Die Annäherung ist umso besser, je kleiner die letztere gegenüber der ersteren ist.

Definitivzeit-Relais für wahlweises Auslösen.

Es ist ohne weiteres klar, dass eine wahlweise Auslösung mittels Definitivzeit-Relais möglich ist. Wir haben früher die Bedingung aufgestellt, dass die Pause zwischen zwei sich folgenden Auslösungen mindestens 0,6 Sekunden bei Serieschaltung mehrerer Relais betragen muss, und ferner dass die gesamte Auslösezeit auf wenige Sekunden, unter Umständen auf zwei Sekunden, beschränkt ist wegen der thermischen Gefährdung der Leiter. Daraus ergibt sich, dass wahlweise Auslösung mittels Maximalstromrelais mit Zeitwerkeinstellung nur dann unbedenklich ist, wenn die Relais bei einer maximalen Auslösezeit von etwa 3 Sekunden mit einer Genauigkeit von wenigstens $\pm \frac{1}{4}$ Sekunden zueinander zeitlich eingestellt werden können.

Dies bedingt, dass die Zeitauslösung innerhalb etwa 0,5 bis 3 Sekunden von halber zu halber Sekunde genau eingestellt werden kann und dass die eingestellte Zeit unter allen Kurzschlussverhältnissen unveränderlich bleibt. Dagegen spielt die Empfindlichkeit auf Stromstärke eine untergeordnete Rolle, solange mit Fehlerströmen gerechnet wird.

Invertzeit-Relais können zeitlich nur nach Versuch in der betriebsmässigen Relaiskombination und mit den wirklich vorkommenden Kurzschlußströmen gegenseitig eingestellt werden, Definitivzeit-Relais sind unabhängig, jedes Relais für sich und mit beliebig grossem Auslösstrom chronographisch einzustellen; ein nicht genug schätzbarer Vorteil gegenüber der andern Einstell-Art.

Die Stromeinstellung.

Je nach dem Objekt ist ein Relais auf Ueberlaststrom oder auf Fehlerstrom einzustellen.

Bei Maschinen ist der *Ueberlaststrom* eingegrenzt durch den Normalstromwert und denjenigen Höchststrom, den die Maschine gerade noch führen kann ohne ausser Tritt zu fallen.

Bei Transformatoren und Leitungen ist die obere Ueberstromgrenze festgelegt durch den normalen Wert der Impedanz. Sobald der so eingegrenzte Ueberlaststrom überschritten wird, ist er als *Fehlerstrom* zu definieren.

Stromverbraucher, d. h. Apparate, in denen elektrische Energie in eine andere Energieform umgewandelt wird, sollten ausnahmslos gegen Ueberlaststrom geschützt werden. Der Auslösstrom bewegt sich dann in der Grössenordnung des Normalstromwertes. Als zweckmässiges Relais wurde hiefür bereits das Invertzeit-Relais vorgeschlagen. Die Anforderungen auf Stromempfindlichkeit werden um so höhere, je näher der Auslöswert an den Normalstromwert herangerückt wird. Als normale Stromempfindlichkeit darf 10% angenommen werden bei Einstellung der Auslösung auf za. 30% Ueberlaststrom. Die Zeitauslösung soll möglichst hoch einstellbar sein bei geringem Ueberlaststrom. Bei hohem Ueberlaststrom, noch mehr aber bei Fehlerstrom soll sich die Auslösezeit auf wenige Sekunden (zwei bis drei) automatisch vermindern, ohne grossen Anspruch auf Genauigkeit. Die praktischen Bedürfnisse auf diesem Gebiet werden durch eine Reihe von marktfähigen Konstruktionen erfüllt. (Eine sehr geeignete Konstruktion hat erst kürzlich die Maschinenfabrik Oerlikon auf den Markt gebracht, siehe Ablaufkurven Fig. 3).

Maschinen, Transformatoren und Leitungen, d. h. Apparate und Leiter, die elektrische Energie nur von einer Form in eine andere umwandeln oder nur Energie übertragen, sollten nicht auf Ueberlaststrom, sondern ausschliesslich auf Fehlerstrom geschützt

werden. Geschieht dies mit Maximalstrom-Wählrelais auf Zeit abgestimmt, so sollen diese Relais auf Ströme in der Grössenordnung des Normalstroms nicht ansprechen, d. h. nicht unter etwa fünffachem Normalstrom, sodass an die Stromempfindlichkeit keine grossen Ansprüche zu stellen sind.

Fehlerstrom-Relais.

Einfache Ueberlegungen zeigen, dass Fehler in einem elektrischen Stromkreis bestehen können, lange bevor ein Maximalstrom-Relais ansprechen würde. (Erdungslichtbögen an Leitungen, Windungskurzschlüsse an Transformatoren und Maschinen.) In der Regel ist allerdings damit zu rechnen, dass bei fortschreitender Zerstörung durch den Lichtbogen endlich ein Kurzschlußstrom auftritt, der die Auflösung der nächstliegenden Schalter veranlasst. Dann ist aber der Schaden unter Umständen so gross, dass eine grössere Reparatur nötig wird. Nun liegt das Charakteristikum des Fehlerstroms gerade darin, dass er das Gleichgewicht des elektrischen Stromkreises stört, zumeist auch in besonderer Strombahn verläuft. Darauf begründen sich eine Reihe von Relaisschaltungen, namentlich die

Differenzstrom-Relais und die
Rückstrom-Relais.

Sie unterscheiden sich von den Maximalstrom-Relais im besonderen dadurch, dass sie nicht auf Ueberlast- oder ausserhalb des zu schützenden Stromkreisteils entstandene Kurzschlußströme ansprechen und demnach in einem Stromkreis gemeinsam mit Maximal-Relais verwendet werden können ohne Rücksicht auf die letzteren. Ein Zeitwerk ist in Verbindung damit nicht nötig, oder dann nur im Sinne einer kurzen Hemmung ohne Abstimmungsnotwendigkeit mit Nachbarrelais.

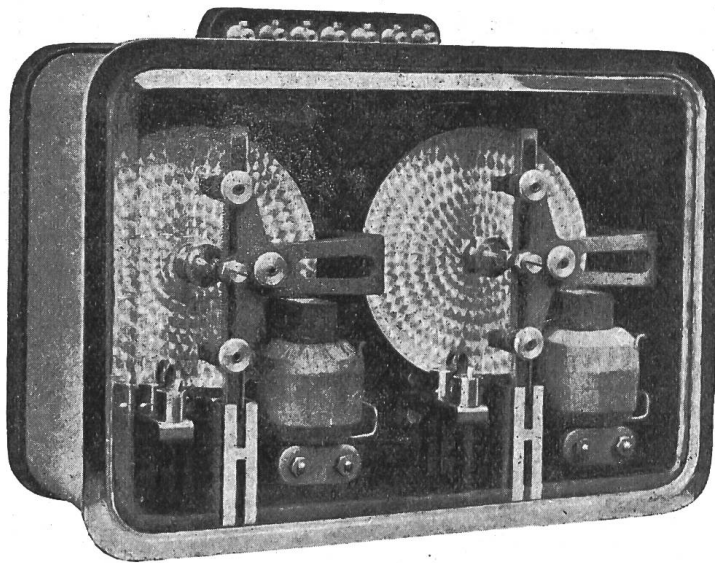


Fig. 11. Zweipoliges Differenzstrom-Relais.
Bauart: Maschinenfabrik Oerlikon.

Das Differenzial-Relais.¹⁾
(Fig. 11.) Dazu eignet sich jedes Maximalstrom-Relais mit oder ohne Zeitauslösung, sofern die Ablaufzeit beim Ansprechen des Relais 1 Sekunde nicht übersteigt. Es ist natürlich darauf zu achten, dass sich die Sekundärstromwandlerströme unter normalen Zuständen nach Stromwert und Phase genau ausgleichen. Für den primären Leerlaufstrom von Transformatoren ist eine Ungleichheit von za. 10% zuzulassen. Wo beim Einschalten einseitig hohe Magnetisierungsströme auftreten genügt eine zeitliche Auslöseverzögerung von der Dauer von 8 bis 10 Perioden, oft auch schon die natürliche Trägheit des Relaismotors.

Rückstrom-Relais oder Rückfluss-Relais.

In jedem Stromkreis, in dem mehrere Stromerzeuger parallel arbeiten, oder wo mehrere parallele Leitungen zur Ueberführung der elektrischen Energie verwendet werden, eignen sich Rückstrom-Relais zur direkten Fehlerisolierung allein oder in Verbindung mit Maximalstrom-Relais. (Siehe den Aufsatz über Relais in No. 9, Bd. 1913 des Bulletin des S. E. V.) Dazu stellen wir an das Rückstromrelais die folgenden zwei Hauptbedingungen:

1. Die Auslösung soll erfolgen, sobald die Richtung der elektrischen Energie an der betreffenden Stelle des Stromkreises wechselt, ohne Rücksicht auf Spannungsabfall, Phasenverschiebung und Stromwert.
2. Das Relais soll nie auslösen solange die Richtung des Energieflusses normal ist.

¹⁾ Ueber die Anwendung der Differenzialrelais siehe den früheren Aufsatz in No. 9, Bd. 1913.

Einen auf Rückfluss reagierenden Apparat besitzen wir in jedem Wattmeter auf dynamometrischem oder Ferrarisprinzip aufgebaut. Es ist aber zu berücksichtigen, dass das Drehmoment eines solchen Messgerätes abnimmt mit der Spannung und der Zunahme der Phasenverschiebung. Die Spannung an der Relaisspule ist abhängig vom Verhältnis der Impedanz vom Relais bis zur Kurzschlußstelle zur Gesamtimpedanz des Kurzschlußstromkreises, sowie von der E. M. K. der Stromquelle bei Kurzschluss; die Phasenverschiebung vom Verhältnis des Ohm'schen Widerstandes zur Reaktanz des Kurzschlußstromkreises. Die Verhältnisse werden für das Drehmoment des Wattmeters elementes umso ungünstiger, je näher die Kurzschlußstelle dem Relais liegt und je kürzer die zwischen den Stromerzeugern eingeschaltete Leitungslänge ist.

Dass die Phasenverschiebung zwischen Kurzschlußstrom und Spannung annähernd 90° werde, ist nur bei Kurzschlüssen in der Zentrale selbst zu befürchten, dagegen kann die Spannung am Relais auf extrem niedrige Werte sinken, wenn die Kurzschlußstelle innerhalb weniger 100 m Distanz vom Relais liegt. (Bei Kabel von 100 mm^2 und 100 m einfache Länge zwischen Kurzschluss und Relais sinkt die Spannung am Relais bei 2000 A Kurzschlußstrom auf $2 \cdot 2000 \cdot 0,0175 = 70 \text{ Volt}$, dies entspricht bei 6000 Volt nur noch etwas über 1 % der Normalspannung.)

Während die Drehspule eines dynamometrischen Messgerätes unter normalen Stromverhältnissen nur auf Rückstrom anspricht, so besteht die Gefahr, dass sie bei abnorm hohen Stromstößen und sehr geringer Spannung auch bei normaler Stromrichtung anspricht oder bei hohem Rückstrom nicht funktioniert. Das geht aus nebenstehender Fig. 12 hervor.

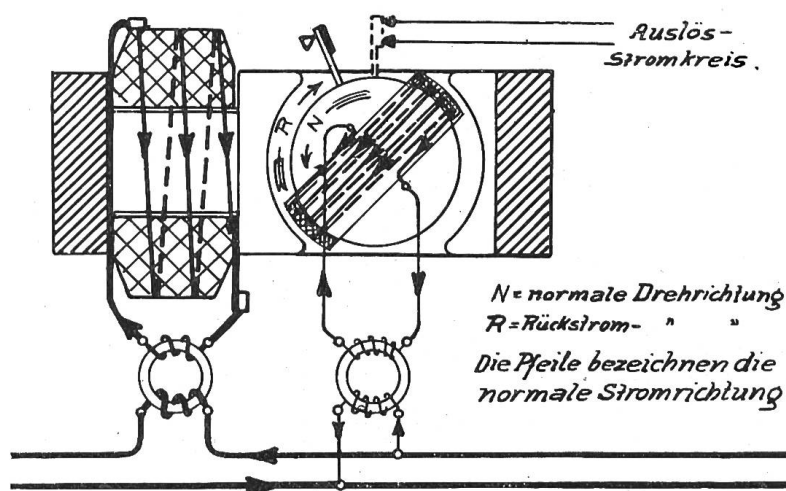


Fig. 12. Schematische Darstellung des Dynamometrischen Rückstrom-Relais.

Wird das den normalen Stromverhältnissen entsprechende Drehmoment durch einen festen Anschlag aufgenommen, so müssen die momentanen Stromrichtungen in den beiden Spulen des Relais mit den Pfeilen in der Figur übereinstimmen. Das Relais schliesst seinen Kontakt, wenn sich die Stromrichtung in der festen Spule umkehrt. In der Drehspule wird durch das Feld der Stromspule eine E. M. K. induziert, die dem von der Spule umfassten Kraftfluss proportional und gegenüber dem Strom der festen Spule um 180° verschoben ist, in unserer Figur der Spannung des Spannungswandlers also entgegenwirkt. Bei hohem Hauptstrom und geringer Spannung an der Drehspule kann sich also die Stromrichtung in der Drehspule ebenfalls umkehren und so das richtige Funktionieren des Relais gefährden. Dabei ist besonders zu beachten, dass sich nur der in der Drehspule induzierte Strom so mit dem Normalstrom dieser Spule zusammensetzen muss, dass die Phase des resultierenden Stromes gegenüber dem Strom der Stromspule um mehr als 90° verschoben ist, um denselben elektrischen Zustand wie bei Rückstrom hervorzurufen.

Dieser kritische Zustand im Relais lässt sich dadurch vermeiden, dass die Drehspule normal genau in die Richtung des Kraftflusses der Stromspule gestellt wird und hinaus-

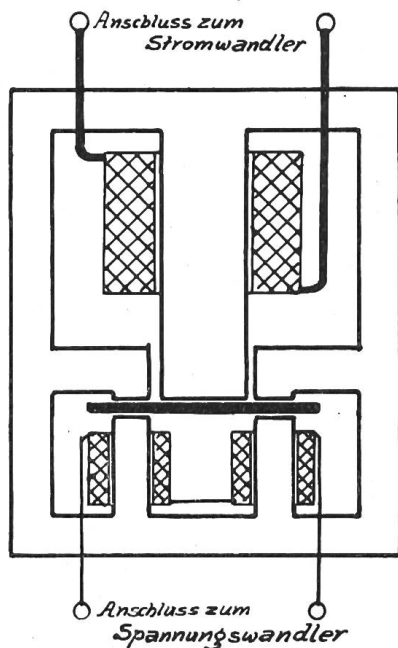


Fig. 13. Schematische Darstellung eines Rückstrom-Relais mit Induktionswattmeter-Messgerät.

schieben, wenn der magnetische Kreis mit anwachsendem Strom rasch gesättigt wird und der Anschluss des Spannungsstromkreises so erfolgt, dass dieser Kreis durch den Kurzschlußstrom nicht direkt beeinflusst ist.

Für denselben Zweck kann als Messgerät auch das Induktionswattmeter in Frage kommen nach dem bekannten Schema (Fig. 13).

Beide Messgeräte, auch wenn sie so eingerichtet sind, dass sie praktisch nur auf Rückfluss von Energie ansprechen, genügen in dieser Form noch nicht einwandfrei als Rückstromrelais.

Das Drehmoment solcher Relaismotoren ist proportional der Wattleistung und das Relais könnte nur auf Leistung einreguliert werden. Dies ist in Stromkreisen mit Synchronmaschinen nicht zweckmässig, weil bei ungenauem Parallelschalten oft Ausgleichströme vorkommen, die mit der Spannung des Stromkreises beträchtliche Rückleistungen darstellen, weil die Spannung in diesen Fällen auf Normalwert ist. Machen wir das Relais nun durch entsprechende Einstellung auf diese Belastungsschüsse unempfindlich, so spricht es bei Isolationsfehlern, d. h. auf Fehlerströme bei unvollständigen Kurzschlüssen nicht an, bis die Zerstörung

bereits so fortgeschritten ist, dass die Gefahr längerer Ausserbetriebsetzung vorliegt. Es muss also die weitere Bedingung aufgestellt werden:

3. Die Relaiseinstellung soll nicht nach dem Rückfluss der Energie, gemessen nach Watt, sondern nach Rückstrom, in Ampère gemessen, erfolgen können.

Es bleibt uns noch die Frage zu überlegen, ob ein Rückfluss-Relais mit Zeitwerk zu versehen sei.

Wird das Relais in Verbindung mit Synchronmaschinen verwendet, so kann bei Verwendung einer geringen Auslöseverzögerung im allgemeinen auf kleinere Rückstromwerte als bei momentaner Auslösung eingestellt werden. Oft genügt schon die Trägheit des Meßsystems selbst, um auf genügend kleine Werte des Auslösestromes einzustellen; im Allgemeinen ist ein Zeitwerk nicht nötig und nicht zweckmässig, wo das Rückfluss-Relais nicht mit andern Rückfluss-Relais in Reihe geschaltet ist. Das letztere kann der Fall sein bei Ringleitungen, wo Rückstrom-Relais in Serieschaltung für wahlweise Auslösung benützt werden in Verbindung mit Maximalstrom-Zeitrelais. Unter diesen Verhältnissen ist eine Zeitauslösung vorzusehen, die mit gleicher Genauigkeit einstellbar ist wie diejenige der daneben verwendeten Maximalstrom-Relais. Das kann am sichersten mit definitiver Zeiteinstellung geschehen.

Als sehr beachtenswerte Konstruktionen von Rückstrom-Relais sind besonders die im Laufe der letzten zwei Jahre entwickelten Relais der Maschinen-Fabrik Oerlikon und der Westinghouse Electric & Mfg. Co., Pittsburg zu besprechen.

Das Rückstrom-Relais der Maschinen-Fabrik Oerlikon.

(Fig. 14, 15 und 16).

In den mittleren Schenkel eines E-förmigen Magnetkerns ist eine Drehspule eingebaut, mit ihrer Windungsebene in der Ruhelage in die Richtung des Kraftflusses der Stromspule gedreht. Sie wird beeinflusst vom Feld einer Stromspule, auf denselben Schenkel gewickelt und ist an die Spannung eines Messwandlers angeschlossen. Bei normaler Stromrichtung wird das Drehmoment der Spule durch einen festen Anschlag aufgenommen, bei Rückstrom wird durch Drehung der Drehspule eine Hülfswicklung auf einem Aussenschkel des E-Kerns kurz geschlossen. Ueber dem mittleren Schenkel liegt wagebalkenartig ein Magnetanker aus massivem Eisen, der normalerweise auf dem Schenkel mit Hülfswicklung anliegt durch

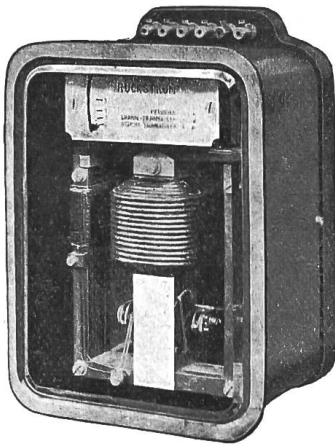


Fig. 14. Rückstrom-Relais mit aufgeschraubtem Blechgehäuse.
Bauart: Maschinenfabrik Oerlikon.

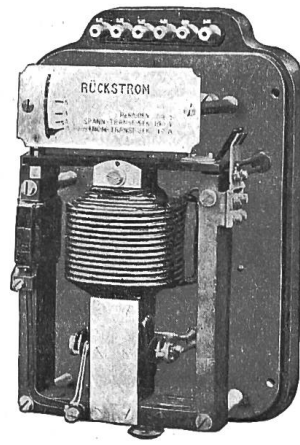


Fig. 15. Rückstrom-Relais mit abgenommenem Blechgehäuse.
Bauart: Masch.-Fabr. Oerlikon.

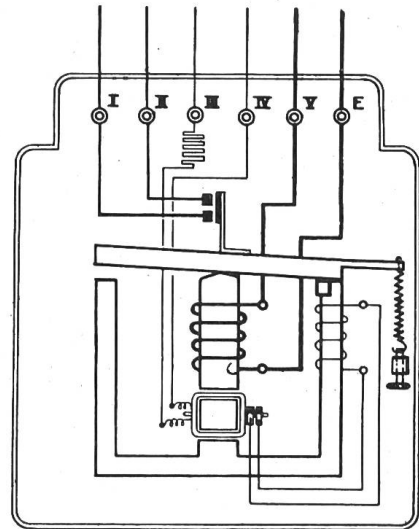


Fig. 16. Schematische Darstellung des Rückstrom-Relais der Masch.-Fabrik Oerlikon.

Federpressung. Dieser Anker trägt auch den Auslösekontakt. Solange die Hülfswicklung auf dem Aussenschenkel offen ist, wirkt der magnetische Zug auf den Anker immer im Sinne seiner Normallage, da der magnetische Fluss über den andern Aussenschenkel wegen des grossen Luftspaltes immer kleiner ist als im Schenkel mit Hülfswicklung. Das Umgekehrte tritt ein, sobald die Hülfswicklung kurzgeschlossen wird infolge des durch den Strom der Hülfswicklung induzierten Gegenfeldes. Durch entsprechende Regulierung des Federzuges kann der Stromwert genau eingestellt werden, bei welchem der Anker umkippen soll, was den Kontaktschluss des Auslösstromkreises zur Folge hat. Durch die besondere Normallage der Drehspule zum Feld der Stromspule und dadurch, dass der Magnetanker bei anwachsendem Strom rasch gesättigt ist, werden die Bedingungen, die wir oben an derartige Relais stellten, in der Hauptsache erfüllt.

Das Rückstrom-Relais der Westinghouse Electric & Mfg. Co. (Fig. 17).

Als Messgerät für Rückstrom ist hier das Induktionswattmeter verwendet mit kombiniertem Eisenkern für Strom- und Spannungsspule. Verbunden damit ist ein ebenfalls auf dem Induktionsprinzip beruhendes Maximalstrom-Relais. Die beiden Instrumente sind in gemeinsamem Gehäuse vereinigt. Zur Begrenzung des Drehmomentes des Maximal-Relais wird zum Zweck, eine genaue Zeiteinstellung zu ermöglichen, ein Drehmomentkompensator zwischengeschaltet, das ist ein kleiner Transformator, der bei ansteigendem Strom magnetisch rasch gesättigt ist. Die Erfahrung zeigte auch, dass bei hohem Strom ein Vibrieren der Relaiskontakte und damit ein unsicherer Kontaktschluss eintrat. Zur Vermeidung dieses Uebelstandes wurde ein magnetomotorisch betätigter Hülfschalter benützt, der in seiner Anordnung viel Aehnlichkeit besitzt mit dem Rückstrom-Relais der Maschinenfabrik Oerlikon. Der Kontakt des Wattmeter-Relais ist mit demjenigen des Strom-Relais in Serie geschaltet; bei Stromschluss wird die Wicklung des Aussenschenkels des magnetischen Hülfschalters kurzgeschlossen, sodass in gleicher Weise wie beim Oerlikon-Relais der Auslösekontakt geschlossen wird infolge Umlegens des Magnetankers.

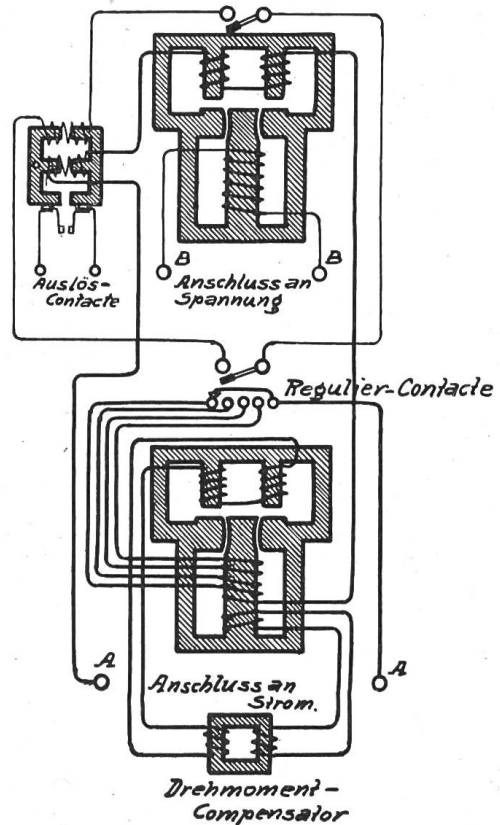


Fig. 17. Schematische Darstellung des Rückstrom-Relais der Westinghouse El. & Mfg. Co.

Der Unterschied zwischen den beiden beschriebenen Relais besteht besonders darin, dass beim Oerlikon-Relais mit dem magnetischen Hülfschalter auch die Funktion des Maximalstrom-Relais verbunden ist. Konstruktiv ist die Lösung noch dadurch vereinfacht, dass der Eisenkern des Maximal-Relais auch gleichzeitig für das Rückstromelement verwendet werden kann. Dies ist nicht etwa durch die Verwendung einer Drehspule als Rückstrom-Element bedingt; bei annähernd derselben magnetischen Anordnung kann auch statt des dynamometrischen Messgerätes das Prinzip des Induktionswattmeters verwendet werden.

Ueber den Anschluss der Spannungsspulen von Rückstrom-Relais.

Wird die Spannungsspule an die Phasenspannung, also phasengleich mit dem Strom der Stromspule angeschlossen, so sinkt der die Drehspule durchfliessende Strom bei einem Kurzschluss in der selben Phase wie die Spannung der kurzgeschlossenen Phase. Bei Anschluss an die Dreiecksspannung, die der Phasenspannung um 30° voreilt, besteht bei Kurzschluss die Möglichkeit einer Verschiebung zwischen Strom und Spannung im Relais von mehr als 90° , d. h. in diesem Fall könnte das Relais ansprechen auf Energiefluss in normaler Richtung, da eine Phasenverschiebung von mehr als 90° einem Rückstrom gleichkommt.

Zweckmässig schliesst man daher die Spannungsspule an die der Stromphase gegenüberliegende Dreiecksspannung an und korrigiert die Phase der Spannungsspule bis zur Uebereinstimmung mit der Stromspule bei dynamometrischen Wattrelais, oder genau 90° Verspätung bei Induktions-Wattrelais. (Siehe Diagramm Fig. 18.)

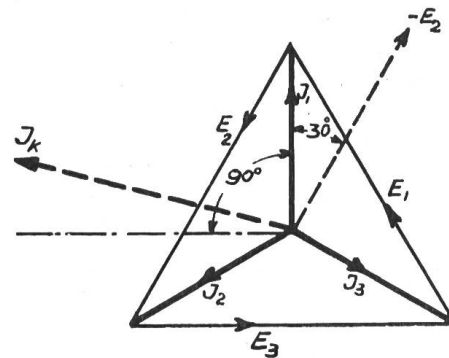


Fig. 18.

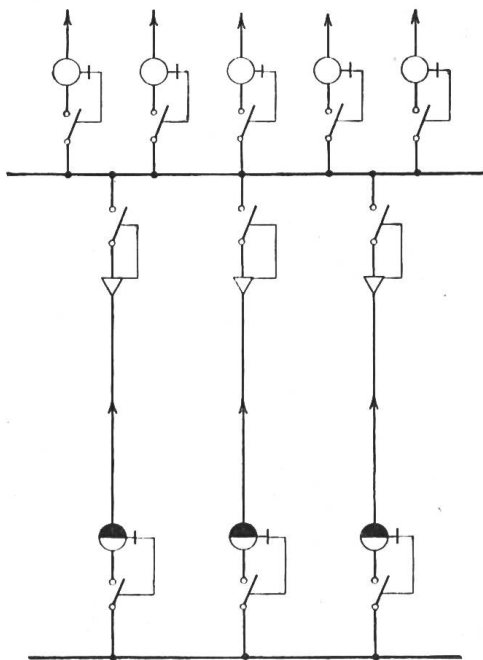


Fig. 19.

Die Verwendung der Rückfluss-Relais.

Ueber die Verwendungsmöglichkeit mit Maschinen und Transformatoren gibt der bereits erwähnte Aufsatz über Relais genügende Anhaltspunkte, teilweise auch über die Verwendung in Leitungsnetzen, wo sie für Isolierung defekter Leitungsteile für parallele und Ringleitungen hervorragende Bedeutung besitzen. Die nebenstehende Schaltung, Fig. 19, zeigt die Anwendung am Empfangsende paralleler Speiseleitungen. Eine typische Anwendung ist diejenige in Ringnetzen, wobei die Stromeinstellung auf Fehlerstrom erfolgt und wahlweise Auslösung mit Hilfe von Definitivzeit-Elementen benutzt wird. (Fig. 20.) Bemerkenswert dabei ist die Entbehrlichkeit von Hilfsauslösleitungen auf der Strecke verlegt. Ueber die Zahl der in Reihe geschalteten Zeitrelais gelten dieselben Ueberlegungen, die wir Eingangs für Maximalstrom-Relais gemacht haben. Im Falle der Parallelschaltung mehrerer Speiseleitungen können die Maximalstrom-Zeitrelais auch ersetzt werden durch Strombalance-Relais,¹⁾ die an die gleichnamigen Phasen zweier paralleler Speiseleitungen angeschlossen werden.

(Fig. 21). Die Verwendung von Strombalance-Relais stützt sich auf die Voraussetzung, dass bei einem Isolationsfehler in einen von zwei parallelen Leitern das vorher bestandene Stromgleichgewicht gestört werde und der mit dem Fehler behaftete Feeder den grösseren

¹⁾ Die beiden Spulen eines Pols des Strombalance-Relais werden an Stromwandler gleicher Phase zweier paralleler Speiseleitungen angeschlossen.

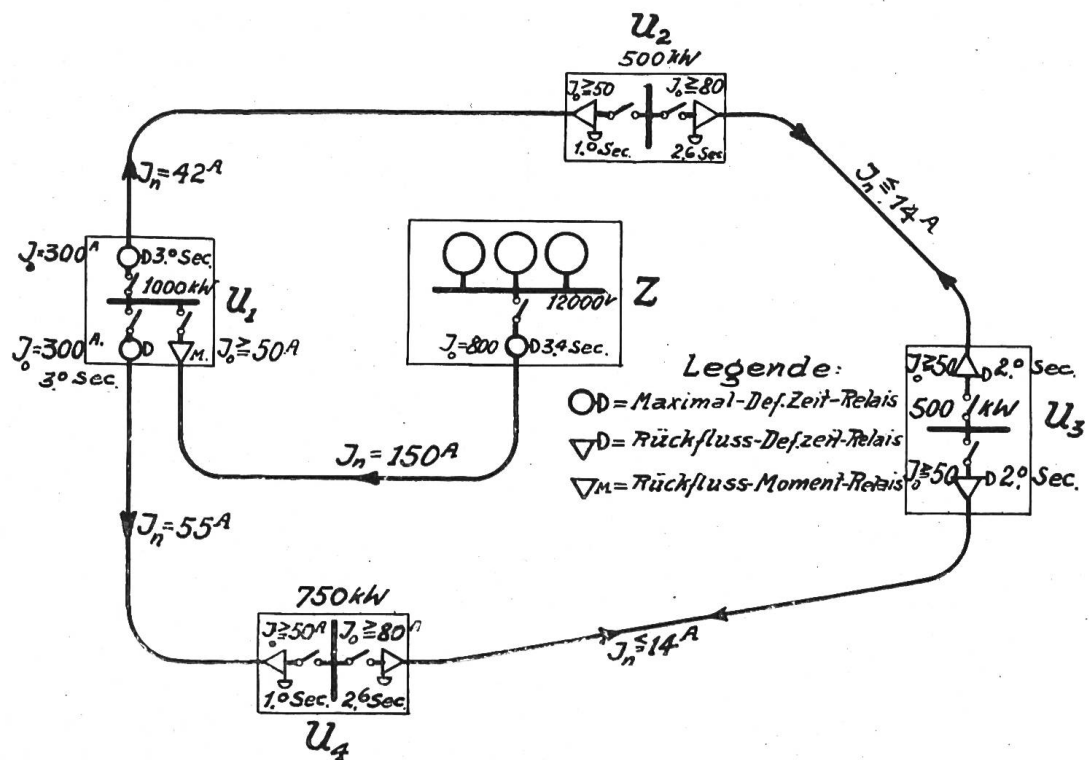


Fig. 20. Schematische Anordnung von Rückstrom-Relais mit Definitivzeit-Auslösung in Ringleitungen.

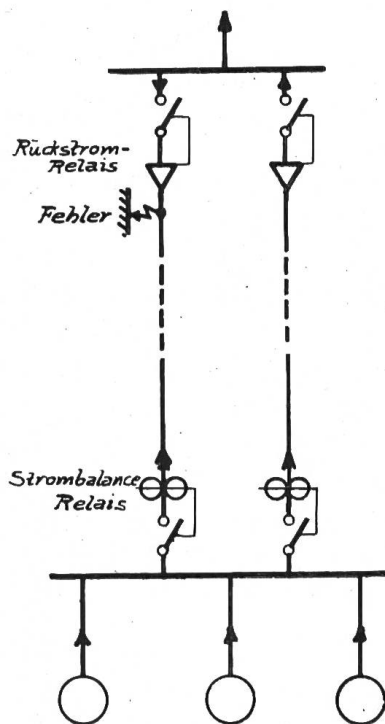


Fig. 21. Schematische Anordnung des Schutzes von Parallel-Leitern mit Rückstrom- und Stromvergleichs-Relais.

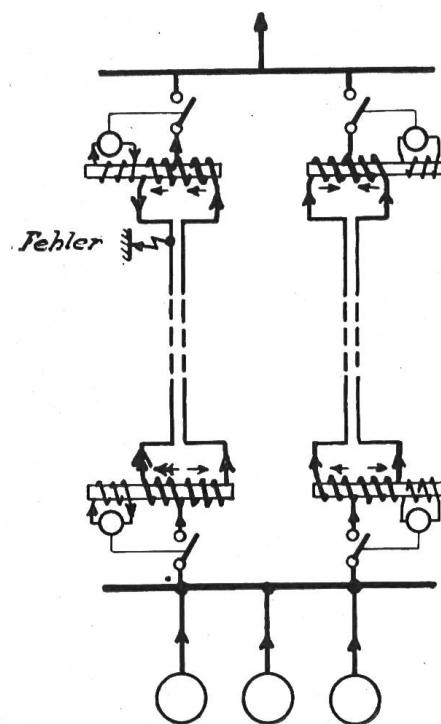


Fig. 22. Schematische Anordnung des Doppel-leiter-Schutzsystems für Parallel- und Ring-leitungen.

Strom führe (Ferranti-Waters). Diese Voraussetzung trifft am speisenden Ende der Leiter zu, solange der Isolationsfehler verhältnismässig weit vom Empfangsende der Leiter entfernt ist, was aus dem Schema Fig. 21 ohne weiteres erkenntlich ist.

Da das Stromgleichgewicht in beiden Leitern nie absolut erreicht wird, so muss dies durch einen gewissen Grad von Unempfindlichkeit in den Stromvergleichs-Relais berücksichtigt werden, wodurch die Länge der Leiterstrecke, innert welcher das Relais bei einem Isolationsfehler nicht auslöst, vergrössert wird.

Dieselben Nachteile haften auch dem kürzlich empfohlenen Doppelleiter-Schutzsystem (Fig. 22) an. (Split-conductor protective system, Wedmore: Journal of the Institution of El. Eng. London, Jan. 15th 1915.) Dabei ist es noch fraglich, ob die kommerziellen Vorteile in der Anschaffung eines Kabels, dessen Kupferquerschnitt durch eine dünne Isolierschicht in zwei Teile geteilt wird, gegenüber einem gewöhnlichen Kabel mit Hilfskabel, nennenswert sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit zweckmässig gebauten Maximalstrom-Zeitrelais, mit Rückfluss-Relais mit und ohne Zeitwerk und mit Maximal-Relais in Differenzialschaltung alle praktischen Aufgaben in Stromerzeugerstationen, Uebertragungs- und Verteilungen gelöst werden können, wenn sie auf die zum voraus schätzbaren Fehlerströme richtig eingestellt werden.

Stromverbraucher, d. h. Apparate, die elektrische Energie in eine andere Energieform (kinetische Energie oder Wärme) umsetzen, sollten ausnahmslos mit Invertzeit- oder momentan wirkenden Maximalstrom-Relais auf Ueberlaststrom eingestellt geschützt werden.

Generatoren, die dauernd durch Wärterpersonal überwacht sind, sind nur gegen Wicklungsdefekte zu schützen, entweder mittels Rückfluss-Relais oder Differentialstrom-Relais. Ueberlastung sollte durch ein Maximalstrom-Relais, das ein Alarmsignal betätigt, angezeigt werden. Um Störungen durch falsches Parallelschalten zu vermeiden, ist es bei Anwendung von Differenzial-Relais empfehlenswert, das gleichzeitig angewendete Maximalstrom-Signalrelais während des Parallelschaltens direkt auf die Schalterauslösung wirken zu lassen. Da dieses Maximalstrom-Relais das einzige ist, das in Verbindung mit den übrigen Generatoren auszulösen vermag, so wird bei falschem Parallelschalten nur die neu zugeschaltete Maschine wieder ausgeschaltet.

Für *Transformatoren* können Maximalstrom-Relais völlig entbehrt werden zu Gunsten von Differentialstrom-Relais ohne Zeitwerk. Die Einstellung auf einen Fehlerstrom von 20 – 25 % des Normalstromwertes gibt weitaus besseren Schutz als der mit Maximalstrom-Relais erreichbare. Empfehlenswert ist daneben ein Temperatur-Relais mit Alarmsignal.

Für *Leitungen jeder Art* ist Differenzialstromschutz am vollständigsten, bedingt aber Hilfsleitungen. Ohne Hilfsleitungen können *Radial-Felder* mit wahlweise wirkenden Maximalstrom-Definitivzeit-Relais, *Parallel-Felder* mit Maximalstrom-Definitivzeit-Wahlrelais oder Stromvergleichs-Relais ohne Zeitwerk am Speiseende, und Rückfluss-Relais am Empfangsende geschützt werden.

Ringleitungen sind mittels Differenzialstrom-Relais oder wahlweise wirkenden Maximalstrom-Definitivzeit-Relais und wahlweise wirkenden Rückfluss-Definitivzeit-Relais auszurüsten.

Alle wahlweise wirkenden Zeitrelais sind auf Auslösströme einzustellen, die mit genügender Sicherheit überhalb den vorkommenden Ueberlastströmen liegen. Die Zeiteinstellung muss mit einer absoluten Genauigkeit von $\frac{2}{5}$ Sekunden innerhalb minimal einer halben und maximal vier Sekunden geschehen können, was zweifellos am sichersten mittels Definitivzeitwerk erreicht werden kann.