

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 4 (1913)
Heft: 9

Artikel: Relais zum Schutz elektrischer Anlagen
Autor: Heusser, Emil
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056796>

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: 28.12.2025

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 - Telephon 9571
Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und
Inserate sind zu richten an den
Verlag: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei
A.-G., Zürich
Bahnhofstrasse 61, Zürich I (Telephon 6741)

Est 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“.

Toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ sont à adresser 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 insertions sont à adresser à
l'éditeur: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei
S.-A., Zurich
Bahnhofstrasse 61, Zurich I (Téléphone 6741)

IV. Jahrgang
IV^e Année

Bulletin No. 9

September
Septembre 1913

Relais zum Schutz elektrischer Anlagen.

Von *Emil Heusser*, Ingenieur der Maschinenfabrik Oerlikon.

Relais treten in elektrischen Anlagen grösseren Umfangs an die Stelle der Schmelzsicherung und haben wie diese den Zweck, Maschinen und Apparate vor Ueberlastung und vor Störungen durch fehlerhafte Teile der Anlage zu schützen.

Wo geeignete Aufsicht und zuverlässige Bedienung erwartet werden kann, tritt der Schutz vor reiner Ueberlastung z. B. durch übermässige Strom- d. h. Energieentnahme mehr und mehr zurück gegen die Bedingung ungestörten, d. h. ununterbrochenen Betriebs und die automatische Isolierung fehlerhafter Anlageteile wird zur Hauptaufgabe dieser Art Schutzapparate.

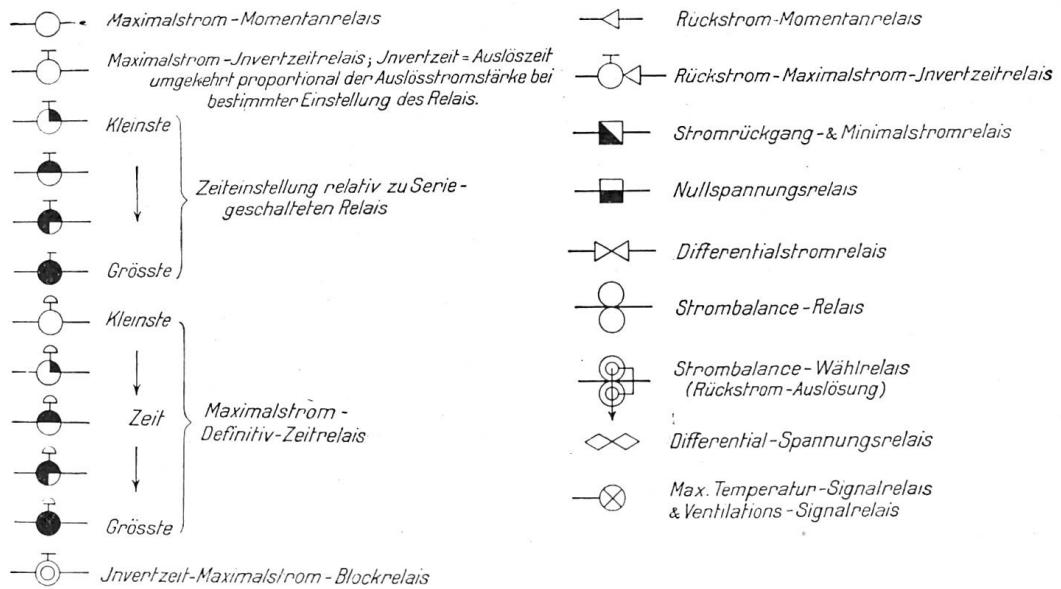
Die Schutzmittel werden daher in grossen Zentralen oft von denjenigen kleiner Verbraucheranlagen verschieden sein; immerhin soll auch in diesen Anlagen die den Relais zugemutete Schutzwirkung hauptsächlich auf die Isolierung der *nicht* willkürlichen Fehler gerichtet bleiben, unsachgemässer Behandlung und absichtlicher Ueberlastung von Maschinen und Apparaten muss man in der Regel mit andern Mitteln begegnen, die wir ausserhalb des Rahmens der vorliegenden Aufgabe stellen.

Zur Vereinfachung der Darstellung der im folgenden erläuterten Schemata wählen wir für die verschiedenen Relais-Typen rein willkürliche Symbole, nach umst. Tabelle. Die Symbole sind ohne Rücksicht darauf gewählt, ob die Relais vom kontrollierten Stromkreis direkt gespeist werden (Primärrelais), oder ob sie mit Strom- und Spannungswandlern verbunden sind (Sekundärrelais).

1. Relais für Generatoren.

Am einfachsten sind die Verhältnisse, wo Generator und Verbraucher eine Einheit bilden. Dieser Fall tritt in elektro-chemischen Anlagen verhältnismässig häufig auf, und es genügt dann als einziges Schutzrelais in der Anlage ein Maximalstromrelais in der Zuleitung von Generator zu Verbraucher, das meist als Invert-Zeitrelais gebaut ist, und direkt auf den Hauptschalter wirkt. Fig. 1.

Tabelle.



Oft empfiehlt es sich, statt des Generatorschalters nur die Erregung zu unterbrechen, und das im Hauptstrom eingebaute Relais auf einen automatischen Erregerstrom-Ausschalter wirken zu lassen. Fig. 2 und 3.

Bei Generatoren, die mit einer Acc.-Batterie parallel arbeiten und gleichzeitig zum Laden dienen, wird in die Ladeleitung meist ein Minimal- oder Nullstromrelais eingebaut. Fig. 4 und 5.

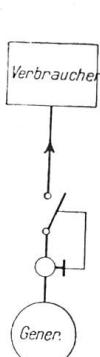


Fig. 1.

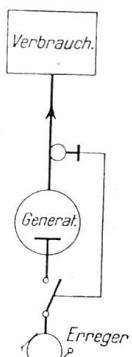


Fig. 2.

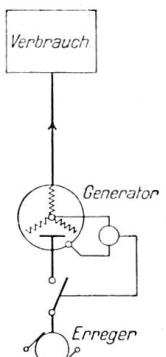


Fig. 3.

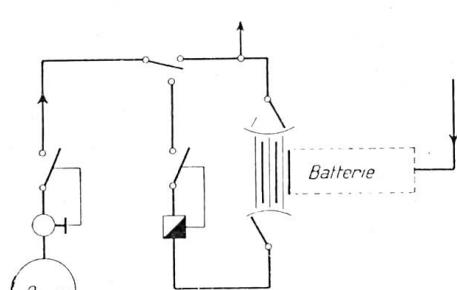


Fig. 4.

Arbeiten mehrere Generatoren parallel auf ein Sammelschienen-System von dem anderseits die Verteilleitungen zu den Verbrauchsstellen abzweigen, so sollen die Generatoren durch Ueberlast und nebensächliche Kurzschlüsse in den Verteilleitungen nicht ausser Betrieb gesetzt werden, ein Ausschalten einer Generator-Einheit würde in solchen Fällen leicht eine Ueberlastung der übrigen Generatoren verursachen, eventuell die Ausschaltung aller Generatoren veranlassen, und so zu einer eigentlichen Störung führen. Die automatische Ausserbetriebsetzung muss beschränkt werden auf Störungen im Generator selbst z. B. Wicklungsdefekte, Körperschluss oder fehlerhafte Schaltmanipulationen, wie falsches Parallelschalten, Einschalten mit unerregtem Magnetfeld und ausnahmsweise auf besonders hohe Ueberlastung, z. B. wenn andere, in Serie geschaltete Ausschalter bei Unterbrechung eines Kurzschlusses versagen. In allen den Fällen, wo ein Defekt am Generator selbst die automatische Ausschaltung bedingt, fliesst Strom aus den Sammelschienen in den Generator zurück, ein auf Rückstrom reagierendes Relais kann somit die Ausschaltung des fehlerhaften Generators veranlassen. Dieses Relais kann so konstruiert sein, dass es gleichzeitig

als Maximalstrom-Zeitrelais wirkt, wobei allerdings die Einstellung für Maximalstrom von der Rückstromeinstellung abhängig ist und umgekehrt. Derartige Relais sind bei Wechselstrom von Spannung, Strom und Phasenverschiebung abhängig und funktionieren mit beschleunigter Auslösung bei Kurzschluss, d. h. bei Verschwinden der Spannung und grosser Phasenverschiebung. Fig. 6.

Für Generatoren, die auf grosse Kraftverteilanlagen mit mehreren seriegeschalteten Relais arbeiten, muss jedoch auf diese kombinierten Relais mit Invert-Zeitcharakteristik wegen der Abstimmung der Auslösezeit mit andern Maximalstromrelais verzichtet werden. An deren Stelle treten dann reine Rückstromrelais, die nicht auf Maximalstrom reagieren und kein Zeitelement besitzen. Sie werden nur auf Fehlerstrom eingestellt (ca. 25 – 30 % Rückstrom), sodass eventuelle Stromstöße, wie sie beim ungenauen Parallelschalten vorkommen, das Relais noch nicht zum Ansprechen bringen. Wird auf den Schutz vor Ueberlast nicht verzichtet, so empfiehlt sich die zusätzliche Verwendung von Maximalstromrelais mit definitiver Zeiteinstellung (Fig. 7). Auf die Charakteristik der erwähnten Relais ist noch zurückzukommen.

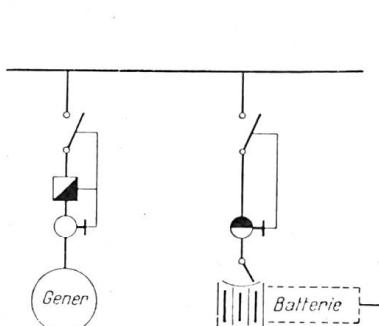


Fig. 5.

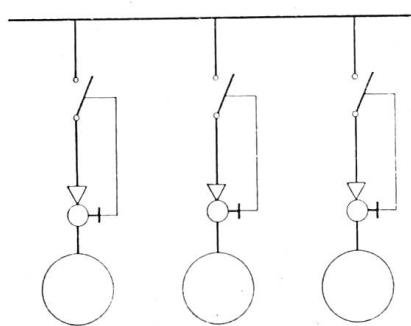


Fig. 6.

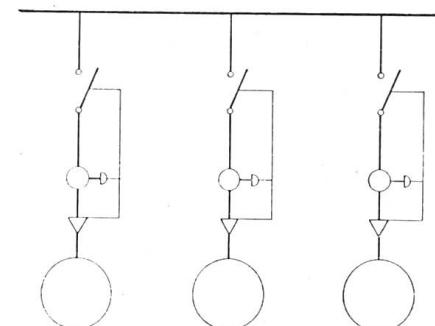


Fig. 7.

Die Kritik der Schemata für Generatorrelais lässt uns die interessante Beobachtung machen, dass bei einzeln arbeitenden Generatoren Defekte in den Wicklungen, und bei Kommutatormaschinen Ueberschlag zwischen den Bürsten etc. die ausserhalb der Maschinen eingebauten Maximalstromrelais nicht zum ansprechen bringen und die Maschinen gegen eine zunehmende Zerstörung durch den Lichtbogen an der Fehlerstelle nicht geschützt sind.

Bei parallel arbeitenden Generatoren wird der Fehler sofort durch das Relais angezeigt und der fehlerhafte Generator von den Sammelschienen abgetrennt, solange aber die Erregung nicht ebenfalls unterbrochen und der Antriebsmotor abgestellt wird, kann auch trotz der Abschaltung des Generators die Zerstörung im Generator ungehemmt ihren Fortgang nehmen.

Die Gefahr plötzlich auftretender Leitungskurzschlüsse oder anderer Leitungsfehler ist für moderne Wicklungen, namentlich wo sie in geschlossenen Nuten im Eisen liegen und sorgfältig mit Micanit isoliert sind, klein; sie ist aber nicht zu vernachlässigen in den meist weniger gut isolierten frei tragenden Wickelköpfen, die durch heftige Kurzschlussströme mit grosser Kraft deformiert werden können. Ausserdem sind besonders die Wicklungsenden oft sehr gefährlichen Ueberspannungen ausgesetzt infolge von Schaltmanipulationen.

Um in diesen Fällen ein weiteres Umsichgreifen der Zerstörung zu verhindern, empfiehlt es sich, durch den auslösenden Generatorschalter gleichzeitig die Erregung zu unterbrechen und eventuell den Antriebsmotor abzustellen. Dieses letztere dürfte bei einzelnen Arten von Antriebsmotoren, z. B. solchen, die mit elektrischen Tourenverstellvorrichtungen versehen sind, keine besonderen Schwierigkeiten bieten. Bei dieser Gelegenheit soll erwähnt werden, dass auch der umgekehrte Fall eintreten kann und die Abtrennung des elektrischen Generators vom Netz verlangt wird, wenn die Energielieferung des mechanischen Motors unterbrochen wird, z. B. bei Turbinen mit Oeldruckschmierung, die eine Vorrichtung zur Unterbrechung der Dampf- bzw. Wasserzufuhr besitzen, wenn die Druckschmierung versagt. Unter diesen Umständen ist es nötig, dass dasselbe Organ, das die Unterbrechung des

mechanischen Energieflusses veranlasst, auch die Abschaltung des Generators von den Sammelschienen besorgt, weil dieser sonst seine Rolle als Generator mit derjenigen eines Synchronmotors vertauschen und die Turbine trotz mangelnder Druckschmierung in gleicher Rotationsgeschwindigkeit erhalten würde. Derartige Vorrichtungen lassen sich durch Anbringung von Auslösekontakten am mechanischen Abstellorgan der Turbine sehr einfach und ohne grosse Kosten lösen, während eine Lösung auf rein elektrischem Wege durch Spezialrelais nicht nur komplizierter und teurer, sondern meist auch noch unsicher ist.

Bei automatischer Spannungsregulierung kann durch das Maximalstromrelais in Fällen von Leitungskurzschlüssen der Spannungsregler in passender Weise so beeinflusst werden, dass die Spannung erniedrigt und der Kurzschluss-Strom begrenzt wird.

2. Rotierende Umformer.

- a) Direkte Synchron-Umformer
- b) Umkehrbare Synchron-Umformer
- c) Asynchron-Umformer

Einanker-Umformer und Motor-Generatoren.

a) *Synchron-Umformer*, die zur Umformung vom Wechselstrom, bezw. Drehstrom in Gleichstrom bestimmt sind, eventuell auf der Gleichstromseite mit Akkumulatorenbatterien parallel arbeiten, können vollkommen geschützt werden durch Maximalstrom-Invertzeitrelais auf der Drehstromseite und reine Rückstromrelais auf der Gleichstromseite. Fig. 8.

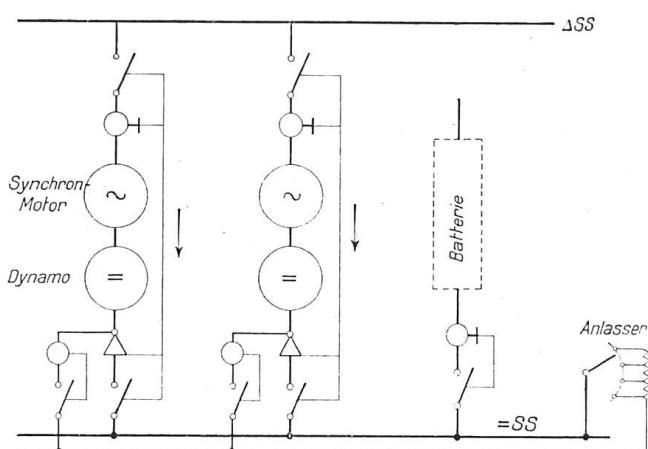


Fig. 8.

zeitrelais, eventuell ein momentan wirkendes Maximalstromrelais je nach der Art des Schutzes in den abgehenden Gleichstromleitungen.

b) *Umkehr-Synchronumformer*, die in Verbindung mit einer Batterie zur Wechselstrom-Pufferung verwendet werden, z. B. in Betrieben mit grossen momentanen Belastungsänderungen, Walzwerken etc. können selbstverständlich nicht mit Rückstromrelais ausgerüstet sein; ebensowenig kann ein auf Minimalstrom oder Nullspannung reagierendes Relais Verwendung finden, da der Strom von einem positiven bis zu einem negativen Maximum jeden Wert annehmen kann und die Spannung weder auf der Wechselstrom- noch auf der Gleichstromseite verschwindet.

Der einzige vorkommende extreme Wert ist derjenige des Maximalstroms in beiden Richtungen. Dieser Umstand ist deshalb wichtig, weil er die Abschaltung des Synchronmotors vom Netz, im Falle Ausbleibens der Stromlieferung von der Belastung abhängig macht, die der Umformer an die eigene Anlage abgeben kann. Ist diese Belastung unbedingt so gross, dass Maximalstromrelais zum ansprechen kommen, so kann der Umformer durch ein Maximalrelais in der Gleichstromzuleitung, das beide Schalter des Umformers auslöst, abgeschaltet werden. Dadurch wird auch das Drehstromnetz der Anlage bei Unterbruch der Primärstromzuführung spannungslos, und der Schalter der ankommenen Drehstromlinie kann durch ein Nullspannungsrelais ausgelöst werden. Verschwindet die Belastung

Die Auslösestromkreise der beiden Relais sind parallel zu schalten, sodass jedes derselben gleichzeitig den Primär- wie den Sekundärschalter auslöst. Damit bei Ausbleiben der Spannung auf der Wechselstromseite die Gruppe nicht am Wechselstromnetz angeschlossen bleibt, und diese Stromquelle nachher nicht willkürlich wieder auf den ausser Phase geratenen Synchronmotor geschaltet werden kann, ist es nötig, das Rückstromrelais auf der Sekundärseite so einzurüsten, dass es bei einem Rückstrom entsprechend dem Leerlaufstrom des Umformers ausschaltet. Die Batterie enthält vorteilhaft ein Maximalstrom-Invert-

der eigenen Anlage jedoch ebenfalls zeitweise, so muss die ankommende Speiseleitung je nach den speziellen Verhältnissen durch Nullstrom- oder Rückstromrelais unterbrochen werden, um die Anlage vor dem Wiederanschluss des Speisenetzes ausser Synchronismus mit dem Synchronumformer zu schützen. Schema Fig. 9 zeigt eine derartige Anlage.

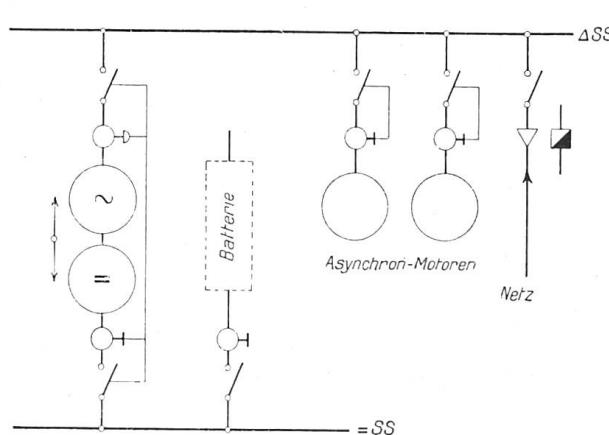


Fig. 9.

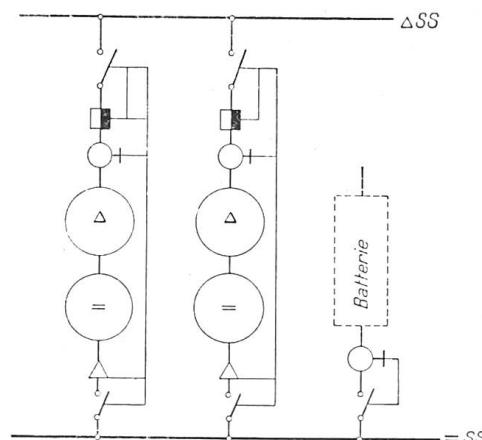


Fig. 10.

c) *Asynchron-Umformer* sind in der Regel bestimmt, Energie nur in einer Richtung abzugeben. Die Anordnung der Schutzrelais kann somit grundsätzlich dieselbe sein wie bei direkten Synchron-Umformern. Zum Unterschied vom Synchronmotor gibt jedoch der Asynchronmotor bei Ausbleiben der Stromzuführung keine Spannung mehr, was die Anwendung von Nullspannungsrelais gestattet um die Gruppe in diesem Fall sofort vom Drehstromnetz abzutrennen. Die Aufgabe des Gleichstrom-Rückstromrelais wird dadurch reduziert auf die Abschaltung der Gruppe im Falle eines Wicklungsdefektes, oder Ueberschlag an den Bürsten der Dynamo (Rundfeuer). Die Einstellung dieses Relais kann deshalb weit aus weniger empfindlich sein als bei Synchronumformern, zweckmässig auf ca. 30 bis 50 % Rückstrom. Der Auslösestromkreis des Nullspannungsrelais kann mit den übrigen Relais gekuppelt sein, oder unabhängig nur auf den Schalter des Asynchronmotors wirken. Fig. 10.

3. Motoren für Kraftbetriebe.

Bei Motoren ist in erster Linie zu unterscheiden zwischen solchen, die ohne besondere Anlassvorrichtung direkt an die Anlage angeschlossen werden und solchen mit Anlassvorrichtungen.

Die ersten sind vornehmlich Induktionsmotoren mit Kurzschlussanker, meist geringer Leistung, und etwa Gleichstrommotoren, ebenfalls kleiner Leistung. In neuerer Zeit werden allerdings auch Gleichstrommotoren mit Kompoundwicklungen für Leistungen bis 100 PS für direktes Einschalten an die volle Spannung gebaut. Diese Motoren sind nur für Ueberstrom zu schützen. Dazu eignen sich Maximalstrom-Invertzeitrelais, die besonders für die oft beträchtlichen 5- bis 8fachen Anlaufstromstöße gebaut sein müssen, Fig. 11, oder kompoundierte Maximalstromrelais, die bei stark phasenverschobenen Strömen, wie sie beim Anlassen vorkommen, auf höhere Stromwerte ansprechen als bei normalem Betrieb mit Strömen kleinerer Phasenverschiebung gegenüber der Spannung.

Fig. 11.

Motoren mit Anlassvorrichtungen sollten unter allen Umständen mit Relais für Nullspannungsauslösung versehen sein, damit sie im Falle Stromunterbruchs sofort vom Netz abgetrennt werden und die Wicklungen vor den oft beträchtlichen Anlaufstromstößen, die durch die stillstehenden kurzgeschlossenen Anker verursacht werden, geschützt sind. Dazu wird noch der übliche Maximalstromschutz eingebaut, in Form eines momentan oder träge wirkenden Maximalstromrelais. Fig. 12, 13.

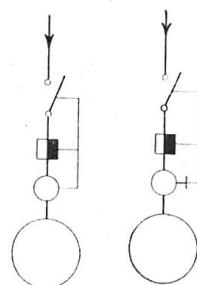


Fig. 12. Fig. 13.

Fig. 12. Fig. 13.

Zu dieser Gruppe gehören selbstverständlich auch Asynchronmotoren mit kurzgeschlossenem Anker und Anlasstransformer, Stern-Dreieckumschalter und ähnliche.

4. Transformatoren.

Für Wicklungen von Generatoren und Motoren, die in den weitaus meisten Fällen an Betriebsspannungen unter oder bis 6000 Volt bei kleinen und mittelgrossen Einheiten, und von höchstens 12 000 bis 15 000 Volt bei mittleren und grösseren Maschineneinheiten, angeschlossen sind, bilden Kurzschlussströme meist die wichtigste Gefahrquelle.

Bei Transformatoren, die in der Regel mit den, atmosphärischen Einflüssen unterworfenen Freileitungen oder Kabelnetzen von nicht zu vernachlässigender Kapazität unmittelbar verbunden sind, kommen Gefährdungen durch abnorme Spannungen und abnorme Frequenz als weiteres Moment in Betracht.

Gegen diese Erscheinungen, die man mit dem Sammelnamen Ueberspannungen bezeichnet, beabsichtigt man sich in der Regel nicht durch Relais, wie sie diesen Betrachtungen zu Grunde liegen, zu schützen, sondern durch sog. Ueberspannungsschutzapparate. Der Zusammenhang mit dieser Gefahrquelle, die eine durch die Zerstörung von Isolationen vermehrte Kurzschlussgefahr zur Folge hat, muss aber berücksichtigt werden, und zwar um so eher, je mehr die rein betriebsmässige Stromüberlastung in den Hintergrund tritt. Es ist ferner zu beachten, dass insbesonders bei sehr hohen Spannungen durch Schaltungen im Hochspannungskreis Ueberspannungen in Form von Wanderwellen erzeugt werden, die für die gesamte Anlage gefährlich sind. Die Vorsicht gebietet daher, in Stromkreisen mit sehr hohen Spannungen Schaltmanipulationen, die eine Neujustierung des elektrischen Gleichgewichts bedingen, auf das äusserste Minimum zu beschränken. Wo sich nicht vermeiden lässt, unerregte Transformer an die volle Betriebsspannung anzuschalten, sollte dies im Niederspannungsstromkreis geschehen, und zur Vermeidung von übermässig hohen Magnetisierungsstromstössen über Schalter mit sogen. Stufenwiderständen.

Baut man Uebertragungsleitungen und Transformer bezüglich Isolation mit einem hohen Sicherheitsgrade unter Anwendung der nötigen Vorsichtsmassregeln, namentlich zur Vermeidung sogen. interner Ueberspannungen und sucht man die dadurch verursachten höheren Anlagekosten in der Vereinfachung der Schaltungsdispositionen durch Verzicht auf einige Schaltungsmöglichkeiten in „theoretisch denkbaren“ Störungsfällen auszugleichen, so dürfte damit eine hohe Betriebssicherheit am zuverlässigsten erreicht werden. Bei Transformatoren muss es daher als ausreichend erachtet werden, Schutzrelais nur für Wicklungsdefekte vorzusehen.

Es ist selbstverständlich, dass die Abschaltung sowohl primär als sekundär erfolgen muss, wenn einzeln installierte Transformer in ein Ring-Verbrauchernetz speisen, wie auch, wenn mehrere Transformer beidseitig parallel geschaltet sind. Die nebenstehenden Schemata erklären sich selbst. Schema 14 gibt eine Anordnung mit einem Maximalstrom-Invertzeitrelais auf der Primärseite eingebaut. Schema 15 zeigt eine Anlage mit Differentialstromrelais. In Drehstromanlagen ist Rücksicht zu nehmen auf die Schaltung der Transformatorenwicklungen primär und sekundär, da die Schaltung der für das Differentialstromrelais benutzten Stromwandler damit übereinstimmen muss.

Für *Oeltransformatoren mit natürlicher Kühlung* empfiehlt sich der Einbau eines Temperaturrelais in die oberste Oelschicht, zur Signalisierung abnormer Temperatur. Fig. 16.

Oeltransformatoren mit Wasserkühlung und Transformatoren mit künstlicher Luftkühlung müssen mit Signalrelais versehen werden, die ein Versagen des Wasser- oder Kühlluftzuflusses sofort melden. In überwachten Transformatörstationen wird man sich mit der Signalisierung begnügen, in nicht überwachten dagegen diese Relais auf die automatische Auslösung der Schalter wirken lassen. Fig. 15.

Fig. 17 vereinigt die Maximalstrom-Zeitauslösung mit sofortiger Auslösung bei Wicklungsdefekt ohne Verwendung von Differentialstromrelais für Transformatoren mit einseitigem Energiefluss, und zeigt die Anwendung von Ventilations-Signalrelais. Fig. 18 vereinigt momentane Fehlerstrom-Auslösung mit definitiver Zeitauslösung bei Maximalstrom für Trans-

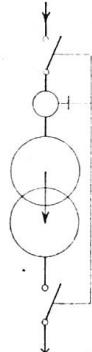


Fig. 14.

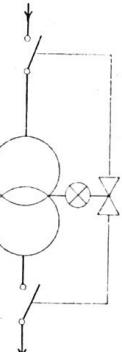


Fig. 15.

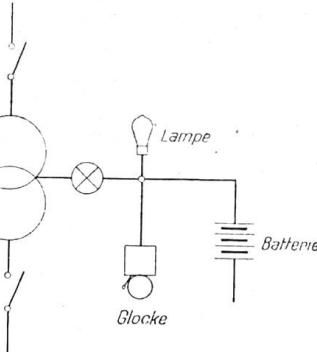


Fig. 16.

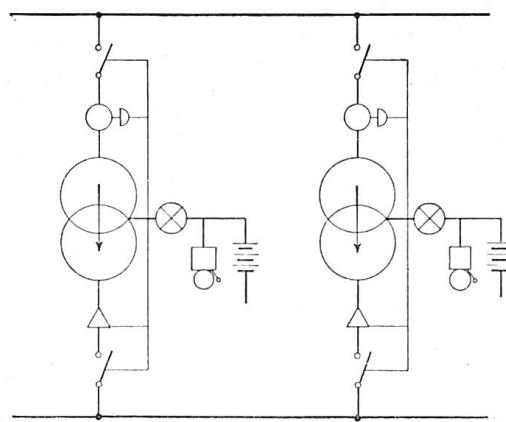


Fig. 17.

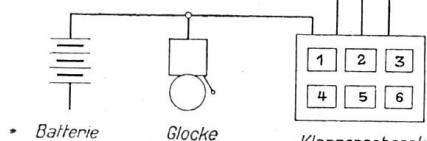
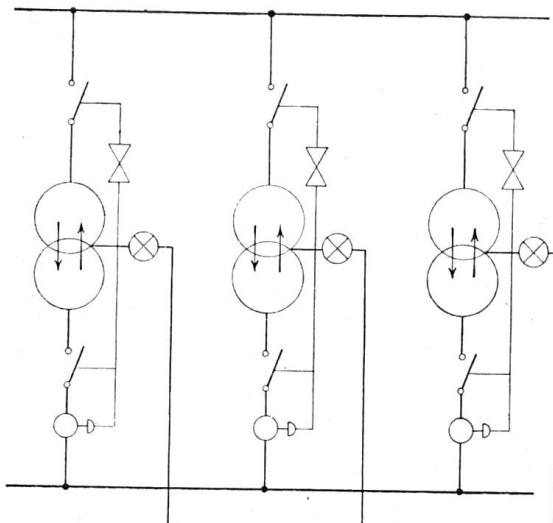


Fig. 18.

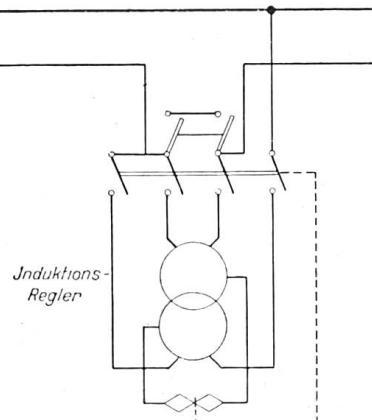


Fig. 19.

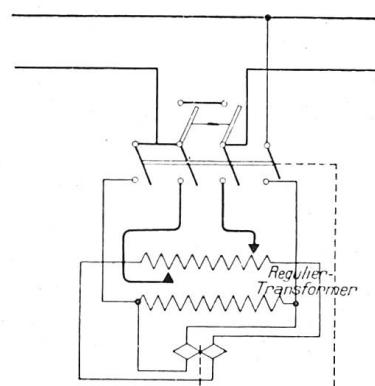


Fig. 20.

formatoren, die nach beiden Richtungen abwechselnd Energie abgeben können, z. B. Transformatoren zur Verbindung und gegenseitigen Unterstützung zweier Stromquellen mit ungleicher Spannung.

Serie-Reguliertransformatoren und Induktionsregler sollen ihrer Eigenart wegen kurz berührt werden. Für unsere Betrachtungen liegt das charakteristische an ihrer Abhängigkeit von anderen Apparaten desselben Stromkreises. Soll der Stromkreis nicht unterbrochen werden beim In- und Ausserbetriebsetzen dieser Serie-geschalteten Apparate, so müssen die letzteren vor dem Ausschalten überbrückt werden, was nur dann geschehen darf, wenn die von ihnen an das Netz abgegebene E. M. K. null ist, d. h. wenn entweder die erregende Wicklung vorher ausgeschaltet wird, wie bei einem Induktionsregler, oder die Windungen der Seriewicklung abgeschaltet werden, wie bei einem Zusatztransformator. Das Ausschalten muss sodann sowohl primär wie sekundär erfolgen, um die Wicklungen spannungslos zu machen. Vor betriebsmässiger Ueberlastung sind diese Apparate nicht zu schützen,

da angenommen werden darf, dass der Stromkreis, in dem sie eingeschaltet sind, bereits geschützt ist, und bei Ueberlast sowieso der Stromkreis als solcher unterbrochen werden muss. Es kann also nur die Isolierung defekter Wicklungsteile in Frage kommen. Als Vergleichsmittel kann für Reguliertransformatoren besonders die Konstanz des Uebersetzungswertes der Spannungen der Gesamtwicklung benutzt werden, was übrigens ohne weiteres auch für Induktionsregler Anwendung finden kann.

Dieser Zweck wird erreicht durch Spannungsbalance-Relais, in jeder Phase eingebaut. (Fig. 19 und 20.) Dafür eignen sich vorteilhaft zwei elektrisch und magnetisch getrennte Ferraris-Messergeräte, deren Drehmomente gegeneinander wirken. Wo die Betriebskontinuität nicht in erste Linie gesetzt wird, kann der Induktionsregler oder Zusatztransformator als Teil des Haupttransformators oder der Speiseleitung betrachtet werden, wobei ein besonderer Schutz dieser Apparate unterlassen und in Störungsfällen der betr. Stromkreis völlig unterbrochen wird.

5. Sammel- und Verteilsysteme.

a) Sammelschienen.

In Anlagen kleiner und mittlerer Generatorkapazität ist wohl selten ein Grund vorhanden, in die Sammelschienen Schalter mit automatischer Auslösung einzubauen. Bedenkt man jedoch, dass alle von den Sammelschienen oder deren unmittelbarer Nähe abgezweigten Schalter fähig sein müssen, die ganze an den Sammelschienen verfügbare Generatorleistung im Falle eines Isolationsfehlers abschalten zu können, so werden in grossen Anlagen nicht nur die Schalter ohnehin gross und teuer, sondern es müssten oft für nebenschwache Stromverbraucher z. B. Kondensationsmotoren und interne Betriebe Ausschalter vorgesehen werden, deren Kosten in groteskem Verhältnis zu den Anlagekosten des Stromverbrauchers selbst stünden. Durch automatische Unterteilung der Sammelschienen im Falle eines Fehlers, ferner durch Zusammenfassung gleichartiger Abzweige in Gruppen, die ihrerseits durch einen Generalschalter mit den Hauptsammelschienen in Verbindung stehen, wird es möglich, die Anlagekosten für Schalter auf ein Minimum zu reduzieren.

Fig. 21/22 veranschaulicht zwei Sammelschienensysteme, die durch Sammelschienenteilschalter mit automatischer Maximalstrommomentauslösung in zwei Gruppen geteilt werden, sobald ein abnormer Strom zu einer Fehlerstelle, sei es in einem Generator, Transformer oder Feeder fliesst. Dadurch wird der Fehlerstrom in den Fällen, wo er über einen Schalter mit Zeitauslösung fliesst, vor der Abschaltung durch den Zeitschalter auf einen Bruchteil begrenzt, den der betreffende Schalter noch gefahrlos unterbrechen kann. Um die Reihenfolge der Unterbrechung absolut sicher zu stellen, können die Auslösstromkreise, oder die Relais selbst gegenseitig blockiert werden.

Fig. 23 gibt eine Anordnung für Gruppensammelschienen, die über einen Generalschalter oder Gruppenschalter mit den Hauptschienen verbunden sind und von denen kleinere Abzweige weggeführt werden, deren Schalter nur für Unterbrechung einer, dem Höchstverbrauch des Abzweigs angepassten Abschaltleistung bemessen sind. Die Schalter der Abzweige sind mit Maximalstrom-Invertzeitrelais ausgerüstet, die den Schalter bei betriebsmässigen Ueberlastströmen auslösen, die Auslösung jedoch momentan blockieren, sobald ein Fehlerstrom eintritt, der die Abschaltkapazität des Abzweigschalters übersteigt. In diesem Falle wirkt das Relais des Gruppenschalters, das ein Maximalstrom-Invertzeitrelais sein kann, und über dem Höchststromwert sämtlicher Abzweige der Gruppe eingestellt werden muss. Das Abschaltvermögen der Abzweigsschalter muss also mindestens gleich der Gesamtkapazität sämtlicher Abzweige einer Gruppe sein. In grossen Anlagen wird dies jedoch immer nur ein kleiner Bruchteil der gesamten Leistung an den Sammelschienen sein, sodass meist eine bedeutende Ersparnis durch Anordnung solcher Gruppensammelschienen erzielt wird.

b) Einfache und parallele Speiseleitungen.

In Verteilsystemen handelt es sich selten darum, wirkliche Dauer-Ueberlastungen abzuschalten, sondern fast ausschliesslich nur um die Isolierung von Fehlerstellen, Erdenschlüssen

und Kurzschlüssen, d. h. die Schutzmittel haben einzig die Aufrechterhaltung der Betriebskontinuität zum Zweck. Vom theoretischen Standpunkt aus kämen somit Zeitauslösungen nicht in Betracht, da die rascheste Isolierung der Fehlerstelle ja nur von Vorteil sein kann.

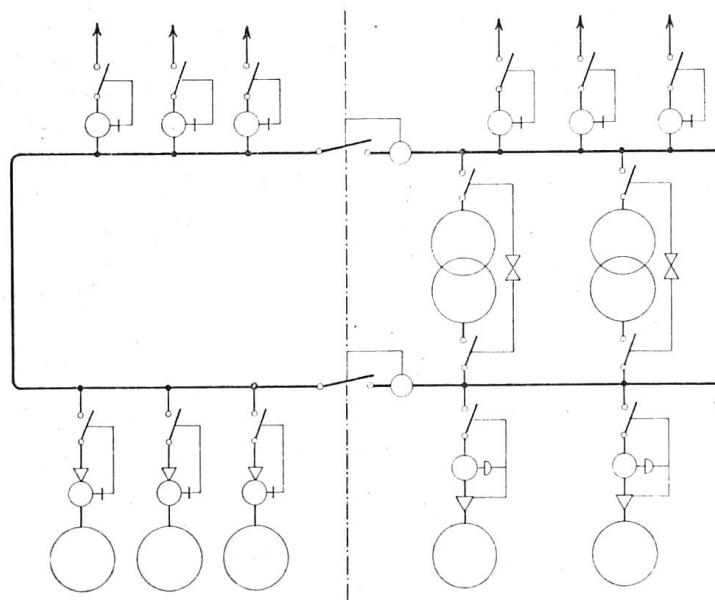


Fig. 21.

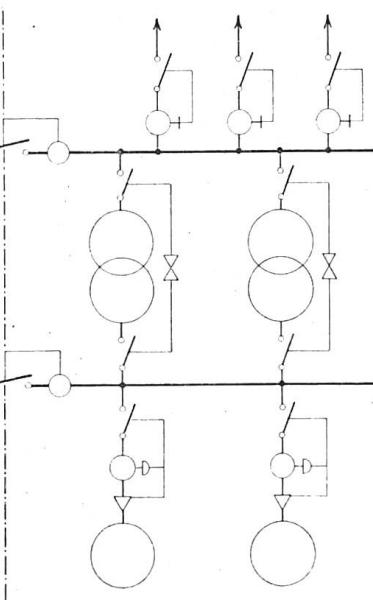


Fig. 22.

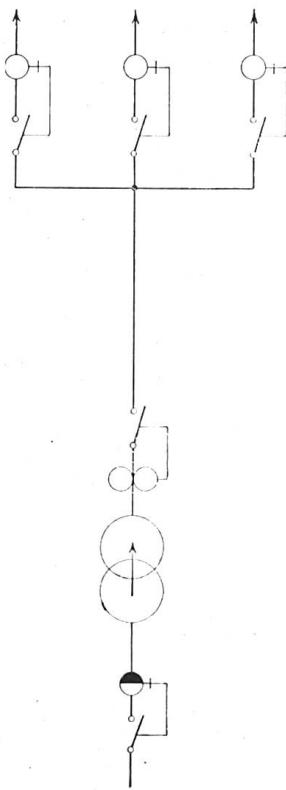


Fig. 25.

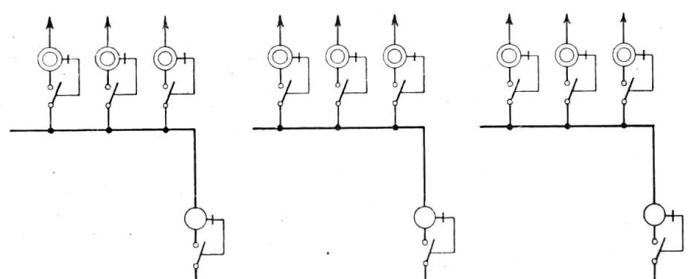


Fig. 23.

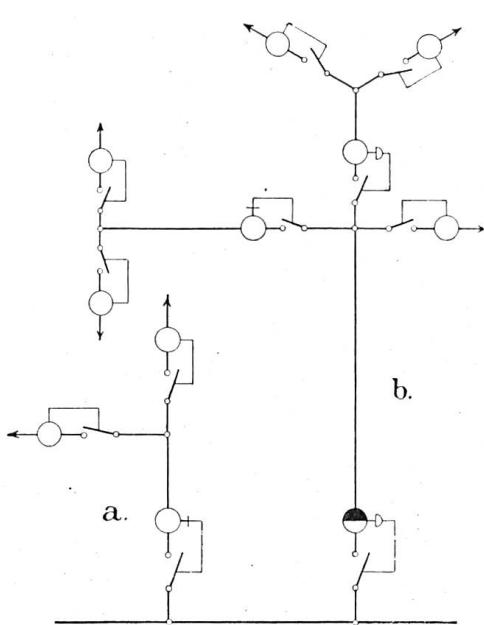


Fig. 24 a.

Fig. 24 b.

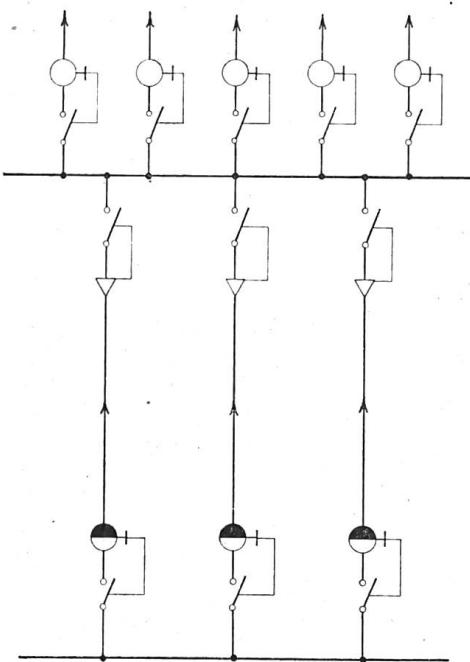


Fig. 26.

Dieser Standpunkt wird praktisch jedoch dadurch modifiziert, dass eine grosse Zahl von Fehlern nur vorübergehende Störungen verursachen, z. B. Kontakt einer Freileitung mit nassen Baumästen, Zusammenschlagen der Leitungsdrähte bei Windstürmen, Überschläge an Freileitungsisolatoren bei Gewittern etc. In diesen Fällen wird der Fehler entweder durch den Fehlerstrom (Lichtbogen) selbst behoben (ausgebrannt), oder er ist seiner Natur nach von so kurzer Dauer, dass es keinen Zweck hätte, deswegen die Stromzuführung zu unterbrechen. Man wird deshalb einen Unterschied machen zwischen Anlagen, die solchen momentanen Störungen unterworfen sind, und solchen in denen sie nicht vorkommen, d. h. zwischen Anlagen mit ausgedehnten Freileitungen und reinen Kabelanlagen. In den letzteren sind die Fehler meist derselben Natur, nämlich Isolationsfehler gegen den geerdeten Mantel und direkt zwischen den Phasen, wobei zu berücksichtigen ist, dass bei längerem Bestehen des Fehlers der Lichtbogen die Isolation der nahe beieinander gelagerten Leiter völlig zerstört, sodass ein Erdenschluss meist einen Kurzschluss zur Folge hat und umgekehrt. Eine punktierte Stelle in festem Isolationsmaterial, die infolge einer Spannungswelle hoher Amplitude irgendwo entstanden ist, wird immer eine Fehlerstelle bleiben, weil sich das Isolationsmittel nicht wie bei gasförmigen oder flüssigen Medien selbstdämmend erneuern kann. Soweit also die reine Kabelanlage, einschliesslich der Kabelmuffen in Frage kommt, ist eine sofortige Ausschaltung des defekten Anlageteils nicht nur wegen der Erhaltung des Materials wünschenswert, sondern auch der Betriebskontinuität wegen geboten. Daraus ergibt sich der wichtige Schluss, dass die ausschliessliche Verwendung von Maximalstrom-Zeitrelais für Kabelanlagen kein ideales Schutzsystem abgeben kann, während für Luftleitungen ein System selektiv wirkender Maximalstromrelais durchaus zweckmäßig erscheint, namentlich wo mehrere Relais in Serie bei verästelten Feederleitungen vorkommen. Da die Frage der Fehlerlokalisierung bei Kabelanlagen aber eine besondere, nicht unwichtige Rolle spielt und speziell bei Feederleitungen von untergeordneter Bedeutung das Legen von Hilfskabeln, wie sie z. B. der Differentialstromschutz bedingt, der Erhöhung der Anlagekosten wegen oft umgangen werden muss, so gibt es z. Z. wohl kaum ein einfacheres Schutzsystem als dasjenige der selektiv wirkenden Maximalstrom-Zeitrelais.

Die verschiedenen Anordnungen der Relais für *einfache Feederleitungen* sind in Fig. 24 a, 24 b und 25 dargestellt.

Bei Anlage mehrerer paralleler Feeder z. B. von der Zentrale aus nach einzelnen Unterstationen macht man mit Vorteil von den nur auf Rückstrom reagierenden Momentrelais Gebrauch. Sie werden am Empfangsende eingebaut, während das speisende Ende Maximalstrom-Invertzeitrelais erhält. Fig. 26 und 27.

Die verschiedenen in Serie geschalteten Relais sind zeitlich so einzustellen, dass in der Auslösezeit zwischen benachbarten Relais ein Unterschied von mindestens einer Sekunde und nicht über zwei Sekunden entsteht.

Wo nur zwei parallele Leitungen zusammengeführt werden, können statt der Rückstromrelais am Empfangsende Strombalance-Wählrelais benutzt werden, die je nach Umständen momentan auslösend, oder mit träger Auslösung gebaut sein können (Fig. 28). Diese Auslöseart lässt sich analog wie diejenige mit Rückstromrelais nach Fig. 27 mehrere Male in Serie anwenden, vorausgesetzt, dass die zugehörigen Maximalstrom-Zeitrelais entsprechend abgestimmt werden.

6. Verbindungsleitungen zwischen Zentralen und Ringnetze.

Eine besondere Klasse von Leitungssystemen bilden die Ringnetze. Sie sind charakterisiert dadurch, dass der Energiefluss keine definitive Richtung besitzt, sondern je nach der Belastung wechselt. Das schliesst die Verwendung von Relais die auf Stromrichtung reagieren aus. Wird ein geschlossener Ring nur an einem Punkte gespiesen, so bietet sich die Möglichkeit, zur Lokalisierung des Fehlers den Ring an beliebiger Stelle aufzuschneiden, und die beiden Zweige wie einfache Leitungen zu behandeln. Eine automatisch wirkende, darauf basierende Einrichtung zur Isolierung fehlerhafter Teilstücke in Ringleitungen ist der Maschinenfabrik Oerlikon geschützt und im D. R. P. No. 261034 beschrieben (Fig. 29).

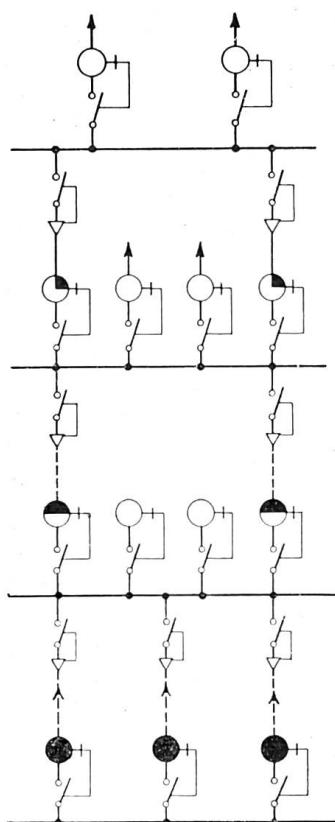


Fig. 27.

Bei Auftreten eines Kurzschlussstromes wird der Ring z. B. in der Unterstation 3 durch ein Momentan-Maximalrelais aufgeschnitten, wodurch der gesunde Sektor des Ringes vom Fehler isoliert ist. Im fehlerhaften Sektor wird dasjenige Maximalstrom-Zeitrelais auslösen, das der Fehlerstelle vom Speisepunkt aus am nächsten ist. Durch eine Hülf-

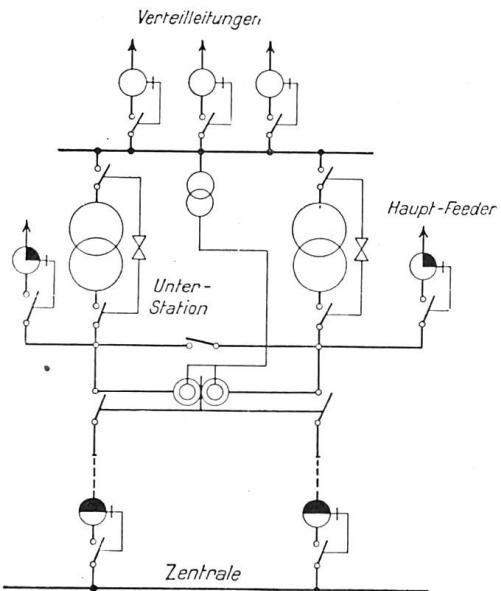


Fig. 28.

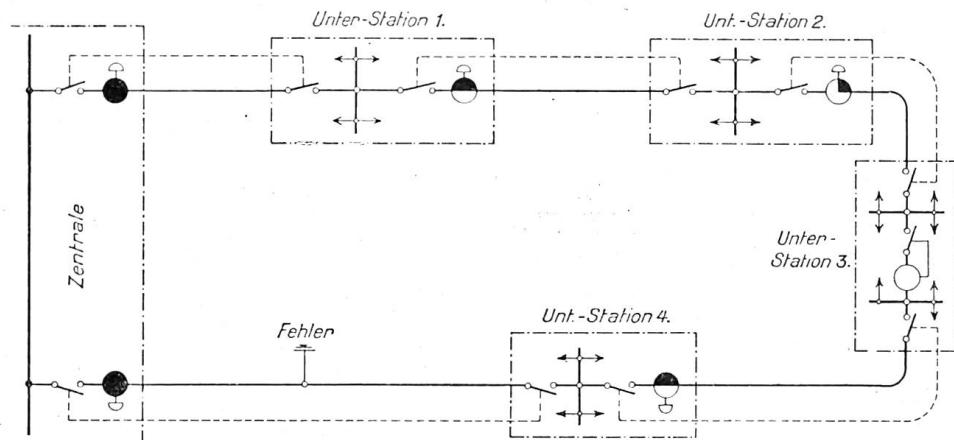


Fig. 29.

leitung wird von dem auslösenden Schalter aus der Schalter am anderen Ende des fehlerhaften Teilstückes ausgeschaltet. Nach Verlauf der maximal für diesen Schaltprozess nötigen Zeit, wird der Ring in der Unterstation 3 selbsttätig wieder geschlossen. Die Vorteile dieses Schutzsystems liegen darin, einfache, leicht einstellbare Maximalstromrelais zu verwenden, die im Prinzip nur auf Kurzschlussstrom einzustellen sind und infolgedessen in weiten Grenzen vom Betriebsstrom unabhängig sind. Die Betriebskontinuität ist in den fehlerfreien Teilstücken jedoch nur zur Hälfte gewahrt, in der Hälfte des Ringes, zu welcher das Fehlerstück gehört, wird die Stromzuführung auf die Dauer des Schaltvorgangs auch in den gesunden Teilen unterbrochen. Für Lichtanlagen und Kraftbetriebe mit asynchronen Motoren hat dies wenig Bedeutung, dagegen würden Synchronmaschinen ausser Tritt fallen, sodass die Anwendung dieses Systems auf die ersteren beschränkt bleibt.

Besitzt ein Ringnetz mehr als einen Speisepunkt, so ist jeder zwischen zwei Speisepunkten gelegene Ringsektor bei Kurzschlussstrom aufzuschneiden, im übrigen bleiben sich die Verhältnisse gleich.

Für *Ringleitungen*, wo die Betriebskontinuität streng gewahrt werden muss, sowie auch für *Verbindungsleitungen* (Leitungen für Kraftausgleich) zwischen verschiedenen Stromquellen (Zentralen) bietet Differentialstrom-Schutz theoretisch die idealste Lösung.

Die Anforderungen, die an Relais, Stromwandler und Hülfslitungen, die parallel zuden Hauptleitungen nötig sind, gestellt werden müssen, sind in einer Arbeit von Prof. Kuhlmann im Heft No. 3 Archiv für Elektrotechnik 1912 beschrieben, sodass darüber weitere Ausführungen unterlassen werden können. Der Differentialstromschutz beginnt sich namentlich in neuerer Zeit rasch einzubürgern.

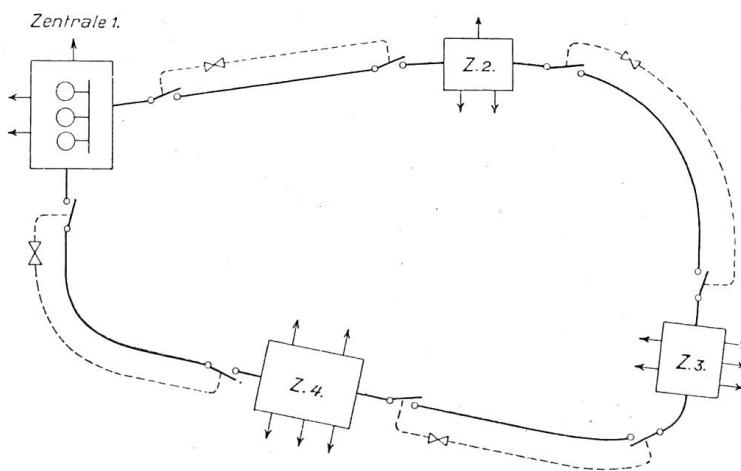


Fig. 30.

Charakteristiken.

1. Moment-Maximalstromrelais.

Das Relais funktioniert nach Ueberschreitung des eingestellten Maximalstromwertes unabhängig von der Stromrichtung, im Bereich des schraffierten Teiles. Fig. 31.

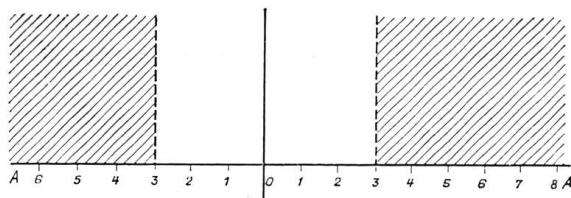


Fig. 31.

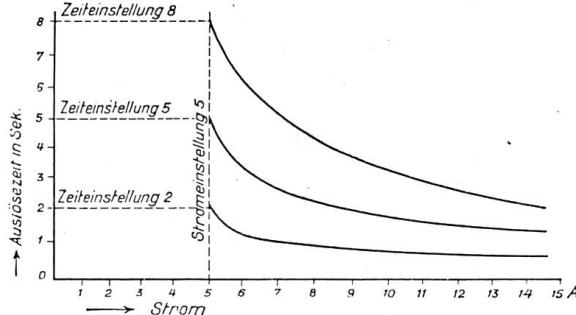


Fig. 32.

2. Invertzeit-Maximalstromrelais (Ferraris Relais).

Die Auslösung nach Strom wird begrenzt: Nach unten durch den eingestellten endlichen, nach oben durch einen unendlichen Wert. Die Auslösung nach Zeit, nach oben durch den eingestellten endlichen Wert, nach unten durch einen zweiten endlichen Wert, der von der Sättigung der elektrischen und magnetischen Teile abhängt. Bei Sättigung erhöht sich die Geschwindigkeit des Relaisankers nicht weiter, und das Relais wirkt in diesem Bereich wie ein Definitiv-Zeit-Maximalstromrelais. Fig. 32.

Tourencharakteristik eines Ferraris-Relais.

In Fig. 33 ist eine Tourencharakteristik eines Ferraris-Relais der bekannten Bauart der Maschinenfabrik Oerlikon dargestellt. Daraus geht hervor, dass das Relais von einem Stromwert 1 bis zu einem höheren Wert 2 fast genau umgekehrt proportional mit der Vergrösserung des Stromes seine Auslösezeit verkleinert. Innert einem daran anschliessenden Bereich, dem „Knie“, verliert sich diese Proportionalität, und bei noch weiterer Steigerung des Stromes wird die Auslösegeschwindigkeit vom Strom unabhängig. Durch die Wahl des normalen Arbeitsbereiches eines solchen Relais hat man es in der Hand, das Verhalten des Relais bestimmten Forderungen anzupassen.

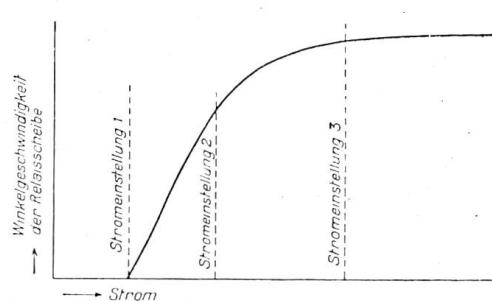


Fig. 33.

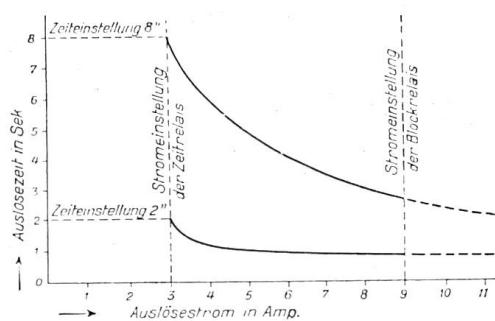


Fig. 34.

3. Invertzeit-Maximalstromblockrelais.

Die Charakteristik des Relais ist dieselbe wie beim einfachen Invertzeit-Maximalstromrelais, nur wird die Auslösung bei Ueberschreiten des am Blockelement eingestellten Maximalstroms verhindert, sodass die Auslösung durch zwei endliche Maximalstromwerte begrenzt wird. Das Blockelement ist ein momentan wirkendes Maximalstrom-Relais, welches das Invertzeitrelais dadurch blockiert, dass es die Relaisspule kurzschliesst und den Auslösstromkreis unterbricht. Fig. 34.

4. Definitivzeit-Maximalstromrelais.

Die Auslösung nach Strom ist durch den eingestellten Wert und einen darüber liegenden unendlichen begrenzt. Die Auslösezeit bleibt infolge der Unabhängigkeit des Zeitelementes von der vom Strom be-

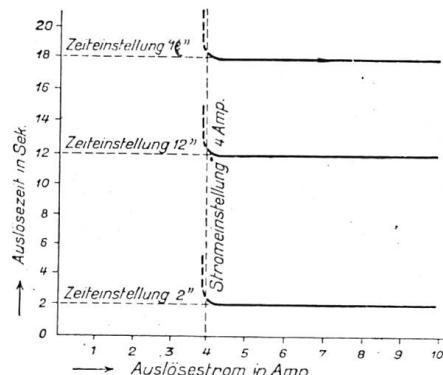


Fig. 35.

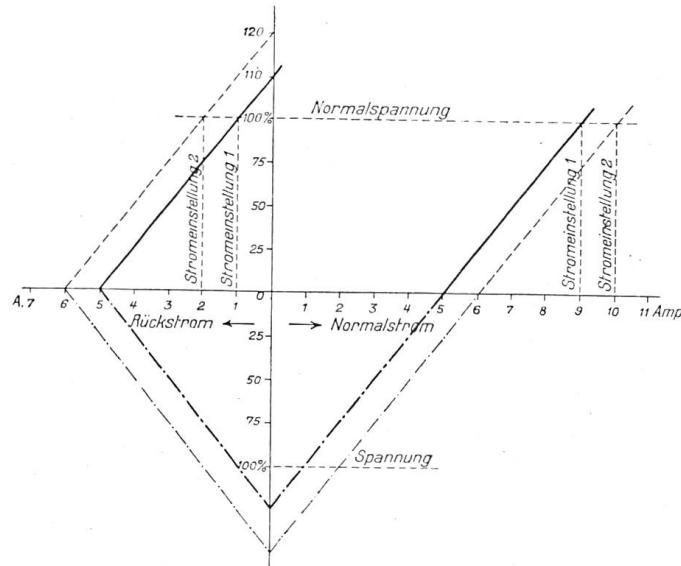


Fig. 36.

einflussten Zugkraft des Relaismagneten für denselben Einstellwert konstant. Fig. 35.

5 a. Momentan-Rückstrom-Maximalstromrelais.

Spannungs- und Stromwicklung magnetisch gekuppelt. Strom und Spannung gleich oder entgegengesetzt gerichtet. (Gleichstrom und Wechselstrom bei $\cos \varphi = \pm 1$). Fig. 36.

Für jede Einstellung des Relais ergeben sich vier charakteristische Auslösewerte, nämlich Auslösung durch:

1. Rückstrom bei normaler Spannung, z. B. 1 Amp.
2. Maximalstrom bei normaler Spannung, z. B. 9 Amp.
3. Auslösung durch Strom allein bei Nullspannung, z. B. 5 Amp.
4. Auslösung durch Spannung allein bei Nullstrom, z. B. 110 %.

Durch jede Neueinstellung werden diese vier Werte beeinflusst.

Die Schaulinien gelten für Relais, die bei anziehendem Anker auslösen, und für Maximalstrom- und Rückstrom geaicht werden. Sie können jedoch sinngemäss auch für Rückstrom-Relais mit abfallendem Anker angewendet werden, die nur für Rückstrom geaicht sind. Die ersten lösen aus für den ganzen Bereich der Schaulinien, solange sie im 1. und 2. Quadrant verlaufen, die letzteren nur für den Verlauf im 2. Quadrant. Fig. 36.

5 b. Ist bei Wechselstromrelais, Strom und Spannung nicht gleich- oder direkt entgegengesetzt gerichtet,

also $\cos \varphi \neq \pm 1$, so gilt für das Verhalten des Relais das nachstehende Kreisdiagramm. Fig. 37.

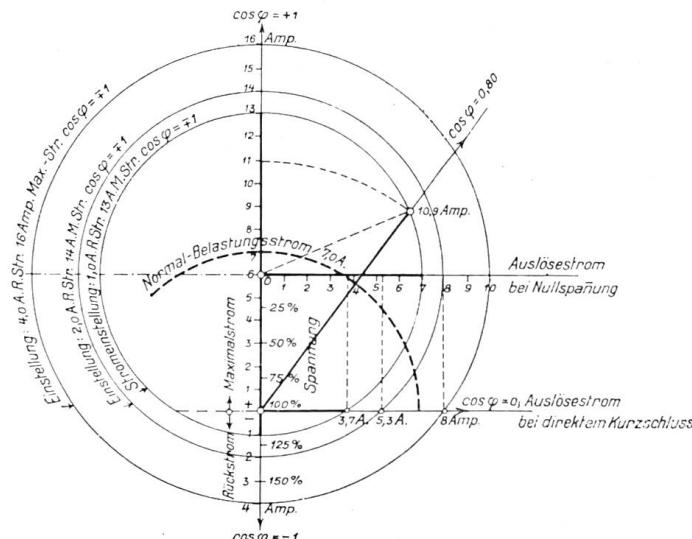


Fig. 37.

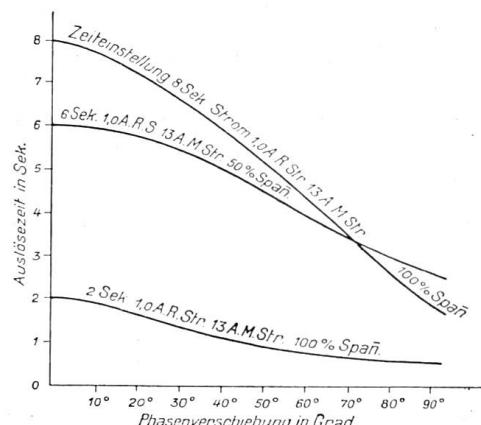


Fig. 38.

Der einfacheren Darstellung wegen wurden die geringen durch die Veränderlichkeit des magnetischen Widerstandes des Relais bedingten Abweichungen nicht berücksichtigt. Aus dem Kreisdiagramm geht hervor, dass zu jeder Einstellung ausser den bereits besprochenen vier charakteristischen Auslösewerten nach a) noch ein neuer Wert hinzukommt für Auslösestrom bei Normalspannung und $\cos \varphi = \pm 0$ z. B. 3,7 Amp.

Der zu einer bestimmten Relaiseinstellung gehörige Auslösestrom ist also veränderlich, je nach dem Wert der Spannung wie bei a) und je nach der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung.

5 c. Invertzeit-Maximal und Rückstromrelais.

Für das Verhalten des Relais gelten bezüglich Auslösestromwerte Fig. 37, und für die Auslösezeit Fig. 32. Für konstante Spannung, konstanten Strom und veränderliche Phasenverschiebung stellen die Kurven in Figur 38 die Auslösezeit graphisch dar.

Die Auslösezeit wird also um so kleiner, je grösser die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung ist. Diese Eigenschaft ist wichtig für den Fall, wo solche Relais für Alternatoren verwendet werden und eine grosse Empfindlichkeit der Relais beim Parallelschalten nicht erwünscht, ein rasches Ansprechen auf Fehlerströme mit grosser Phasenverschiebung aber vorteilhaft ist.

5 d. Momentan-Rückstromrelais, die nicht auf Maximalstrom ansprechen

und innert weiten Grenzen von Spannung und Phasenverschiebung unabhängig sind, baut seit kurzem die Maschinenfabrik Oerlikon. Sie sind nur auf Strom geaicht und haben für Rückstrom ähnliche Charakteristik wie ein Moment-Maximalstromrelais (Fig. 31). Sie besitzen eine Drehspule, die, von Strom und Spannung beeinflusst, nur auf Umkehr des

Stromes reagiert und die bei einer Phasenverschiebung von 75° noch bei 15 % der Normalspannung funktioniert, bei Normalspannung noch bei Phasenverschiebung bis 85° und bei keiner Phasenverschiebung bis zu einer Spannung von ca. 8 %. Unabhängig von dieser Drehspule ist ein Strommessgerät eingebaut, das die Auslösung veranlasst, sobald der Rückstrom den eingestellten Wert erreicht. Derartige Relais sind in Verbindung mit Maximalstromrelais für Fehlerisolation ausserordentlich vorteilhaft und füllen eine wirkliche Lücke aus. Die Ausführung ist durch Patente geschützt.

6. Stromrückgangrelais und Spannungsrückgangrelais.

Siehe hierüber Fig. 31. Auslösung im Gegensatz zu Maximalstromrelais im Bereich des unschraffierten Teiles der Fig. 31, rechte Seite.

7. Differentialstromrelais und Differentialspannungsrelais

sind Magnet- oder Ferrarisrelais mit magnetisch gekuppelten Wicklungen, die normalerweise von Strömen annähernd gleicher Grösse und Phase durchflossen werden, und ein Magnetfeld erzeugen, das der geometrischen Differenz der beiden Ströme entspricht. Das Verhalten des Relais für die automatische Auslösung ist gegeben nach Fig. 31. Derartige Relais sind gewöhnlich einstellbar für Stromdifferenzen von ca. 10 % Normalstrom und darüber.

8. Strombalancereleis

werden ausschliesslich für Drehstrom mit gleichbelasteten Phasen benutzt. Das Strombalancereleis kann aus einem reinen Maximalstromrelais, das in die Rückleitung dreier Sternschalteter Stromwandler zum Nullpunkt eingeschaltet ist, bestehen, oder aus zwei oder drei Maximalstromrelais, deren Drehmomente so gegeneinander wirken, dass sie sich bei Stromsymmetrie aufheben. Die Charakteristik des Relais entspricht der Fig. 31.

9. Rückstrom-Balancereleis

bestehen aus zwei vereinigten Strombalancereleis, auf die eine an der Anlage liegende Spannungsspule derart wirkt, dass nur dasjenige Strombalancereleis auslöst, durch das Rückstrom fliesst. Die Auslösung geschieht momentan oder träge. Die Charakteristik des Relais entspricht derjenigen der Maximalrelais nach Fig. 31, mit der zusätzlichen Bedingung, dass die Auslösung von Stromrichtung und Spannung abhängig ist; die Auslösung erfolgt nicht mehr unter einem Strom-Spannungsminimum, jedoch für alle darüberliegenden positiven Werte. Fig. 39 schraffierter Teil.

Die Einregulierung der Relais

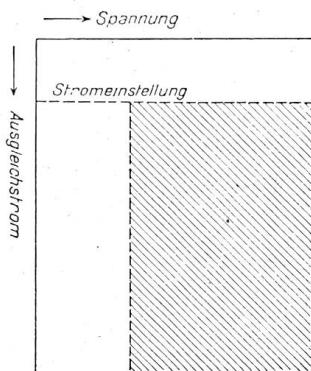


Fig. 39.

für gegebene Fälle ist im Allgemeinen nach den vorher behandelten Grundsätzen für Ueberstromschutz gegeben. Relais, die nur auf eine einzige veränderliche Grösse einzustellen sind, wie z. B. momentan wirkende Maximalstrom-, Nullstrom- oder Nullspannungsrelais bieten zum Einstellen keinerlei Schwierigkeiten. Schon die Einstellung von Maximalstrom-Invertzeitrelais setzt jedoch die Kenntnis der Relaischarakteristik voraus, und im besonderen Masse trifft dies zu für Relais mit mehreren veränderlichen Grössen, wie Rückstrom-Maximalstrom-Zeitrelais und ähnliche. Dabei ist vorausgesetzt, dass Strom- und Zeiteinstellung nach separaten Skalen geschehen kann und die eine die andere nicht beeinflusst. Es werden aber in der Praxis z. B. noch Maximalstromzeitrelais benutzt, deren Stromeinstellung die Zeiteinstellung beeinflusst und

die nach einer Tabelle für die Betriebsverhältnisse ajustiert werden müssen. Bei solchen Relais kann es vorkommen, dass die zweckmässige Einstellung nur durch Versuche im Laboratorium herausgefunden werden kann.

Zusammenfassung.

Der Ueberstromschutz wird an typischen Beispielen erläutert und die Grundsätze aufgestellt, nach denen elektrische Anlagen gegen Ueberstrom und damit zusammenhängende Störungen zu schützen sind. Anschliessend daran werden die Charakteristiken der für die behandelten Fälle nötigen Schalter-Auslöserelais aufgestellt und zum Teil diskutiert.

Die Verbesserung des Leistungsfaktors in Kraftanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Phasenkompensators

Bauart Brown Boveri.¹⁾

Von *Bruno Bauer, Ing.*

I. Der Einfluss des Leistungsfaktors auf die Stromversorgungsanlagen.

Bekanntlich liegt die Ursache des oft recht niederen Leistungsfaktors von Kraftanlagen in den angeschlossenen Induktionsmotoren im Konsumgebiet. Wenn auch dieser für vollbelastete, raschlaufende Motoren an sich stets über $\cos \varphi = 0.85$ liegen wird, lässt doch die grosse Zahl der mit Teilbelastung arbeitenden Motoren die resultierende Phasenverschiebung im Netz oft bis auf $\cos \varphi = 0.6$ herunter sinken, eine Folge des schlechten Leistungsfaktors schwachbelasteter Induktionsmotoren. Der Einfluss der Motorbelastung auf den Leistungsfaktor soll später noch näher erläutert werden.

Der Nachteil des stark phasenverschobenen Netzes wird nun besonders für den Stromlieferanten fühlbar. Dieser wird allgemein im Interesse eines wirtschaftlichen Betriebes der Stromversorgungsanlagen darnach trachten, die in den Primärmotoren des Kraftwerkes verfügbare Energie voll und ganz im Konsumgebiet abzusetzen; für die bestehende Anlage bedeutet dies möglichste Vollbelastung der Maschinengruppen, Transformatoren und Leitungsanlagen. Diese ist nun aber für den elektrischen Teil mit Rücksicht auf die Erwärmung an eine obere Grenze gebunden und findet ihren Ausdruck in der maximalen elektrischen Beanspruchung in KVA, d. h. im Produkt Nutzleistung in KW mal Leistungsfaktor $\cos \varphi$. Nachdem die KW-Leistung das Aequivalent der mechanischen Leistung der Primärmotoren bedeutet, ist der Einfluss des Leistungsfaktors ohne weiteres ersichtlich. Ein Leistungsfaktor kleiner als eins lässt trotz des vollbeanspruchten Generators nicht die volle Primär-Motor-Leistung ins Netz schicken, vielmehr muss, um dies zu ermöglichen, der elektrische Teil der Anlage für eine Leistung dimensioniert werden, die, ganz abgesehen von den Uebertragungsverlusten, grösser ist, als die tatsächlich im Netz konsumierte. Berücksichtigt man, dass die meisten der gebräuchlichen Stromtarife dem Konsumenten lediglich die verbrauchte Nutzleistung in KW verrechnen, nicht aber die vom Netz geforderte KVA-Zahl, so ist leicht einzusehen, dass der Leistungsfaktor die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgungs-Anlagen fühlbar beeinflusst.

Bevor wir die Mittel zur Bekämpfung dieses Uebelstandes näher beschreiben, möge vorerst untersucht werden, wo die eigentliche Ursache der Phasenverschiebung im Netz zu suchen ist. Der Induktionsmotor (um den es sich hier lediglich handelt) ist seinem Arbeitsprinzip nach ein Transformator mit dem Stator als Primärseite und dem Rotor als Sekundärseite.²⁾ Er fordert daher, gleich wie der ruhende Transformator, neben dem Arbeits-

¹⁾ Unter teilweiser Benützung der Druckschrift 389 II der A.-G. Brown Boveri & Cie., Baden.

²⁾ Der Unterschied gegenüber dem ruhenden Transformator liegt bekanntlich darin, dass sich die Leistung der Primärseite: $i_1 \cdot e_1 \cdot \omega_1$ auf der Sekundärseite in 2 Teile spaltet: der mechanischen Leistung an der Motorwelle und einem Restbetrag in Form elektr. Energie im Sekundärstromkreis $i_2 \cdot e_2 \cdot \omega_2$.