

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 58 (1967)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Ein einfacher Kurzschlußschutz für Sammelschienen und für Nahzone von Unterwerken in Mittelspannungsnetzen  
**Autor:** Huber, V. / Rogenmoser, Ch.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916272>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 18.03.2025

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

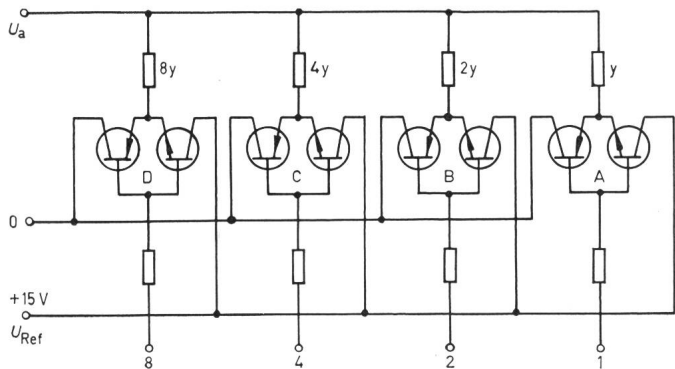


Fig. 37  
Binärer Spannungsteiler mit Transistorschalter  
 $0 \triangleq -5\text{ V}; L \triangleq +20\text{ V}$

Wählt man für  $U_{\text{Ref}}$  15 V, so kann man jede Spannung zwischen 0 und 15 V in 1-V-Stufen einstellen.

Das Rechnen mit den Leitwerten gibt eine wesentlich einfachere und übersichtlichere Darstellung.

In Fig. 37 ist jeder Umschaltkontakt durch ein komplementäres Paar Transistoren ersetzt. Wenn der Steuereingang des Paares an  $-5$  liegt, schaltet der pnp-Transistor durch und verbindet damit den betreffenden Widerstand mit  $0\text{ V}$ . Liegt dagegen der Steuereingang an  $+20\text{ V}$ , schaltet der npn-Transistor durch, und der zugehörige Widerstand wird mit der 15 V Referenzspannung verbunden.

Die Transistoren arbeiten im inversen Betrieb, d. h. die Funktion von Kollektor und Emittter ist vertauscht. Dies ergibt, verglichen mit der normalen Schaltung, eine wesentlich geringere Restspannung. Die Restspannung beträgt bei den für diese Anwendungen in Frage kommenden Transistoren ca.  $0,5 \dots 1\text{ mV}$  (Steuerstrom =  $1\text{ mA}$ ).

Den Mittelwert der Restspannung kann man kompensieren. Übrig bleiben die Abweichungen infolge Alterung, Temperaturänderungen und Exemplarstreuungen. Der daraus resultierende Fehler ist bei 10 V Referenzspannung im allgemeinen kleiner als  $0,01\%$ .

Der Übergangswiderstand des Transistorschalters beträgt bei den häufig für diesen Zweck verwendeten Transistor-Typen ca.  $3 \dots 15\ \Omega$ . Falls npn- und pnp-Transistor den gleichen Durchlasswiderstand besitzen, kann der zugehörige Abschwächerwiderstand entsprechend verkleinert werden. Wählt man die Abschwächerwiderstände so hoch, dass der Übergangswiderstand die Genauigkeit nicht mehr beeinflusst, wird der ganze Spannungsteiler sehr hochohmig, was aber aus andern Grün-

den unerwünscht ist. Im allgemeinen sucht man deshalb die Transistoren für die Stufen mit den höchsten Leitwerten aus und reduziert den Wert des Abschwächerwiderstandes um den Betrag des Durchlasswiderstandes. Auf diese Weise kann man Abschwächer mit einer Linearität von besser als  $10^{-4}$  herstellen, deren kleinster Widerstand  $10 \dots 20\text{ k}\Omega$  beträgt.

Die in Fig. 37 dargestellte Schaltung hat noch weitere bemerkenswerte Eigenschaften:

Der Leckstrom des gesperrten Transistors fließt über den durchgeschalteten Transistor ab. Daher wird die Genauigkeit bis zu sehr grossen Werten des Leckstromes nicht beeinflusst. Der Innenwiderstand  $R_i$  des Teilers ist unabhängig von der eingestellten Ausgangsspannung  $R_i = 1/\Sigma y$ . Durch eine konstante Belastung wird deshalb die Linearität nicht verschlechtert.

Wenn man die Steuereingänge in Fig. 37 mit den Flip-Flop eines binären Zählers verbindet, erhält man eine Ausgangsspannung, die proportional zu der Anzahl der eingezählten Impulse ist.

Am Beispiel des beschriebenen Spannungsteilers mit Transistorschaltern wurde gezeigt, wie trotz der nicht idealen Eigenschaften der Transistorschalter, bei geeigneter Bemessung der Schaltung, bemerkenswerte Genauigkeiten erreicht werden können.

#### Literatur

- [1] G. Meyer-Brötz: Modulatoren zur Umsetzung sehr kleiner Gleichspannungen in Wechselspannungen. *Elektronik* 9(1960)2, S. 59...60.
- [2] J. J. Ebers and J. L. Moll: Large-Signal Behavior of Junction Transistors. *Proc. IRE* 42(1954)12, S. 1761...1772.
- [3] J. L. Moll: Large-Signal Transient Response of Junction Transistors. *Proc. IRE* 42(1954)12, S. 1773...1784.
- [4] T. C. Verster: Silicon Planar Epitaxial Transistors as Fast and Reliable Low-Level Switches. *Trans. IEEE Electron Devices* ED-11(1964)5, S. 228...237.
- [5] A. Lydén: Single and Matched Pair Transistor Choppers. *Electron. Engng.* 37(1965)445, S. 186...193.
- [6] J. Hackel und H. Hagemann: Anwendung von Transistoren als Präzisionszerhacker. *Elektron. Rdsch.* 17(1963)3, S. 122...132.
- [7] F. Butler: Applications of Metal Oxide Silicon Transistors. *Wirel. Wld.* 71(1965)2, S. 58...61.
- [8] L. Fattal: Field Effect Transistors as Choppers. *Semiconductor Products and Solid-State Technology* 7(1964)4, S. 13...18.
- [9] K. Barton: The Field-Effect Transistor Used as a Low-Level Chopper. *Electron. Engng.* 37(1965)444, S. 80...83.
- [10] D. E. Rea: Field-Effect Transistors: Simpler Switches for Analog Signals. *Control Engng.* 12(1965)7, S. 66...69.
- [11] J. Giorgis: Understanding Snap Diodes. *Electronic Equipment Engng.* 11(1963)11, S. 60...64.
- [12] G. Seiter: Bauelemente mit Metall-Halbleiter-Kontakt. *Internat. Elektron. Rdsch.* 20(1966)2, S. 93...94.

#### Adresse der Autoren:

E. Kägi, Ingenieur, A. Fischer, Ingenieur, T. Görög, dipl. Ingenieur, Philips AG, Edenstrasse 20, Postfach, 8027 Zürich.

## Ein einfacher Kurzschlußschutz für Sammelschienen und für Nahzone von Unterwerken in Mittelspannungsnetzen

Von V. Huber und Ch. Rogenmoser, Zürich

621.316.93 : 621.316.35

Die Zunahme der Kurzschlußleistungen in Mittelspannungsnetzen erfordert zum Schutze der Anlagen Einrichtungen, welche Dauer und Ströme der Kurzschlüsse verringern. Es wird ein Schutzsystem beschrieben, das mit einfachen Apparaten und geringen Kosten erstellt werden kann.

L'accroissement des puissances de court-circuit dans les réseaux à tension moyenne exige en vue de la protection des installations des dispositifs propres à restreindre la durée et les courants des courts-circuits. Un système de protection, susceptible d'être exécuté à l'aide d'appareils simples et à peu de frais, est décrit.

Mit der Erstellung immer neuer Kraft- und Unterwerke, der Steigerung der Übertragungsspannungen und dem Zusammenschluss der Netze steigen auch die Kurzschlusslei-

stungen ständig an. Diesem Umstand muss nicht nur bei der Bemessung der Schalter Rechnung getragen werden, sondern auch bei der Wahl der Schutzsysteme.

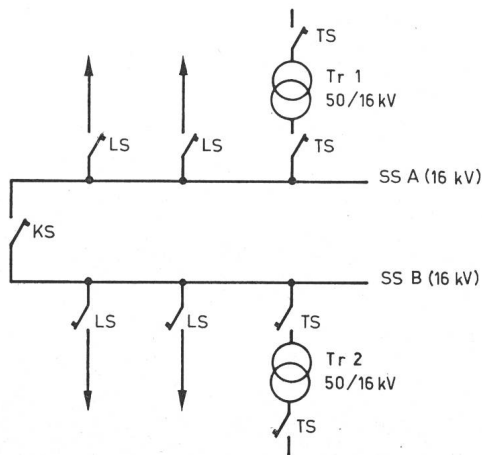


Fig. 1

**Vereinfachtes Schaltschema eines 16-kV-Unterwerkes**

LS Linienschalter; KS Kuppelschalter; TS Transformatorschalter; SS Sammelschiene; Tr Transformator

Für die Zerstörungsarbeit an einer Fehlerstelle sind Grösse und Dauer des Kurzschlußstromes massgebend. Für eine Verkleinerung der Zerstörungen stehen also grundsätzlich zwei Wege offen, nämlich Verkleinerung des Kurzschlußstromes und Kürzung der Kurzschlussdauer.

Der Kurzschlußstrom kann beispielsweise durch den Einbau von Kurzschluss-Begrenzungsspulen verringert werden. Das bedingt aber eine komplizierte und zudem teurere Anlage in der auch noch beträchtlich mehr Verluste entstehen. Ein anderer Weg besteht in der Unterteilung des Betriebes.

Die anzustrebende untere Grenze der Kurzschlussdauer wird beeinflusst durch:

- a) Eigenzeit der Schalter;
- b) Relaisstaffelung, deren Minimalwert begrenzt wird durch die Bedingung der zuverlässigen Selektivität;
- c) Verzögerungselemente, die verhindern müssen, dass jede Störung zum Totalunterbruch eines Unterwerkes führt.

**1. Die bekannten Schutzsysteme**

*1.1 Schutz mit strom- und zeitabhängigen Relais*

Im Interesse der Einfachheit und der geringen Kosten begnügte man sich bei den EKZ <sup>1)</sup> bisher mit folgenden Systemen:

Alle Schalter der abgehenden 16-kV-Leitungen sind für die Schnellwiedereinschaltung nach einer spannungslosen Pause von 0,3 s eingerichtet. Besteht der Kurzschluss nach der Wiedereinschaltung weiter, so löst der Linienschalter je nach Leitung innert 1,0...1,5 s aus. Längere, stark belastete Leitungen sind durch in Stationen eingebaute Schalter unterteilbar. Die Hauptstromrelais dieser Streckenschalter, deren Auslösezeiten gestaffelt sind, lösen im Störfall den entferntesten, vom Kurzschlußstrom noch durchflossenen Schalter aus. Die Relais lassen eine Staffelzeit von 0,2 s zu. In dicht überbauten Gebieten hat man 16-kV-Ringe gebildet, die bei einer Störung durch einen auf 0,1 s eingestellten Spaltschalter aufgetrennt werden. Der gestörte Netzteil — das gilt auch für gewöhnliche Strahlennetze — wird durch den nächst vorgeschalteten Schalter abgetrennt, wobei die aufgebauten Hauptstromrelais auf 0,3; 0,5; 0,7 s usw. eingestellt werden. Die Erfahrungen mit diesen Ringleitungen sind gut. Bei Ringleitungen ist aber ähnlich wie bei ver-

<sup>1)</sup> Elektrizitätswerke des Kantons Zürich.

maschten Netzen, grosse Vorsicht am Platz, damit keine Trenner unter Last betätigt werden.

Bei einem Fehler im Unterwerk selbst lösen in der Regel die Transformatorschalter nach 2 s aus.

Nachdem die Isolation der Anlagen namhaft verbessert, der Überspannungsschutz und die Schnellwiedereinschaltung eingebaut worden waren, bewährte sich das System jahrelang. In letzter Zeit trat dann aber eine Reihe von Störungen mit Sammelschienen-Kurzschluss auf. Sie waren entstanden durch irrtümliches Öffnen von unter Strom stehenden Trennern, und in einem Fall als Folge eines Materialschadens. In all diesen Fällen waren die Zerstörungen recht umfangreich. Neben den Reparaturkosten fielen aber auch längere Unterbrüche in der Energieversorgung ins Gewicht.

*1.2 Distanzschutz und andere verbesserte Schutzsysteme*

Diese Schadenfälle veranlassten die EKZ, das Schutzproblem erneut aufzugreifen. Vor einigen Jahren angestellte Berechnungen hatten ergeben, dass beispielsweise die Einführung des bewährten Distanzschutzes von BBC eine Verteuerung der 16-kV-Anlage um etwa 8...10 % bewirkt.

Das Schutzsystem der Bernischen Kraftwerke AG setzt das Vorhandensein von Distanzrelais in den 16-kV-Leitungen voraus, wenn die Nahzone erfasst werden soll. Dieses System kostet zwar nur etwa die Hälfte des vorhin erwähnten Schutzes, befriedigt aber nicht in allen Teilen, da jeder Sammelschienenkurzschluss zu einem Totalunterbruch der Energieversorgung führt.

Man war daher bei den EKZ der Auffassung, dass die bekannten Systeme entweder zu aufwendig oder zu wenig zweckmässig seien. Es wurde nach einer einfacheren Lösung gesucht.

Die Aufgabenstellung lautete:

- a) Möglichst rasche Abschaltung der Kurzschlüsse in den 16-kV-Anlagen, vor allem an den Sammelschienen der Unterwerke sowie auch auf den Leitungen im Umkreis von etwa 3,5 km, also in der sog. Nahzone;
- b) Abschaltung eines möglichst kleinen Teiles der Anlage im Störfall;
- c) Wenn möglich Reduktion der Kurzschlussleistungen ohne Einbau von Drosselpulen;
- d) Weiterverwendung des vorhandenen Materials;
- e) Geringe Kosten.

Fig. 1 zeigt das vereinfachte Schaltschema eines normalen ferngesteuerten Unterwerkes. Das Vorhandensein zweier Sammelschienen erlaubt, die Last ungefähr gleichmässig zu verteilen. In der Regel sind beide Sammelschienen über den Kuppelschalter parallel geschaltet. Durch rasches Öffnen des Kuppelschalters kann im Störfall die wirksame Kurzschlussleistung etwa auf die Hälfte reduziert werden.

**2. Das neue Schutzsystem**

Das neue System kommt mit wenig zusätzlichen Einrichtungen aus. Ausser den vorhandenen Relais (im Transformatorfeld 1 Überlastrelais und 2 Maximalstrom-Zeitrelais, im Linienfeld 2 Maximalstrom-Zeitrelais und 1 Schnellwiedereinschaltapparat) sind pro Linienfeld 1 bzw. pro Transformatorfeld 2 Kleinschützen nötig.

Ohne auf die nachstehend beschriebenen Einzelheiten einzutreten, sei zunächst das Arbeiten des Schutzsystemes erklärt.

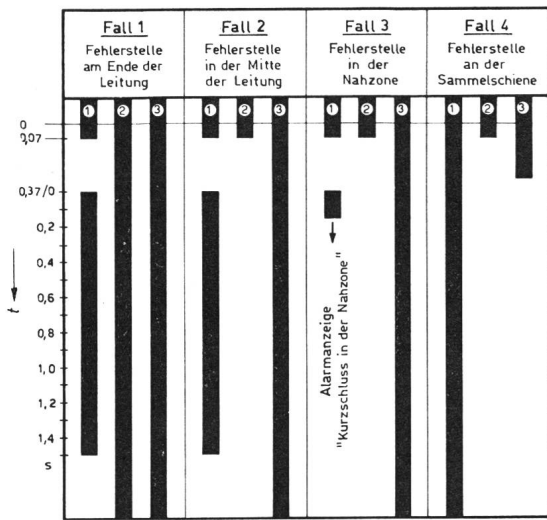


Fig. 2

Diagramm der Schalterauslösungen

1 Linienschalter; 2 Kuppelschalter; 3 Transformatorenschalter;  
t Zeit

Fall 1:

Fehler am Leitungsende.  
Der Linienschalter löst momentan aus, macht eine Schnellwiedereinschaltung und löst bei einem bleibenden Kurzschluss nach 1...1,5 s gänzlich aus.  
Der Kuppelschalter bleibt eingeschaltet.  
Die Transformatorenschalter bleiben eingeschaltet.

Fall 2:

Fehler im mittleren Leitungsabschnitt.  
Der Linienschalter löst momentan aus, macht eine Schnellwiedereinschaltung und löst bei bleibendem Kurzschluss nach 1,0...1,5 s gänzlich aus.  
Der Kuppelschalter löst sofort aus und verkleinert die Kurzschlussleistung.  
Die Transformatorenschalter bleiben eingeschaltet.

Fall 3:

Fehler in der Nahzone der Leitung (d. h. bis ca. 3,5 km ab Unterwerk).  
Der Linienschalter löst momentan aus, macht eine Schnellwiedereinschaltung und löst bei bleibendem Kurzschluss innert 0,15 s ganz aus.  
Der Kuppelschalter löst sofort aus und verkleinert die Kurzschlussleistung.  
Die Transformatorenschalter bleiben eingeschaltet.

Fall 4:

Fehler in der Schaltanlage des Unterwerkes, z. B. an der Sammelschiene.  
Der Linienschalter bleibt eingeschaltet.  
Der Kuppelschalter löst sofort aus und verkleinert die Kurzschlussleistung.  
Der Transformatorenschalter löst nach 0,3 s aus.

Fig. 2 zeigt den zeitlichen Ablauf der Schalterfunktionen bei den beschriebenen vier Fällen. Die Vorteile der Schaltung bestehen in folgendem:

- Rasche und erhebliche Verminderung der Kurzschlussleistung und dadurch kleinere Beschädigungen an der Fehlerstelle.
- Abschaltung des Fehlers längstens nach 0,3 s.
- Bei einem Sammelschienenkurzschluss wird nur die Hälfte der vom Unterwerk abgehenden Leitungen in Mitleidenschaft gezogen.

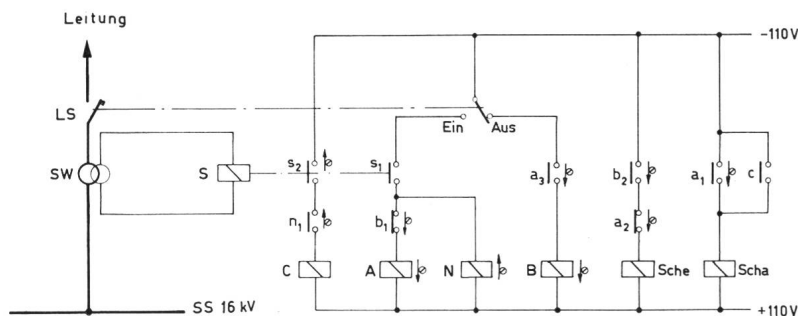


Fig. 3

Prinzipschema des Nahzonenschutzes

LS Linienschalter mit Hilfskontakt Ein-Aus; SW Stromwandler; S Maximalstrom-Zeitrelais mit Momentankontakt  $s_1$  und Grenzstrom-Zeitkontakt  $s_2$ ; A, B, C Kleinschütze des Schnellwiedereinschaltapparates mit den Kontakten  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, c$ ; N Verzögerungsschutz für Kurzschlüsse in der Nahzone mit Kontakt  $n_1$ ; Sche, Scha Ein- bzw. Ausschaltspulen des Linienschalters; SS Sammelschiene

d) Aus den Ansprechungen der Schalter und Relais erhält man wertvolle Angaben über die ungefähre Lage des Fehlerortes.

e) Die Kosten für den Einbau des Schutzsystems sind sehr bescheiden. Sie betragen pro Unterwerk:

- bei Neuanlagen ca. Fr. 3000.—;
- bei nachträglichem Einbau ca. Fr. 5000.—.

### 3. Aufbau und Wirkungsweise des Schutzsystems

#### 3.1 Linienfeldausrüstung und Nahzonenschutz

An Hand von Fig. 3 seien Ausrüstung und Wirkungsweise im Linienfeld erläutert. Die in zwei Phasen eingebauten Maximalstrom-Zeitrelais werden beibehalten. Während aber bisher der Grenzstrom-Momentankontakt blockiert blieb, wird er jetzt so eingestellt, dass er bei Kurzschluss in der Nahzone sofort anspricht. Ein anzugverzögerter Kleinschutz verhindert eine endgültige Auslösung durch den Grenzstrom-Momentankontakt, bevor eine Schnellwiedereinschaltung erfolgte.

Die Auslösung funktioniert wie folgt (Fig. 3):

Beim Auftreten eines Kurzschlusses spricht der Kontakt  $s_1$  des S-Relais an. Ist der Kurzschlußstrom grösser als der eingestellte Grenzstrom, so spricht auch  $s_2$  an. Ist er kleiner, beginnt lediglich sein Zeitwerk zu laufen. Über  $s_1$  wird das anzugverzögerte Schütz N erregt, kann aber nicht anziehen, weil A den Linienschalter vorher auslöst.

Nach 0,3 s (spannungslose Pause, durch die Abfallverzögerung von A gegeben) schaltet B den Linienschalter wieder ein (Schnellwiedereinschaltung). Wenn der Kurzschluss immer noch vorhanden ist, wird das Relais S von neuem erregt. N zieht in diesem Falle nach ca. 0,1 s über  $s_1$  an, denn die Auslösung durch A ist durch den Kontakt  $b_1$  unterbunden (Sperrung der Schnellwiedereinschaltung während 5 s). Ist der Kurzschlußstrom grösser als der Ansprechwert des Grenzstromkontaktes, so löst  $n_1$  den Schalter sofort aus (Kurzschlußstelle in der Nahzone). Ist der Strom kleiner, so bereitet  $n_1$  den Auslösestromkreis vor und  $s_2$  schliesst zur Auslösung des Schalters nach der am Zeitwerk eingestellten Zeit (Kurzschlußstelle ausserhalb der Nahzone).

Um erkennen zu können, ob ein Schalter durch den Grenzstromkontakt oder mit normaler Relaislaufzeit ausgeschaltet wurde, kann eine Überwachung eingebaut werden, die diese Unterscheidung anzeigt. Es wird mit Vorteil die schnellere Auslösung signalisiert und z. B. ein Alarm «Kurzschluss in der Nahzone» gemeldet.

Der Ansprechwert des Grenzstromkontaktes kann je nach Relaisart auf 3...6, 6...12 oder 10...20  $\times I_N$  eingestellt werden. Massgebend für die Wahl des einzustellenden Wertes ist die Kurzschlussleistung des Unterwerkes mit der daraus resultierenden Impedanz, zusammen mit der Impedanz des auf der entsprechenden Leitung als Nahzone bezeichneten Streckenabschnittes. Diese Abschnitte sind verschieden lang. Je nach Leitungs- und Unterwerk-Impedanz betragen sie 1,5...3,5 km.

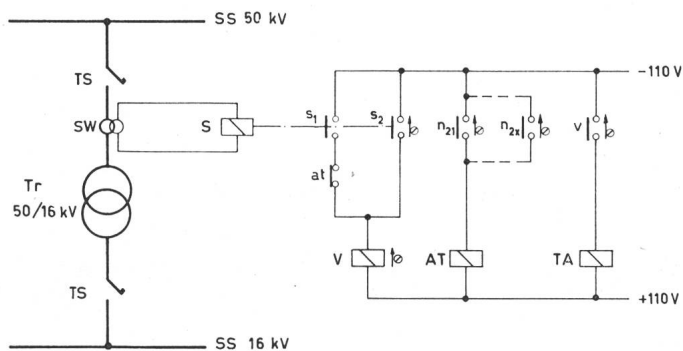


Fig. 4

**Prinzipschema des Sammelschienenschutzes**

TS Transformatorschalter; V Verzögerung der Transformatorauslösung mit Kontakt v; AT Unterbrechung der Transformatorauslösung mit Kontakt at; TA Ausschalterschütz der Transformatorschalter;  $n_{21} \dots n_{2x}$  Kontakte des Nahzonenschutzes

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 3

Der als Nahzone bezeichnete Leitungsabschnitt wird mit Vorteil durch einen Streckenschalter oder eine Trennstelle begrenzt. Dann kann im Störfalle an diesen Stellen eine Auftrennung erfolgen, um den noch gesunden Teil der Leitung eventuell von der Gegenseite zu speisen.

Der Ansprechwert des Grenzstromkontaktes wird auf den Dauerkurzschlußstrom eingestellt, der am Ende des als Nahzone bezeichneten Streckenabschnittes noch auftreten kann. Bei den EKZ liegt dieser Wert in den meisten Fällen zwischen 3500 und 5000 A.

**3.2 Transformatorfeldausrüstung und Sammelschienenschutz**

Wie bereits erwähnt, werden speisende Transformatoren und die Belastung in den Unterwerken auf die beiden Sammelschienen aufgeteilt, die über einen mit Maximalstromrelais ausgerüsteten Kuppelschalter verbunden sind. Im Kurzschlussfall löst dieser Schalter sofort aus, so dass nur noch die Hälfte der Transformatoren die Kurzschlußstelle speisen. Grössere Kurzschlußströme auf den Leitungen werden, wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, nach 0,15 s abgeschaltet.

Für die Transformatoren konnte eine Auslösung geschaffen werden, die schon bei relativ kleinen Kurzschlußströmen

nach 0,3 s ausschaltet. Sie kann aber nur bei Kurzschluss an der Sammelschiene erfolgen oder wenn die Linienschalterauslösung versagt.

Fig. 4 zeigt die Schaltung in den Transformatorfeldern, wobei auch hier nur die für den Schutz notwendigen Stromkreise eingezeichnet sind. Der Auslösevorgang läuft folgendermassen ab:

Bei einem Kurzschluss auf einer abgehenden 16-kV-Leitung spricht in jedem Falle das entsprechende Schütz N an, was zur Folge hat, dass in den Transformatorfeldern das Schütz AT über  $n_2$  anzieht. Es sprechen auch die S-Relais des Transformators an und über  $s_1$  zieht das verzögerte Schütz V an. Diese Anzugsverzögerung ist auf ca. 0,25 s eingestellt. Da das Schütz N des Linienfeldes nur eine Verzögerung von 0,1 s hat, wird AT die Auslösung des Transformators unterbrechen. Hat aber im Linienfeld N nicht angezogen und dadurch auch AT nicht, so heisst das, dass entweder die Linienschalterauslösung versagt hat, oder die Kurzschlußstelle hinter den Linienstromwandlern liegt. In diesem Falle wird V anziehen, und der Transformator ca. 0,3 s nach Eintritt des Kurzschlusses abgeschaltet.

Sollte im Störfalle der Kontakt at nicht mehr schliessen, so kann die Auslösung des Transformators immer noch über den Zeitkontakt  $s_2$  erfolgen (zusätzliche Sicherheit). Seine Ansprechzeit liegt ca. 0,2 s höher als der höchste Wert der S-Relais in den Linienfeldern, was eine Abschaltzeit von ca. 2 s ergibt.

Momentanansprechkontakt  $s_1$  und Zeitkontakt  $s_2$  werden je nach Transformator und Kurzschlussleistung auf Ansprechwerte von 1200...2400 A (bezogen auf 16 kV) eingestellt.

**4. Praktischer Einsatz**

Durch eingehende Versuche wurde der beschriebene Schutz erprobt, alsdann vor mehr als einem Jahr in einem Unterwerk eingebaut. Auf Grund der einwandfreien Ergebnisse ist der Einbau in allen Unterwerken der EKZ in die Wege geleitet. Mit einfachen Mitteln ist damit gelungen, den Anlagenschutz den gesteigerten Anforderungen anzupassen.

**Adresse der Autoren:**

V. Huber, Oberbetriebsleiter, und Ch. Roggenmoser, Betriebstechniker, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Dreikönigstrasse 18, 8022 Zürich.

**Innere Induktivitäten von magnetischen Rundleitern**

Von I. Cetin, Ankara

538.521

Die innere Induktivität wird in der einschlägigen Literatur vorwiegend bei konstanter Permeabilität untersucht. Wie sie bei veränderlicher Permeabilität zu untersuchen ist, zeigt der vorliegende Aufsatz anhand des Beispiels des magnetischen Rundleiters. Es zeigt sich u. a., dass bei Gleichstrom drei voneinander abweichende innere Induktivitäten existieren. Weiter wird die Zusammensetzung dieser Grössen mit den äusseren Grundinduktivitäten besprochen.

L'étude de l'inductance interne s'effectue dans la littérature surtout dans l'hypothèse de la perméabilité constante. A l'aide de l'exemple d'un conducteur rectiligne en fer, de section circulaire, la présente note expose la manière d'étudier cette grandeur dans le cas de la perméabilité variable. On montre, entre autres, l'existence en courant continu de trois inductances internes différentes et la manière de les ajouter aux inductances externes.

**1. Einleitung**

In der einschlägigen Literatur hat man die Induktionsverteilung in stromführenden runden Leitern sowohl bei Gleich- als auch bei Wechselstrom vorwiegend bei konstanter Permeabilität untersucht. Diese in Standardwerken über theoretische Elektrotechnik zu findenden Untersuchungen bezwecken

zuerst die Ermittlung der inneren Induktivität bei Gleichstrom [5...14]<sup>1)</sup>, dann der inneren Induktivität und des inneren Widerstandes mit Berücksichtigung der Strom- und Flussverdrängung bei Wechselstrom [6; 9]. Auch die Berechnung der Verluste bei ferromagnetischen Leitern ist von Bedeutung.

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.