

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 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: 04.02.2026

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

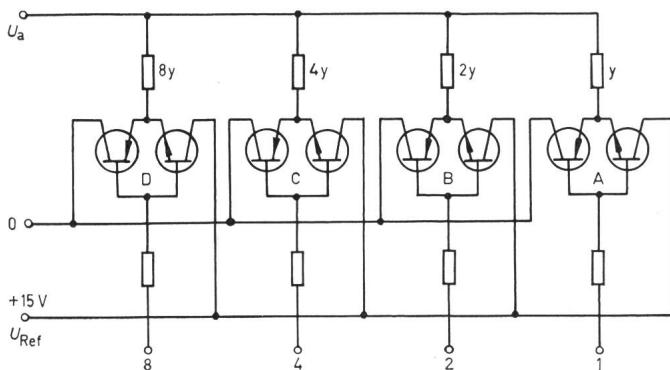


Fig. 37
Binärer Spannungsteiler mit Transistorschalter
 $0 \leq -5 \text{ V}; L \leq +20 \text{ V}$

Wählt man für U_{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 Umschaltek kontakt durch ein komplementäres Paar Transistoren ersetzt. Wenn der Steuereingang des Paares an -5 V liegt, schaltet der pnp-Transistor durch und verbindet damit den betreffenden Widerstand mit OV . 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 Emitter 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. $0,5...1 \text{ mV}$ (Steuerstrom = 1 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. $3...15 \Omega$. 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 Gründen 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 $10...20 \text{ k}\Omega$ 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] I. Hackel and 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. Kügi, 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

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.

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

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.

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

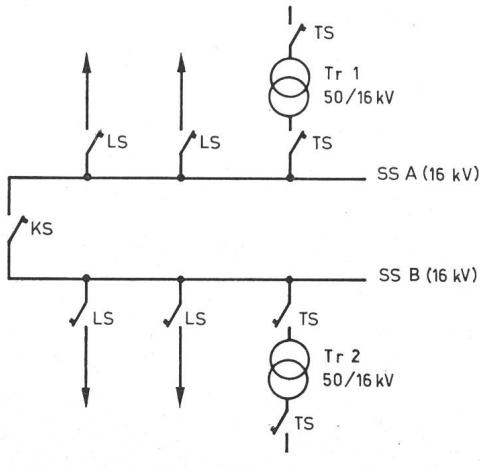


Fig. 1

Vereinfachtes Schaltschema eines 16-kV-Unterwerkes

LS Linienschalter; KS Kuppelschalter; TS Transformatorenschalter; 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:

- Eigenzeit der Schalter;
- Relaisstaffelung, deren Minimalwert begrenzt wird durch die Bedingung der zuverlässigen Selektivität;
- 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 EKZ¹⁾ 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 Störungsfall den entfernten, 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 Spalschalter 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-

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

Bei einem Fehler im Unterwerk selbst lösen in der Regel die Transformatorenschalter 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 Vergrößerung 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:

- 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;
- Abschaltung eines möglichst kleinen Teiles der Anlage im Störungsfall;
- Wenn möglich Reduktion der Kurzschlussleistungen ohne Einbau von Drosselpulsen;
- Weiterverwendung des vorhandenen Materials;
- 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 Störungsfall 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 Transformatorenfeld 1 Überlastrelais und 2 Maximalstrom-Zeitrelais, im Linienfeld 2 Maximalstrom-Zeitrelais und 1 Schnellwiedereinschaltapparat) sind pro Linienfeld 1 bzw. pro Transformatorenfeld 2 Kleinschützen nötig.

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

¹⁾ Elektrizitätswerke des Kantons Zürich.

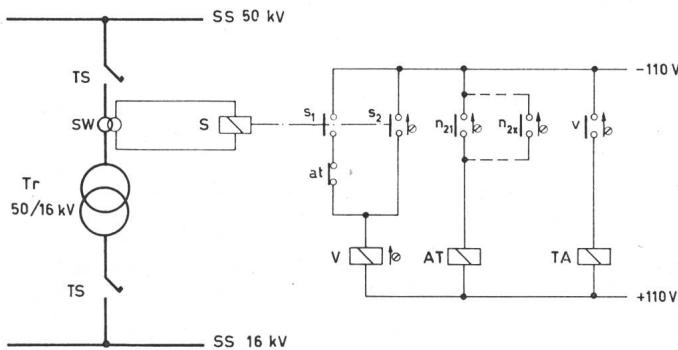


Fig. 4

Prinzipschema des Sammelschienenschutzes

TS Transformatorschalter; V Verzögerung der Transformatorenauslösung mit Kontakt v ; AT Unterbrechung der Transformatorenauslösung mit Kontakt at ; TA Ausschaltschütz 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 Störungsfalle an diesen Stellen eine Auftrennung erfolgen, um den noch gesunden Teil der Leitung eventuell von der Gegenseite zu speisen.

Der Ansprechwert des Grenzstromkontakte 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 Transformatorenfeldausstattung 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 Kurzschlußstromen

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 Transformatorenfeldern, 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 Transformatorenfeldern 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 Liniенstromwandlern liegt. In diesem Falle wird V anziehen, und der Transformator ca. 0,3 s nach Eintritt des Kurzschlusses abgeschaltet.

Sollte im Störungsfall 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. Rogenmoser, Betriebstechniker, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Dreikönigstrasse 18, 8022 Zürich.

Innere Induktivitäten von magnetischen Rundleitern

Von I. Cetin, Ankara

538.521

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.

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 Beispieles 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.

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]¹⁾, 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.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.