

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 61 (1970)
Heft: 4

Artikel: Moderne Lösungen für Leitungs- und Sammelschienenschutz
Autor: Acker, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915910>

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: 23.02.2026

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

Moderne Lösungen für Leitungs- und Sammelschienenschutz

Von J. Acker, Baden

801-806

621.316.9:621.316.35

Es werden moderne Lösungen von Schutzeinrichtungen für Leitungen, Netzkupplungstransformatoren und Sammelschienen kurz besprochen und deren Einsatz an einem Beispiel gezeigt. Beigefügt sind einige Hinweise auf die bei der Verwendung von schnellen und insbesondere statischen Relais auftretenden Probleme.

L'article traite des solutions modernes des dispositifs de protection des lignes, des transformateurs de couplage des réseaux et des barres collectrices et illustre leur application à l'aide d'un exemple. Il comporte également des indications relatives aux problèmes soulevés par l'application de relais rapides, et plus particulièrement de relais statiques.

1. Leitungsschutz für Hochspannungsnetze,

wenn $I_{K_{min}} < I_n$ [1; 2; 3]¹⁾

1.1 Allgemeines

Die heutigen Distanzrelais sind im Prinzip den früheren sehr ähnlich. Bisher arbeiteten die Meßsysteme mit Wechselstromgrößen hauptsächlich unter Verwendung von Ferraris-Systemen bzw. des Waagebalken-Prinzips für Minimalimpedanzrelais. Heute werden vorwiegend durch gleichgerichtete Messgrößen beaufschlagte Drehspulrelais oder gar elektronische Lösungen bevorzugt. Dadurch werden die Dimensionen der Apparate bedeutend kleiner, der Verbrauch stark reduziert und die Ansprechgeschwindigkeit erhöht. Für den Leitungsschutz in Hochspannungsnetzen, bei denen der minimale Kurzschlußstrom in der Regel kleiner als der Nennstrom ist, kommen als Anregeorgane nur Minimalimpedanzrelais in Frage. Sie wählen gleichzeitig die zur Fehlereinschaltung günstigsten Messgrößen aus und schalten sie dem Messglied zu.

1.2 Distanzschutz-Relais in Drehspultechnik [4]

Bei dem in Fig. 1 gezeigten Distanzrelais sind ausschließlich Messglieder in Drehspultechnik eingebaut. Erfasst werden zwei- und dreipolige Phasenkurzschlüsse sowie in Netzen mit starr geerdetem Sternpunkt ein- und mehrpolige Erdschlüsse bzw. in Netzen mit isoliertem oder über Impedanz geerdetem Sternpunkt Doppelerdschlüsse. Der Impedanzansprechwert der drei Anrege-Minimal-Impedanzrelais ist in weiten Grenzen ($1 \dots 10 \Omega/\text{Phase}$ bei einer Nennspannung von $U_n = 100 \text{ V}$ und Nennstrom von $I_n = 5 \text{ A}$) stufenlos einstellbar. Wird die Spannung zu Null, so arbeiten sie als Stromrelais und sprechen bei $0,25 \times I_n$ an. Der Ansprechwert ist praktisch unabhängig vom Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung sowie von der Energierichtung. Die Ansprechcharakteristik in der Impedanz-Ebene ist somit ein Kreis mit Mittelpunkt im Achsenkreuz. Durch Kompoundierung ist auch eine Verschiebung des Kreises möglich. Das Rückfallverhältnis beträgt 103 %.

Die Umschaltung der Bezugsspannung von den verketteten auf Phasen-Spannungen bei Erdkurzschluss erfolgt durch das Erdschlussrelais. Sein Ansprechwert kann im Bereich $0,2 \dots 2,0 \times I_n$ eingestellt werden. Normalerweise werden jedoch zur Vermeidung unerwünschten Ansprechens keine Werte unter $0,5 \times I_n$ gewählt.

Echte Erdschlüsse mit kleinem Summenstrom werden somit durch das Erdschlussrelais nicht mehr erfasst. Dafür dient das im Bereich $0,1 \dots 1,0 \times I_n$ einstellbare Reserve-Erdschlussrelais, das meist über ein auf 2 s eingestelltes, verzögertes Hilfsschütz arbeitet.

Das Distanz- und Richtungs-Meßsystem ist ebenfalls mit Hilfe eines Drehspulrelais verwirklicht. In bekannter Weise wird mittels der Fehlerspannung und einer in einem Leitungsabbild gewonnenen Abbildspannung eine Differenzspannung gebildet. Als Referenzspannung wird durch die Anregerrelais bei allen unsymmetrischen Fehlern die der kranken Spannung vorlaufende, gesunde, verkettete Spannung zugeschaltet. Das Meßsystem misst dabei immer die Phasenimpedanz. Dadurch ist die Richtungsempfindlichkeit bei zweipoligen Fehlern unbegrenzt. Bei dreipoligen Fehlern beträgt die Richtungsempfindlichkeit 0,1 V, das heisst mit andern Worten, dass der Ortskreis bei dreipoligen Fehlern den Relais-Einbauort gerade noch umfasst [5].

Die Zeit-Distanz-Arbeitskennlinie stellt eine reine Stufencharakteristik dar. Sie umfasst 4 Stufen, wovon die letzte ungerichtet ist. Jede der Zeitstufen ist unabhängig vonein-

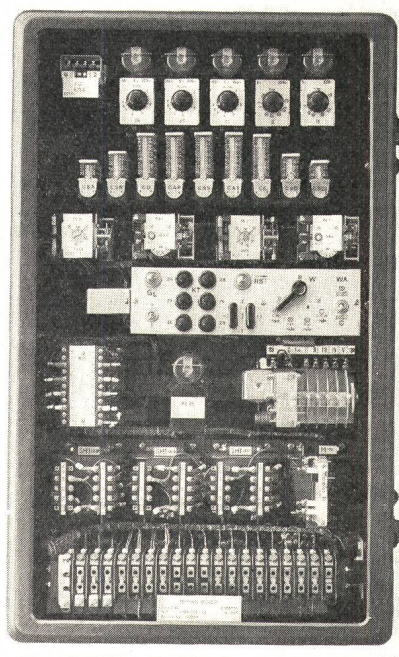


Fig. 1
Gesamtansicht eines Distanzrelais für Hochspannungsnetze

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

ander zwischen 0,1 und 5 s stufenlos einstellbar. Die kürzeste Arbeitszeit dieses Relais beträgt 40 ± 5 ms. Der Verbrauch der normalen, unkomponierten Ausführung beträgt im ungünstigsten Fall im Strompfad 4,2 VA bei einpoligem Erdkurzschluss bzw. im Spannungspfad ca. 14 VA bei zweiphasigem Kurzschluss.

1.3 Der Einperioden-Zusatz [6]

Mit Hilfe eines Einperioden-Zusatzes ist es möglich, ein- und dreipolige Kurzschlüsse in der extrem kurzen Zeit von einer Periode abzuschalten. Da das Relais nur als Zusatz konzipiert ist, enthält es keine eigenen Anregeglieder. Drei kombinierte Distanz- und Richtungsrelais überwachen dauernd je eine Spannung und einen Strom. Dadurch werden nahe zweipolige isolierte Fehler ebenfalls erfasst. Diese Relais erteilen bei Kurzschluss auf der überwachten Leitungsstrecke sofort den Auslösebefehl. Da nur eine einzige Zeitstufe vorhanden ist, wird in der Regel auf 85...90 % der geschützten Leitungsstrecke eingestellt. Damit auch bei Fehlern nahe dem einen Leitungsende beide Schalter ausgelöst werden, muss der Auslösebefehl auf die Gegenseite übertragen werden. Da die Übertragung dieses Befehls für alle 3 Phasen gemeinsam erfolgt, sind für die Auswahl der richtigen, d. h. betroffenen Phase noch 3 Phasenwahlrelais eingebaut.

Dieses Einperioden-Zusatz-Relais ist, mit Ausnahme der Überstromfreigaberelais in Drehspultechnik, noch in der bisherigen Technik mit Ferrarissystemen gebaut.

1.4 Einperioden-Relais

Die Weiterentwicklung dieses Zusatzrelais führte zu einem selbständigen zweistufigen Einperioden-Relais. Ein zusätzliches Meßsystem (Gegenfeldrelais) erlaubt die distanzgetreue Erfassung auch der zweipoligen Fehler. Der Anlauf des für die Stufenumschaltung notwendigen Zeitwerkes erfolgt aufgrund der Phasenwahlrelais. Die Freigabe der gesamten Einrichtung erfolgt durch 3 im Bereich von $0,1...0,5 \times I_n$

einstellbare Maximalstromrelais. Ein Zusatz für die Ansteuerung einer Wiedereinschalt-Apparatur vervollständigt die Ausrüstung.

1.5 Elektronische Relais [7]

Die elektronische Ausführung eines Distanzrelais (Fig. 2), ist ebenfalls ein 4-stufiges Relais. Als Anregeglieder sind 6 Minimalimpedanzrelais eingebaut. Drei sind zwischen Phase und Erde, die drei übrigen an verkettete Spannung angeschlossen. Dadurch entfällt eine Umschaltung der Messgrößen. Zur Verhinderung von Fehlauflösungen erfolgt die Freigabe der Anregeglieder durch Maximalstromrelais erst bei einem einstellbaren minimalen Strom von $0,3...1,5 \times I_n$.

Für ein- und dreipolige Fehler messen drei Quotientenmeßsysteme Distanz und Richtung. Sie werden beaufschlagt von der Phasenspannung und dem Phasenstrom zusätzlich einem wählbaren Anteil des Summenstromes. Ein zusätzliches Meßsystem (Gegenfeldrelais) erlaubt wiederum die getreue Erfassung zweipoliger, isolierter Fehler.

Die Eigenzeit beträgt je nach Phasenlage bei Kurzschlussbeginn nur 7...13 ms. Ausser durch diese sehr grosse Arbeitsgeschwindigkeit zeichnet sich dieses elektronische Distanzrelais durch einen geringen Verbrauch aus. Er beträgt im Strompfad lediglich 1,8, im Spannungspfad 5 VA.

2. Leitungsschutz für Mittelspannungsnetze,

wenn $I_{K_{min}} > I_n$ [8]

Da in Mittelspannungsnetzen der minimale Kurzschlussstrom in der Regel grösser als der Nennstrom ist, können hier als Anregeglieder Maximalstromrelais verwendet werden. Zum Schutz von Freileitungen und Kabeln in isolierten und kompensierten Netzen, als auch in Netzen mit starr geerdetem Nullpunkt wurde ein neues, vielseitiges Distanzrelais geschaffen. Es erfasst zwei- und dreipolige Kurzschlüsse mit und ohne Erdberührung, Doppelerdschlüsse sowie einpolige Erdkurzschlüsse. Während für die Maximalstromrelais Drehankerrelais beibehalten wurden, ist das Messorgan in Drehspultechnik gebaut.

Bei zwei- und dreipoligen isolierten Fehlern erfolgt die Anregung durch zwei Maximalstromrelais, einstellbar von $1...4,0 \times I_n$. Für Fehler gegen Erde ist ein drittes Relais als Summenstromrelais in den Nullstromkreis der Leistungsstromwandler geschaltet. Das Messorgan, ein Drehspul-Phasenvergleichsrelais, ist unter Beibehaltung des bewährten Leitungsabbildes wiederum Distanz- und Richtungsorgan zugleich. Seine Richtungsempfindlichkeit beträgt 1 % von U_n .

Seinen Hilfsstrom bezieht das Relais über eingebaute Hilfsstromwandler aus dem Netz. Es ist somit von einer Batterie unabhängig. Sein Leistungsverbrauch einschliesslich Hilfsstromversorgung ist je nach Fehlerfall verschieden. Er beträgt im Stromkreis im Normalbetrieb 6,0 VA, bei zwei- und dreipoligem Kurzschluss 10,0 und bei Doppelerdschluss oder einpoligem Erdkurzschluss 11...14 VA.

Das Zeitstufenwerk hat 4 Stufen, wovon die vierte wahlweise gerichtet oder ungerichtet sein kann. Die minimale Relaiszeit (Grundzeit) beträgt ab ca. $5 \times I_n$ 50 ms.

Die steckbare Ausführung ermöglicht eine schnelle Prüfung ohne Abschaltung der Leitung, gute Zugänglichkeit und rasches Auswechseln gegen ein Reserverelais.

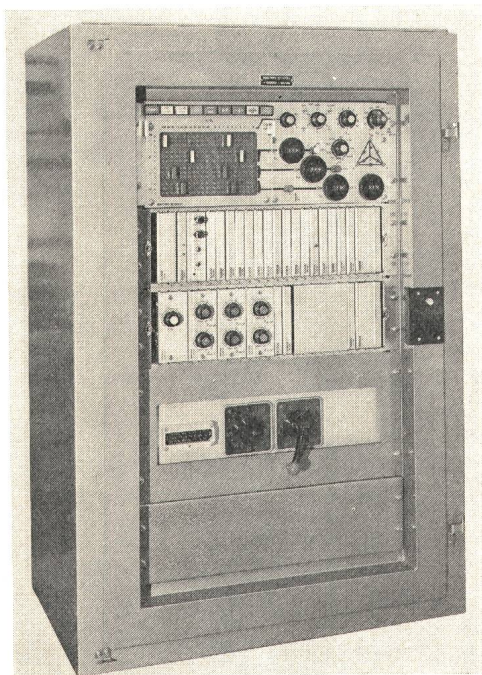


Fig. 2

Elektronisches Distanzschutzrelais für Hochspannungsnetze

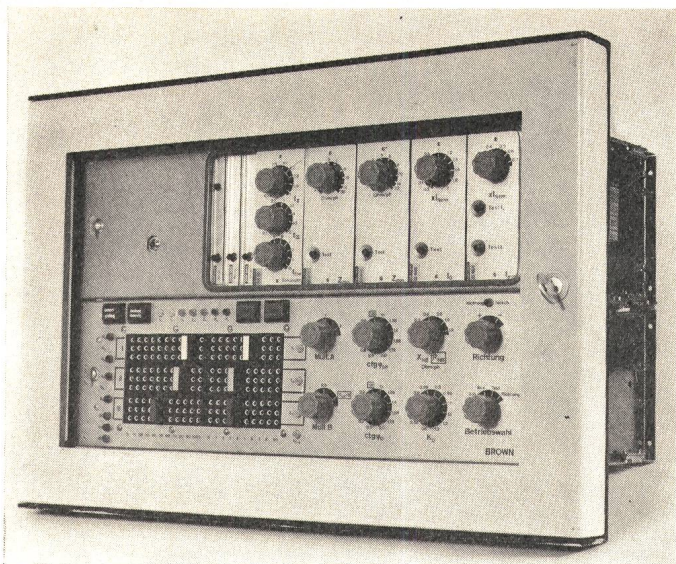


Fig. 3
Elektronisches Distanzschutzrelais für Bahnnetze 16 2/3 Hz

3. Anwendungsmöglichkeiten [9]

Alle Relais besitzen die zur Ansteuerung eines Schnellwiedereinschaltapparates notwendigen Elemente. Die Relais für Hochspannungsnetze erlauben wahlweise ein- oder dreiphasige sowie ein- und dreiphasige Wiedereinschaltung.

Für die Koordination der Leitungsschalter-Funktion an beiden Enden der Schutzstrecke bestehen die Möglichkeiten des Übergreifens, der Draht- bzw. HF-Kupplung sowie der Mitnahmeschaltung. Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch die Messrichtungsumkehr. Bei den Relais für Hochspannungsnetze kann normalerweise die Richtung einmal gekehrt werden. Beim Relais für Mittelspannungsnetze ist auch eine zweimalige Richtungsumkehr möglich, so dass z. B. nur eine Stufe rückwärts misst. Dies ermöglicht den Aufbau eines Sammelschienenschutzes, der sich allerdings nicht mit den kurzen Zeiten des später noch zu besprechenden elektronischen Sammelschienenschutzes messen kann. Zu diesem Zweck messen alle Distanzrelais einer Station innerhalb der ersten Stufe vorerst normal vorwärts und anschliessend kurzzeitig rückwärts. Die Aus-Befehle werden dann so verriegelt, dass eine Freischaltung der Sammelschiene nur erfolgt, wenn alle Relais den Fehler rückwärts sehen. Die so für die Abschaltung vom Sammelschienenfehler erreichbare Relaiszeit liegt in der Grössenordnung von 200...300 ms.

Nach einer erfolglosen Wiedereinschaltung wird vielfach von Hand eine nochmalige und oft erfolgreiche Einschaltung einer Leitung versucht. Je nach momentaner Inanspruchnahme des Schaltwärters ist die Pausenzeit grösser oder kleiner. Liegt nun aber tatsächlich ein Schaden vor, wie z. B. ein Leiterbruch, so kann, wie auch die Praxis bestätigt, eine Gefährdung von Personen entstehen, wenn diese Zuschaltung nach zu grosser Zeitspanne erfolgt. Um diese Gefahr zu beschränken, wurde eine sog. Langsamwiedereinschalteneinrichtung geschaffen, die nach einer erfolglosen Wiedereinschaltung nach Ablauf von 2...15 s automatisch den Leitungsschalter nochmals zuschaltet. Nach einer solch grossen Zeitspanne besteht keinerlei Gefahr mehr für Synchronismus. Die in 4 einpoligen Gehäusen eingebaute Relaiskombination erlaubt daher die Zuschaltung nur, wenn die Spannungs- und

Winkeldifferenz innerhalb der einstellbaren, vorgegebenen Grenze liegt. Die gesamte Einrichtung arbeitet somit unabhängig von irgendwelchen Synchronisiereinrichtungen.

4. Leitungsschutz für Bahnnetze 16 2/3 Hz in elektronischer Ausführung

Speziell für Bahnnetze von 16 2/3 Hz sind rein statische Distanzrelais geschaffen worden (Fig. 3). Die Anregung erfolgt durch zwei Minimalimpedanzrelais von $0,1...1,0 \times Z_n$ stufenlos einstellbar. Eine Summenstromanregung von $0,3...2,0 \times I_n$ einstellbar sorgt für distanzgetreues Erfassen von Erdfehlern. Das Messprinzip arbeitet wie bei den vorerwähnten Distanzrelais mit dem Vergleich einer Bezugsspannung mit der Differenz der Fehlerspannung und der Abbildspannung. Die Abbildimpedanzen liegen jedoch bei dieser Relaisausführung direkt in den Hauptstromwandler-Sekundärkreisen, wodurch die Zwischenstromwandler im Distanzrelais dahinfallen. Zusammen mit einem sehr kleinen Verbrauch (1 VA) ergibt dies ein ausgezeichnetes Verhalten bei transienten Kurzschlussfällen mit hohen Gleichstromzeitkonstanten. Eine Umschaltung erlaubt die Anpassung des Nachbildes an Freileitungen, an Kabel und auch an den Ohmschen Widerstand allein. Zur Berücksichtigung des zur Leiterimpedanz verschiedenen Winkels der Erdimpedanz ist das Nachbild im Nullpfad getrennt einstellbar.

Die Freigabe der Messung kann an zwei Minimalstromrelais im Bereich von $0,2...0,7 \times I_n$ eingestellt werden.

Die unverzögerte Auslösung in der Grundzeit erfolgt je nach Fehlerfall und Phasenlage bei Kurzschlussbeginn zwischen 20 und 55 ms, d. h. innerhalb der ersten Periode des 16 2/3-Hz-Netzes. Zusätzlich stehen noch zwei gerichtete und eine ungerichtete Zeitstufe zur Verfügung.

5. Moderner Netzschutz am Beispiel der BLS ²⁾

Als Beispiel eines mit modernen Mitteln geschaffenen Netzschutzes sei derjenige des BLS-Netzes Spiez-Brig erwähnt (Fig. 4). Nach eingehenden Kurzschlussversuchen in Kandersteg und auf der 66-kV-Leitung Wimmis-Kandersteg kamen die ersten Schutzeinrichtungen im April 1968 in Betrieb. Sie arbeiten seither zur vollen Zufriedenheit. In Kandersteg haben die Relais inzwischen rund 150mal infolge auftretender Fehler angesprochen, darunter eine erfolgreiche Abschaltung durch den elektronischen Sammelschienenschutz.

Den Schutz der zweipolig isolierten 66-kV-Leitung Wimmis-Kandersteg und der einpolig geerdeten 16-kV-Leitungen Kraftwerk Spiez-Station Spiez, Spiez-Wimmis, Wimmis-Station Spiez, Wimmis-Kandergrund und Kandergrund-Kandersteg I und II übernehmen die erwähnten elektronischen Distanzrelais. Für den Fahrleitungsschutz in den Stationen Spiez und Kandersteg sind elektronische Maximalstromrelais und Richtungsrelais mit Minimalimpedanzanregung sowie Zeitverzögerung eingesetzt. Den Überlastschutz dieser Leitungen sowie der Kabelhilfsleitungen zwischen Kandersteg und Brig bzw. Kandersteg und Frutigen übernehmen mechanische Thermorelais. Differentialrelais in Drehspulentechnik schützen den Transformator in Kandersteg. Sollte der Synchronismus des Netzes verloren gehen,

²⁾ BLS = Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn.

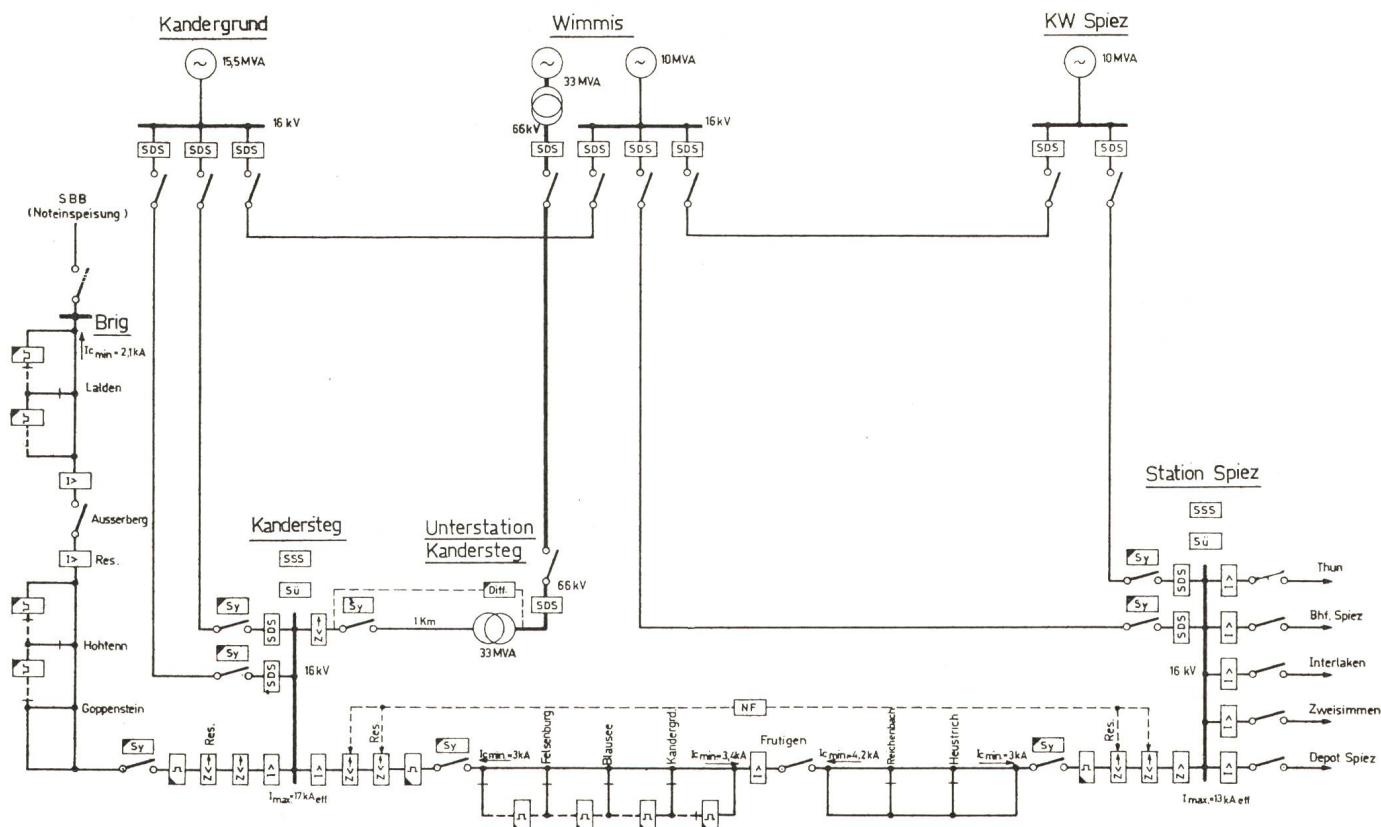


Fig. 4
Netzschutz des BLS-Netzes Spiez—Brig

- | | | | |
|--------|---------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------|
| SDS | Distanzrelais; | Sü | Schalterüberwachung; |
| I> | Maximalstromrelais; | Sy | Synchron und Spg.-Differentialrelais; |
| Z<=> | Richtungsrelais mit Minimalimpedanzanregung | NF | NF Shift Kanal für Übertragung Sperrbf. zu Richtungsrelais; |
| Diff. | Differentialrelais; | | Ausführung mechanisch; |
| Therm. | Thermorelais; | | Ausführung elektrisch |
| SSS | Sammelschienenschutz; | | |

so verunmöglichen in den Stationen Spiez, Frutigen und Kandersteg Relais auf dem Ferrarisprinzip ein Zuschalten der Netze bei Asynchronismus. Die Einrichtung zur Trennung der Strecke Spiez—Kandersteg in Frutigen bestehend aus Maximalstrom-, Minimalspannungs- und Zeitrelais wurde wiederum mit elektronischen Relais verwirklicht. Die Sammelschienen in Kandersteg und Spiez sind durch elektronische Sammelschienen-Schutzeinrichtungen nach dem Richtungsvergleichsprinzip geschützt. Eine Schalterüberwachung vervollständigt diesen Schutz.

6. Schalterreserveschutz [10]

Die Schalterüberwachung ist in der Zwischenzeit zu einem ganzen Programm Schalterreserveschutz (breaker back up) in elektronischer Ausführung ausgebaut worden. Gibt ein Relais auf den Schalter eines Abganges einen Aus-Befehl, so muss nach Ablauf der Schaltereigen- und Lichtbogenlöschzeit der betreffende Strom auf Null zurückgehen. Ist dies nicht der Fall, so hat der Schalter versagt. Der Schalterreserveschutz überwacht nun die Zeit zwischen Aus-Befehl und dem Verschwinden des Stromes. Wird diese Zeit, einstellbar von 50...500 ms, überschritten, so gibt diese Schutzeinrichtung selbst einen Aus-Befehl. Je nach Variante löst die Einrichtung über ein Trennerabbild sämtliche auf die betreffende Sammelschiene geschalteten Schalter aus oder sie versucht vorerst noch einmal den betroffenen Schalter evtl. über eine

zweite Aus-Spule abzuschalten, um erst dann, wenn auch dies erfolglos war, die Sammelschiene freizuschalten. Eine weitere Variante ermöglicht auch die Übertragung des Aus-Befehles auf die Gegenseite. Steuern nur selektive Relais die Einrichtung an, genügt für einen evtl. vorhandenen Kuppelschalter eine Mitnahmeeinrichtung. Sind jedoch unselektive Relais vorhanden, so muss vorerst der Kuppelschalter geöffnet werden, damit dann die betroffene Sammelschiene selektiv abgeschaltet werden kann.

Die Einrichtungen sind auf dem Baukastenprinzip einheitlich in sechsteilige Parts eingebaut und für 1-, 2- und 3fach-Sammelschienen erhältlich.

7. Schutz von Netzkupplungstransformatoren

Bei der Kupplung zweier Netze mittels eines Autotransformators mit nachgeschaltetem Reguliertransformator erfolgt dessen Erregung ab einer Tertiärwicklung des Autotransformators. Je nach Zusammenschaltung von Tertiär- und Erregerwicklung ergibt sich für die gesamte Gruppe eine Längs-, eine vor- oder nachteilende Schrägeregulierung oder gar eine Querregulierung. Der Reguliertransformator hat dabei einen Regulierbereich von $\pm 100\%$. Des weiteren besteht die Möglichkeit, durch Anschluss eines Reaktors oder/und Phasenschiebers an die Tertiärseite den Blindleistungsaustausch über die Kuppelstelle noch weitgehender zu beeinflussen.

Durch kapazitive Kopplung besteht ohne Gegenmassnahmen die Gefahr der Spannungsverlagerung für die Tertiärseite. Diese Gefahr kann beseitigt werden durch

- a) Erden eines Punktes der in Dreieck geschalteten Tertiärwicklung;
- b) Anordnung eines belasteten Symmetrisierungswandlers.

Die nachfolgend beschriebene Schutzeinrichtung ermöglicht einen vollen selektiven Schutz der gesamten Gruppe bei allen möglichen Betriebsarten. Insbesondere sind keinerlei Umschaltungen in den Schutzkreisen bei Änderung der Regulierungsart notwendig. Selbst wenn die Gruppe durch einen zweiten Reguliertransformator für kombinierte Längs- und Schräg regulierung ergänzt wird, kann die Schutzeinrichtung unverändert beibehalten werden. Sinngemäss gilt sie selbstverständlich auch für Dreiwicklungstransformatoren.

Den Schutz der gesamten Gruppe übernehmen 3 Schutzeinrichtungen, und zwar:

Für den Schutz des Autotransformators inkl. Tertiärwicklung sowie Hochspannungsseite des Reguliertransformators ein Differentialschutz-Relais gegen alle Fehler.

Den Schutz der Tertiärseite — Tertiärwicklung des Autotransformators, Tertiärschienen, Erregerwicklung des Reguliertransformators — gegen kapazitive Verlagerung ein Spannungswandler mit Symmetrisierungwicklung an der Tertiärschiene, gegen Erdschlüsse ein Maximalspannungsrelais, und gegen zwei- und dreipolige Fehler ein Minimalimpedanzrelais.

Ein Schutz der gesamten Gruppe mittels eines Differentialrelais ist nicht möglich, da ein solcher Schutz nicht in allen Fehlerfällen selektiv bleibt. Zudem wären je nach Schaltung des Reguliertransformators die Messkreise umzuschalten.

Ein separater Differentialschutz für den Reguliertransformator fällt zufolge seines Regulierbereiches $\pm 100\%$ ausser Betracht.

Wird ein Punkt der in Dreieck geschalteten Tertiärwicklung geerdet, entspricht jeder Erdschluss einem abzuschaltenden Fehler, d. h. der Transformator muss durch den Schutz weggeschaltet werden, obschon dies bei einer Dreieckwicklung normalerweise nicht notwendig wäre.

8. Probleme bei schnellen und insbesondere statischen Relais

Bei schnellen und insbesondere statischen Relais treten eine Reihe von Problemen auf, deren Beachtung für den erfolgreichen Einsatz solcher Schutzeinrichtungen von grosser Bedeutung ist. Waren bei den früheren Lösungen, die relativ langsam arbeiteten, die Ausgleichsvorgänge im wesentlichen vorbei, so ist das heute bei den schnellen Relais, die innerhalb 1...2 Perioden arbeiten, nicht mehr der Fall.

8.1 Strom- und Spannungswandler [11; 12]

Wie in der Literatur schon verschiedentlich dargelegt wurde, müssen die Strom- und Spannungswandler während der Messzeit der Relais mit Vergleichsschutzprinzipien, Quotientenrelais sowie statischen Relais die Messwerte richtig übertragen. Lediglich der elektronische Sammelschienen-schutz auf dem Richtungsvergleichsprinzip ist weitgehend unabhängig von Stromwandlersättigungen. Dies bedingt somit bei Differential-, Distanz- und statischen Relais eine sorgfältige Auswahl der Stromwandler. Sie dürfen während der ganzen Messzeit nicht in die Sättigung kommen.

Bei den Spannungswandlern liegt die Gefahr vor allem bei kapazitiven Wandlern, die bei vollem primärseitigem Kurzschluss noch zu Schwingungsvorgängen Anlass geben.

Beim Kurzschliessen der mit Nennspannung erregten Primärseite muss die Spannung auf der Sekundärseite sofort von Nennspannung auf Null zusammenbrechen. Die Bedingungen für die noch zulässigen Ausgleichsvorgänge sind für elektronische Relais noch schärfer als für mechanische.

8.2 Unterschiede zwischen mechanischen und elektronischen Messverfahren

Dieser Unterschied wie auch z. T. die grössere Störempfindlichkeit der elektronischen Relais beruht auf der Verschiedenheit der Messverfahren. Die mechanischen wie auch die Drehspulrelais haben ein integrierendes Verhalten. Die statischen Relais hingegen arbeiten mit Koinzidenzvergleichen pro Halbwelle. Verschiebungen von Nulldurchgängen oder Veränderungen der Kurvenform beeinflussen somit unmittelbar das Verhalten der Relais, und zwar auch dann, wenn diese Erscheinungen nur während einer halben Periode auftreten.

8.3 Störeinflüsse

Neben der richtigen Übertragung der Messgrössen ist somit auch allen Störgrössen gebührende Aufmerksamkeit zu schenken. Spannungsspitzen ganz beträchtlicher Grössen treten z. B. beim Abschalten von Induktivitäten wie Schalter-spulen auf. Ein Teil der beeinflussenden Störspannungen kann durch eine konsequente, getrennte Führung von «sauberen» Elektronikkreisen und von den übrigen Steuer- und Starkstromkreisen vermieden werden. Eine galvanische Trennung der Steuerkreise von den Elektronikkreisen trägt das seine dazu bei. Auch Filter vermögen nicht in allen Fällen zu helfen. Sie schützen nur gegen hochfrequente Einkopplungen und Störspitzen mit extrem steilen Flanken, nicht aber wie oft angenommen, gegen dauernde Überspannungen oder netzfrequente Überlagerungen. Dies ist vor allem auch bei der Gleichspannungsspeisung zu beachten (Fig. 5). Die Erfahrung zeigt, dass als Gleichspannung auch eine Spannung verstanden wird, die jede beliebige Kurvenform aufweisen kann, nur darf sie die Nulllinie nie unterschreiten. Dies zwingt dazu, diesbezügliche Vorschriften zu erlassen. Eine einwandfreie Funktion der Geräte darf nur erwartet werden, wenn eine Spannungs-Toleranz von $+10\%$... -15% am Eingang des Gerätes eingehalten wird. Ein überlagerter Rippel darf peak to peak nicht grösser als 5% der Nennspannung sein und die Toleranzgrenzen dabei weder unter- noch überschreiten. Daraus folgt, dass elektronische Relais nicht nur mit einem Ladegerät betrieben werden können. Eine erste Abhilfe bringt schon der richtige Anschluss des Ladegerätes direkt an die Batterie. Wird das Ladegerät aber direkt an die Verbraucherschienen angeschlossen, so geht

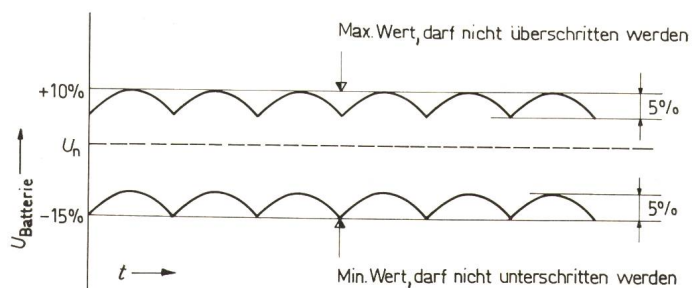


Fig. 5
Anforderungen an die Werkbatterie
 t Zeit; U_{Batterie} Batteriespannung; U_n Nennspannung

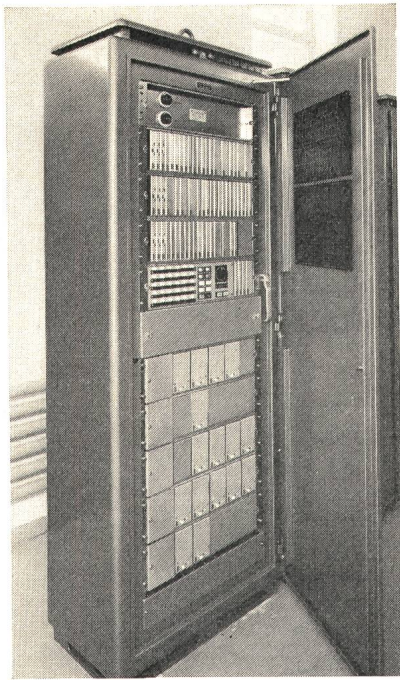


Fig. 6

Elektronischer Sammelschienenenschutz nach dem Richtungsvergleichsprinzip
Im Schrank sind alle Elemente für den selektiven Schutz einer Doppelsammelschiene mit Hilfsfeld, Kuppelschalter und 25 Abgängen enthalten

die beim richtigen Anschluss an die Batterie durch den Widerstand der Leitung Ladegerät-Batterie und die Kapazität der Batterie erhaltene Dämpfung und Glättung verloren. Die Kapazität der Batterie sollte so gross gewählt werden, dass auch beim Zuschalten der grössten Lasten keine unzulässigen Spannungseinbrüche auftreten.

9. Elektronischer Sammelschienenenschutz [13; 14; 15]

Der elektronische Sammelschienenenschutz (Fig. 6) stellt einen schnellwirkenden und absolut selektiven Schutz von Sammelschienen dar, selbst wenn Mehrfach-Sammelschienen mit Kupplungen und Längstrennern vorhanden sind.

Das Messprinzip besteht darin, dass die Richtung der Ströme in allen Abzweigen mit der Richtung des Differenzstromes verglichen wird. Zeigen alle Ströme zur Sammelschiene, so liegt ein Defekt auf der Sammelschiene vor und der Ausschaltsbefehl wird gegeben. Der Vergleich selbst wird durch eine Phasenmessung der in Rechteckform umgewandelten Stromkurven durchgeführt. Dadurch wird der Richtungsentscheid von den Amplituden der Ströme unabhängig. Eine Verlängerungsschaltung sorgt dafür, dass auch bei sehr kurzen Stromimpulsen, wie sie auf der Sekundärseite von extrem gesättigten Wandlern bei sehr grossen Gleichstromzeitkonstanten auftreten, noch eine einwandfreie Messung stattfinden kann.

Bei aussenliegenden Fehlern können sowohl Phasenverschiebungen der einzelnen Ströme als auch Wandler-sättigungen eintreten. Obwohl auch in diesem Fall die Abgangsströme grundsätzlich in Phasenopposition sind, können durch diese Effekte kurzzeitige Koinzidenzimpulse auftreten. Zur Vermeidung von Fehlauflösungen wird daher das Koinzidenzsignal in Form einer Integrierung ausgewertet.

Der ganze Messvorgang wird getrennt für die positive und negative Halbwelle vorgenommen. Dadurch wird eine Er-

höhung der Zuverlässigkeit und gleichzeitig eine sehr kurze Auslösezeit von 8...13 ms erreicht.

Um bei Mehrfach-Sammelschienen, auch mit Kupplungen und Längstrennern, eine einwandfreie Selektivität zu erhalten, werden durch eingebaute Kippschütze die Messgrössen entsprechend zusammengefasst. Die Kippschütze werden über Trennerhilfskontakte gesteuert und deren Steuerkreise dauernd überwacht. Bei irgendeiner Störung in den Trennerhilfskontakten, in den Verbindungsleitungen oder Kippschützen, wird sofort Alarm gegeben, der je nach Betriebsverhältnissen auch zum Blockieren des Schutzes verwendet werden kann. Dieses Trennernachbild öffnet jedoch nirgends einen sekundären Stromwandlerkreis. Die Umschaltung der Kippschütze erfolgt erst dann, wenn der Trenner seinen Betätigungsweg beendet hat. Dadurch wird auch beim Öffnen eines Trenners unter Last oder bei versehentlichem Einschalten eines Trenners auf einen Fehler der ursprüngliche Schaltzustand im Schutz gespeichert und eine selektive Abschaltung gewährleistet.

Eine automatische Prüfeinrichtung prüft in einem beliebig wählbaren Zeitpunkt die gesamte Schutzeinrichtung auf einwandfreie Funktion durch Simulierung je eines aussen- und innenliegenden Fehlers. Eine weitere Überwachung überprüft ständig den Differenzstrom aller Abzweige. Ein solcher Differenzstrom kann während des normalen Betriebes nur auftreten, wenn eine Stromwandlerklemme kurzgeschlossen wurde, ein Stromwandler selbst ausgefallen ist oder wenn das Sammelschienen-nachbild nicht mit dem tatsächlichen Schaltzustand übereinstimmt.

Für induktiv oder hochohmig geerdete Netze wird die Messeinrichtung normalerweise in zwei Phasen vorgesehen, während in starr geerdeten Netzen dreiphasige Ausrüstung zur Anwendung kommen. Liegt jedoch der minimale Kurzschlussstrom über dem etwa dreifachen maximalen Betriebsstrom, so kann durch Summierung von zwei Phasen ein Meßsystem eingespart werden.

Literatur

- [1] A. Matthey-Doret: Leitungs- und Kabelschutz, Haupteigenschaften und Anwendung. Brown Boveri Mitt. 53(1966)11/12, S. 834...840.
- [2] V. Narayan: Distanzschutz von Hochspannungsleitungen mit Reihen-kondensatoren. Brown Boveri Mitt. 55(1968)7, S. 372...382.
- [3] V. Narayan: Der Einfluss von Netzpendelungen auf den Leitungsschutz. Brown Boveri Mitt. 53(1966)11/12, S. 841...848.
- [4] H. Barchetti: Ein neues Distanzrelais für Hochspannungsnetze. Brown Boveri Mitt. 53(1966)11/12, S. 776...783.
- [5] C. J. R. Pfaff und K. v. Buzay: Kreisdiagramme richtungsabhängiger Impedanz-Drehfeldrelais. Brown Boveri Mitt. 49(1962)5, S. 173...189.
- [6] M. Müller, F. Gyax, C. Hahn und P. Baltensperger: Schutz von Höchstspannungsnetzen unter Berücksichtigung der einphasigen Wiedereinschaltung bei sehr langen Leitungen. Brown Boveri Mitt. 45(1958)6, S. 243...253.
- [7] M. Tönnies: Elektronisches Distanzrelais. Brown Boveri Mitt. 53(1966)11/12, S. 784...790.
- [8] P. Weber und A. Matthey-Doret: Das neue, vielseitig verwendbare Distanzrelais Typ L14 für Mittelspannungsnetze. Brown Boveri Mitt. 53(1966)11/12, S. 762...775.
- [9] J. Gantner: Brown Boveri Distanzschutz-Schaltungen mit Übertragung eines Signals zur Gegenstation. Brown Boveri Mitt. 55(1968)7, S. 365...371.
- [10] H. Ungrad: Reserveschutz. Brown Boveri Mitt. 55(1968)6, S. 297...305.
- [11] N. Korponay und H. Ungrad: Anforderungen schneller Schutzrelais an die speisenden Stromwandler. Brown Boveri Mitt. 55(1968)6, S. 289...296.
- [12] H. Barchetti, N. Korponay et A. Mosbeck: Comportement des transformateurs de courant, des relais et des dispositifs de protection en régime transitoire. Rapport CIGRE No. 31-06, 1968.
- [13] H. Haug und M. Forster: Elektronischer Sammelschienenenschutz. Brown Boveri Mitt. 53(1966)4/5, S. 326...339.
- [14] M. Forster: Der elektronische Sammelschienenenschutz. Brown Boveri Mitt. 53(1966)11/12, S. 828...833.
- [15] M. Forster und R. Berthold: Hochstromversuche mit dem elektronischen Sammelschienenenschutz. Brown Boveri Mitt. 55(1968)4/5, S. 250...256.

Adresse des Autors:

J. Acker, Projektierungs- und Berechnungschef der Schutzabteilung, AG Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden.