Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 56 (1965)

Heft: 22

Artikel: Ein elektronischer Sammelschienen-Spannungsdifferenzialschutz für unterschiedliche Stromwandler-Übersetzungen

Autor: Schär, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916420

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: 21.01.2026

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

oder, ganz frei ausgedrückt: «Alles ist Zahlentheorie». Heute würde er hinzufügen: «und Geometrie».

Wir sind am Ende. Die Maxwellschen Gleichungen haben ein Jahrhundert Geschichte hinter sich. Bei allem Wandel der Betrachtungsweise, bei all der Vermehrung ihrer Bedeutung bleiben sie für uns stets eines: das herrliche Geschenk eines grossen, verehrungswürdigen Forschers an die Welt der Wissenschaft und Technik. Nichts Besseres wissen wir an den Schluss zu setzen als das Motto, das vor mehr als 70 Jahren der kongeniale *Ludwig Boltzmann* seinen «Vorlesungen über die Maxwellsche Theorie der Elektrizität» voranstellte; es sind dies die Verse aus *Goethes* Faust:

«War es ein Gott, der diese Zeilen schrieb,
Die mir das innre Toben stillen,
Das arme Herz mit Freude füllen,
Und mit geheimnisvollem Trieb
Die Kräfte der Natur rings um mich her enthüllen?»

Adresse des Autors:
Prof. Dr. phil., Dr. sc. techn. h. c. *F. Tank*, Frohburgstr. 174, 8057 Zürich.

Ein elektronischer Sammelschienen-Spannungsdifferentialschutz für unterschiedliche Stromwandler-Übersetzungen

Von *F. Schär*, Olten

621.316.925.2:621.316.35

Es werden die Gründe dargelegt, warum sich gewöhnliche Differentialschutz-Schaltungen nicht ohne weiteres zum Schutz von Sammelschienen eignen. Anschliessend wird der Spannungsdifferentialschutz erklärt und ein neuer elektronischer Spannungsdifferentialschutz mit Sperrstromkreis beschrieben, der sich auch für grosse Unterschiede in den Stromwandlerübersetzungen eignet. Messergebnisse bestätigen die Ausführungen.

L'auteur indique pourquoi les montages ordinaires de protection différentielle ne conviennent pas toujours à la protection de barres omnibus. Il décrit ensuite la protection différentielle de tension et un nouveau montage électronique qui convient également pour de grands écarts entre rapports de transformation de transformateurs de courant. Des résultats de mesures confirment l'utilité du nouveau montage.

Einleitung

Der Schutz von Sammelschienen in Hochspannungsanlagen ist in den letzten Jahren immer wichtiger geworden. Vergleicht man zum Beispiel die Anzahl der Störungen pro 100 km und Jahr mit derjenigen pro 100 Schaltfelder und Jahr für verschiedene Nennspannungen, so erhält man für das ganze westdeutsche Hochspannungsnetz für die Jahre 1959 bis 1962 ein Bild gemäss Tabelle I [1][1]).

Vergleich der Anzahl Störungen im westdeutschen Hochspannungsnetz
Tabelle I

Nennspannung kV	Fehler pro 100 km Leitung und Jahr				Fehler pro 100 Schaltfelder und Jahr			
	1959	1960	1961	962	1959	1960	1961	1962
10	14,28	7,12	6,87	8,16	1,33	0,95	0,84	1,04
20	21,31	5,21	5,22	7,56	5,90	3,01	2,70	3,16
30	10,06	6,37	5,45	7,42	5,06	1,95	3,52	3,48
60	11,10	4,28	2,97	4,65	5,89	3,04	4,65	3,26
110	6,40	1,01	0,64	1,19	11,84	5,42	4,52	4,66
220	3,72	0,45	0,54	1,43	16,63	10,26	6,76	5,40

Wie die Zahlen dieser Tabelle zeigen, nimmt die spezifische Anzahl der Störungen mit steigender Spannung auf den Leitungen ab, in den Anlagen dagegen zu. Ein Sammelschienenkurzschluss hat aber bei den heutigen, in stetigem Steigen begriffenen Kurzschlussleistungen in der Regel viel bedeutendere Folgen, so zum Beispiel:

a) Es müssen stets mehrere, gegebenenfalls bis zu 20 Schalter auslösen.
b) Jeder Schalter kann wichtige Landesteile, Städte oder Grossindustrien in der Energieversorgung stark beeinträchtigen.
c) Wichtige Anlageteile in Kraft- oder Unterwerken können speziell bei längerer Kurzschlussdauer derart beschädigt werden, dass die Produktion, die Verteilung oder beide ganz oder teilweise längere Zeit empfindlich gestört sind.
d) Bei zu langen Abschaltzeiten werden gelegentlich sogar Sekundäreinrichtungen beschädigt.
e) Abgesehen vom materiellen Schaden ist in bedienten Anlagen das Personal direkt oder indirekt schwer gefährdet.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Wie verheerend solche Zerstörungen etwa sein können, zeigen die Fig. 1 und 2.

Mit steigender Kurzschlussleistung ist deshalb auch das Interesse an einem guten Sammelschienenschutz stark gestie-

33'991 – 34'008

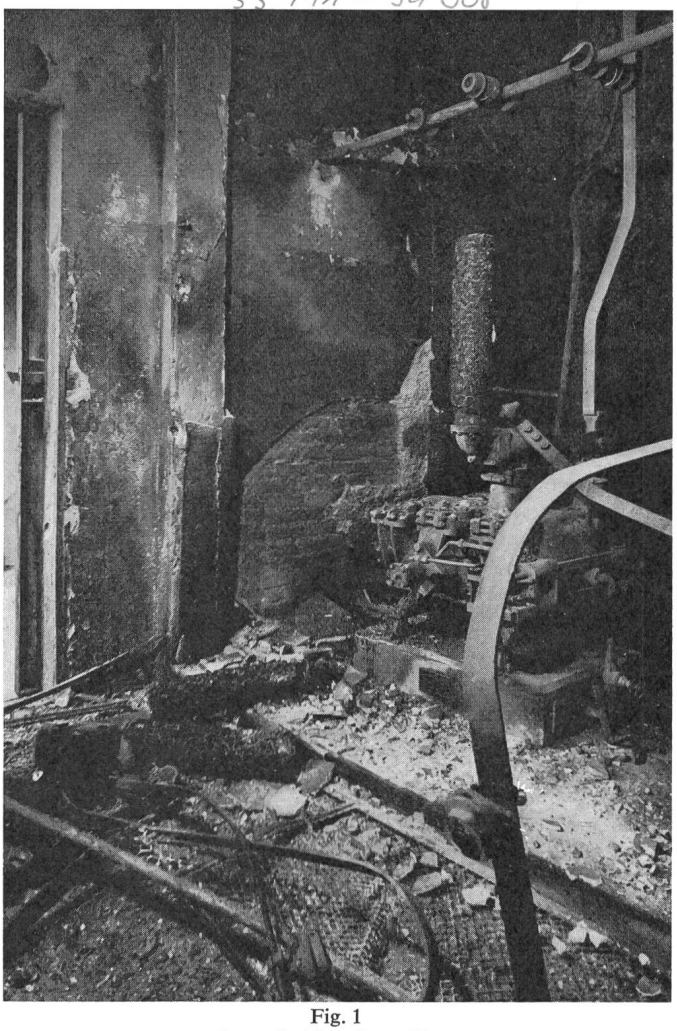

Fig. 1
Sammelschienenkurzschluss
eingeleitet durch eine Ratte an einem 10-kV-Schalter

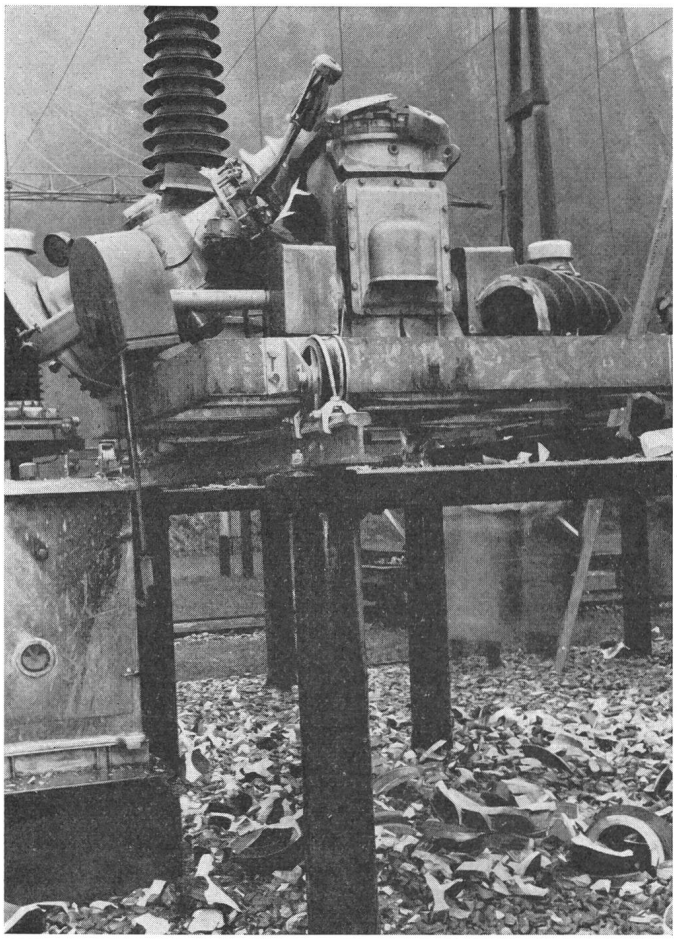

Fig. 2
Sammelschienenkurzschluss infolge eines Defektes an einem ölarmen Schalter von 220 kV älterer Konstruktion

gen. Es sind aus diesem Grunde im Laufe der Zeit verschiedene Dispositionen ausgearbeitet worden.

Einfache Lösungen und ihre Mängel

Es ist nicht schwierig, eine Schaltung zu finden, welche bei einem Kurzschluss an der Sammelschiene auslöst. Mehr Mühe bereitet es, eine Schaltung zu finden, die bei den verschiedensten Arten von Störungen unmittelbar ausserhalb des Schutzbereiches *nicht* auslöst.

Nachstehend sind die wichtigsten Schwierigkeiten solch einfacher Dispositionen skizziert [2]. Fig. 3 zeigt einen einfachen

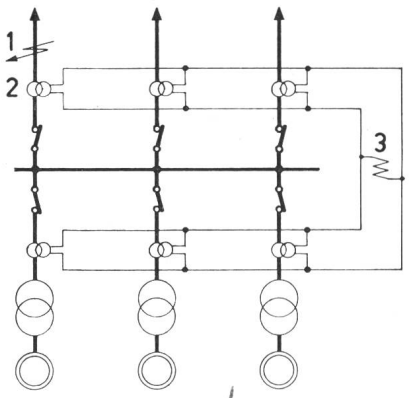

Fig. 3
Einfachster, aber unsicherer Sammelschienenschutz
1 Kurzschluss ausserhalb des Schutzbereiches; *2* überlasteter Stromwandler; *3* Überstrom- bzw. Differentialrelais

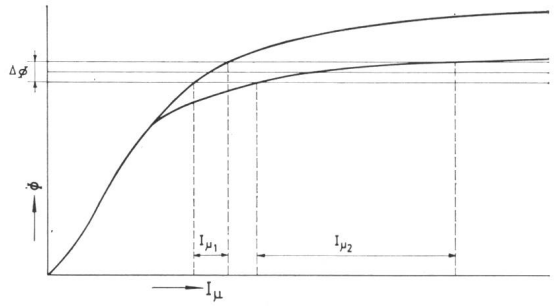

Fig. 4
Stromwandlermagnetisierungskurven mit gleicher Charakteristik im normalen Arbeitsbereich, aber ungleicher Charakteristik im Sättigungsbereich
Φ Magnetfluss; I_μ Erregerstrom

Sammelschienenschutz mit Überstromrelais. Im Normalbetrieb ist die Summe aller Ströme Null. Daher ist das Relais stromlos. Bei einem Kurzschluss an der Sammelschiene bekommt es den totalen Fehlerstrom und löst aus. Bei einem Kurzschluss unmittelbar ausserhalb des Schutzbereiches ist die Summe aller Primärströme wiederum Null. Das sollte nun eigentlich bei den Sekundärströmen auch der Fall sein. Dem ist aber meistens nicht so. Fig. 4 zeigt die einfachste der möglichen Ursachen: Sie stellt die Magnetisierungskurven von zwei gleichen Stromwandlern dar. Diese Kurven sind wohl bei niederem Magnetfluss gleich. Im Sättigungsbereich können jedoch sehr kleine Differenzen schon grosse Unterschiede in der Erregerstromänderung $I\mu$ zur Folge haben. Der Differenzstrom $\Delta I\mu$ fliesst durch das Stromdifferentialrelais *3* der Fig. 3. Die Gefahr einer unerwünschten Auslösung ist also schon bei 2 Abzweigen da.

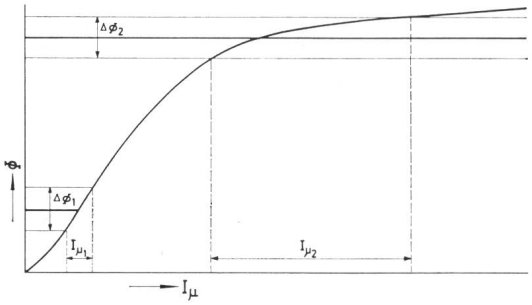

Fig. 5
Stromwandlermagnetisierungskurve für Kurzschluss ausserhalb des Schutzbereiches
$\Delta\Phi_1$ Magnetflussänderung der Wandler in den zuspeisenden Leitungen
$\Delta\Phi_2$ Magnetflussänderung des Wandlers im kurzschlussbehafteten Abzweig

Bei mehr als 2 Abzweigen werden die Verhältnisse noch ungünstiger, wie Fig. 5 leicht erkennen lässt. Jeder zuspeisende Abzweig liefert nur einen Teilstrom. Die Magnetflussänderung $\Delta\Phi_1$ der zugehörigen Wandler hält sich daher noch in mässigen Grenzen. Im Wandler des gestörten Abzweiges aber wird entsprechend dem totalen Kurzschlußstrom die Magnetflussänderung $\Delta\Phi_2$ wesentlich grösser sein. Die Erregerstromdifferenz $I\mu_2 - I\mu_1 = \Delta I\mu$ fliesst wiederum durch das Differentialrelais und kann sehr leicht zu unerwünschten Auslösungen führen.

Noch schlimmer können sich transiente Vorgänge auswirken. Ihr Einfluss auf das Verhalten der Stromwandlersekundärkreise ist wohl erstmals von *D. E. Marshall* und

P. O. Langguth [3] untersucht und von *I. W. Hodgkiss* [2] noch besonders auf das Verhalten der Differentialrelais ausgedehnt worden.

Fig. 6, die dem Bericht von *I. W. Hodgkiss* entnommen wurde, zeigt das transiente Verhalten des Stromwandlers in Bezug auf das Gleichstromglied für eine typische Grösse der primären Zeitkonstante T und der sekundären Zeitkonstante T_1. Der einfacheren Berechnung wegen setzte *Hodgkiss* voraus, dass der betrachtete Stromwandler nicht sättige. Bemerkenswert ist hier vor allem der Verlauf der Kurve i_{sb} für den Strom in der sekundären Bürde. Wie diese erkennen lässt, treten recht respektable positive *und* negative Komponenten auf. Die Polarität des Stromes in der sekundären Bürde kann also mindestens zeitweise falsch sein und damit auch die Arbeitsweise eventuell angeschlossener Energierichtungsrelais.

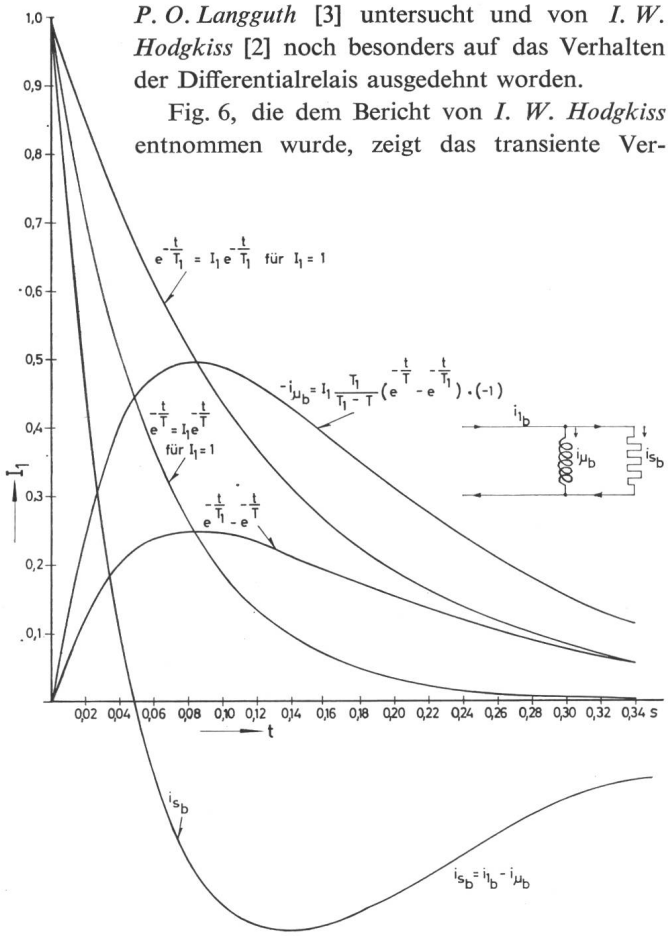

Fig. 6

Von Hodgkiss berechneter Verlauf des transienten Anteils des Stromwandlersekundärstromes

und der ihn beeinflussenden Komponenten für einen nicht sättigenden Stromwandler für typische Werte der primären und sekundären Zeitkonstanten

$$i_{\mu b} = I_1 \frac{T_1}{T_1 - T}\left(e^{\frac{t}{T}} - e^{\frac{t}{T_1}}\right), \quad i_{sb} = i_{1b} - i_{\mu b}$$

I_1 eingeblendeter Sekundärstrom; t Zeit

$T = 0{,}06$ primäre Zeitkonstante; $T_1 = 0{,}12$ sekundäre Zeitkonstante; i_{1b} transiente Komponente des Sekundärstromes; $i_{\mu b}$ transiente Komponente des Magnetisierungsstromes; i_{sb} transiente Komponente des Sekundärstromes in der Bürde

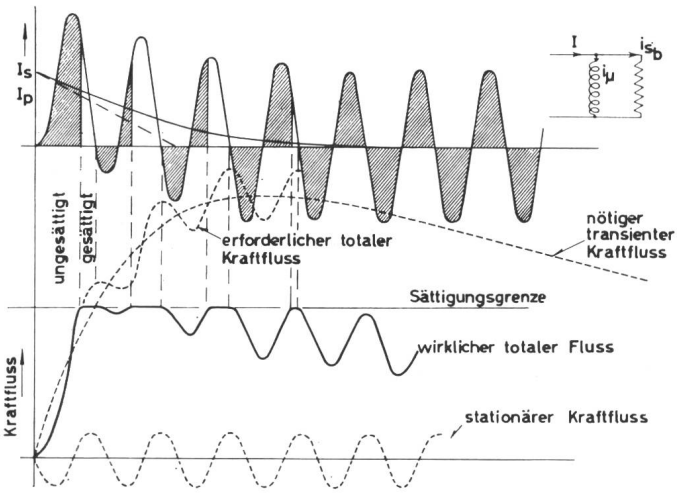

Fig. 7

Studie von Hamilton (Reyrolle) für das transiente Verhalten eines Stromwandlers bei der Sättigung

Primär- und Sekundärstrom sind approximativ gleich, ausgenommen während den Sättigungsintervallen. Die in den Primärstrom eingeblendeten Anteile des Sekundärstromes sind durch Schraffieren gekennzeichnet

Fig. 7 zeigt nach einer Untersuchung von *F. L. Hamilton* [4] die Verhältnisse bei Sättigung des Stromwandlers. Dass dieser vor allem durch die Gleichstromkomponente leicht in die Sättigung getrieben wird, lange bevor die stationäre Wechselstromkomponente dies bedingen würde, geht auch aus folgender Überlegung hervor:

Ein primärseitig abklingender Gleichstrom vermag in den Sekundärwindungen des Stromwandlers keine grosse Spannung zu erzeugen, da ja $d\Phi/dt$ für diese Komponente sehr klein ist. Die zugehörige sekundäre Stromkomponente muss daher, je nach Bürde, ebenfalls sehr klein werden. Damit fehlen aber die Gegen-Ampèrewindungen, so dass der Kraftfluss gezwungenermassen höher und höher steigen muss, bis die Gegen-Ampèrewindungen wirken oder bis eben die Sättigung erreicht ist.

Die schraffierten Flächen in Fig. 7 lassen leicht erkennen, warum der Sekundärstrom in den ersten Perioden deformiert und verkleinert wird. Die aufgenommenen Oszillogramme Fig. 8 und 9, die ebenfalls der Publikation von Hamilton ent-

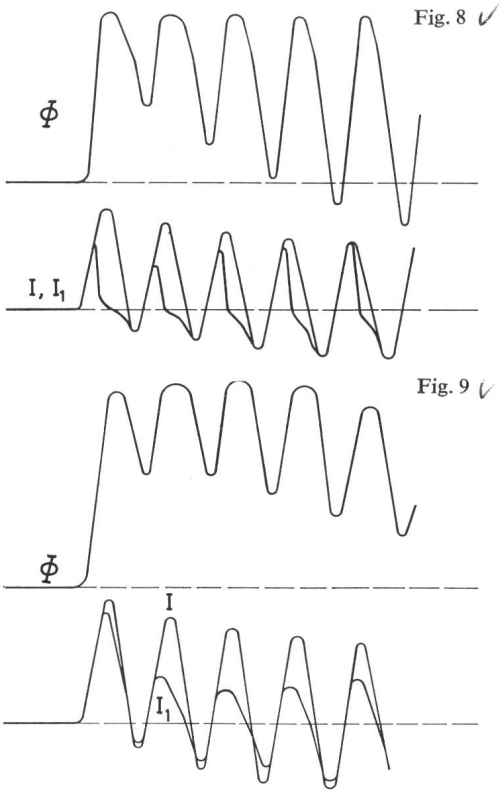

Fig. 8 und 9

Oszillographische Aufnahmen von Kraftfluss, Primär- und Sekundärstrom während des transienten Zustandes (Hamilton, Reyrolle)

Diese Messungen bestätigen die in Fig. 7 dargestellte Betrachtung

Obere Kurven Kraftflüsse (Φ), untere Kurven Primärströme (I) mit eingeblendeten Sekundärströmen (I_1)

Fig. 8: Ohmsche Bürde (Der Sekundärstrom erreicht schon negative Werte, wenn der Primärstrom noch positiv ist). Fig. 9: induktive Bürde (Die Scheitelwerte werden abgeschnitten)

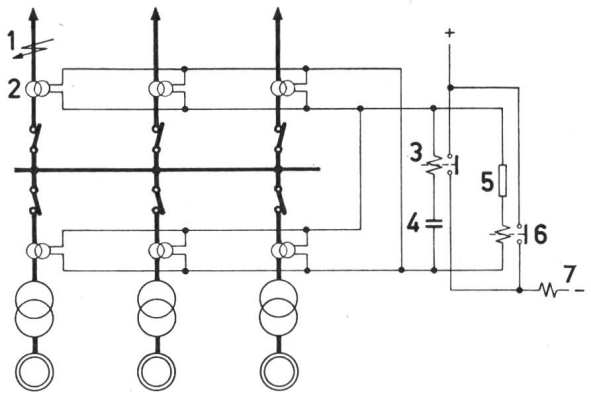

Fig. 10

Sammelschienen-Spannungsdifferentialschutz nach Seeley und Roeschlaub
1 Kurzschlußstelle, aussen liegend; *2* gesättigter Stromwandler; *3* Spannungsrelais; *4* Kondensator zur Sperrung der Gleichstromkomponente; *5* spannungsabhängiger Widerstand (Ableiter); *6* Überstromrelais; *7* «Aus»-Spule

nommen wurden, bestätigen die soeben skizzierten theoretischen Betrachtungen. Die obere Kurve der Figuren 8 und 9 stellt den Flussverlauf, die untere den Primärstrom mit eingeblendetem Sekundärstrom dar.

Es hat aus den dargelegten Gründen nicht an Versuchen gefehlt, die Schwierigkeiten zu überwinden. Eine der erfolgreichsten Lösungen haben *H. T. Seeley* und *F. von Roeschlaub* 1948 vorgeschlagen [5; 6]. Sie ist heute in mehreren tausend Anlagen anzutreffen und besteht nach Fig. 10 im wesentlichen darin, dass das niederohmige Stromrelais *3* in Fig. 3 durch ein hochohmiges Spannungsrelais *3* in Fig. 10 ersetzt wird.

Bei Kurzschluss im Schutzbereich steigt die Spannung der Stromwandler-Sekundärwicklungen rasch auf den Leerlaufwert bzw. auf den durch den Ableiter *5* begrenzten Wert an. Da die Relaisansprechspannung tiefer liegt, löst der Schutz aus.

Bei Kurzschluss ausserhalb des Schutzbereiches kann selbst bei sättigendem Stromwandler im betreffenden Abzweig die Spannung nicht sehr hoch steigen, da ja ein gesättigter Wandler praktisch keine Reaktanz mehr hat, und nur noch sein Ohmscher Widerstand wirksam ist. Der fehlende Strom kann also dem übersättigten Wandler ohne grosse Spannungserhöhung aufgedrückt werden.

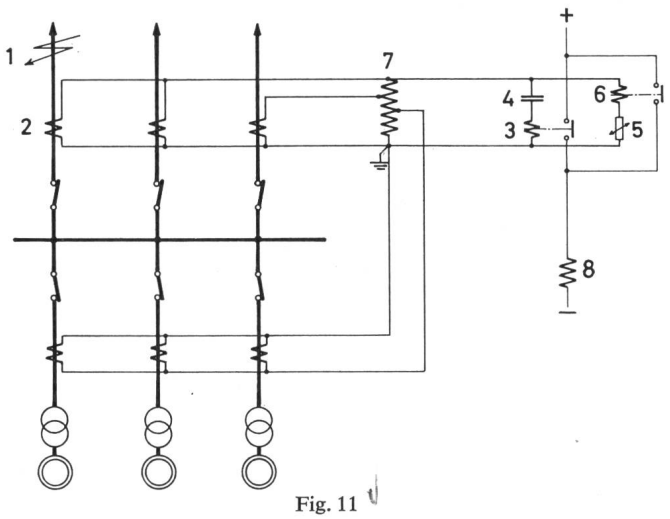

Fig. 11

Spannungsdifferentialschutz, ähnlich Fig. 10
jedoch mit Anpasswandler (*7*) für verschiedene Stromwandlerübersetzungen; *8* «Aus»-Spule
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 10

Wie aus den zitierten Publikationen hervorgeht, ist dieser Schutz umso wirksamer, je grösser das Verhältnis der Leerlaufspannung zum Ohmschen Widerstand des Kreises ist.

Sind die Wandlerübersetzungen ungleich, so muss zur Herstellung des elektrischen Gleichgewichtes ein Anpasswandler verwendet werden (Fig.11), am besten in Sparschaltung, da dann alle Hauptwandler mit gleicher Übersetzung sekundär seitig auf kürzestem Wege direkt miteinander verbunden werden können und zwischen benachbarten Übersetzungen nur wenig Wirkwiderstand liegt. Vorteilhafterweise wird ein solcher Anpasswandler mit grossem Eisen und Kupferquerschnitt, aber wenig Windungen, ausgelegt. Mit dieser Massnahme können, je nach Wandlerbürde, Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom noch Wandlerübersetzungsdifferenzen bis etwa 1:3 oder 1:4 überwunden werden.

Grenzen des einfachen Spannungsdifferentialschutzes

Sind grössere Übersetzungsdifferenzen vorhanden, wie etwa 1:10 oder 1:20, dann steht für den Wandler mit der kleinsten Übersetzung auch nur noch $^1/_{10}$ oder $^1/_{20}$ der maximalen Spannung am Anpasswandler zur Verfügung. Damit kann dem Wandler mit der kleinsten Übersetzung — sollte gerade über ihn der aussen liegende Kurzschluss gespeist werden — nur ein kleiner Bruchteil des fehlenden Stromes aufgedrückt werden. Die Anpasswandler-Spannung steigt daher stark an und erreicht schliesslich den gleichen Wert, wie bei einem innen liegenden Kurzschluss, das heisst: der reine Spannungsdifferentialschutz kann nicht mehr zwischen innen und aussen liegenden Kurzschlüssen unterscheiden.

Der Spannungsdifferentialschutz mit Sperrstromkreis

Bei Neuanlagen können die soeben skizzierten Schwierigkeiten gelegentlich umgangen werden, indem man die Wandlerübersetzungen der Schutzkreise entsprechend gross wählt. Bei bestehenden Anlagen kommt jedoch eine Auswechslung der Wandler um so teurer, je höher die Nennspannung liegt. Aus diesem Grunde wurde ein neuer Spannungsdifferentialschutz mit Sperrstromkreis entwickelt, der die teure Wandlerauswechslung zu umgehen gestattet. Entsprechend den heutigen hohen Anforderungen an die Auslösegeschwindigkeit wurde er von Anfang an für elektronische Komponenten disponiert. Diese gestatten, mit sehr kleinen Steuerleistungen auszukommen, so dass die dazu benötigten übrigen Elemente, wie zum Beispiel die Hilfswandler, sehr klein dimensioniert werden dürfen, wodurch sich wiederum wirtschaftliche Vorteile ergeben.

Fig. 12 zeigt das Prinzip eines solchen Spannungsdifferentialschutzes mit Sperrstromkreis.

Prinzipielle Wirkungsweise des elektronischen Sammelschienenschutzes mit Sperrstromkreis

a) Der Auslösekreis

Im Normalbetrieb, sowie bei aussen liegendem Kurzschluss ohne sättigende Hauptwandler, ist die algebraische Summe aller Ampèrewindungen am Anpasswandler *1* gleich Null. Der Isolierwandler *2*, d. h. der Auslösekreis, erhält daher keinen Strom. Tritt jedoch im Schutzkreis ein Fehler auf, so kommt der Anpasswandler *1* auf Spannung, da ihn ja jetzt alle Ampèrewindungen im gleichen Sinn erregen. Der Isoliertransformator *2* wird über das Hauptfilter, bestehend aus Drossel-

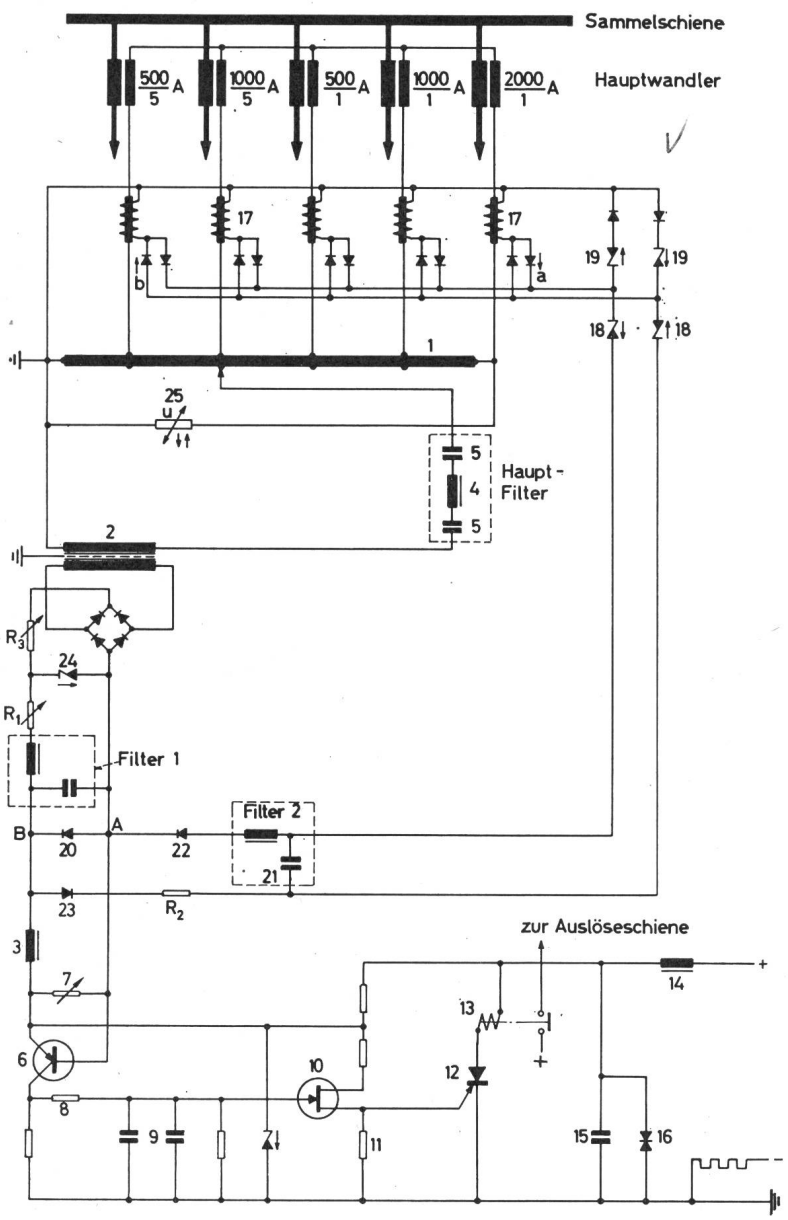

Fig. 12
Elektronischer Sammelschienen-Spannungsdifferentialschutz für sehr unterschiedliche Stromwandlerübersetzungen mit Sperrstromkreis

1 Anpasswandler; *2* Isoliertransformator; *3, 4* Filterdrosselspule; *5, 15, 21* Filterkondensator; *6* Steuertransistor; *7* Parallelwiderstand; *8* Zeitkreiswiderstand; *9* Zeitkreiskondensator; *10* Unijunction-Transistor; *11* Kopplungswiderstand; *12* Thyristor; *13* Schnellschütz; *14* Sperrdrosselspule; *16* Clip-Sel (Überspannungsbegrenzer); *17* Hilfswandler; *18, 19, 24* Zenerdiode; *20* By-Pass-Diode; *22, 23* Sperrdiode; *25* spannungsabhängiger Widerstand;
R_1, R_3 Einstellwiderstand
Weitere Bezeichnungen siehe im Text

spule *4* und Kondensatoren *5*, erregt. Durch dieses werden die Gleichstrom- und die höher frequenten Wechselstromkomponenten gesperrt. Der grössern Spannungssicherheit wegen ist die Kapazität in zwei Komponenten aufgespalten.

Der Isoliertransformator *2* speist über den Einstellwiderstand R_1 das Filter *1*, welches den pulsierenden Auslösegleichstrom etwas glättet. Er passiert sodann die Filterdrosselspule *3* und durchfliesst schliesslich die Emitter-Basis des Steuertransistors *6*, welcher zur weiteren Empfindlichkeitsregelung mit einem Parallelwiderstand *7* geshuntet ist. Der Kollektorstrom dieses Steuertransistors speist in bekannter Schaltung einen regelbaren Zeitkreis, bestehend aus dem *RC*-Glied *8* und *9*, welches den Unijunction-Transistor *10* speist. Wird dessen Zündspannung erreicht, so fliesst über den niederohmigen Widerstand *11* ein relativ starker Entladestrom, welcher seinerseits die gesteuerte Diode *12* zündet. Diese erregt die Schnellschützen *13*, die nur mit 1,8 ms Verzögerung über Auswahlkontakte von Schnelldistanzrelais, welche als weiteres Auslösekriterium dienen, über die Auslöseschiene den Hochspannungsschaltern den «Aus»-Befehl erteilen.

Der erwähnte Zeitkreis *8* und *9* verhindert, dass Störspannungen von sehr kurzer Dauer eine Auslösung bewirken.

Zusammen mit dem Zeitkreis wird der Schutz von den leicht variablen Ansprechwerten des Thyristors *12* unabhängig. Dank dem relativ grossen Zündstrom kann das Tor der gesteuerten Diode sehr niederohmig an die Kathode gekoppelt werden. Störeinflüsse können sich daher kaum auswirken [7].

Massnahmen gegen unerwünschtes Zünden

Wie aus Fig. 12 ersichtlich ist, wird der Thyristor *12* direkt aus dem allgemeinen Batterienetz gespeist. Es ist zwar bekannt, dass das Gleichstrom-Hilfsnetz einer elektrischen Starkstromanlage allen möglichen Störeinflüssen ausgesetzt ist, wie zum Beispiel Schaltüberspannungen von Schützenspulen, plötzlichem Wiederanstieg auf Nennwert nach Kurzschlussabschaltungen, usw. Trotzdem wäre es zu kompliziert, in einer Anlage jedem transistorisierten Apparat seine eigene Batterie zu geben. Die verwendeten Thyristoren *12* sind zwar diffundiert und halten steile Spannungsanstiege zwischen Anode und Kathode bis 200 V/μs aus ohne zu zünden. Trotzdem wurde der Anode ein *LC* Filter *14* und *15* vorgeschaltet, so dass selbst Stösse von 1000 V/µs an der Anode nur einen Anstieg von ca. 1 V/µs zu erzeugen vermögen. Die Dimensionierung dieses Filters kann an Hand folgender Gleichung erfolgen, die sich leicht aus bekannten Differentialgleichungen ableiten lässt:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{U}{C L \omega_e} \qquad \omega_e = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

Ein ebenfalls eingebauter Spannungsbegrenzer *16* verhindert zudem ein langsames Ansteigen über einen bestimmten Wert hinaus, obwohl bei Batteriespeisung kaum damit zu rechnen ist.

Wie üblich, ist natürlich die zu schaltende Bürde in den Anodenstromkreis gelegt, um Potentialsprünge am Tor zu vermeiden. Ferner ist die Thyristorkathode starr geerdet und die Minus-Anspeisung ab Batterie über einen Begrenzerwiderstand geführt, so dass auch kapazitiv keine schädlichen Spannungsstösse an das Tor übertragen werden können. Zudem sind die empfindlichen Tor- und Steuerstromkreise verdrillt verdrahtet, soweit sie nicht ohnehin auf der gedruckten Schaltung liegen und daher sehr kurz sind [8].

b) Der Sperrstromkreis bei aussen liegendem Kurzschluss

In diesem Fall fliesst der Primärstrom auf die Sammelschiene zu und über das kurzschlussbehaftete Feeder wieder weg. Sekundärseitig der Hauptwandler ist dies auch der Fall, denn — wenn nötig — drückt der Anpasswandler *1* dem etwa sättigenden Hauptwandler mindestens einen grösseren Teilstrom auf. Dementsprechend fliessen auch die Ströme der Hilfswandler *17* zu und ab. Betrachtet man einen bestimmten Zeitpunkt, zum Beispiel das Strommaximum, dann «drücken» die Hilfswandler der zu speisenden Feeder Strom über die Diode, zum Beispiel bei *a* in Fig. 12, in den Sperrstromkreis hinein, und der Wandler im kurzschlussbehafteten Abzweig «zieht» den Strom beispielsweise bei *b* in Fig. 12 wieder aus dem Kreis heraus. Die treibenden Spannungen der Hilfswandler unterstützen sich also.

Der Sperrstrom muss, um in den schon beschriebenen Auslösekreis zu gelangen, zweimal die Zenerspannung von 18 V der Dioden *18* überwinden, sowie natürlich die Spannungsabfälle im Filter *2*. Es genügt somit eine treibenden Spannung von 2×18 V+ einige Volt zur Überwindung des Spannungsabfalls im Sperrstromkreis. Für einen Sperrstrom von z. B. 6 mA sind also ca. 23 V treibende Spannung pro Hilfswandler nötig. Da die Zenerdiode *19* jedoch eine Ansprechspannung von 27 V hat, kann über sie kein Sperrstrom abfliessen.

An den Punkten *A* und *B* trifft nun der Sperrstrom von entgegengesetzter Polarität mit einem eventuellen Auslösestrom zusammen. Solange nun der Sperrstrom grösser ist als der Auslösestrom, wird dieser vom Sperrstrom aufgesogen oder kompensiert. Die By-Pass-Diode *20* wird von einer eventuellen Sperrstromdifferenz durchflossen. Der Spannungsabfall daran wird über die Drosselspule *3* auf Emitter-Basis des Steuertransistors *6* übertragen. Das negative Potential wird durch die By-Pass-Diode *20* auf ca. —0,7 bis max. —0,9 V begrenzt. Eine Überlastung des Steuertransistors *6*, der Spannungen bis —5 V verträgt, ist somit nicht möglich.

Der Sperrstromkreis bei innen liegendem Kurzschluss

Hier fliessen alle Primärströme auf die Sammelschiene zu. Die Sekundärströme haben somit in gleichen Zeitpunkten praktisch gleiche Polaritäten, auch sekundärseitig nach den Hilfswandlern. Es steht daher jetzt gleichstromseitig nicht mehr eine «ziehende» und eine «drückende» Quelle zur Verfügung. Alle Spannungen von den Hilfswandlern *17* in Fig. 12 haben zu gleichen Zeitpunkten gleiche Richtung. Da nun die Zenerdioden *19* eine kleinere Ansprechspannung haben (beispielsweise 27 V) als die Summe der beiden Dioden *18* (z. B. 2×18 V), so fliesst jetzt der gesamte Sperrstrom über die Dioden *19* direkt zu den Hilfswandlern zurück. Die Sperrwirkung ist somit ganz aufgehoben. Auf den Steuertransistor *6* wirkt einzig der Auslösestrom.

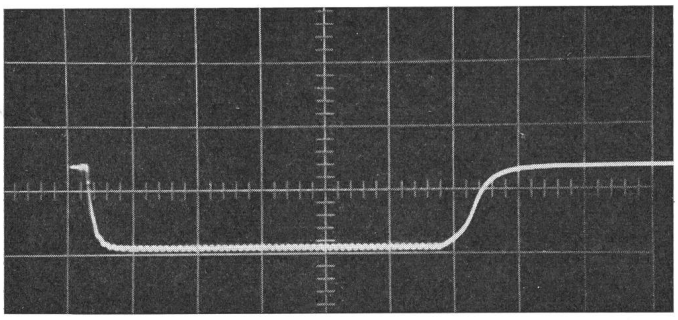

Fig. 13
Spannungsverlauf an Emitter-Basis des Steuertransistors bei aussen liegendem simuliertem Kurzschluss

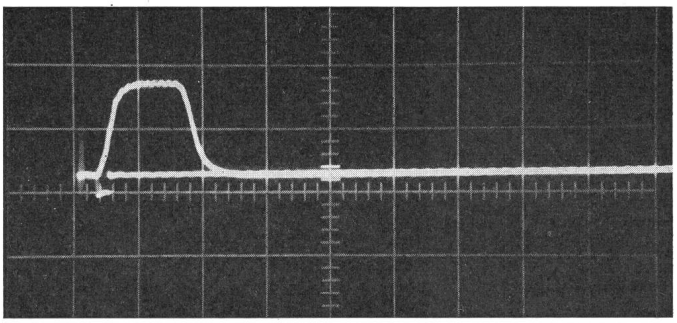

Fig. 14
Spannungsverlauf an Emitter-Basis bei simuliertem innen liegendem Kurzschluss des Steuertransistors

In den Figuren 13 und 14 sieht man die mit Kathodenstrahl-Oszillograph und Polaroid-Land-Kamera aufgenommenen Spannungscharakteristiken an Emitter-Basis des Steuertransistors für innen und aussen liegenden Kurzschluss bei sekundärseitig einer solchen Schutzeinrichtung aufgedrückten Kurzschlussimpulsen.

Funktionen der Filter 1 und 2 und der Drosselspule 3

Da der pulsierende Gleichstrom von Auslöse- und Sperrkreis nicht unbedingt immer gleiche Phasenlage aufweist, ist jedem Strompfad ein Filter zugeordnet. Der Auslösekreis ist ein Spannungspfad. Deshalb ist in diesem der Filterkondensator nach der Drosselspule angeordnet (von der Quelle aus betrachtet). Er kann so gleichzeitig auch noch zur Glättung eines eventuellen Sperrstromes dienen.

Umgekehrt liegen die Verhältnisse beim Sperrstromkreis. Tritt plötzlich ein grosser Sperrstrom auf, so kann die 4-H-Drosselspule von Filter *2* nicht ebenso plötzlich den ganzen Strom führen, sondern erst nach einer kleinen Verzögerung. Damit nun vor dieser Drosselspule (also quellenseitig) die Spannung nicht zu «hoch» ansteigt und wertvoller Sperrstrom über die Zenerdioden *19* verloren geht, ist bei diesem Filter *2* der Kondensator quellenseitig angeschlossen. Sicherheitshalber wird auch noch der Differenzstrom durch die Drosselspule *3* geglättet. Damit ist auch den eventuellen letzten «Störspannungsspritzern» die unerwünschte Auslösetendenz abgeschnitten.

Alle Filterkreise sind stark gedämpft, so dass sie sich nur aperiodisch verhalten können.

Transiente Vorgänge und Bedingungen für die Zeitkonstanten

Nimmt man an, es trete plötzlich ein aussenliegender Kurzschluss auf, dann muss der Auslösestrom im Anpasswandler *1* zuerst ein Magnetfeld aufbauen und das Hauptfilter *4* und *5* den Isolierwandler *2* und Filter *1* passieren, bevor er bei den Punkten *A* und *B* in die Differentialbrücke gelangen kann. Der Sperrstrom würde also ohne besondere Massnahmen etwas früher an den Punkten *A* und *B* erscheinen als der Auslösestrom. Umgekehrt würde beim Abschalten des aussen liegenden Kurzschlusses der Sperrstrom früher verschwinden als die Auslösespannung. Eventuell könnte so ein positiver Auslöseimpuls an den Steuertransistor *6* gelangen. Damit dies nicht geschieht, wird der Filterkondensator *21* so angepasst, dass die

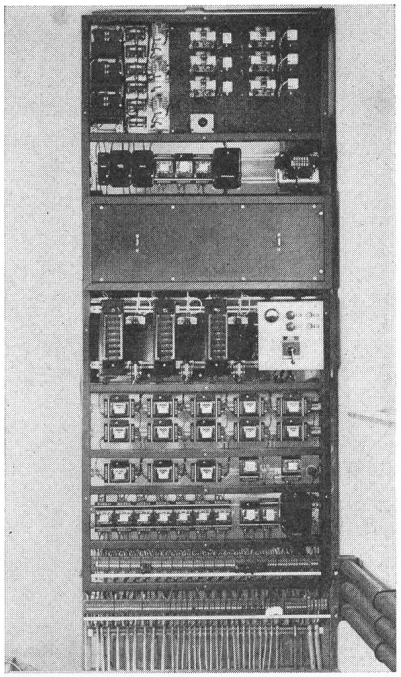

Fig. 15
Steuerfeld für den Schutz der 220-kV-Sammelschiene des Unterwerkes Mettlen mit 20 Abzweigen
1 Prüfschalter für Funktonsprüfungen

beiden Zeitkonstanten von Auslöse- und Sperrkreis gleich sind.

Die zwischen Filter *2* und der By-Pass-Diode liegenden weiteren Dioden *22* und *23* sperren die sich eventuell trotz grosser Dämpfung entwickelnden Auslösespannungen.

Nicht lineare Sperr- und Auslösecharakteristiken

Die Zenerdiode *24* begrenzt die Auslösespannung vor dem Widerstand R_1 auf ca. 10 V. Mit ihm kann somit der maximale Auslösestrom eingestellt werden. Die Auslösecharakteristik ergibt sich demnach aus der passenden Wahl der Widerstände R_1 und R_3. Es ist ferner möglich, den Hilfswandler für die kleinste Hauptwandlerübersetzung kleiner zu übersetzen als sich aus seiner Konstante mA/A ergeben würde.

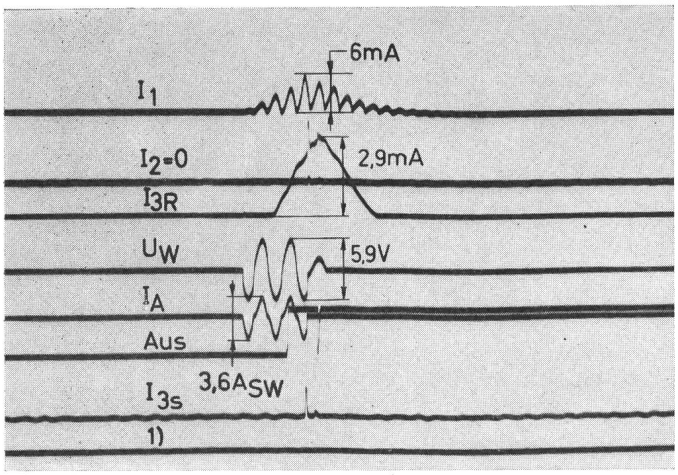

Fig. 16
Proben mit Steuerfeld durch sekundärseitige Einspeisung
Innen liegender Kurzschluss, entsprechend einem primärseitigen Kurzschlußstrom von ca. 30 000...40 000 A
I_1 Auslösestrom, gemessen vor Filter *1*; I_2 Sperrstrom, gemessen vor Filter *2*; I_{3R} Basisstrom des Steuertransistors Phase *R*; U_W Spannung an der Auslöseanzapfung des Anpasswandlers; I_A Strom durch den Ableiter *25;* Aus «Aus»-Befehl nach dem Schnellschütz
[1]) Schleife nicht benützt

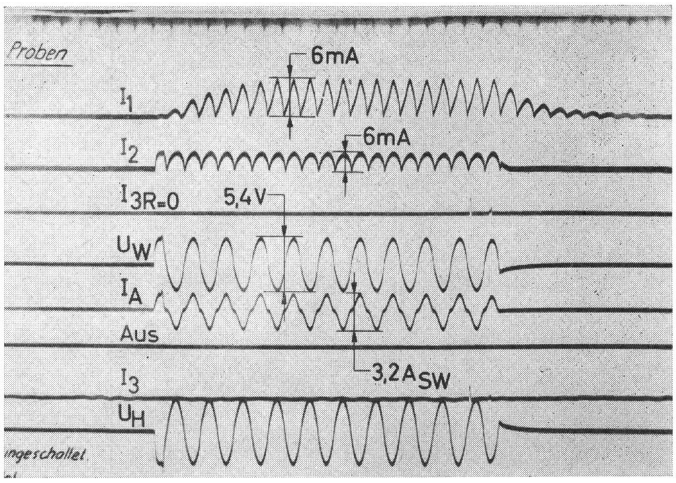

Fig. 17
Probe mit Steuerfeld wie bei Fig. 16
Aussen liegender Kurzschluss nach dem Wandler mit der kleinsten Übersetzung. Bürde des Wandlers 2,53 Ω. Wandler komplett gesättigt, keine Stromabgabe mehr. Nur der aufgedrückte Strom aus dem Anpasswandler liefert Sperrstrom. Trotz sehr ungünstiger Bedingungen tritt am Steuertransistor kein Basisstrom auf
U_H Spannung der Hilfsstromquelle
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 16

Bei innen liegendem Kurzschluss ist diese Massnahme belanglos. Dagegen fliesst bei aussen liegendem Kurzschluss ein «einseitiger» Sperrstromüberschuss über die Zenerdioden *19* ab. Liegt jedoch ein stromstarker Kurzschluss ausserhalb des Wandlers mit der kleinsten Übersetzung, dann sättigt dieser. Auch der zugehörige Hilfswandler erhält somit nur einen Teil des dem Primärstrom entsprechenden Sekundärstroms. Dank der kleineren Hilfswandlerübersetzung erscheint nun aber der wirksame Sperrstrom doppelt so gross, da ja die zuspeisenden Wandler getreu übersetzen. Das nicht lineare Verhalten des überlasteten und gesättigten Hauptwandlers ist damit je nach Übersetzungswahl ganz oder teilweise durch eine geknickte Charakteristik kompensiert.

Funktionsprüfungen

Ein Vielfachumschalter gestattet dem Betriebspersonal, in einfacher Weise festzustellen, ob alle Teile des Differentialschutzes richtig arbeiten (*1* in Fig. 15).

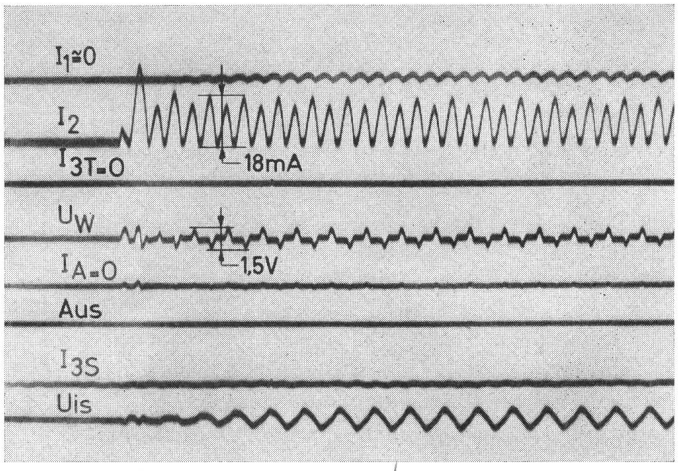

Fig. 18
Zweipoliger Kurzschluss in den Phasen S–T, aussen liegend an einem 220-kV-Abzweig der SS Mettlen
Erster asymmetrischer Wert des Kurzschlußstromes 21 000 A
U_W Restspannung an der Auslöseanzapfung des Anpasswandlers;
U_{is} Restspannung am Isolierwandler

Zusammenfassung

Durch die Einführung eines Sperrstromkreises über eine Differenzstrombrücke kann der bekannte Spannungsdifferentialschutz bis zu praktisch sehr grossen Unterschieden in den Stromwandlerübersetzungen verwendet werden.

Bei innen liegendem Kurzschluss wirkt gar kein Sperrstrom. Bei aussen liegendem Kurzschluss dagegen wirkt er hundertprozentig. Sowohl Auslöse- wie Sperrstrom können zur besseren Bewältigung extremer Bedingungen eine nicht lineare Charakteristik erhalten. Dank den elektronischen Komponenten arbeitet der Schutz sehr rasch.

Die kleinste erreichbare «Aus»-Befehlszeit liegt, bei sehr starken Kurzschlüssen, je nach Einstellung und gewählten Sicherheitsbedingungen, bei ca. 1 Periode.

Es ist pro Phase und Stromwandlerübersetzung — unabhängig von der Anzahl der angeschlossenen Leitungen — nur 1 Hilfswandler nötig, ferner pro Phase (ebenfalls unabhängig von der Anzahl der Leitungen) nur 1 Relais.

Literatur

[1a] *E. Schindler:* Ergebnis der neuen VDEW-Störungs- und Schadenstatistik für die Hochspannungsnetze der Bundesrepublik. Bull. SEV 56(1965)6, S. 195...198.

[1b] *F. Schär:* Dispositifs de démarrage de relais de protection du point de vue de la capacité de surcharge de réseaux interconnectés. Cigré-Rapport 322, 1964.

[2] *J. W. Hodgkiss:* Comportement des transformateurs d'intensité soumis à des courants asymétriques transitoires et effets sur les relais de protection reliés à ces transformateurs. Cigré-Rapport 329, 1960.

[3] *D. E. Marshall* and *P. O. Langguth:* Current Transformer Excitation under Transit Conditions. Trans. AIEE 48(1929)4, S. 1464...1474.

[4] *F. L. Hamilton:* Effects of Transients in Instrument Transformers. A. Reyrolle & Co. Ltd. Hebburn, County Durham 1961.

[5] *H. T. Seeley* and *F. van Roeschlaub:* Instantaneous Bus-Differential Protection Using Bushing Current Transformers. Trans. AIEE Applications and Industry 67(1948)–, S. 1709...1719.

[6] *F. Schär:* Sammelschienen-Differentialschutz. Bull. SEV 45 (1954)18, S. 733...735.

[7] Steuerbare Siliziumgleichrichter (Thyristoren). Elektr. Verwertg. 39(1964)11, S. 275...280 + Nr. 12, S. 295...303.

[8a] *I. Somos:* Switching Characteristics of Silicon Power-Controlled Rectifiers. Trans. IEEE Communication and Electronics 83(1964)75, S. 861...871.

[8b] *J. Rumberg:* Über die dynamischen Eigenschaften von Thyristoren. ETZ-A, 86(1965)8, S. 226...230.

Adresse des Autors:

F. Schär, Aare-Tessin AG für Elektrizität, 4600 Olten.

Traitement de l'information à bord de satellites

Conférence, donnée à la 28e Journée de la haute fréquence de l'ASE le 20 mai 1965 à Lausanne,

par *R. Dessoulavy,* Lausanne

681.14 : 629.783

1. Introduction

Un satellite est pour l'homme une sorte de troisième œil ouvert sur l'univers. Tel le périscope qui permet au sous-marinier de prendre connaissance du monde extérieur, il ouvre un nouvel horizon sur un monde de radiations caché aux terriens par l'opacité de l'atmosphère qui les entoure et les protège. Les multiples expériences spatiales ont donc pour but d'élargir nos connaissances sur l'univers, sur le soleil, et aussi sur notre planète qu'il est possible d'observer avec un recul inusité auparavant.

La fig. 1 indique les lignes générales du traitement de l'information au cours d'une expérience spatiale. Les phénomènes physiques à observer sont décelés par des capteurs dont les signaux doivent subir certaines transformations (conditionnement) les mettant sous une forme normalisée utilisable par la suite. La télémétrie permet la transmission au sol de ces signaux normalisés. Elle nécessite un groupement adéquat des nombreuses données en vue de la modulation d'un ou de plusieurs émetteurs. Au sol, les données doivent être séparées à nouveau en vue de leur analyse et de leur exploitation.

En supprimant la télémesure, ce diagramme correspond à celui de toute expérience au sol. Dans cette dernière, l'expérimentateur peut agir beaucoup plus librement sur tous les stades de la mesure, éventuellement sur l'objet même de l'expérience. Dans l'espace, une telle intervention reste très limitée et nécessite un système de télécommande analogue en principe à celui de la télémesure.

L'absence d'expérimentateur à bord du satellite a nécessité l'automatisation complète des organes qui y sont situés. L'automatisation elle-même a permis un accroissement considérable des données observées et transmises, de sorte que l'analyse et l'exploitation des données reçues au sol ne peut plus se faire manuellement. Il faut recourir au traitement automatique des informations par des centres de calcul spécialisés. Pour donner une idée de l'importance de ce flux d'information, on donnera deux exemples:

NIMBUS, le satellite météorologique recueille au cours d'une orbite plus de données que n'en peuvent rassembler dans le même temps et par des moyens conventionnels toutes les stations météorologiques des USA [1][1]); on prévoit qu'OGO, le satellite pour observations géodésiques, transmettra au cours de sa durée de vie environ $2 \cdot 10^{11}$ données [2].

Les satellites-relais, utilisés en télécommunications, convoient également de grandes quantités d'information. Les transformations subies par l'information y sont toutefois minimes, étant donné que la nature des signaux émis est la même que celle des signaux reçus.

Les problèmes liés à la transmission correcte du flux d'information, tout au long de la chaîne décrite à la fig. 1 sont multiples. On se bornera ici à examiner la partie située en amont de la modulation.

2. Capteurs et conditionnement des signaux

Le capteur est l'organe sensible permettant de traduire en un signal électrique le phénomène physique observé. Il peut englober parfois tout un appareillage destiné à sélectionner le phénomène physique désiré, par exemple lunette astronomique suivie d'un spectromètre. Renonçant à décrire tous les capteurs utilisés en recherche spatiale, on se bornera

[1]) Voir bibliographie à la fin de l'article.