Die Grundlagen des Fehlerstromschutzes

Autor(en): **Homberger, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **55 (1964)**

Heft 1

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-916669

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

versorgung und Wasserleitungsrohrnetz» heraugegeben, die alle Beachtung verdient und, wie wir wissen, auf grosses Interesse gestossen ist.

In Frankreich ist das Problem ebenfalls aktuell; schon vor Jahren wurde über diese Fragen ein Grossversuch unternommen. Auf internationaler Ebene befasste sich die CEE-Organisation intensiv mit dem ganzen Fragenkomplex.

Auf Anregung des Starkstrom-Inspektorates hat der Vorstand des VSE — nach dem Beispiel Deutschlands — ebenfalls die Durchführung von Kursen über dieses Fachgebiet geprüft. Er fand indessen, dass es zweckmässiger wäre, vorerst eine Diskussionsversammlung über Fehlerstromschutzschalter — eben die heutige — zu veranstalten und allenfalls erst nachher Kurse zu organisieren.

Meine Herren, der heutige Verhandlungsgegenstand veranlasst mich, kurz auf den Interessen- und Tätigkeitsbereich der beiden Schwesterorganisationen SEV und VSE hinzuweisen. Während sich das Arbeitsgebiet des SEV in erster Linie auf die Technik und Wissenschaft der Elektrizität erstreckt, hat sich der VSE vor allem mit den betriebstechnischen und wirtschaftlichen Fragen und Problemen der Elektrizitätswerke zu befassen.

Unserer Kommission — als Instrument des VSE — ist denn auch die Organisation und Durchführung von Versammlungen, die der Diskussion von Betriebsfragen gewidmet sein sollen, übertragen worden. Rein technische Probleme sind also im Rahmen derselben nicht zu erörtern. Sie stellen gewiss selbst fest, dass unser heutiges Tagesprogramm diese Gesichtspunkte respektiert. Auch in der Nachmittags-Diskussion wollen und dürfen wir diesen Rahmen nicht sprengen. Dabei sind wir uns wohl bewusst, dass sich mitunter Berührungspunkte ergeben können. Eine vernünftige Trennung und Abgrenzung wird sich indessen bei verständnisvoller Betrachtungsweise immer finden lassen.

Wie Sie, meine Herren, von früheren Veranstaltungen her wissen, legen wir besonderen Wert darauf, dass sich die Werkbeamten unter sich offen und ungezwungen über ihre Betriebsprobleme unterhalten und aussprechen. Sie sollen sich dabei über ihre Ansichten und über ihre guten und schlechten Erfahrungen, die sie beim Betrieb der elektrischen Anlagen gesammelt haben, vollständig frei und ohne irgendwelche Rücksichtnahme äussern können.

Aus diesen Gründen bleibt jeweils die Teilnahme an solchen Versammlungen grundsätzlich auf die Funktionäre der Elektrizitätswerke beschränkt, wobei natürlich die Zulassung oder Mitwirkung der mit den Werken verbundenen Organisationen oder Fachleute je nach Thema im einen oder anderen Falle angebracht oder wünschbar ist.

Meine Herren, Sie haben sich in erfreulich grosser Zahl zu unserer heutigen Versammlung in Zürich eingefunden. Damit haben Sie wohl Ihr grosses Interesse am ausgewählten Thema und auch die Bedeutung, die Sie dem zu behandelnden Stoff beimessen, dokumentiert.

Wir schätzen uns aber auch glücklich, dass es uns wiederum gelungen ist, fachkundige Referenzen zu gewinnen, die auf Grund ihrer beruflichen Tätigkeit in der Lage sind, über das dem Thema zu Grunde liegende Spezialgebiet in kompetenter Weise zu berichten und allfällige Auskünfte zu erteilen. So möchten wir denn auch den Herren *Homberger, Wild* und *Hofer* gleich im voraus den besten Dank für ihre Bereitwilligkeit aussprechen.

Wie Sie aus dem Tagungsprogramm ersehen konnten, werden wir am Nachmittag Mitteilungen zum Verhandlungsgegenstand aus den Nachbarländern entgegennehmen dürfen. Dieser Hinweis gibt mir jetzt die Gelegenheit, die ausländischen Gäste, über deren Besuch wir uns ganz besonders freuen, herzlich zu begrüssen.

Mit einem herzlichen Willkomm, den ich nochmals allen Anwesenden entbieten möchte, eröffne ich die Versammlung.

E. Schaad
Präsident der Kommission des VSE
für Diskussionsversammlungen über Betriebsfragen

Die Grundlagen des Fehlerstromschutzes

Von *E. Homberger,* Zürich

1. Einleitung

Zur Vermeidung von Berührungsspannungen infolge von Isolationsdefekten an Apparaten und Motoren wird in der Schweiz schätzungsweise in 80 % aller Niederspannungs-Installationen die «Nullung» und in den restlichen 20 % die «Schutzerdung» angewendet. Beide Schutzsysteme haben sich grundsätzlich bewährt, indem nur relativ selten Unfälle auf Versagen dieser Einrichtungen zurückzuführen sind. Von der Fehlerspannungs-Schutzschaltung, der in den Hausinstallationsvorschriften des SEV (H.V.) ebenfalls ein Kapitel gewidmet ist, wurde bis anhin nur in Einzelfällen, vorab in abgelegenen Häusern oder zum Schutz besonderer Anlagen Gebrauch gemacht. Die damit gemachten Erfahrungen sind nicht besonders gut. Bei Gewittern verbrannten oft die zwischen einem Polleiter und der Erde geschalteten Relaisspulen oder durch Einwirkung von Schmutz und Feuchtigkeit nahmen die feinen Auslöseorgane Schaden. Diese Mängel wurden meist zu spät, d. h. erst nach Eintritt eines Unfalles bemerkt. Wenn heute mehr und mehr die Fehlerstrom-Schutzschaltung, oder abgekürzt die FI-Schutzschaltung, in den Vordergrund tritt, könnte man annehmen, es handle sich um eine Ersatz-Einrichtung, die die erwähnten Mängel nicht mehr aufweise. Diese Folgerung ist nur bedingt richtig. Vielmehr gestattet die Fehlerstromschutzschaltung, Fehler in den Anlagen zu erfassen, die von den herkömmlichen Schutzsystemen nicht beherrscht werden und doch eine nicht zu unterschätzende Bedeutung besitzen: d. h. die zu Elektrobrandschäden und zu Tierunfällen führenden schleichenden Erdschlüsse. Es ist auch darauf hinzuweisen, dass durch die zunehmende Verbreitung der Wasserleitungen aus isolierenden Rohren sowohl die Nullung als auch die Schutzerdung mehr und mehr problematisch werden. Die Wirksamkeit der Fehlerstrom-Schutzschaltung bleibt hingegen von dieser Entwicklung weitgehend unbeeinflusst, sofern zum vornherein gewisse Bedingungen eingehalten werden. Es zeichnen sich somit Möglichkeiten ab, die bestehenden Schutzsysteme zweckmässig zu ergänzen und wirksam zu verbessern.

Man kann sich fragen, ob mit Rücksicht auf die grossen Fortschritte der *Isoliertechnik* die Schutzmassnahmen gegen Berührungsspannungen und Fehlerströme überhaupt

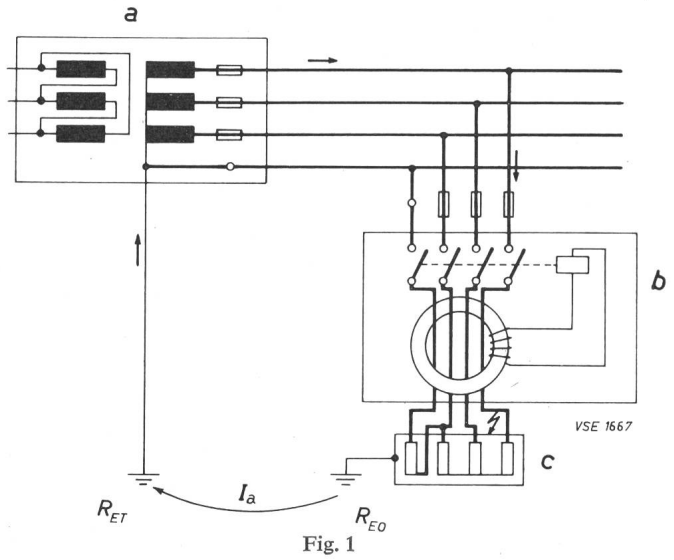


Fig. 1

Prinzipschema der Fehlerstrom-Schutzschaltung

Der Fehlerstrom Ia induziert in der Sekundärwicklung des Summenwandlers eine Spannung, die den Schalter über eine Auslösespule ausschaltet

a Transformator; *b* FI-Schutzschalter; *c* Verbraucher

noch zeitgemäss sind. Mit der fast ausschliesslichen Verwendung thermoplastisolierter Leiter verschwinden allmählich die Leitungen mit «spröder» Isolation. Hochwärme- und hochkältebeständige, öl- und korrosionsfeste Isoliermaterialien kommen zu erschwinglichen Preisen in den Handel; es sind ferner auch Isolierstoffe erhältlich, die in Bezug auf mechanische Festigkeit den Metallen nahe stehen. Dennoch sind wir vom Idealzustand noch weit entfernt. Für die Vermeidung von Isolationsfehlern ist nämlich nicht allein die Qualität des Isoliermaterials, sondern auch die Bauart des Anlageteils massgebend. Selbst sorgfältig konstruierte, sog. sonderisolierte Geräte, können Isolationsdefekte aufweisen, wie das folgende Beispiel zeigt. An einem Früchtemixer war das Lager im Mischgefäss undicht. Fruchtsaft gelangte dadurch in den Apparateunterteil. Als der Flüssigkeitsspiegel den untersten Schalterkontakt erreicht hatte, wurde die Spannung von 220 V auf das Metallgehäuse übertragen. Auch Isolationsdefekte an metallenen Steh- und Ständerleuchten treten mehr in Erscheinung als früher. Schliesslich sei an die grosse Zahl von Handwerkzeugen und Haushaltmaschinen mit Kollektormotoren erinnert, die zufolge von Kohle- und Kupferstaubablagerungen vermehrt zu Isolationsverminderungen neigen. Gesamthaft gesehen lohnt es sich also, die Massnahmen gegen Berührungsspannungen weiter zu verbessern.

Besondere Bedeutung kommt dem Berührungsschutz an *Einrichtungen mit beweglichen Zuleitungen* zu. Abgesehen von schutzisolierten und schutzgetrennten Geräten haben die Zuleitungen einen Schutzleiter zu enthalten. Erfahrungsgemäss besteht bei beweglichen Leitungen und deren Steckvorrichtungen jedoch erhöhte Gefahr von Leiterunterbrüchen. Unterbrochene Schutzleiter führen zu keinen Betriebsstörungen, weshalb sie oft lange nicht bemerkt werden. Zuverlässig wirkende Fehlerschutzschaltungen setzen einstweilen einen noch intakten Schutzleiter voraus; es zeichnen sich indessen mehr und mehr Möglichkeiten ab, die eigentlichen Fehlerschutzschalter so empfindlich zu bauen, dass sie unter bestimmten Umständen auch bei Isolationsfehlern an Objekten mit unterbrochenem Schutzleiter anzusprechen vermögen [5].

2. Wirkungsweise

Die Wirkungsweise der *Fehlerstromschutzschaltung* wurde in in- und ausländischen Fachzeitschriften schon verschiedentlich beschrieben [1], weshalb hier nur in knapper Form auf das Grundsätzliche hingewiesen werden soll. Als Grundlage dient das 1. Kirchhoff'sche Gesetz, wonach die Summe der einem Knotenpunkt zu- und der aus ihm wegfliessenden Ströme gleich Null sein muss. Eine Hausinstallation als Gesamtheit darf als ein solcher Knotenpunkt angesehen werden. Führt man sämtliche, eine Installation speisenden Leiter — den Nulleiter inbegriffen — durch einen Stromwandler, einen sogenannten Summenwandler, so wird der Wandler nicht erregt, sofern alle Installationsteile einwandfrei gegen Erde isoliert sind. Tritt indessen durch einen Isolationsdefekt ein Erdschluss auf, so wird ein über den Wandler eingetretener Teilstrom über Erde zur Speisestelle zurückfliessen. Die Summe der vom Wandler erfassten Ströme ist nun nicht mehr Null. Zum Ausgleich wird im Wandler eine Spannung induziert, die durch den Stromkreis, gebildet aus der Wandler-Sekundärwicklung und einer Magnetspule im Schalter, einen Strom zu treiben vermag (Fig. 1). Genügende Leistung vorausgesetzt, wird der in den Primärstromkreis eingebaute Schalter auslösen und die Fehlerstelle vom Netz abtrennen. Damit die FI-Schutzschaltung auch jene Objekte erfasst, die auf schlechtleitenden oder gar isolierenden Unterlagen stehen, sind alle Gehäuse oder metallenen Umhüllungen schutzpflichtiger Installationsteile über einen Schutzleiter zusammen zu verbinden und zu erden. Im Gegensatz zur Nullung werden aber in den Wirkungsbereich der FI-Schutzschaltung auch die nicht mit dem Schutzleiter verbundenen erdschlussbehafteten Installationsteile einbezogen.

3. Gefahrengrenzen

Um die Güte einer Schutzeinrichtung beurteilen zu können, muss der *Gefahrenbereich* bekannt sein. Leider besteht hierüber noch nicht restlos Klarheit, obschon sich verschiedene Forscher seit Jahren mit diesen Problemen befassen. Die Schwierigkeit liegt darin, dass die zur Klärung notwendigen Versuche am lebenden Menschen mit grössten Gefahren verbunden sind, da es z. B. auch heute noch nicht mit absoluter Sicherheit gelingt, das Herzkammerflimmern, das beim Elektrounfall im Vordergrund steht, aufzuheben. Dank feinsten Meßsonden, die sich in den lebenden Herzmuskel einführen lassen, war es immerhin möglich, die Erforschung der Herztätigkeit stark zu fördern, so dass heute die Gefahrengrenze weit besser umschrieben werden kann, als noch vor einigen Jahren [2].

Bekanntlich vermag der Mensch ganz geringe Ströme, die durch seinen Körper fliessen, nicht zu verspüren. Die Reizschwelle liegt etwa bei 1 mA. Bei 15 mA Körperstrom beginnt das Gebiet der Muskelverkrampfung; erfasste elektrisierende Teile können nicht mehr losgelassen werden. Es handelt sich um die Gefahrengrenze. Sofern die Stromeinwirkung nicht länger als einige Sekunden dauert, vermögen sich jedoch die bei diesen Stromstärken ergebenden Herz- und Nervenstörungen wieder zurückzubilden, so dass mit einer dauernden Schädigung des Organismus nicht zu rechnen ist. Wie das folgende Beispiel zeigt, können sich allerdings auch die Grenzströme verhängnisvoll auswirken. Als ein Arbeiter einer Papierfabrik das metallene Handrad

eines Schiebers erfasste, wurde er elektrisiert. Er vermochte sich nicht mehr zu befreien. Einem Arbeitskollegen gelang es nach etwa 20...30 Sekunden durch Ausschrauben einer Sicherung den Stromfluss zu unterbrechen. In diesem Augenblick sank der Verunfallte in sich zusammen, überschlug sich und fiel in einen mit Papiermasse gefüllten Behälter, wo er ertrank. Die Ursache der Elektrisierung bestand in einem Isolationsdefekt an einer Schützspule. Der Fehlerstrom konnte, wie Messungen ergaben, höchstens 20 mA betragen haben.

Auf Grund von Tierversuchen, deren Ergebnisse äusserst vorsichtig auf den Menschen anzuwenden sind, nimmt man an, dass bei genügend langer Einwirkzeit, deren obere Grenze noch nicht bekannt ist, ein Körperstrom von 50 mA ausreicht, um beim Menschen das gefürchtete Herzkammerflimmern anzuregen. Bei kurzen Einwirkzeiten bedarf es grösserer Ströme, um die gleiche Wirkung zu erzeugen. Man glaubt, dass bei Einwirkzeiten von weniger als 0,2 s das Herzkammerflimmern nicht mehr eintreten kann. Diesem Verhalten tragen die deutschen VDE-Vorschriften (V. D. E. 0147) Rechnung, indem sie bei einer Einwirkzeit von 0,2 Sekunden die doppelte Berührungsspannung zulassen als bei 1 s Einwirkzeit. Um Rückschlüsse auf die gefährlichen Berührungsspannungsgrenzen ziehen zu können, rechnet man üblicherweise mit Körperwiderständen von Hand zu Hand oder von einer Hand zu den Füssen von 1000 Ω. Es handelt sich um einen unteren, nicht aber um den untersten gemessenen Wert. Danach würde eine Berührungsspannung von 15 V genügen, um den Loslass-Grenzstrom zu erzeugen, und 50 V, um das Herzkammerflimmern hervorzurufen. Da bei intakter Haut die Körperwiderstände spannungsabhängig, d. h. bei tiefen Spannungen höher sind, müsste allerdings im Grenzbereich eher mit 2000 Ω gerechnet werden. Anderseits hat *Freiberger* [3] festgestellt, dass an jedem Handgelenk rund 25 % der zwischen beiden Händen angelegten Spannung abfällt. Befinden sich die Stromein- und Stromaustrittstellen an anderen Körperteilen als den Händen und Füssen, werden somit die Widerstände wesentlich kleiner bzw. die zu erwartenden Körperströme wesentlich höher sein.

Grosse Haustiere, wie Kühe und Pferde, weisen kleinere Körper-Widerstände auf als Menschen und sind in Bezug auf Elektrizität auch viel empfindlicher. Das Starkstrominspektorat hat schon verschiedentlich Tierunfälle abgeklärt, bei denen sehr kleine Spannungen zur Wirkung kamen. In einem Fall gelangte ein Pferd in einen Spannungstrichter, so dass es zwischen den Vorder- und Hinterhufen der Spannung von etwa 25 V ausgesetzt war. Das Tier legte sich, nachdem es sich aufgebäumt hatte, mitten im Spannungstrichter nieder. Es war nicht mehr zum Aufstehen zu bewegen, weshalb es abgetan werden musste.

Infolge eines Isolationsdefektes an einem Elektromotor trat in einem Kuhstall zwischen der Selbsttränke und dem umliegenden Boden eine Spannung von 24 V auf. Durch die eingetretene Elektrisierung zerrten zwei Kühe so stark an ihren Ketten, dass sie sich buchstäblich erhängten. Die Spannung von 24 V wird im Ausland allgemein als die Gefahrenschwelle für Tiere angesehen. Wie die beiden erwähnten Vorfälle zeigen, ist aber auch bei solchen Spannungen eine rasche Wegschaltung des Fehlers ratsam.

Für die *Elektrobrände* sind bekanntlich Kurzschlüsse, Überlastungen, Wärmestauungen, Kontaktfehler und Isolationsdefekte verantwortlich. In vorschriftsgemäss aufgebauten Installationen sollten die Überstromunterbrecher Brände durch Kurzschlüsse und Überlastungen verhindern können. Der Kurzschlußschutz von Leitungen beschränkt sich allerdings auf die Erwärmung längs der Leiter. Die an der Kurzschlußstelle selbst frei werdende Energie, vor allem jene des Lichtbogens, kann unter günstigen Verhältnissen gleichwohl zum Brand führen [4]. Wärmestauungen treten vor allem an überdeckten Glühlampen, Strahleröfen usw. auf. Solche Fehler, wie auch die Kontaktfehler, sind durch geeignete Apparatekonstruktionen vermeidbar. Gegen Erdschlüsse, bei denen örtlich relativ hohe Energien frei werden können, sind in den heutigen Installationen keine Schutzeinrichtungen vorhanden. Ob beim letztgenannten Fehler ein Brand ausbricht, hängt nebst der in Wärme umgesetzten Energie $W = I^2 \cdot R \cdot t$ von verschiedenen Faktoren ab, auf die hier nicht näher eingetreten werden soll. Auf Grund von Versuchen glaubt man, dass für die Entstehung eines Brandes durch einen Erdschluss eine Leistung von wenigstens 60 W, ein Strom von mehr als 0,3 A und eine Energiemenge von mehr als 5 Ws benötigt wird. Die Leistung von 60 W sollte demnach nicht länger als 0,1 s einwirken. Bedenkt man, dass die kleinste üblicherweise angewendete Schmelzsicherung von 6 A-Nennstrom einen Strom von 10 A benötigt, bis sie nach mehreren Minuten schmilzt und bei einem Erdschluss im 220/380 V-Netz hiefür also eine Leistung von mehr als 2 kW nötig ist, so erkennt man, welch schlechten Brandschutz eine Sicherung bietet.

4. Anforderungen an die Fehlerstrom-Schutzschaltung

Eine Schutzschaltung soll ihre Aufgabe, Unfälle und Sachschäden zu vermeiden, auch nach Jahren noch gleich zuverlässig erfüllen, wie bei der Einrichtung. An jedes einzelne Glied der Schaltung müssen deshalb höchste Anforderungen in Bezug auf Betriebssicherheit und Dauerhaftigkeit gestellt werden (Fig. 2, 3). Da der eigentliche Schutzschalter unter Umständen in Estrichen, Kellern oder anderen Nebenräumen, ja selbst im Freien untergebracht werden muss, soll er gegen Hitze, Kälte, Staub, und vielfach auch gegen Feuchtigkeit, Spritzwasser, ätzende Dünste (Landwirtschaft) usw. unempfindlich sein. Allfällig vor dem Stromwandler auftretende Isolationsdefekte können vom FI-Schalter nicht erfasst werden, weshalb der Schalter und alle anderen vor ihm liegenden schutzpflichtigen Anlageteile sonderisoliert gebaut oder genullt sein müssen. Weder beim Ein- und Ausschalten des Schalters, noch beim Durchfluss grosser Ströme dürfen seine Hauptkontakte verschweissen; es dürfen auch keine Überschläge entstehen. Der Schalter muss also ausreichendes Schaltvermögen und genügende Belastbarkeit besitzen. Über die Höhe der Schaltleistung gehen die Ansichten allerdings noch weit auseinander. Meistens geht man von der Voraussetzung aus, der Schalter habe keine eigentlichen Kurzschlußströme zu schalten, da ja in der Regel Sicherungen mit Nennwerten unter dem Nennstrom des Fehlerstrom-Schutzschalters nachgeschaltet seien, die die Abschaltung von allfällig hohen Kurz- und Erdschlußströmen rasch und sicher übernehmen. Die Fehlerströme von schleichenden Erdschlüssen, die wohl mehrheitlich in Erscheinung treten, Sicherungen aber nicht, oder nur nach sehr langer Zeit, zum Ansprechen bringen können, müssten vom Schalter anstandslos bewältigt werden. Solche Überle-

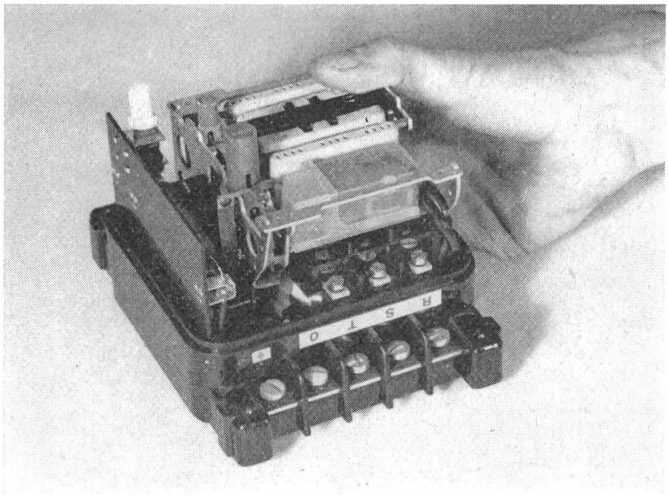


Fig. 2
Fehlerstromschutzschalter
schweizerischer Konstruktion
Nennstrom 25 A Nennspannung 500 V Ansprechstrom 0,25 A
Blick in den Schalteroberteil

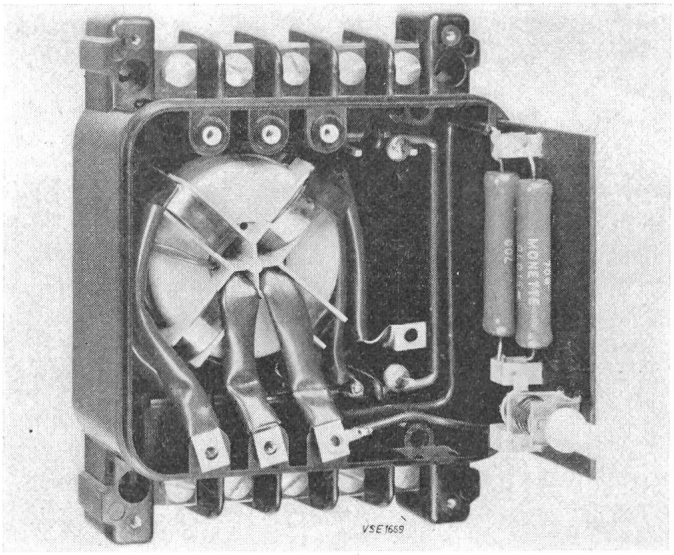


Fig. 3
Fehlerstromschutzschalter
gemäss Fig. 2
Ansicht des in den Schalterunterteil eingebauten Summenwandlers

gungen führen eher zu bescheidenen Schaltleistungen der Schalter. Demgegenüber ist zu berücksichtigen, dass je nach dem Einbauort der Schalter mit sehr hohen Schaltströmen zu rechnen ist. Dies ist vor allem der Fall in genullten Stadtnetzen, wo der Fehlerstrom-Schutzschalter auf Baustellen Eingang finden dürfte. Eine starke Begrenzung der Erdschlußströme durch Leitungs- und Erdübergangswiderstände ist dort nicht zu erwarten. Mit der zunehmenden Mechanisierung der Landwirtschaft, die eine Verkürzung der Leitungen nach sich zieht, werden auch auf dem Lande ähnliche Verhältnisse entstehen. Dazu kommen die immer mehr in Erscheinung tretenden Maschinen mit starken, direkt anlaufenden Motoren, die Vorsicherungen mit hohen Nennstromstärken erfordern, damit sich beim Anlauf keine Unterbrüche ergeben. Der Schutzschalter hätte jene Ströme zu bewältigen, die innert seiner Auslösezeit nicht von den Sicherungen unterbrochen werden. Wie Messungen in der Materialprüfanstalt des SEV ergeben haben, muss mit sehr kurzen Schalterauslösezeiten in der Grössenordnung von 0,02 s gerechnet werden. Ein Vergleich mit den Abschmelzcharakteristiken der Sicherungspatronen zeigt, dass es anderseits sehr hoher Ströme bedarf, um wenigstens die gleiche Abschmelzzeit zu erreichen (Tabelle I).

Tabelle I

Nennstrom träger Schmelzeinsätze	Abschmelzstrom für eine Schmelzzeit von 0,02 s
10 A	ca. 140 A
15 A	ca. 200 A
20 A	ca. 270 A
25 A	ca. 380 A
35 A	ca. 600 A
40 A	ca. 850 A
50 A	ca. 1000 A
60 A	ca. 1500 A

Nach solchen Überlegungen müssten von den Fehlerstrom-Schutzschaltern Abschaltströme verlangt werden, die dem 15...20fachen Wert des Schalternennstromes entsprechen, oder die im Stromkreis vorhandenen Sicherungen wären auf niedere Werte zu begrenzen. Nach einem ersten Entwurf der internationalen Bau- und Prüfvorschriften sollten die FI-Schalter bei der Prüfung 12 Schaltspiele mit dem 6-fachen Schalternennstrom bei Nennspannung und einem cos $\varphi = 1$ ohne Schaden aushalten. Solch geringen Anforderungen an die Schaltleistung eines Schalters, der über Leben oder Tod entscheidet, kann ich nicht zustimmen.

Um einen möglichst grossen *Schutzbereich* zu erreichen, soll der Schalter auch bei kleinsten Fehlerströmen ansprechen. Dem Konstrukteur sind allerdings durch die ihm zur Verfügung stehenden Materialien Grenzen gesetzt. Bei direkter Auslösung, d. h. ohne Verwendung von Verstärkergliedern, kann einstweilen mit einem kleinsten Auslösestrom von 0,3 A gerechnet werden. Viele Konstrukteure wählen — um etwas mehr Reserve an Auslösekraft zur Verfügung zu haben — einen Auslösenennstrom von 0,5 A. Ströme dieser Grössenordnung sind minimal notwendig, um bei Erdschluss einen Brand zu erzeugen. Unverzögerte Auslösung vorausgesetzt, bildet somit ein solcher Schalter einen ausgezeichneten Brandschutz. Selbst wenn ein noch etwas höherer Auslösenennwert gewählt wird, besteht immer noch ein wesentlich besserer Brandschutz als mit Schmelzsicherungen.

Für einen vollkommenen *Personenschutz* müssten noch bedeutend kleinere Auslöseströme gefordert werden. Beträgt indessen die Abschaltzeit nach Eintritt eines Erdschlusses nicht mehr als 0,1...0,2 s und ist für einen guten Zusammenschluss und ausreichende Erdung aller schutzpflichtigen Objekte gesorgt, so dass unterhalb des Ansprechstromes eines Schalters keine höhere Berührungsspannung als 50 V auftreten kann, darf der Personenschutz als ausreichend bezeichnet werden. Bei der Verwendung eines Schalters mit einem Nennansprechstrom von 0,5 A (in der Regel der kleinste Auslösestrom) muss der Erdübergangswiderstand der zu schützenden Anlage kleiner als 50 V: 0,5 A = 100 Ohm sein. Solche Widerstände werden, wie Messungen durch das Starkstrominspektorat ergeben haben, meist schon durch den Zusammenschluss aller metallenen Teile in Gebäuden erreicht, ja meist beträchtlich unterschritten.

Wird der *Tierschutz* gefordert, so darf der Erdungswiderstand, damit die Fehlerspannung von 24 V nicht überschritten wird, nicht höher sein als 24 V: 0,5 A = 48 Ohm. Auch dieser Wert lässt sich in der Regel noch mit bescheidenen Mitteln erreichen.

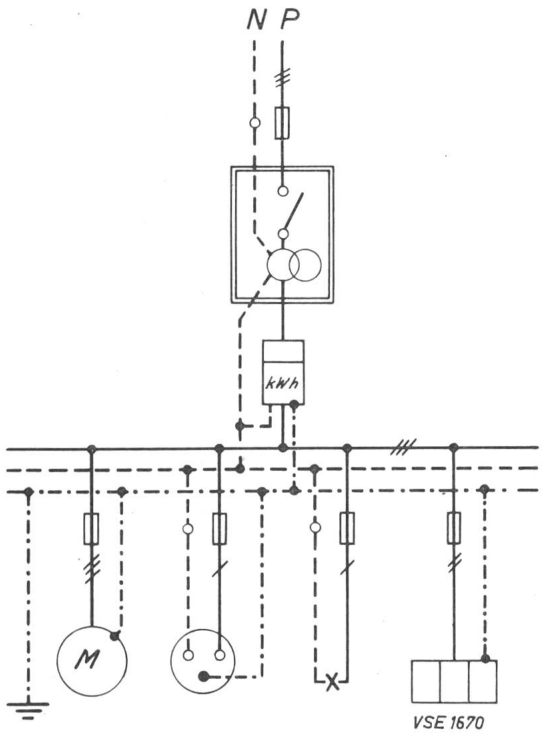


Fig. 4

Schutz einer Hausinstallation mit einem Fehlerstromschutzschalter bei der Hauseinführung

Der Schalter und allfällig vor dem Schalter befindliche, schutzpflichtige Geräte müssen sonderisoliert gebaut sein, oder sind — sofern die Nullungsbedingungen erfüllt sind — zu nullen bzw. an Schutzerde zu legen

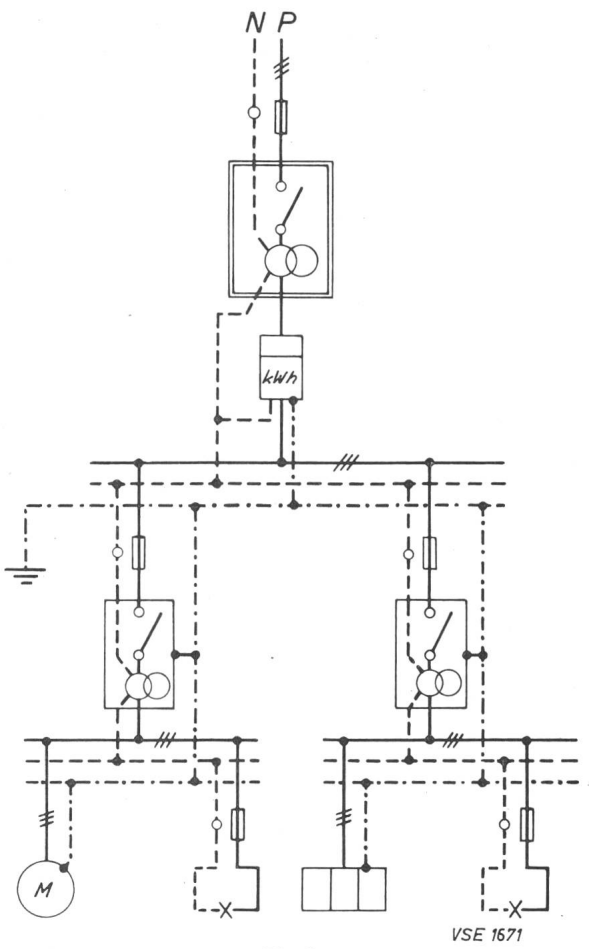


Fig. 5

Schutz einer Hausinstallation mit verschiedenen Fehlerstromschutzschaltern

Die Schalter auf der Verteiltafel schützen je einzelne Teil-Stromkreise der Hausinstallation. Der Schalter bei der Einführung schützt die Zuleitung zur Verteiltafel; er muss mit einem Verzögerungsorgan versehen und sonderisoliert gebaut sein

Die FI-Schalter enthalten üblicherweise keine Organe, die zwischen einem Leiter des Hauptstromkreises und Erde geschaltet sind; Beschädigungen durch atmosphärische *Überspannungen* sind deshalb weniger zu befürchten, als bei Fehlerspannungs-Schutzschaltern. Immerhin darf nicht ausser acht gelassen werden, dass unsere Hausinstallationsvorschriften ein relativ hohes Isolationsniveau im Bereich der Hauseinführung verlangen. Die dort montierten Schalter können deshalb beträchtlichen Überspannungen ausgesetzt sein, was vom Konstrukteur zu berücksichtigen ist.

Es ist im weitern angezeigt, auch die FI-Schalter mit einer *Prüftaste* zu versehen, die es dem Laien erlaubt, die Funktionstüchtigkeit des Schalters gelegentlich zu prüfen. Richtigerweise sollte nicht nur der Schalter, sondern die ganze Schaltung in die Prüfung miteinbezogen werden. Damit jedoch bei schlechter oder gar unterbrochener Erdung durch den Prüfstrom keine Gefährdung von Personen und Tieren entsteht, müssten an eine umfassende Prüfeinrichtung bestimmte Anforderungen gestellt werden, die unter Umständen den Preis des Schalters stark beeinflussen könnten. Es dürfte in der Regel genügen, wenn die Schaltung bei der Abnahmekontrolle und bei jeder periodischen Hausinstallationskontrolle durch den Installationskontrolleur, also durch den Fachmann, mit Hilfe eines Spezialinstrumentes überprüft wird. Solche Instrumente sind bereits erhältlich. An die Schutzschalter sind noch eine Reihe weiterer Forderungen zu stellen, auf die aber hier nicht eingegangen werden kann. Hingegen dürften einige Hinweise auf die übrigen Elemente der *Fehlerschutzschaltung* von Nutzen sein. Wie bereits angedeutet, ist der Zusammenschluss der zu schützenden Objekte anzustreben, damit sie wenn nötig gemeinsam geerdet werden können. An diese Schutzleiter müssen bezüglich Querschnitt, Verlegung, mechanischen Schutz, Kennzeichnung, usw. die gleichen Anforderungen wie an die Schutzleiter der genullten oder schutzgeerdeten Installationen gestellt werden.

In schutzgeerdeten, und mehr und mehr auch in genullten Netzen, steht der Nulleiter unter einer beträchtlichen Spannung gegen Erde. Um Brände durch Isolationsdefekte am Nulleiter auszuschliessen, ist es zweckmässig, beim Ansprechen des Schutzschalters den Nulleiter mit zu unterbrechen. Der FI-Schalter könnte somit auch als Hauptschalter dienen in explosions- oder brandgefährdeten Gebäuden. Da jedoch die Ein- und Ausschaltvorrichtung in der Regel nur für gelegentliches Schalten gebaut ist, soll er für solche Nebenzwecke nicht vorgesehen werden. Selbst wenn die konstruktiven Verbesserungen vorgenommen würden, ist davon abzuraten, einen Schutzschalter für öftere Handbetätigung durch Laien zu verwenden. Hingegen könnte die Kombination FI-Schalter-Leitungsschutzschalter nach meiner Auffassung in Betracht gezogen werden. Da man von beiden Schalterarten ein hohes Schaltvermögen erwartet und da beide eine Freiauslösung benötigen, dürfte sich eine solche Lösung lohnen.

5. Einbauort von Fehlerstrom-Schutzschaltern

Solange die Nullung noch einwandfrei funktioniert, kommt der Einbau von Fehlerstrom-Schutzschaltern vor

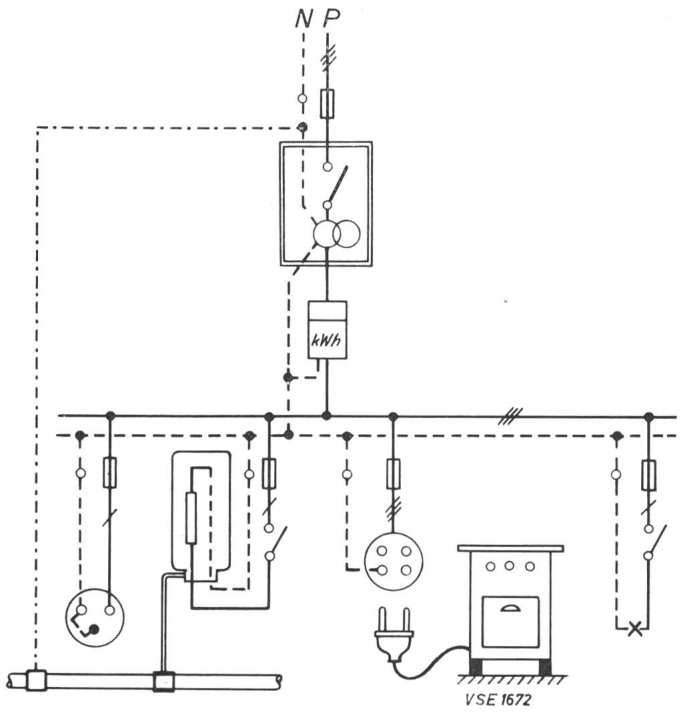


Fig. 6

Fehlerstromschutzschalter in einer nach Schema III der H. V. genullten Hausinstallation

Die Verbraucher sind von Erde isoliert; der Unfallschutz (ausgenommen für Heisswasserspeicher) übernimmt die Nullung, der Brandschutz der Fehlerstromschutzschalter. Diese Schaltung ist störanfällig, da bei jeder Berührung genullter Apparate mit geerdeten Teilen eine Auslösung erfolgt

allem als zusätzliches Schutzorgan in besonders unfall- und brandgefährdeten Installationen in Frage, also vorab in landwirtschaftlichen Betrieben, auf Baustellen, in holzverarbeitenden Betrieben, in Treib- und Heizstofflagern usw. Auf Baustellen vermag die Fehlerstrom-Schutzschaltung auf den ersten Blick keinen zusätzlichen Schutz zu bieten. Solange nämlich der Schutzleiter intakt ist, sollte die Nullung Unfälle verhindern. Erfahrungsgemäss kommen aber Schutzleiterunterbrüche auf Baustellen besonders häufig vor. Vom Starkstrominspektorat durchgeführte Messungen haben nun gezeigt, dass die meisten der auf Baustellen benützten Einrichtungen mit Metallgehäusen, die auf Erd- und Betonböden ruhen, auch bei unterbrochenem Schutzleiter gegen Erde einen genügend kleinen Widerstand aufweisen, um den Schutzschalter zum Ansprechen zu bringen. Gefährliche Verbindungsfehler durch Eingriffe von Laien, die auf Baustellen auch häufig anzutreffen sind, werden vom Schalter grösstenteils erfasst, desgleichen Isolationsfehler an Installationsdrähten und Leitungsschnüren, die am Boden liegen oder in der Erde verlegt sind. Bei der Nullung ist diese Schutzwirkung nicht vorhanden.

Es ist auch zu überlegen, ob ein Schutzschalter ein ganzes Gebäude überwachen, also bei der Hauseinführung angebracht werden soll (Fig. 4), oder eher auf die Verteiltafel in jeden Abgang einzubauen wäre. Auch die Kombination ist denkbar und dürfte vor allem bei Mehrfamilienhäusern oder in grösseren Landwirtschaftsbetrieben in Betracht zu ziehen sein (Fig. 5). In diesem Fall wäre aber der Schalter bei der Hauseinführung mit einem Verzögerungsorgan zu versehen, damit die Selektivität gewahrt bleibt.

In Installationen, die für die Schutzerdung oder die Nullung nach Schema I der H.V. eingerichtet sind, lassen sich Fehlerstrom-Schutzschalter ohne weiteres einbauen. Damit keine gefährlichen Spannungen vom Netz in die Hausinstallation eingeschleppt werden, darf der Netznulleiter zur Erdung jedoch nur dann verwendet werden, wenn die Nullungsbedingung bezüglich Fehlerspannung gemäss Art. 26, Ziff. 4 der Starkstromverordnung erfüllt ist.

In Installationen, die für die *Nullung nach Schema III* der H.V. gebaut sind, lassen sich Fehlerstromschutzschalter nicht verwenden, es sei denn, die genullten Objekte werden sorgfältig von Erde isoliert. Dadurch beschränkt sich natürlich die Wirkung des Schalters auf die nicht genullten Anlageteile, also vorab auf die Leitungen, womit immerhin der Brandschutz gewährleistet ist. Unter Umständen liessen sich noch die transportablen Kleingeräte in den Schutzbereich des Schalters einbeziehen, doch ist mit Fehlauslösungen zu rechnen, sobald ein solches Gerät mit einem geerdeten Apparat oder Gebäudeteil (z. B. Zentralheizungskörper, Wasserleitung) in Berührung kommt (Fig. 6).

Damit sich die in die Fehlerstrom-Schutzschaltung gesetzten Erwartungen überprüfen lassen, und um Unterlagen für die Anforderungen an die einzelnen Schaltungselemente zu erhalten, hat das Starkstrominspektorat nach vorgängiger Prüfung einer Anzahl Schalter in der Materialprüfanstalt des SEV einige grössere Elektrizitätswerke ermuntert, zu Versuchszwecken solche Schalter einzubauen und diese genauestens zu überwachen. Hiefür hat es provisorische Einbaubedingungen herausgegeben und sowohl mit den Werken als auch mit den Fabrikanten dauernd Kontakt gewahrt. Erfreulicherweise haben verschiedene Werke dieser Einladung Folge geleistet, so dass schon recht interessante Resultate zur Verfügung stehen, obschon die Versuche noch nicht abgeschlossen sind. Möge sich diese gute Zusammenarbeit im Interesse der allgemeinen Sicherheit weiterhin erhalten und entwickeln.

Literatur

[1] *G. Biegelmeier, Wien,* und *E. Maier,* Schaffhausen: Fehlerstromschutzschalter, Bulletin des SEV, Jahrgang 1960, Nr. 23.

[2] Beiträge zur ersten Hilfe und Behandlung von Unfällen durch elektrischen Strom. Bericht über die wissenschaftlichen Tagungen der Ärztlichen Forschungsstelle für elektrische Unfälle, Freiburg i. Br., erschienen bei Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH, Frankfurt a. M.

[3] *H. Freiberger, Berlin:* Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom, Elektrizitätswirtschaft, Jahrgang 1933, September/Oktober.

[4] *H. F. Schwenkhagen* und *P. Schnell:* Gefahrenschutz in elektrischen Anlagen. Verlag Girardet, Essen.

[5] *Alexis Dejou:* Quelques réflexions sur les accidents provoqués par les installations à basse tension et sur les moyens de protection. Revue générale d'électricité, Jahrgang 1960, Nr. 10.

Adresse des Autors:
E. Homberger, Ing., Chef des Inspektions- und Unfallwesens des Eidg. Starkstrominspektorates, Zürich.

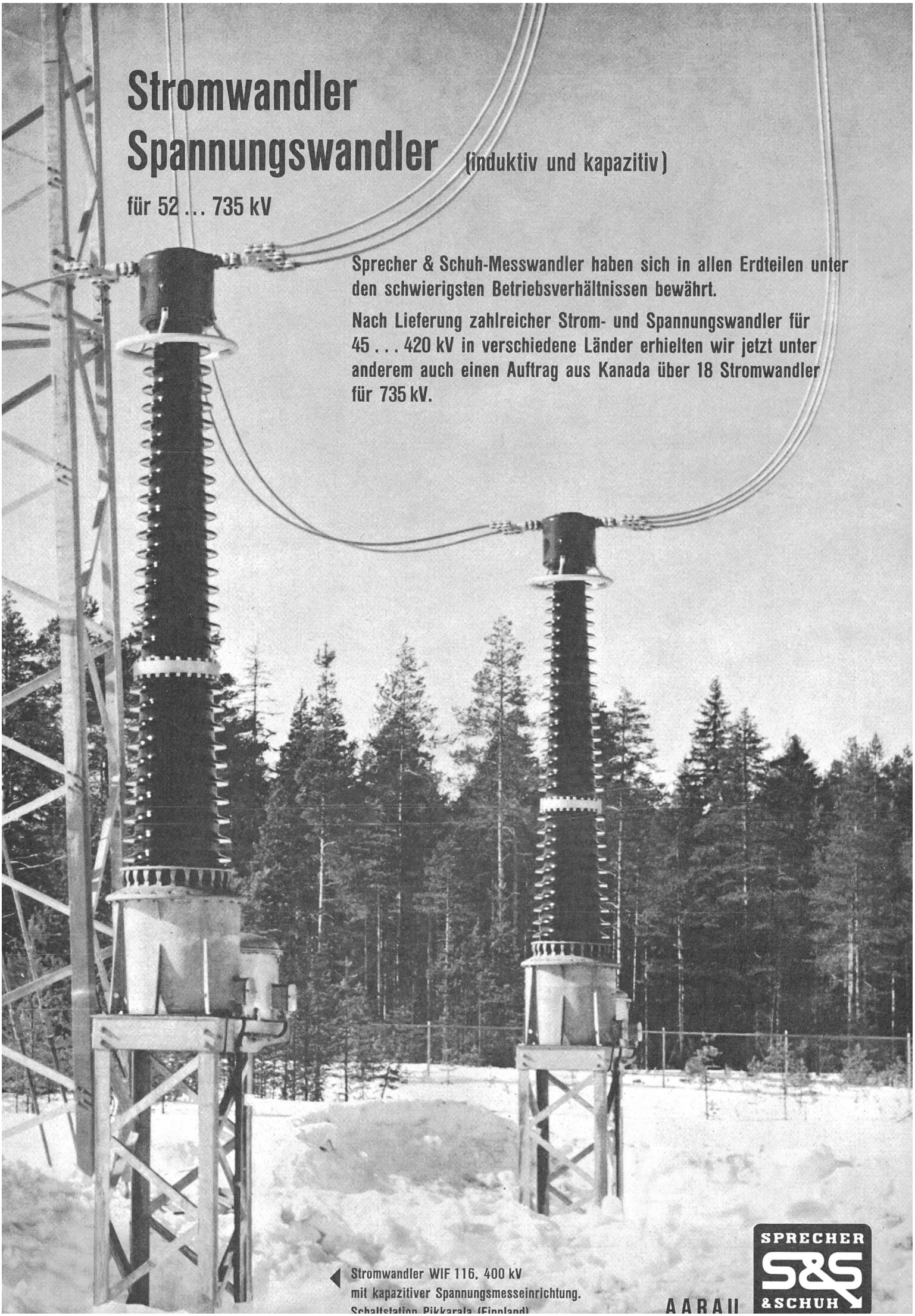
Redaktion der «Seiten des VSE»: Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, Bahnhofplatz 3, Zürich 1, Postadresse: Postfach Zürich 23, Telephon (051) 27 51 91, Postcheckkonto VIII 4355, Telegrammadresse: Electrunion Zürich.
Redaktor: *Ch. Morel,* Ingenieur.
Sonderabdrucke dieser Seiten können beim Sekretariat des VSE einzeln und im Abonnement bezogen werden.

Stromwandler
Spannungswandler (induktiv und kapazitiv)

für 52 ... 735 kV

Sprecher & Schuh-Messwandler haben sich in allen Erdteilen unter den schwierigsten Betriebsverhältnissen bewährt.

Nach Lieferung zahlreicher Strom- und Spannungswandler für 45 . . . 420 kV in verschiedene Länder erhielten wir jetzt unter anderem auch einen Auftrag aus Kanada über 18 Stromwandler für 735 kV.



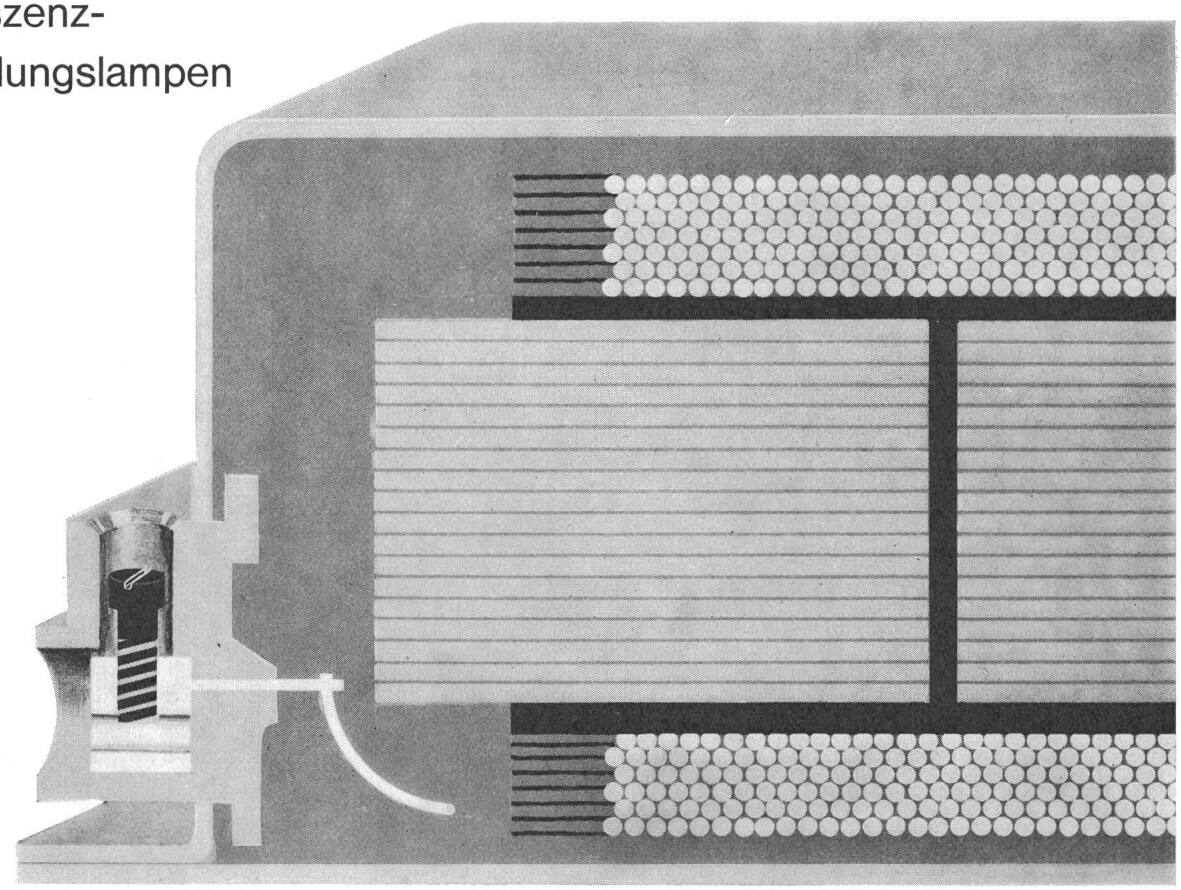
◀ Stromwandler WIF 116, 400 kV
mit kapazitiver Spannungsmesseinrichtung.
Schaltstation Pikkarala (Finnland)

AARAU

SPRECHER S&S &SCHUH

PHILIPS POLYESTER VORSCHALTGERÄTE

für Fluoreszenz-
und Entladungslampen



Besondere Merkmale: Kleine Dimensionen, geringes Gewicht • Genau dosierte Leistungszuführung an die Fluoreszenzlampe, deshalb volle Lichtausbeute • Richtige Vorheizbedingungen während des Startes zusammen mit minimaler Kurvenverzerrung des Lampenstroms während des Betriebs, dadurch Gewähr für lange Lebensdauer der Lampen • Niedrige Betriebstemperaturen dank Polyesterharz-Füllung zwischen Spule und Stahlgehäuse • Polyester schmilzt nicht, daher grosse Betriebssicherheit, sehr lange Lebensdauer, äusserst geräuscharm, kein Unterhalt • Philips Polyester-Vorschaltgeräte entsprechen den nationalen und internationalen Vorschriften und den zusätzlichen hohen fabrikinternen Anforderungen.

PHILIPS Philips AG Abteilung Philora, Zürich 3 Edenstrasse 20, Tel 051 / 25 86 10 und 27 04 91