Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 71 (1980)

Heft: 1

Artikel: Sicherheit durch empfindliche Fehlerstrom-Schutzschalter

Autor: Lauerer, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905193

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: 13.07.2025

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

Sicherheit durch empfindliche Fehlerstrom-Schutzschalter

Von F. Lauerer

621.316.9

Nach einer kurzen geschichtlichen Übersicht werden die Vorzüge des empfindlichen Fehlerstrom-Schutzschalters (EFI) herausgestellt. Weiter werden die biophysikalischen Probleme einer näheren Betrachtung unterzogen. Zur Beseitigung der Unsicherheit in den Bezeichnungen wird für den FI-Schutzschalter mit hohen Auslöseströmen die Bezeichnung «Unempfindlicher Fehlerstrom-Schutzschalter» (UFI) vorgeschlagen. Zum Schluss werden zwei technische Vorschläge, der «einstellbare FI-Schutzschalter» und die Anwendung von Varistoren näher erläutert.

Après un bref aperçu historique, les avantages du disjoncteur de protection à courant de défaut très sensible sont indiqués, puis les problèmes de biophysique sont examinés. Pour supprimer l'incertitude dans les désignations, l'auteur propose de désigner par disjoncteur peu sensible celui qui ne déclenche qu'à partir de courants de défaut d'une grande intensité. En outre, il propose et décrit le disjoncteur de protection ajustable et l'emploi de varistors.

1. Prinzip des Fehlerstrom-Schutzschalters

Der Fehlerstrom-Schutzschalter (FI) besteht aus einem Summenstromwandler, aus einem Relais R und aus einem mehrpoligen Schalter C (Fig. 1). Der Summenstromwandler besteht seinerseits aus dem Magnetringkern M, durch den die Netzleitungen führen, und aus der Sekundärwicklung S. Tritt in der Verbraucheranlage ein Fehlerstrom zur Erde auf, d.h. ein Erdschlußstrom (in Fig. 1 angedeutet durch R_f), so wird in der Sekundärwicklung S eine Spannung induziert. Ab einer bestimmten Spannung am Relais R, d.h. ab einem bestimmten Fehlerstrom I_f, dem Fehlerauslösestrom I_{fa}, bewirkt das Relais eine Abschaltung des Schalters C und damit eine Unterbrechung der Netzzuleitungen.

Die Grösse des Fehlerauslösestromes ist konstruktionsbedingt. Jeder FI-Schutzschalter hat einen bestimmten Nennfehlerstrom, während sein tatsächlicher Fehlerauslösestrom mindestens etwas, meist ca. 20% unterhalb desselben liegt, so dass wegen der unvermeidlichen Streuwerte in jedem Einzelfalle eine zuverlässige Angabe gewährleistet ist.

2. Empfindlicher Fehlerstrom-Schutzschalter (EFI)

Es ist unbestritten, dass die Höhe des Fehlerauslösestromes einen wesentlichen Einfluss auf die Schutzwirkungen und den Schutzwert des Schutzschalters hat. Stromunfälle, insbesondere tödliche Stromunfälle passieren jeweils, weil ein Fehlerstrom durch den menschlichen Körper fliesst. Nachdem der Mensch das Schutzobjekt ist, sollte auch der Mensch bzw. sollten die biophysikalischen Eigenschaften des Menschen das Mass für die Beurteilung des Schutzschalters abgeben.

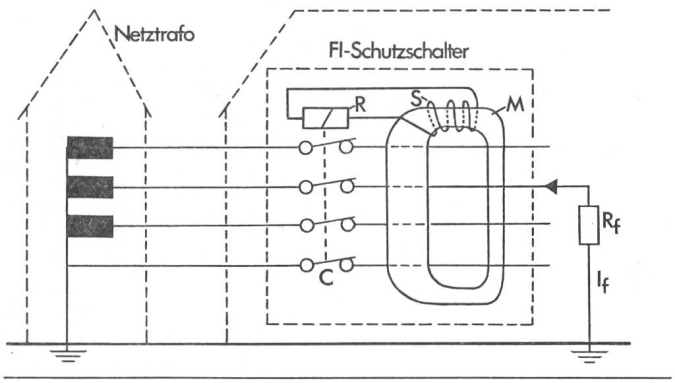

Fig. 1 **Prinzip des FI-Schutzschalters**

R_f Fehlerwiderstand — S Sekundärwicklung
I_f Fehlerstrom — R Relais
M Magnetringkern — C Schalter

Der elektrische Widerstand des Menschen R_M ist sowohl von der Höhe der angelegten Spannung als auch vom Stromweg im Menschen abhängig. Für die meisten Unfallsituationen ist der übliche Rechenwert $R_M = 1\ k\Omega$ eher zu niedrig gegriffen. Berührt ein Mensch von einem gut geerdeten Standort aus eine Netzspannung von 220 V, so fliesst unter den angenommenen Voraussetzungen ein Unfallstrom von 220 mA. In diesem Falle schalten also FI-Schutzschalter mit Nennfehlerströmen von 300, 500 oder mehr mA nicht aus.

Diese Tatsache schlägt sich in der Unfallstatistik nieder: 28 der 576 tödlichen Stromunfälle an Verbraucheranlagen in Bayern von 1954 bis 1967 konnten die vorgeschalteten FI-Schutzschalter nicht verhindern, weil die Unfallströme unterhalb der Auslöseschwellen lagen [1]. Diese Zahl muss natürlich im Verhältnis zur Anzahl der damals in Betrieb gewesenen FI-Schutzschalter gesehen werden. Unter diesen Umständen ist es zweckmässig, den FI-Schutzschalter differenzierter zu betrachten, und es wird deshalb folgende Definition vorgeschlagen:

Empfindliche Fehlerstrom-Schutzschalter (EFI) haben einen Auslösestrom, dessen Wert bei oder unterhalb einer angenommenen und festgelegten Tödlichkeitsschwelle (z.B. 30 mA) liegt.

3. Geschichtliches

Summenstromschalter war der vom Erfinder [2] im Jahre 1928 gewählte Name für diesen Schutzschalter, der dann *Differentialschutzschalter* [3] und im Jahre 1950, nach einem Vorschlag von *Schnell* [4] endgültig *Fehlerstrom-Schutzschalter*, kurz FI-Schutzschalter genannt wurde. Die im CENELEC-Harmonisierungsdokument HD 223 vom 6. 11. 1974 erwähnte Bezeichnung Differenzstrom-Schutzeinrichtung mag unter physikalischen Gesichtspunkten zutreffender sein, weil die Abschaltung nur bei Fehlerströmen vom Aussenleiter nach Erde oder zum Schutzleiter und nicht bei Fehlerströmen Aussenleiter nach Aussenleiter oder Aussenleiter nach Mittelleiter erfolgt. Ob es jetzt, nach 25 Jahren FI-Anwendung sinnvoll ist, die eingebürgerte Bezeichnung zu ändern, erscheint jedoch sehr fraglich.

Nach der Vorstellung des Erfinders sollte der Schutzschalter einen Schutz bei Berühren spannungsführender Leiter bieten, d.h. im Sinne der vorgeschlagenen Definition für EFI. Die Schutzapparate-Gesellschaft Paris + Co (Schupa) baute im Jahre 1937 das erste Modell [5]. Dessen Fehlerauslösestrom betrug 10 mA, was also voll im Sinne des Erfinders war.

Mit diesem Schutzschalter wurde sogar ein praktischer Versuch mit einem Menschen durchgeführt [6]: «Eine Versuchsperson stand mit nackten Füssen auf angefeuchtetem Betonfussboden und berührte einen unter Spannung stehenden Aussenleiter. Der Schutzschalter löste rechtzeitig aus. Die Versuchsperson erklärte aber, dass sie sich hierfür nicht wieder zur Verfügung stellen würde, weil der elektrische Schlag sehr stark gewesen sei.»

In der Folge wurde der empfindliche FI-Schutzschalter aufgegeben. Die Erdung der Gerätegehäuse und die Erhöhung des Nennfehlerstromes wurden empfohlen. Es wurde die Meinung vertreten, «dass es für den Unfallschutz gleichgültig ist, wie hoch der Nennfehlerstrom des FI-Schutzschalters bemessen wird. Es müssen nur die Bedingungen $R_E = 65\ V/I_{FN}$ oder bei Tierschutz $R_E = 24\ V/I_{FN}$ erfüllt sein» [6].

Wenn auch bis Mitte der 60er Jahre fast ausnahmslos FI-Schalter nach dieser Philosophie auf den Markt und zur Anwendung kamen – die Nennfehlerströme betrugen meist 300, 500, 1000 bzw. 3000 mA –, war die Idee des empfindlichen Fehlerstrom-Schutzschalters jedoch keineswegs untergegangen. Im Jahre 1955 wagte die Felten & Guilleaume Carlswerk AG mit einem 50-mA-FI-Schalter einen neuen Vorstoss [7]. Der Erfolg blieb leider aus. Die Hauptgründe dürften die Vorurteile gewesen sein, die in den vorangegangenen Jahren aufgebaut wurden, hauptsächlich die vermeintlich zu erwartende hohe Abschalthäufigkeit infolge von «Ableitströmen». Sicherlich traten im praktischen Einsatz unnütze Abschaltungen auf, die bei nachträglicher Verwendung von FI-Schaltern mit hohen Nennfehlerströmen ausblieben. Ob bei diesen die mögliche und erfahrungsgemäss häufigste Störungsursache, nämlich eine Verbindung von Schutzleiter und Mittelleiter, erkannt wurde, muss nachträglich bezweifelt werden.

In den Labors wurden trotzdem neue technische Lösungen zur Realisierung des empfindlichen FI-Schutzschalters entwickelt. Sie fanden in der Patentliteratur und zum Teil auch in der Fachliteratur ihren Niederschlag [8].

Im Jahre 1963 unternahm die Felten & Guilleaume Carlswerk AG erneut einen Vorstoss und begann die Serienproduktion von Schutzschaltern mit 15 mA Nennfehlerstrom. Dieser Schutzschalter fand allerdings nur bei der Deutschen Bundesbahn und dort nur für Sonderzwecke Anwendung. Die Fachwelt erfuhr erst im Jahre 1966 davon [9].

Im Jahre 1964 versuchte der Verfasser die Gesamtproblematik der Schutzleiterschutzmassnahmen und die mögliche Lösung der gegebenen Probleme mit Hilfe des empfindlichen FI-Schutzschalters der Fachwelt nahe zu bringen [10]. Eine heftige Diskussion, die allerdings nur zu einem sehr geringen Teil in der Fachpresse ihren Niederschlag fand [11], war die Folge.

1966 war es dann so weit. Siemens nahm in grossem Ausmasse die Serienproduktion des empfindlichen Fehlerstrom-Schutzschalters mit einem Nennfehlerstrom von 30 mA auf und brachte ihn auf den Markt. Alle übrigen FI-Hersteller zogen bald nach. Bis heute sind in der Bundesrepublik Deutschland rd. 1,5 Mio empfindliche FI-Schutzschalter in Betrieb [12], zum Teil schon viele Jahre, ohne dass die befürchteten Schwierigkeiten aufgetreten sind. Doch werden diese hochwertigen Schutzschalter auch heute nicht im möglichen Ausmasse eingebaut. Die grosse Masse der Installateure wollte in den ersten Jahren das Risiko der vermeintlichen EFI-Abschaltungen mit den damit verbundenen Reklamationen nicht eingehen. Nur langsam wird die Anzahl dieser Installateure kleiner. Die Umstellung löst in nahezu allen Fällen grosses Erstaunen darüber aus, dass dieser empfindliche Schutzschalter «hält». Voraussetzung dazu ist meist, dass in eigener Erfahrung die wichtigste Bedingung (der Mittelleiter darf *nach* dem Schutzschalter nicht mit dem Schutzleiter oder einem anderen geerdeten Leiter verbunden sein) und die diesbezügliche Messmöglichkeit (Messung des Widerstandes zwischen Mittelleiter und Schutzleiter bei ausgeschaltetem Schutzschalter, z.B. an einer Schutzkontaktsteckdose) erkannt wurden.

Auch in der Schweiz wurde der hohe Schutzwert des empfindlichen FI-Schutzschalters frühzeitig erkannt und die Umsetzung in die Praxis zielbewusst vorangetrieben [13...17]. Diese Entwicklung fand auch in den Vorschriften ihren Niederschlag. Bemerkenswert ist, dass bereits im Jahre 1970 Nennauslöseströme von 10 und 30 mA zur Disposition gestellt wurden [18]. Die detaillierten Empfehlungen des SEV wurden in der Praxis auch angenommen. Man wagte auch den Einsatz auf Baustellen, wo bekanntlich sehr harte Betriebsbedingungen gegeben sind. Die Feststellung, dass der Einsatz von EFI-Schutzschaltern sogar beim Bau des Gotthardtunnels mit Erfolg von statten geht [19], überzeugt den Praktiker mehr als viele Worte. Aus den gewonnenen Erfahrungen wurden auch die Konsequenzen gezogen: Seit 1976 sind in der Schweiz für Steckvorrichtungen bis 40 A empfindliche FI-Schutzschalter 30 mA für Baustellen vorgeschrieben [20].

4. Die Vierfachfunktion des EFI-Schutzschalters

Abgesehen von Sonderanwendungen [18, Pos. 41253.3] und Schutzisolierung ist nicht daran gedacht, den EFI-Schutzschalter ohne Schutzleiter zu betreiben. Die *Schutzleiteranwendung* hat den Vorteil, dass die Abschaltung eines fehlerhaften Anlagenteiles in den meisten Fällen vor der Berührung durch den Menschen erfolgt. Grundsätzlich soll damit die Elektrisierung des Menschen, auch kurzzeitig vermieden werden. Liegt der Fehlerauslösestrom über etwa 14 mA, so kann ferner ein Loslassen wegen des eingetretenen Muskelkrampfes ohne fremde Hilfe nicht mehr möglich sein. Der Schutzleiter sorgt dafür, dass das Metallgehäuse des elektrischen Verbrauchsgerätes im Bereich bis zum Fehlerauslösestrom keine spürbare Berührungsspannung annehmen kann. Er sorgt weiter dafür, dass die bei Körperkurzschluss bis zum Abschaltende auftretende Berührungsspannung (Dauer etwa 10 bis 30 ms) nicht gleich der vollen Netzspannung (220 V) ist, sondern wesentlich geringer (meist unter 80 V). Allerdings ist dieser Vorteil nur bei Verwendung oder Mitverwendung des Netz-Nulleiters als FI-Schutzleiter gegeben (Fig. 2), ein Punkt, auf den noch näher eingegangen wird. Bei Verwendung eines hauseigenen Erders, der nicht mit dem Netz-Nulleiter verbunden ist, ist die auftretende Berührungsspannung bis zum Abschaltende meist gleich der vollen Netzspannung (220 V).

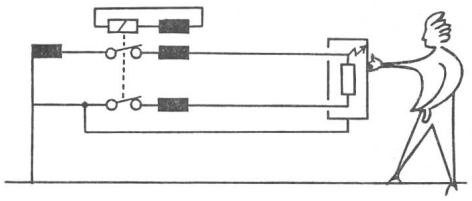

Fig. 2 Auslösung des EFI-Schutzschalters bei Schutzleiteranwendung

Im Gegensatz zu den übrigen Schutzleiter-Schutzmassnahmen bietet der EFI-Schutzschalter auch einen Schutz bei *Schutzleiterversagen,* d.h. in jenen Fällen, bei denen der Schutzleiter unterbrochen ist und gleichzeitig ein Körperschluss (Fig. 3) oder eine Schutzleiter/Aussenleiter-Berührung (Fig. 4) auftritt bzw. im Falle eines Schutzleiter-Falschanschlusses wie z.B. bei Schutzleiter/Aussenleiter-Vertauschung (Fig. 5). Diese Fälle sind leider sehr häufig. Bei 280 der 576 Unfälle der Untersuchung [1] floss der tödliche Strom über den Schutzleiter zum Menschen.

Ohne Zweifel stellt die Schutzisolierung einen grossen Fortschritt dar, der auch in der Unfallstatistik seinen Niederschlag findet [1]. Was aber ist, wenn am Schutzisolierungsgerät ein Fehler auftritt, also bei *Schutzisolierungsversagen,* wenn z.B. ein Gehäuseteil beschädigt ist, eine leitende Flüssigkeit in das Gerät eindringt oder an das Metallgehäuse Spannung von aussen übertragen wird (z.B. Anbohren einer spannungsführenden Leitung im Mauerwerk mit einer Handbohrmaschine)? Bei grosszügiger Auslegung des Begriffes Schutzisolierung sind von den 576 Stromtoten 30 durch derartige Fehler umgekommen. Auch in diesen Fällen verhindert der EFI-Schutzschalter den Unfalltod (Fig. 6).

Die *direkte Berührung* von spannungsführenden Leitungen macht leider einen nicht geringen Teil der tödlichen Stromunfälle aus. Von den 576 Stromtoten sind 204 auf diese Weise verunglückt [1], davon 67 durch Berühren von Innenteilen von Verbrauchsgeräten. Auch diese Fälle können EFI-Schutzschalter verhindern (Fig. 7).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der EFI-Schutzschalter nicht nur einen Schutz bei vorschriftsmässiger Schutzleiteranwendung bietet, sondern darüber hinaus und im Gegensatz zu den übrigen Schutzleiter-Schutzmassnahmen auch dann einen Schutz bietet, wenn durch Installations-, Betriebs- oder Verhaltensfehler der Schutzleiter oder die Schutzisolierung versagt, oder wenn spannungsführende Stellen direkt oder über Fremdmetalle berührt werden. Den Beweis dafür könnte in gewissem Masse die Tatsache liefern, dass bis heute noch kein einziger tödlicher Stromunfall bei EFI-Anlagen bekannt wurde.

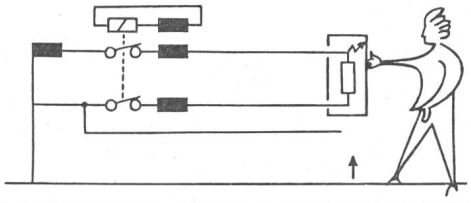

Fig. 3 Auslösung des EFI-Schutzschalters bei Schutzleiterunterbrechung und Körperschluss

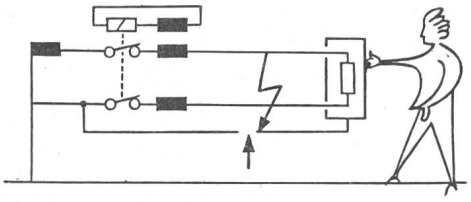

Fig. 4 Auslösung des EFI-Schutzschalters bei Schutzleiterunterbrechung und Schutzleiter/Aussenleiter-Berührung

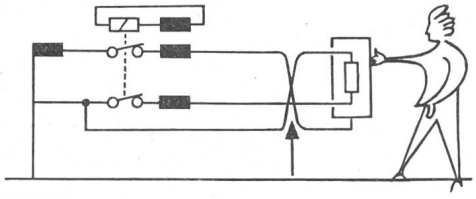

Fig. 5 Auslösung des EFI-Schutzschalters bei Schutzleiter/Aussenleiter-Vertauschung

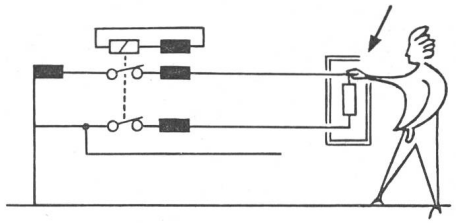

Fig. 6 Auslösung des EFI-Schutzschalters bei Schutzisolierungsversagen, hier bei einem beschädigten Gehäuseteil

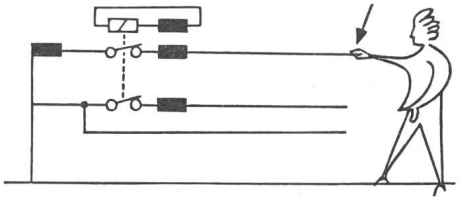

Fig. 7 Auslösung des EFI-Schutzschalters bei direkter Berührung einer blanken spannungsführenden Leitung

Die seit Anwendungsbeginn des FI-Schalters bekannte und auch heute noch gegebene Eigenstöranfälligkeit [14] kann kein Argument gegen den EFI-Schutzschalter sein. Zu berücksichtigen ist dabei auch die Tatsache, dass bei FI-Ausfall die Nullung weiterhin voll wirksam ist, sofern der Netz-Nulleiter als FI-Schutzleiter verwendet wird. Doch darf man sich mit der Störanfälligkeit infolge mechanischer und elektrischer Fehler, die im langjährigen Einsatz immerhin 3 % ausmacht, nicht zufrieden geben. Es wäre sinnvoll, einen FI-Schalter mit doppelter Zuverlässigkeit (Redundanz) zu entwickeln. Vorschläge, wie z.B. die im Versagensfalle erfolgende Auslösung eines irreversiblen Kurzschlusses im FI-Schalter (Folge: die Vorsicherungen schalten ab) bzw. einer irreversiblen Notabschaltung im FI-Schalter durch eine kontrollierte Miniexplosion, liegen bereits vor. Nachdem das Problem der Fehlergleichströme gelöst worden ist [12], wäre es an der Zeit, die FI-Eigenstöranfälligkeit in Angriff zu nehmen und zu lösen.

5. Biophysikalische Gesichtspunkte

Um die Frage, bis zu welchem Nennfehlerstrom ein tödlicher Unfall verhindert wird, beantworten zu können, muss man wissen, ab welcher Stromstärke der technische Wechselstrom das Herzkammerflimmern auslöst. Einen exakten und für alle möglichen Unfallumstände geltenden Schwellenwert gibt es nicht. Mit Sicherheit weiss man, dass FI-Schalter mit Nennfehlerströmen von 300 oder mehr mA bei direktem Berühren den Tod nicht verhindern können. Nach heutiger Auffassung muss man ab etwa 50 bis 100 mA mit einer tödlichen Wirkung rechnen. Allerdings ist dabei ein Stromweg durch die Extremitäten stillschweigend vorausgesetzt.

Der Schwellwert sinkt, je näher mindestens eine Stromübergangsstelle am Herzen liegt. Im Extremfall, wenn sich die Stromübergangsstelle im Herzen selbst befindet, liegt der Schwellenwert bei 0,01 mA. In diesem Falle bietet auch der EFI-Schutzschalter keinen Schutz. Derartige Unfallumstände sind aber praktisch nur im medizinischen Anwendungsbereich (Herzkatheter) möglich, wo besondere Schutzmassnahmen getroffen werden. Mit einem geringeren Schwellenwert muss auch gerechnet werden, wenn das Herz vorgeschädigt oder schwach ist. Weiter dürfte der Schwellenwert beim neugeborenen Kind relativ niedrig sein, in den mittleren Jahren seinen Höchstwert haben und mit weiter zunehmenden Alter wieder sinken.

Genaue Werte können in keinem Falle angegeben werden, weil diesbezügliche Menschenversuche unmöglich sind und nachträgliche, optimal vorprogrammierte Untersuchungen am Unfallort trotz wiederholter Anregungen [21] bis heute noch nicht ermöglicht wurden. Dieser Schwellenwert ist zudem von der allgemeinen und momentanen psychophysischen Konstitution der betroffenen Person abhängig. Vorerst wird angenommen, dass er zumindest für fast alle Menschen bei $I > 30$ mA liegt. Dieser Schwellenwert dürfte nach einer gefühlsmässigen Einschätzung eher zu tief, also mehr in Richtung höherer Sicherheit liegen. Bevor jedoch durch die vorgeschlagenen Untersuchungen Klarheit geschaffen ist, sollte der derzeit im Gespräch befindliche Schwellenwert von 30 mA nicht erhöht werden. Eine Diskussion darüber, ob der Schwellenwert auf 100 mA angehoben werden kann, ist angesichts des unzulänglichen Beweismaterials [22] wenig erfolgversprechend. Abgesehen davon, dass die Ergebnisse eines Einzelversuches nicht verallgemeinert werden können, liegt der wesentliche Mangel an dem Selbstversuch nach [22] darin, dass der Stromweg Hand/Hand gewählt wurde. Es ist nämlich eine wissenschaftlich gesicherte Erkenntnis, dass der tödliche Schwellenstromwert wesentlich von der Richtung des Stromweges im Herzen abhängt. Gefährlich sind vor allem die sog. Längsströme, d.h. die Stromwege von oben nach unten bzw. umgekehrt. Leider gehört gerade der häufigste, im Unfallgeschehen vorkommende Stromweg, nämlich «rechte Hand/Füsse», zu dieser Kategorie.

Die Querströme, also insbesondere der Stromweg Hand/Hand, haben, wie *Sam* bei Tieren experimentell nachwies [23], eine wesentlich geringere Wirkung. *Sam* kam durch Übertragung der gewonnenen Zahlenwerte auf den Menschen rechnerisch zu dem Ergebnis, dass Herzkammerflimmern beim Stromweg Hand/Hand erst ab 220 mA auftritt. Entsprechend kommt der tödliche Ausgang eines Hand/Hand-Unfalles im Vergleich zum Hand/Fuss-Unfall wesentlich seltener vor.

Solange kein eindeutiger Nachweis dafür erbracht werden kann, dass der wirkliche Schwellenstromwert zur Verhinderung von schätzungsweise mindestens 99 % der sonst tödlich verlaufenden Aussenleiter/Erde- bzw. Schutzleiter-Unfälle nicht wesentlich höher liegt als bei 30 mA, sollte von diesem Wert nicht abgegangen werden.

Damit soll die hohe Schutzwirkung des 100-mA-FI-Schutzschalters keineswegs in Frage gestellt werden. Es dürfte kein Zweifel darüber bestehen, dass der 100-mA-FI-Schutzschalter einen sehr hohen Prozentsatz der tödlichen Stromunfälle, vermutlich 95 % verhindert. Aus diesem Grunde ist es auch weitaus sinnvoller, einen 100-mA-Schalter zu verwenden, als einen 300-mA-Schalter, wenn man glaubt, ein 30-mA-Schalter würde zu häufig auslösen. Österreich hat schon ab etwa 1960 als erstes Land den 100-mA-FI-Schutzschalter in grossen Zahlen hergestellt und eingesetzt. Diese Initiative ist vor allem *Biegelmeier* zuzuschreiben [24...27].

Als Ergebnis der bisherigen Erkenntnisse sollte man als EFI-Schutzschalter im Sinne der vorgeschlagenen Definition nur solche FI-Schutzschalter ansehen, deren Nennfehlerstrom gleich oder kleiner als 30 mA ist, d.h. $I_{\Delta N} \leqq 30$ mA.

6. Nur mehr EFI-Schutzschalter?

Biegelmeier hat schon 1965 darauf hingewiesen, «dass eine Auslösegrenze von 300 mA geradezu paradox für einen Fehlerstrom-Schutzschalter ist» [28]. Noch deutlicher wurde *Danielskis,* der 1977 vorschlug, «die Fehlerstrom-Schutzschaltung nur mit solchen FI-Schutzschaltern zu gestatten, deren Nennfehlerstrom 30 mA nicht übersteigt» [29].

Ohne Zweifel würde sich ein Verbot der FI-Schutzschalter mit $I_{\Delta N} > 30$ mA kaum an den Realitäten orientieren, und es würde deshalb wohl auch nicht durchsetzbar sein. Man darf nicht übersehen, dass FI-Schutzschalter nicht nur in Haushaltungen, sondern auch in grossen Gewerbe- und Industriebetrieben Verwendung finden, wo Stromausfälle gleichbedeutend sind mit Produktionsausfällen und sich deshalb – berechtigt oder nicht – zumindest noch heute kaum ein Elektroinstallateur findet, der einen EFI einzubauen wagt.

7. Terminologie

Der Unterschied bezüglich der Schutzwirkung und damit auch des Schutzwertes ist zwischen dem EFI-Schutzschalter und den FI-Schaltern mit hohen Nennfehlerströmen enorm; trotzdem gibt es bis heute noch keine offiziellen Sammelbezeichnungen für diese beiden Schalterarten. Die Folge ist, dass verschiedene, mehr oder weniger geeignete Bezeichnungen verwendet werden und schon deshalb eine gewisse Unsicherheit entstanden ist [30]. Es ist für die Erreichung des optimalen Unfallschutzes von ausserordentlicher Bedeutung, welche Bezeichnung verwendet wird. Die heute gelegentlich verwendeten Bezeichnungen «FI-Schutzschalter $I_{\Delta N} \leqq 30$ mA» und «FI-Schutzschalter $I_{\Delta N} > 30$ mA» sind schwerfällig, haben eine zu geringe Unterscheidbarkeit und sind deshalb für den Praktiker völlig ungeeignet.

Ebenso ist die Unterscheidung durch die Bezeichnungen «normalempfindlicher» und «hochempfindlicher FI-Schutzschalter» ungenügend. Es sei an die «Normalsteckdose» erinnert, die in den Einführungsjahren der Schutzkontaktsteckdose als die selbstverständlichste Bezeichnung empfunden wurde. Heute ist diese Bezeichnung völlig sinnlos, da sich die Zahlenverhältnisse in der Zwischenzeit genau ins Gegenteil verändert haben.

Besser ist eine zweckorientierte Namensgebung, die das angestrebte Ziel, dass der FI-Schutzschalter selbständig und unabhängig von der Wirksamkeit zusätzlicher Mittel den Stromtod des Menschen verhindert, verbal zum Ausdruck bringt. Dies kann durch folgende Bezeichnungen zum Ausdruck gebracht werden:

Empfindlicher Fehlerstrom-Schutzschalter (*EFI*), d.h. empfindlich gegen den tödlich wirkenden Strom.

Unempfindlicher Fehlerstrom-Schutzschalter (*UFI*), d.h. unempfindlich gegen den tödlich wirkenden Strom.

Die abgeleiteten Kürzel EFI und UFI erfüllen nicht nur die Forderungen nach Kürze und Prägnanz, sie lassen sich auch

leicht und eindeutig mit weiteren technischen Daten kombinieren, was für den Praktiker von besonderer Wichtigkeit ist. Ausserdem existieren keine gleichen Firmen-Typenbezeichnungen, so dass auch deswegen keine Verwechslungen möglich sind. Weiter wird vorgeschlagen, dass der Nennfehlerstrom grundsätzlich in mA und der Nennbetriebsstrom (wie bisher) in A anzugeben ist. Hier einige Beispiele:

FI	es wird die FI-Schaltung angewandt, wobei die übrigen Daten unbestimmt sind
EFI	es wird ein EFI-Schalter angewandt, wobei die übrigen Daten unbestimmt sind
EFI 30 mA	es wird ein EFI 30-mA-Schalter angewandt, wobei der Nennbetriebsstrom unbestimmt ist
EFI 40 A	es wird ein EFI 40-A-Schalter angewandt, wobei der Nennfehlerstrom unbestimmt ist
EFI 10 mA/25 A	es wird ein EFI 10 mA mit einem Nennbetriebsstrom von 25 A angewandt

8. Einstellbarer Fehlerstrom-Schutzschalter

Es soll keineswegs verkannt werden, dass eine allgemein gültige EFI-Vorschrift für eine grosse Anzahl von Anlagen eine sehr schwierige Entscheidung ist. Bei sehr vielen Anlagen muss vereinzelt doch mit Abschaltungen gerechnet werden, die bei Anwendung von Nullung oder UFI nicht auftreten würden und wo eine sofortige Wiedereinschaltung wegen eines bestehenbleibenden Isolationsfehlers nicht möglich ist.

Dazu gibt es eine relativ einfache Problemlösung, auf die bereits früher [10; 31; 32] hingewiesen wurde: Der Fehlerauslösestrom ist für den Benutzer einstellbar zu machen, beispielsweise von 10 mA stufenlos oder stufenweise über 30, 100 und 500 mA bis hin zu Nullung; letzteres nur dann, wenn im Netz die Nullung zugelassen ist.

Tritt eine Störung auf und führt diese bei EFI-Einstellung zur Abschaltung, dann wird, wenn beim Wiedereinschaltversuch eine erneute Abschaltung erfolgt, der Fehlerauslösestrom entsprechend stärker eingestellt, so dass eine sofortige Wiederinbetriebnahme der Anlage möglich ist. Nach Beseitigung des Fehlers kann der Schutzschalter wieder auf die grösste Empfindlichkeit zurückgestellt werden.

Eine Umstellung auf UFI oder Nullung kann auch dann erfolgen, wenn der Anlagenbenutzer z.B. eine Kühltruhe hat und in den Urlaub fährt. Abschaltungen infolge geringfügiger Fehler oder infolge Gewitter-Überspannungen könnten auf diese Weise während der Urlaubszeit vermieden werden [14].

Sicherlich wird es Anlagenbenutzer geben, die den Fehler nicht beheben lassen und deshalb die Anlage bei einer entsprechend höheren Gefahr weiterbenutzen. Jenen Leuten wird nicht zu helfen sein. Hier ist es wie beim Sicherheitsgurt im Auto. Mehr als anbieten kann man die höhere Sicherheit nicht. Man würde aber das Sicherheitsbewusstsein der Bevölkerung gegenüber der unsichtbaren Gefahr des elektrischen Stromes unterschätzen, wenn man annimmt, dass ein überzeugendes Sicherheitsangebot nur in geringem Ausmasse genutzt würde [19; 31; 33]. Es wäre zweckmässig, die nur im Not- oder Ausnahmefall zulässige Umstellung von EFI auf UFI durch ein optisches oder akustisches Signal periodisch oder dauernd anzeigen zu lassen, so dass der Anlagenbenutzer an die erhöhte Gefahr ständig erinnert wird.

Mit dem vorgeschlagenen einstellbaren FI-Schutzschalter würde auch die Typenvielfalt wesentlich geringer werden, ein Vorteil für Produktion, Lagerung, Vertrieb und Installation.

9. Nulleiter als FI-Schutzleiter

Wie erwähnt, hat die FI-Schutzschaltung mit eigenem Hauserder gegenüber der Nullung den Nachteil, dass bis zum Ende der Abschaltzeit meist die volle Netzspannung am Gerätegehäuse ansteht. Weiter ist die Störanfälligkeit eines Hauserders wesentlich höher als die des Netz-Nulleiters. Diese, jedem Praktiker geläufigen Zusammenhänge lassen sich auch mit Hilfe der Unfallstatistik belegen. Ausgehend von den 576 tödlichen Stromunfällen an Verbraucheranlagen in Bayern 1954 bis 1967 [1] hat der Verfasser überschlägig errechnet, dass auf die Bundesrepublik Deutschland umgerechnet, bei allgemeiner UFI-Anwendung 30 Stromtote jährlich in diesem Zeitraum zu erwarten gewesen wären, wegen zu hoher Erdungswiderstände und Erdleitungsunterbrechungen. Bei Verwendung des Netz-Nulleiters als Schutzleiter wäre dagegen jährlich nur ein Stromtoter zu erwarten gewesen, wegen Aussenleiter/Nulleiter-Vertauschung oder Nulleiterunterbrechung *vor* dem FI-Schutzschalter.

Um diesen Mangel zu beseitigen, kann man, wie bereits angedeutet, in TN-Netzen den Nulleiter als FI-Schutzleiter verwenden bzw. mitverwenden. Diese Praxis ist z.B. in der Schweiz allgemein üblich [18; 19; 34; 35]. In der Bundesrepublik ist sie zwar nicht verboten, sie wird aber nicht im möglichen Ausmasse angewandt. Der Grund liegt in der erwähnten Fehlermöglichkeit, die allerdings sehr selten wirksam wird, wie die angegebene Zahl zum Ausdruck bringt. Da die Fehlerorte meist im Verantwortungsbereich der Elektrizitätswerke liegen (z.B. Dachständer oder Freileitungsnetz), wiegen für diese, entstehende Schäden (meist Tierunfälle in Ställen) besonders schwer [36]. In diesen Fällen führen der Schutzleiter und damit alle angeschlossenen Gerätegehäuse die volle Netzspannung, ohne dass der FI-Schutzschalter (auch EFI) diese Spannung wegschalten kann.

Dieser Nachteil kann bei Drehstromanschluss dadurch beseitigt werden, dass im FI-Schalter der Nulleiter (zwischen dem anlagenseitigen Schaltkontakt und dem Summenstromwandler) fabrikationsmässig mit einer an der Schalteraussenwand neu vorzusehenden Anlagen-Schutzleiterklemme verbunden ist (Fig. 8). Auf diese Weise wird ein quasi «im FI-Schutzschalter eingebauter Erder» geschaffen und es können die Vorzüge des Nulleiters als Schutzleiter (örtlich direkte Verfügbarkeit, höhere Zuverlässigkeit, geringster Erdungswiderstand und geringste Kosten) voll genutzt werden. Ein eigener Erder kann entfallen oder zur zusätzlichen Verbesserung dienen. Damit im erwähnten Fehlerfalle der FI-Schutzschalter die gefährliche Berührungsspannung wegschalten kann, werden von jedem

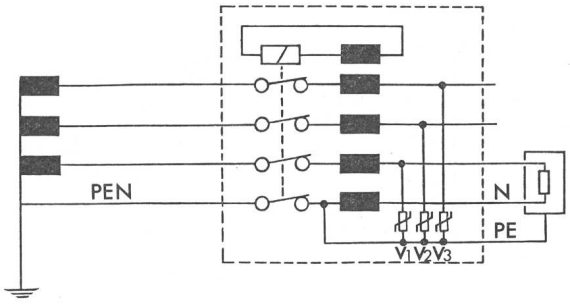

Fig. 8 Nullungs-FI-Schutzschalter mit Varistorschutz
V_1, V_2, V_3 Varistoren
PE Schutzerde
PEN Schutzerde und Nulleiter

Aussenleiter spannungsabhängige Widerstände (z. B. Varistoren oder Zenerdioden) so zum Schutzleiter geschaltet, dass bei unzulässig hoher Schutzleiterspannung gegen Erde mindestens einer der Varistoren seinen Widerstandswert verringert und in ihm ein genügend hoher, zur Auslösung führender Strom entsteht.

In Fig. 8 ist die vorgeschlagene Schaltung im Prinzip wiedergegeben. Die drei Varistoren V_1, V_2 und V_3 sind im fehlerfreien Betrieb, d.h. wenn der Schutzleiter keine gefährliche Spannung gegen Erde hat, einer Spannung von 220 V ausgesetzt und haben bei diesem Spannungswert einen sehr hohen Widerstand (z. B. 50 MΩ). Im Fehlerfalle hat der Schutzleiter nicht nur eine zu hohe Spannung gegen Erde (z. B. 220 V), er hat zwangsläufig auch gegen zwei Aussenleiter eine überhöhte Spannung (z. B. 380 V). Die Folge ist, dass die beiden dazwischen liegenden Varistoren der überhöhten Spannung ausgesetzt werden, was eine Widerstandsverringerung und damit eine erhöhte und zur Abschaltung führende Stromaufnahme nach sich zieht. Gegenüber der bisherigen Lösung [37] entfällt der Hilfserder mit den damit verbundenen Schwierigkeiten (hohe Störanfälligkeit und Spannungstrichterprobleme) und Mehrkosten. Eine mögliche Überbrückung des FI-Nulleiter-Schaltkontaktes ausserhalb des FI-Schutzschalters, die durch Messung leicht feststellbar ist, muss beseitigt werden, etwa eine Verbindungsleitung vom Netz-Nulleiter in der Hausanschlußsicherung zu einer Potentialausgleichschiene. In einem solchen Falle wird empfohlen, diese Leitung für den Überspannungsschutz zu verwenden, d.h. zur Erdung von Überspannungsableitern, die in der Hausanschlußsicherung eingebaut sind. Nach bisherigen Erfahrungen scheint die Hausanschlußsicherung der optimale Einbauort für Überspannungsableiter zu sein [14; 38; 39]. Dieser Überspannungsschutz dient nicht nur dem Schutz der elektrischen Anlage vor Gewitterüberspannungsschäden, er setzt auch die Abschalthäufigkeit der EFI-Schutzschalter bei Gewittertätigkeit entsprechend herab.

Literatur

[1] *F. Lauerer:* Unfallverhütung bei Stromverbraucheranlagen durch empfindliche Fehlerstrom-Schutzschalter. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung F 78.1972. 3. Auflage 1975. Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung.

[2] Schutzschaltung zur Sicherung von Menschen und Tieren gegen Schaden durch Berührung eines spannungsführenden Leiters eines Niederspannungsnetzes. Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG. Deutsches Reichspatent Nr. 552678 vom 8. April 1928.

[3] *W. Schrank:* Die Differentialschutzschaltung. ETZ 65(1944)–, S. 109...113.

[4] *P. Schnell:* Anlage zur Vorführung von Lebens- und Brandgefahren durch den elektrischen Strom und Verhütungsmassnahmen. ETZ 71(1950)23, S. 645...649.

[5] 10 Jahre Spinnennetz Fehlerstrom-Schutzschalter. Schalksmühle/Westfalen, Schutzapparate-Gesellschaft Paris & Co mbH KG, 1962

[6] *P. Schnell:* Geschichte der Fehlerstrom-Schutzschaltung. ETZ-B 18(1966)6, S. 165...167.

[7] *A. Hösl:* Ein Fehlerstrom-Schutzschalter mit besonders geringer Ansprechstromstärke. Elektromeister 9(1956)22, S. 808...811.

[8] *A. Kemmer:* Die Ansprechempfindlichkeit beim Fehlerstrom-Schutzschalter. ETZ-B 13(1961)26, S. 689...691.

[9] *H. Oelschläger* und *E. Siemoneit:* Erfahrungen mit Fehlerstrom-Schutzschaltern hoher Auslösestrom-Empfindlichkeit in Nassbetrieben. ETZ-B 18(1966)6, S. 188...191.

[10] *F. Lauerer:* Schutzmassnahmen gestern, heute, morgen. Elektromeister 17(1964)–, S. 478...490, 1000...1001 und 1599...1600.

[11] *A. Winkler:* Schutzmassnahmen gestern, heute, morgen. Rezension. Elektromeister 17(1964)–, S. 999...1000.

[12] *H. Thielen* und *U. Valentin:* Beeinflussung der Fehlerstrom-Schutzschalter durch Fehlergleichströme. ETZ 100(1979)15, S. 834...836.

[13] *E. Homberger:* Die Grundlagen des Fehlerstromschutzes. Bull. SEV 55(1964)1, S. 31...36.

[14] *F. Hofer:* Erfahrungen der Elektrizitätswerke im Versuchsbetrieb mit Fehlerstromschutzschaltern. Bull. SEV 55(1964)4, S. 179...183.

[15] *E. Homberger:* Schutzwert der verschiedenen Massnahmen gegen Isolationsdefekte. Bull. SEV 58(1967)2, S. 88...93.

[16] *G. Büchner:* Niederspannungsschutzschalter. Bull. SEV 61(1970)4, S. 177...182.

[17] *R. Troxler:* Probleme beim Einsatz von Fehlerstromschutzschaltern. Bulletin des IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten durch Elektrizität –(1972)1, S. 13...49.

[18] Änderungen und Ergänzungen der Hausinstallationsvorschriften. Bull. SEV 61(1970)25, S. 1236...1262.

[19] *H. Egger:* Die Fehlerstromschutzschaltung – Praktische Erfahrungen und Konsequenzen. Bull. SEV/VSE 65(1974)24, S. 1737...1744.

[20] Mitteilungen des Eidgenössischen Starkstrominspektorates: Anwendung der Fehlerstromschutzschaltung. Bull. SEV/VSE 67(1976)24, S. 1364.

[21] *F. Lauerer:* Anforderungen an eine optimale Erfassung elektrischer Unfälle in technischer Sicht. ETZ-B 28(1976)6/7, S. 164.

[22] *G. Biegelmeier:* Ein historisches Experiment mit Fehlerstromschutzschaltern. Technische Mitt. Felten und Guilleaume, Schrems Eugenia, (1978)57.

[23] *U. Sam:* Untersuchungen über die elektrische Gefährdung des Menschen bei Teildurchströmungen, insbesondere bei Arbeiten in Kesseln, Behältern und Rohrleitungen. Dissertation der Technischen Hochschule Braunschweig, 1966

[24] *G. Biegelmeier:* Ein Beitrag zur Problematik des Berührungsspannungsschutzes in Niederspannungsanlagen. ETZ-B 12(1960)25, S. 611...615.

[25] *O. Schneider:* Bemerkungen zu dem Aufsatz: «Ein Beitrag zur Problematik des Berührungsspannungsschutzes in Niederspannungsanlagen» von G. Biegelmeier. ETZ-B 12(1960)25, S. 615...616.

[26] *G. Biegelmeier:* Über die Wirkungen des elektrischen Stromes auf den Menschen. E und M 94(1977)3, S. 107...118.

[27] *G. Biegelmeier:* Der vollkommene Fehlerschutz in Niederspannungsanlagen. E und M 76(1959)5, S. 93...102.

[28] *G. Biegelmeier:* Kann der Fehlerstromschutzschalter die Technik des Berührungsspannungsschutzes revolutionieren? E und M 82(1965)4, S. 149...160.

[29] *W. Lange:* Aktuelle Probleme der Erdungstechnik. Elektro-Praktiker 32 (1978)10, S. 336...338.

[30] *F. Lauerer:* Fehlerstrom-Schutzschalter ist nicht gleich Fehlerstrom-Schutzschalter. ETZ-B 30(1978)18, S. 705...706.

[31] *M. Barbier:* Auszug aus dem Bericht über die 27. Diskussionsversammlung des VSE vom 19. November 1963 in Zürich und vom 26. November 1963 in Lausanne über Fehlerstromschutzschalter. Bull. SEV 55(1964)10, S. 499...501.

[32] *M. Bodier:* Auszug aus dem Bericht über die 27. Diskussionsversammlung des VSE vom 19. November 1963 in Zürich und vom 26. November 1963 in Lausanne über Fehlerstromschutzschalter. Bull. SEV 55(1964)25, S. 1259...1260.

[33] *F. Hofer:* Ergebnis über die Kontrolle von Fehlerstromschutzschaltern im Verteilgebiet der Centralschweizerischen Kraftwerke. Bull. SEV 60(1969)21, S. 1011...1012.

[34] *P. Maurer:* Der Fehlerstromschutzschalter und seine Anwendung in Anlagen, die nach Schema I und III der Hausinstallationsvorschriften (HV) genullt sind. Bull. SEV 58(1967)12, S. 539...540.

[35] *E. Homberger:* Probleme der Schutzmassnahmen in Niederspannungsnetzen aus der Sicht des Starkstrominspektorates. Bull. SEV/VSE 68(1977)13, S. 626 bis 629.

[36] *H.-J. Blumhagen:* Elektroinstallation in der Landwirtschaft – Probleme beim Isoliermuffeneinbau. Elektromeister und Deutsches Elektrohandwerk 47 (1972)15, S. 906...909.

[37] *G. Biegelmeier:* Fehlerstromschutzschaltung und Nullung. Elektrizitätswirtsch. 75(1976)22, S. 849...854.

[38] Tätigkeitsbericht und oberösterreichische Brandschadenstatistik 1977. Herausgegeben von der Brandverhütungsstelle für Oberösterreich.

[39] *P. Hasse:* Schutz von Niederspannungs-Verbraucheranlagen mit elektronischen Geräten von Gewitterüberspannungen. Elektromeister und Deutsches Elektrohandwerk 54(1979)10, S. 827...830.

Adresse des Autors

Dipl.-Ing. *Friedrich Lauerer,* Ohmstrasse 11, D-8000 München 40.