Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 58 (1967)

Heft: 2

Artikel: Schutzwert der verschiedenen Massnahmen gegen Isolationsdefekte

Autor: Homberger, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916217

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: 06.12.2025

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

Schutzwert der verschiedenen Massnahmen gegen Isolationsdefekte

von *E. Homberger*, Zürich

1. Übersicht

Über das Problem der Isolationsbeschädigungen und ihre Folgen ist schon viel geschrieben und noch mehr gesprochen worden. Dennoch vermochte noch keine der vorgeschlagenen Lösungen voll zu befriedigen. Immerhin ist festzustellen, dass in den letzten Jahren die durch sogenannte Berührungsspannungen verursachten Unfälle in elektrischen Hausinstallationen — mit Ausnahme jener an transportablen Geräten — ganz wesentlich zurückgegangen sind. Diese Entwicklung ist vielleicht weniger auf die Verbesserung der Schutzmassnahmen als auf die stete Verbesserung der Isolation und der Bauweise der elektrischen Einrichtungen zurückzuführen. Die Isolationsschäden werden sich jedoch kaum je restlos vermeiden lassen. Jedenfalls kann heute noch nicht daran gedacht werden, auf Schutzmassnahmen zu verzichten.

Zur Vermeidung von Unfällen oder Sachschäden durch Isolationsdefekte kann entweder die Spannung an der Fehlerstelle auf ungefährliche Werte abgesenkt oder die Stromzufuhr rasch genug unterbrochen werden. Welche Spannung als ungefährlich und welche Einwirkzeit als höchst zulässig zu betrachten ist, lässt sich nicht eindeutig angeben. Aus zahlreichen Versuchen weiss man, dass die Loslassgrenze, d. h. der Grenzwert des über die Hände und den Körper fliessenden Stromes, bei dem das Loslassen erfasster, elektrisierender Gegenstände gerade noch möglich ist, bei Wechselstrom der Frequenz 50 Hz im Bereich von etwa 10...20 mA liegt. Es handelt sich um die eigentliche Gefahrengrenze, da Ströme dieser Grössenordnung bereits zu schweren Schockwirkungen führen können. Die Angabe eines eindeutigen Wertes ist deshalb nicht möglich, weil verschiedene Faktoren wie Form des elektrisierenden Teiles, Kontaktdruck, Muskelbau der Versuchsperson usw. das Resultat beeinflussen können. Noch schwieriger ist es, einen verbindlichen Grenzwert für das Auftreten des lebensgefährlichen Herzkammerflimmerns zu nennen. Wohl liegen diesbezügliche Resultate von zahlreichen Tierversuchen vor, doch können diese nur mit grossen Vorbehalten auf den Menschen übertragen werden. Einzelne Forscher glauben, dass das Herzkammerflimmern unter ungünstigen Umständen schon bei Einwirkzeiten von einigen Millisekunden, andere von einigen Hundertstelsekunden, angeregt werden kann. Bei diesen kurzen Einwirkzeiten sind allerdings beträchtliche Stromimpulse nötig. Nach dem bekannten amerikanischen Forscher Dalziel ist der Ausdruck $\int i^2 \cdot dt$ für die Gefährdung massgebend (2). Für die Grenze, an der in 0,5 % aller Fälle Herzkammerflimmern auftritt, beträgt der Impuls $\int i^2 \cdot dt \approx 0{,}027$ (A^2s).

Auf Grund der Versuche von Dalziel können schon Ströme von 50 mA kritisch werden. Setzt man einen Körperwiderstand von 1000 Ω in Rechnung, so ergibt sich bezüglich des Herzkammerflimmerns eine höchstzulässige Berührungsspannung von 50 V. Die Angabe eines festen Körperwiderstandswertes kann aber ebenfalls zu falschen Schlüssen führen. Freiberger (1) hat nämlich festgestellt, dass der Körperwiderstand bei intakter Haut in dem uns unteressierenden Bereich spannungsabhängig ist, d. h. mit zunehmender Einwirkspannung allmählich absinkt, um erst bei Werten von einigen hundert Volt einen konstanten Wert anzunehmen. Hingegen ist der unter der Haut messbare Körper-Innenwiderstand ein reiner Wirkwiderstand und deshalb spannungsunabhängig. Vom Widerstand der Strombahn Hand-Hand entfällt etwa die Hälfte auf die beiden Handgelenke. Befindet sich somit die Stromeintrittstelle statt in einer Hand an einem andern Körperteil, z. B. am Unterarm, was, wie bei Unfallabklärungen festgestellt wurde, hin und wieder vorkommt, oder ist an der Berührungsstelle die Haut verletzt, so kann eine Berührungsspannung von weniger als 50 V kritisch werden. Schliesslich beeinflussen Umgebungstemperatur, Hautfeuchtigkeit, sowie körperliche und seelische Verfassung den Körperwiderstand. Erfahrungsgemäss ist denn auch die Unfallhäufigkeit an warmen, drückenden Sommertagen besonders gross. Wollte man allen möglichen Einflüssen Rechnung tragen, so müssten weit kleinere als die in den meisten Ländern zugelassenen Berührungsspannungen in Betracht gezogen werden. Die von den Forschern Ferris und King angegebenen Schwellenwerte für das Auftreten des Herzkammerflimmerns, die die Spannungsabhängigkeit des von Hand zu Hand gemessenen Körperwiderstandes berücksichtigen, dürften einen guten Überblick über die Flimmergrenze vermitteln:

Kritische Berührungsspannung:

77	135	186	230	300	400	490	650	780 Volt

Einwirkzeit:

30	3	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,1 s

Grössere Tiere, wie Rinder und Pferde, sind schon bei kleineren Spannungen gefährdet, da sie einen bedeutend kleineren Körperwiderstand aufweisen und auf den leitenden Boden einen beträchtlichen Kontaktdruck ausüben. Die Gefahrenschwelle für Tiere liegt bei etwa 20 Volt.

Für die Entstehung von Bränden infolge von Isolationsdefekten lassen sich ebenfalls keine verbindlichen Minimalwerte angeben, da hiefür die verschiedensten Faktoren eine Rolle spielen (5). Man glaubt, dass an eine Fehlerstelle anliegendes Holz, loses Papier, Heu usw. sich nicht entzündet, wenn nicht dauernd eine Heizleistung von 60 Watt auftritt. Bei einer Spannung von 220 Volt müsste somit, damit ein Brand ausbrechen kann, dauernd ein Strom von wenigstens 0,3 A fliessen.

Auf Grund dieser paar Hinweise müssten an eine vollwirksame Schutzeinrichtung gegen die Folgen von Isolationsdefekten sehr hohe Anforderungen gestellt werden. Nach den gesetzlichen Bestimmungen — Art. 26, Ziffer 4 der eidg. Starkstromverordnung ist hiefür massgebend — sind allerdings bei weitem nicht so strenge Maßstäbe anzulegen, darf doch zwischen berührbaren Apparategehäusen und dergleichen und der Erde — gemeint ist offensichtlich neutrale Erde — während einigen Sekunden jede beliebige Spannung auftreten. Spannungen bis zu 50 Volt dürfen beliebig lang bestehen bleiben. Wenn auch die für einen Unfall massgebende Berührungsspannung meistens kleiner als die vorerwähnte Spannung gegen Erde, die sogenannte Fehlerspannung ist, genügen die gesetzlichen Bestimmungen doch nicht, um jeden Unfall auszuschliessen. Vor allem ist die Zeitspanne

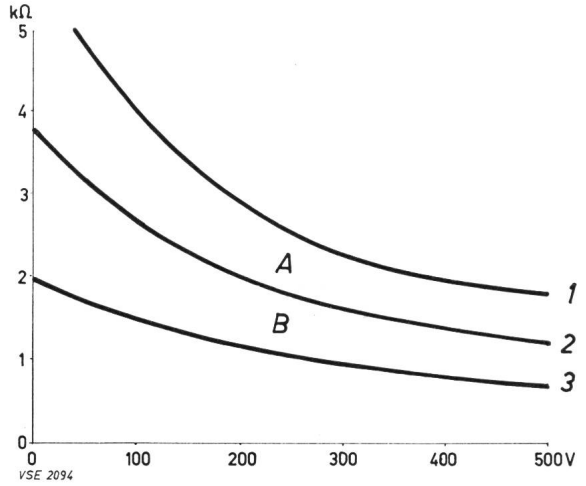

Fig. 1
Menschlicher Körperwiderstand in Funktion der Spannung (nach Freiberger)

von einigen Sekunden viel zu lang. Da sich bis anhin nur relativ wenige Unfälle ereigneten, die sich durch verschärfte Vorschriften hätten vermeiden lassen, hat sich die Erdungskommission des SEV, die gegenwärtig den Art. 26 der Starkstromverordnung überarbeitet, entschieden, einstweilen keine Verschärfung der vorerwähnten Bestimmungen vorzuschlagen.

Nachstehend sollen nun die bisher bekannten Schutzmassnahmen bezüglich ihrer Wirksamkeit kritisch betrachtet werden.

2. Schutzerdung

Es handelt sich wohl um das älteste der bekannten Schutzsysteme (3, 4). Sie besteht grundsätzlich darin, in den Hausinstallationen jedes einzelne schutzpflichtige Objekt möglichst gutleitend mit dem Erdreich zu verbinden. Ursprünglich wurde für jedes der zu erdenden Objekte eine Erdelektrode — meist eine Kupferplatte — verlegt. Es konnte somit vorkommen, dass eine bestimmte Installation verschiedene Erdungsstellen enthielt. Heute werden praktisch nur noch zentrale Erdungsanlagen erstellt, d. h. jede Objektzuleitung enthält einen Schutzleiter, der auf der Verteiltafel mit einem zentralen, zu einer einzigen Erdelektrode führenden Erdleiter verbunden wird. In den Schemata auf den Seiten 69 und 70 der Hausinstallationsvorschriften des SEV (HV), Ausgabe 1960, ist dieser neuen Installationsweise Rechnung getragen.

Bis zur Herausgabe der HV 1960 wurden an die «Schutzerdung» überhaupt keine grundsätzlichen Bedingungen gestellt. Hingegen war die heute in den HV unter 41 231 aufgeführte Forderung, wonach der Erdübergangswiderstand der Nullpunktserdung in der speisenden Transformatorenstation zu jenem der Objektserdung in der Hausinstallation in einem solchen Verhältnis zu stehen hat, dass im Fehlerfall die Spannung zwischen dem zu schützenden Objekt und der Erde 50 Volt nicht übersteigt, aus verschiedenen Publikationen schon seit langem bekannt (3, 4, 5). Dennoch wurde sie oft nicht eingehalten, weil sich die Hausinstallationsmonteure kaum um die Erdungswiderstände in der Transformatorenstation kümmerten und einfach glaubten, eine möglichst «gute» Erdung in den Hausinstallationen vermöge die erforderliche Schutzwirkung zu erbringen. Als «gut» wurden Erdungswiderstände unter 20 Ω bezeichnet. Es ist verständlich, dass unter diesen Umständen die höchst zulässige Fehlerspannung vielfach überschritten wurde. Wurde zur Erdung des Nullpunktes gar eine Hauptwasserleitung, zur Erdung in der Hausinstallation jedoch eine künstliche Erdelektrode verwendet, so konnten in den Hausinstallationen Fehlerspannungen bis zur vollen Polleiterspannung auftreten. Im übrigen beschränkten die in Serie geschalteten Nullpunkts- und Objektserdungen den Erdschlußstrom auf so kleine Werte, dass die dem fehlerhaften Objekt vorgeschaltete Sicherung kaum ansprechen konnte. Seinerzeit, als die «Schutzerdung» noch stark verbreitet war, wurden denn auch zahlreiche Unfälle und Brände registriert. Die Folgen wären zweifellos noch schwerer gewesen, hätte man schon damals die zentrale Erdung in den Hausinstallationen angewendet, wodurch die Fehlerspannungen im ganzen Hause verschleppt werden. Die vorgekommenen Fälle genügten indessen, um die Schutzerdung allmählich in Verruf zu bringen.

Könnten sich die Verhältnisse bei strikter Beobachtung des Abschnittes 41 231 der HV 1960 grundsätzlich ändern? In den Hausinstallationen lässt sich die Fehlerspannung tatsächlich auf weniger als 50 Volt absenken. Da sich die Erdungswiderstände im Verlaufe des Jahres verschiedentlich ändern, besteht aber auch hiefür nicht dauernd Gewähr. Werden künstliche Erdelektroden angewendet, so kann auch bei Beachtung der Vorschriften ein grösserer Fehlerstrom während Stunden oder Tagen fliessen und leicht zu Bränden oder Tierunfällen Anlass geben. Ausserdem ist in der speisenden Transformatorenstation mit gefährlichen Berührungs- und Schrittspannungen zu rechnen. Die «Schutzerdung» unter Benützung künstlicher Erdelektroden, ist deshalb als gefährlich zu bezeichnen und sollte *nicht mehr angewendet werden.*

Hingegen hat die «Schutzerdung» dann noch eine Existenzberechtigung, wenn sowohl der Systemnullpunkt als auch alle schutzpflichtigen Hausinstallationsobjekte an die gleiche durchgehend mit sogenannten Ryf-Verbindern ausgerüstete gusseiserne Wasserleitung angeschlossen sind. In dieser Anordnung wird der Erdschlußstrom zum kleinsten Teil über die Erde, sondern vornehmlich über die Wasserleitung fliessen und so hohe Werte annehmen, dass in der Regel die dem fehlerhaften Objekt vorgeschalteten Sicherungen innert Bruchteilen von Sekunden durchschmelzen. Es handelt sich somit um eine verkappte «Nullung».

3. Nullung

a) Allgemeine Bemerkungen

Bei der «Nullung» werden bekanntlich die schutzpflichtigen Objekte mit dem durchgehend geführten Netznulleiter verbunden (6). Ein Isolationsdefekt an einem «genullten» Apparat ist somit gleichbedeutend mit einem Kurzschluss zwischen einem Polleiter und dem Nulleiter. Im «genullten» Netz ist nicht nur der Systemnullpunkt sondern auch der Nulleiter an verschiedenen Stellen zu erden. Werden zur Erdung künstliche Elektroden mit Erdungsübergangswiderständen von einigen Ohm verlegt, so kann mit Rücksicht auf die relativ kleine Impedanz des Nulleiters nur ein geringer Teil des Fehlerstromes über die Erde fliessen. Gleichen Querschnitt des Nulleiters und der Polleiter vorausgesetzt, wird somit bei Kurzschluss zwischen einem Polleiter und dem Nulleiter ungefähr die Hälfte der Polleiterspannung — im 220/380 Volt-Netz also etwa 110 Volt — längs des Polleiters und die andere Hälfte längs des Nulleiters abfallen. Wäre der

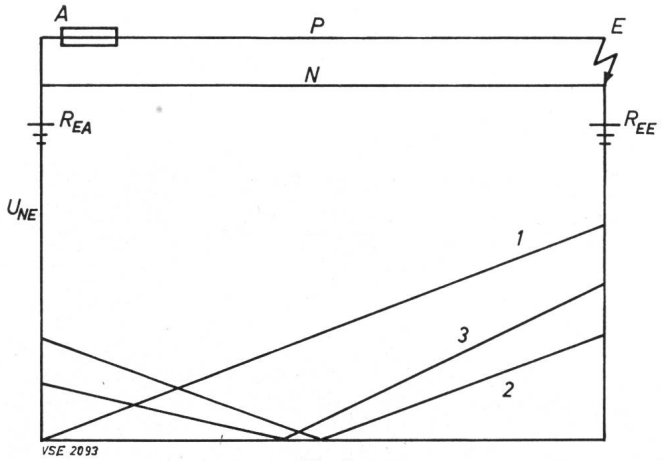

Fig. 2
Spannung Nulleiter-Erde bei Isolationsdefekt zwischen P- und N-Leiter
1 Nulleiter nur am Transformatorsternpunkt A geerdet
2 Nulleiter am Transformatorsternpunkt A und am Fehlerort E geerdet $R_{EA} = R_{EE}$
3 Nulleiter an verschiedenen Stellen mit ungleichen Übergangswiderständen geerdet.

Nulleiter nur in der Transformatorenstation geerdet, so würde die Spannung von 110 Volt an der Kurzschlußstelle zwischen dem Nulleiter und der Erde bzw. dem genullten Objekt und der Erde auftreten. Wäre hingegen der Nulleiter nur bei der Kurzschlußstelle geerdet, so stünde der Transformator-Sternpunkt unter der gleichen Spannung gegen Erde. Die Fehlerspannung liesse sich auf die Hälfte, d. h. im vorliegenden Beispiel auf 55 Volt reduzieren, wenn am Transformator und an der Kurzschlußstelle je eine Erdung von gleichem Übergangswiderstand vorhanden wäre. Dieser theoretisch mögliche Fall wird sich aber praktisch nie erreichen lassen. Vielmehr sind im Netz zahlreiche mehr oder weniger willkürlich verteilte Erdungsstellen vorhanden. Dadurch tritt bei einem Pol-Nulleiterschluss am Transformator und an der Kurzschlußstelle je eine unbestimmte Fehlerspannung auf, deren Summe aber annähernd 110 Volt beträgt. Zwischen den beiden erwähnten Stellen treten kleinere Fehlerspannungen in Erscheinung; an einem Punkt verschwindet sie gar. In einem «genullten» Niederspannungsnetz mit regulär über künstliche Elektroden geerdetem Nulleiter wird es somit unvermeidlich sein, dass sich Fehlerspannungen von mehr als 50 Volt ergeben.

Es wäre nun noch zu untersuchen, ob wenigstens die vorgeschalteten Überstromunterbrecher innert den vorgeschriebenen wenigen Sekunden — auf Grund der Erläuterungen von Art. 26 der Starkstromverordnung längstens nach 5 Sekunden — anzusprechen vermögen. Betrachten wir vorerst eine sehr lange Kupferdraht-Leitung (2 km) mit einem mittleren Drahtdurchmesser von 6 mm (28 mm²), so ergibt sich eine Impedenz der Polleiter-Nulleiterschlaufe bei einem Kurzschluss am Ende der Leitung von ~2,8 Ω. Der Kurzschlussstrom beträgt somit etwa 78 A, der eine träge 25 A-Sicherung zwischen etwa 4...15 s zu schmelzen vermag. Da mit Rücksicht auf den Spannungsabfall am Ende einer solchen Leitung kaum Verbraucher mit grösseren Vorsicherungen installiert werden können, dürften im Falle eines Isolationsdefektes an einem genullten Verbraucher (satter Körperschluss) die Vorschriften noch knapp erfüllt sein. Hingegen könnte bei einer Polleiter-Nulleiterberührung am Netzende die vorgeschaltete Sicherung in der Transformatorenstation, deren Nennwert zweifellos mehr als 25 A beträgt, nicht ansprechen.

Als weiteres Beispiel sei ein Freileitungsstrang von nur 300 m Länge mit Leiterquerschnitten von je 50 mm² angenommen. Die maximale Pol-Nulleiterimpedanz beträgt in diesem Fall etwa 0,29 Ω. Somit wird bestenfalls ein Kurzschlußstrom von etwa 750 A fliessen, der eine flinke 300 A-NHL-Patrone gerade noch in 5 s zum Ansprechen bringen könnte. Eine träge 250 A-Patrone würde aber bereits eine Ansprechzeit von mehr als 5 s aufweisen. Bei etwas kleineren Leiterquerschnitten werden die üblichen Stationssicherungen nicht mehr rasch genug ansprechen können. In Bezug auf die Nullung muss somit 300 m als die Grenzlänge eines Freileitungsstranges bezeichnet werden. Schalter mit stromabhängigen Auslösern sind noch träger als träge Sicherungen. Mit solchen Schaltern lässt sich somit keine Verkürzung der Ausschaltzeit bei Pol-Nulleiterschluss erreichen. Schalter mit stromunabhängigen Auslösern eignen sich hiefür besser.

Es gibt immer wieder Elektrofachleute, die den Art. 26 der Stärkstromverordnung so deuten, dass zur Beurteilung der Nullung nur Isolationsfehler in den Hausinstallationen selbst in Betracht zu ziehen seien. Diese Auffassung ist falsch, denn die bei Netzfehlern am Netznulleiter auftretenden Fehlerspannungen werden auf die «genullten» Verbraucher der Hausinstallationen übertragen. Somit ist auch im Netz für die rasche Wegschaltung der Pol-Nulleiterschlüsse oder für die Absenkung der Fehlerspannung zu sorgen. Hingegen ist nicht klar, ob die Bestimmungen des Art. 26 der Starkstromverordnung auch bei einem Bruch des Nulleiters einzuhalten sind. Tatsächlich kommen Nulleiterbrüche vor und es kann auch nachgewiesen werden, dass dabei gefährliche Zustände eintreten können. Durch Erden des Nulleiters über Einzelelektroden ist es nicht möglich, die Gefahr zu eliminieren.

Nach diesen Ausführungen ist die Schutzwirkung der Nullung begrenzt und, was den Brandschutz anbetrifft, geradezu ungenügend. Es erscheint naheliegend, dass da und dort Unfälle oder Schadenfälle auftreten müssen. Dies ist aber bei uns nur selten der Fall. Durchgeht man hingegen die ausländische Fachliteratur, stösst man immer wieder auf Berichte über das Versagen der Nullung. Woher rühren wohl diese unterschiedlichen Feststellungen?

Es muss vorerst darauf hingewiesen werden, dass in einem genullten 220/380 Volt-Netz praktisch keine Fehlerspannungen von wesentlich mehr als 50 Volt auftreten würden, wenn der Nulleiter den dreifachen Querschnitt des Polleiters aufwiese. In dieser Anordnung würde nämlich im Falle einer Pol-Nulleiterberührung längs des Polleiters ¾ und längs des Nulleiters ¼ der Gesamtspannung abfallen. Solche Netze sind indessen kaum anzutreffen. Hingegen sind die Nulleiter mehrheitlich an gusseiserne Wasserleitungen mit Ryf-Verbindern angeschlossen. Ganz abgesehen davon, dass solche Wasserleitungen einen sehr kleinen Erdübergangswiderstand aufweisen, stellen sie einen Parallelpfad mit grossem Querschnitt zum Nulleiter dar. Dadurch wird zweierlei erreicht: Absenkung der Fehlerspannung und Vergrösserung des Kurzschlußstromes, d. h. rascheres Ansprechen der der Fehlerstelle vorgeschalteten Sicherungen. Selbst bei Nulleiterbrüchen wird die Schutzwirkung der Nullung noch genügend sein. Es lohnt sich somit, sich für die Erhaltung der durchgehend verbundenen metallischen Wasserleitungen einzusetzen. Wo Wasserleitungen aus isolierenden Rohren verlegt

werden, sollte ein isolierter Kupferleiter oder allfällig blanker Eisenleiter mit ausreichendem Querschnitt mitverlegt werden.

Nach den Bestimmungen im Abschnitt 41222 der HV kann das energieabgebende Elektrizitätswerk für die Erstellung von Hausinstallationen zwischen drei offensichtlich gleichwertigen Nullungsarten wählen. Es soll nun noch untersucht werden, ob die Schutzwirkung in allen drei Ausführungsarten ebenfalls die gleiche sei.

b) Nullung nach Schema I der HV

Das Merkmal der Nullung nach Schema I ist die durchgehend getrennte Führung des zur Speisung von Geräten dienenden Nulleiters und des zum Schutz gegen Fehlerspannungen an die Verbrauchergehäuse anzuschliessenden Schutzleiters von den Haussicherungen bis zum äussersten Punkt der Hausinstallation. Der Nulleiter muss in gleicher Weise isoliert sein wie die zugehörenden Polleiter (HV 41 224); der Schutzleiter darf hingegen nackt verlegt sein, darf aber keine brennbaren Gegenstände berühren (HV 41 212.6[k] und 41 223.1). Der Schutzleiter sollte, was in den HV nicht besonders vermerkt ist, nicht nur mit den schutzpflichtigen Verbrauchergehäusen, sondern mit allen leitenden Gebäudeteilen und Rohrleitungen, wie Wasser-, Abwasser-, Gasleitungen usw. verbunden sein. Bei dieser Installationsweise befinden sich alle leitenden Teile im normalen Betriebs- als auch im Störungsfall stets auf gleichem Potential. Die Grundsatzbestimmungen nach HV 23 210 sind somit bestens erfüllt.

In Anlagen, die nach Schema I genullt sind, lässt sich der Isolationswiderstand gegen Erde jederzeit durch blosse Unterbrechung vom Polleiter und des Nulleiters messen. Durch periodische sorgfältige Messungen des Isolationswiderstandes können Unfälle und Brandfälle verhindert werden. Dem gleichen Zweck dienen Fehlerstrom-Schutzschalter, die sich nur bei getrennter Führung des Null- und Schutzleiters einbauen lassen. Bei einem zufälligen Unterbruch des Nulleiters tritt wohl eine Betriebsstörung, doch, sofern die Installation in anderer Beziehung als die Nullung richtig aufgebaut ist, keinerlei gefährlicher Zustand auf. Der Unterbruch des Schutzleiters macht hingegen die Schutzfunktion der Nullung unwirksam. Durch vielfältige Vermaschung der Schutzleiter über leitende Gebäudeteile, Rohrleitungen usw. lässt sich eine Beeinträchtigung durch einen einzelnen Unterbruch weitgehend verhindern.

c) Nullung nach Schema II der HV

Der Unterschied gegenüber der Nullungsart nach Schema I besteht lediglich darin, dass die getrennte Führung von Null- und Schutzleiter erst von den Bezügersicherungen aus erfolgt. Dadurch wird die Ausnützung für die Schutzzwecke der starken Nulleiterquerschnitte am Anfang der Installation ermöglicht. In den ersten Teilstücken ist in der Regel der Spannungsabfall so klein und die Wahrscheinlichkeit eines Nulleiterunterbruches so gering, dass der mit der Nullung nach Schema I erstrebte Zweck zumindest bei Grossinstallationen in gleicher Weise erreicht wird. Die Nullung nach Schema II kommt praktisch nur in industriellen Betrieben zur Anwendung, wo die gesonderte Führung des Schutzleiters von den Hauptverteilanlagen aus erfolgt. Sie ist aus Schutzgründen besonders in Betrieben mit brand- und explosionsgefährdeten Räumen zu empfehlen.

d) Nullung nach Schema III der HV

Diese Nullungsart ist dadurch charakterisiert, dass der stromführende Nulleiter auch gleichzeitig die Schutzfunktionen übernimmt. Zwar ist unter HV 41 223.2 auch von einem Schutzleiter nach Schema III die Rede, doch handelt es sich offenbar auch hier um den kombinierten Null-Schutzleiter, denn es wäre nicht einzusehen, weshalb ein reiner Schutzleiter isoliert geführt sein *muss*. Die Nullungsart nach Schema III übt die Schutzfunktion grundsätzlich genau gleich aus wie die Nullungsart nach Schema I oder II. Infolge unsorgfältiger Montage oder anderen äusseren Einflüssen kann der Nulleiter jedoch unterbrochen werden, wodurch genullte Geräte über Verbraucherwicklungen, die zwischen einem Polleiter und den Nulleiter geschaltet sind, unter Phasenspannung geraten. Durch Nulleiterunterbrüche sind auch schon Brände aufgetreten. Man kann zwar geltend machen, dass Nulleiterunterbrüche wegen der gleichzeitig eingetretenen Betriebsstörung sofort bemerkbar werden. Der Laie — die Nullung ist ja in erster Linie zum Schutze des Nichtfachmannes gedacht — wird jedoch kaum aus einer Störung auf den Nulleiterunterbruch schliessen, sich deshalb nicht zweckentsprechend verhalten und beim Berühren genullter Geräte, in höchste Gefahr geraten. Durch vielfältige Vermaschung des Nulleiters, wie unter «Nullung Schema I» erwähnt, liesse sich die Unfallgefahr bei Nulleiterunterbrüchen vermindern, doch müssten Betriebsströme über verschiedene Konstruktions- und Gebäudeteile in Kauf genommen werden, was wohl vielerorts nicht zur Erhöhung der Brandsicherheit beitragen würde. Allerdings vermitteln auch alle genullten, auf leitende Gebäudeteile montierten Verbraucher einen Stromweg über das Gebäude. Erfahrungsgemäss ist die Vermaschung aber nicht so eng, dass nicht Potentialdifferenzen zwischen genullten und auf natürliche Weise geerdeten Teilen auftreten. Wenn diese Spannungen in der Regel auch nur einige Volt betragen, können sie sich doch recht unangenehm auswirken. Wenn z. B. mit einem genullten Elektrowerkzeug ein natürlich geerdeter Gebäudeteil berührt wird, kann eine Funkenbildung auftreten, was schon zu Schreckwirkungen und dadurch zu mechanischen Unfällen führte.

In den nach Schema III genullten Anlagen kommt der Einbau von Fehlerstromschutzschaltern, die der ständigen Isolationsüberwachung dienen, praktisch nicht in Frage. Auch die Isolationsmessung stösst auf Schwierigkeiten, da die auf leitenden Gebäudeteilen ruhenden genullten Verbraucher den Nulleiter zusätzlich erden. Es nützt somit nichts, zur Messung den Nulleiter zu unterbrechen. Das Nullpotential wird über die bei der Messung eingeschalteten einphasigen Verbraucher auf die Polleiter übertragen, so dass ein Erdschluss des Polleiters vorgetäuscht wird. Besonders unangenehm sind Isolations-Messwerte, die wesentlich über 0 Ω, aber doch im ungenügenden Bereich liegen. Man hat den Eindruck, es liege ein Isolationsdefekt vor. Nach langem Suchen zeigt es sich dann oft, dass bei der Messung irgend ein einphasiger Kleinverbraucher, z. B. ein Klingel- oder Steuertransformator eingeschaltet blieb und der Nulleiter über einen genullten, auf Mauerwerk stehenden Verbraucher ziemlich hochohmig mit Erde verbunden war. Um sicher keinen Täuschungen anheimzufallen, wäre es nötig, die Nulleiter von allen Verbrauchern zu lösen. Nach den Mes-

sungen bestünde aber Gefahr, dass irgend ein Nulleiter versehentlich nicht mehr angeschlossen wird. Es könnte daraus leicht ein folgenschwerer Unfall resultieren. Um all diesen Schwierigkeiten auszuweichen, werden die Isolationsmessungen oft nicht oder nicht vollständig durchgeführt. Man mag einwenden, der Wert der Isolationsmessungen sei ohnehin problematisch, da ja die Messungen nur in sehr grossen Zeitabständen durchgeführt werden müssen und das Messresultat stark von der Witterung, Temperatur und anderen äusseren Einflüssen abhängig sein kann. Wenn es indessen gelingt, auch nur einen einzigen Grossbrand zu vermeiden, werden damit tausende von Arbeitsstunden aufgewogen. Wenn es im weiteren möglich sein sollte, durch eine zweckmässigere Installationsdisposition die Messzeit ganz wesentlich zu verkürzen, oder die dauernde Isolationsmessung durch FI-Schalter einzuführen, so kann der volkswirtschaftliche Wert einer Isolationsmessung noch ganz wesentlich gesteigert werden.

Schliesslich hat die Erfahrung gezeigt, dass in den nach Schema III genullten Anlagen oft Verwechslungen von Null- und Polleitern an den Anschlußstellen von Steckdosen stattfinden, so dass die Schutzkontakte unter Spannung stehen. In schutzgeerdeten, oder nach Schema I und II genullten Anlagen, sind solche verhängnisvolle Fehler praktisch unbekannt. Die Ursache besteht in der einfarbigen Kennzeichnung des Nulleiters. Man kann sich leicht selbst überzeugen, dass an etwas düsteren Tagen oder an schlecht beleuchteten Stellen eine Täuschung leicht möglich ist. Aber auch andere Umstände, wie z. B. uneinheitliche Werkvorschriften, die den Nulleiteranschluss teils links, teils rechts an der Steckdose vorschreiben, führten bei nur zwei ankommenden Leitern zu Verwechslungen. Ist hingegen ein eigentlicher Schutzleiter vorhanden, der erst noch, als einziger Leiter, zweifarbig gekennzeichnet ist, besteht eine viel geringere Verwechslungsgefahr.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in sicherheitstechnischer Beziehung die Nullung nach Schema III im Vergleich zu den andern Nullungsarten doch einige wesentlich ins Gewicht fallende Nachteile aufweist. Diese Nachteile sind übrigens auch in unseren Nachbarländern erkannt worden, wo der getrennt geführte Schutzleiter entschieden gefördert wird.

4. Schutzschaltungen

Die HV 1960 enthalten einstweilen nur Bestimmungen über die *Fehlerspannungsschutzschaltung* (FU-Schutzschaltung), obschon sich gerade diese Schutzart schlecht bewährt hat. Sie hat vor allem deshalb nicht den Erwartungen entsprochen, weil die zwischen den zu schützenden Objekten und der Erde geschalteten Auslösespulen beim Einlaufen von Stoßspannungen oft verbrannten, oder die relativ feinen Auslösemechanismen im Laufe der Zeit verrotteten. Durch unzweckmässige Installation oder durch Eingriffe von Nichtfachleuten wurden auch verschiedentlich die Auslösespulen kurz geschlossen, so dass die Schaltung unwirksam wurde. Hingegen ist festzustellen, dass das Prinzip der Schaltung sehr geeignet ist, um sowohl Unfälle als auch Brandfälle zu vermeiden. Man kann sich fragen, ob mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln die FU-Schalter nicht bedeutend besser gebaut werden könnten.

Die *Fehlerstromschutzschaltung* (FI-Schutzschaltung) ist bei uns in der Schweiz erst in bescheidenem Masse angewendet worden. In unseren Nachbarländern, vor allem in Deutschland, wo die FI-Schalter schon vor einigen Jahren zu Tausenden eingebaut waren, soll man recht gute Erfahrungen gemacht haben (7). Die Vorteile dieser Schaltung liegen auf der Hand: Guter Unfallschutz und im Gegensatz zur Nullung, vollwertigen Brandschutz. Es besteht heute die Tendenz, die Ansprechströme auf etwa 20...30 mA herunter zu setzen, wodurch die Wirksamkeit der Schaltung weiter verbessert wird. Auch treten bereits FI-Schalter kombiniert mit einem Überstromschutz in Erscheinung. Schliesslich besteht auch da und dort Interesse für FI-Schalter mit einer Ein-Ausschaltung von Hand zur Verwendung als Hauptschalter in feuergefährdeten Gebäuden und auf Baustellen. Wenn es gelingt, die FI-Schalter so zu bauen, dass sie auch noch nach Jahren und sowohl bei Kälte als auch bei grosser Wärme zuverlässig funktionieren, so werden sie als beste Schutzmassnahme gegen Berührungsspannungen gelten.

5. Schutztrennung, Schutzisolierung

Es handelt sich einstweilen um Schutzmassnahmen, die sich nicht vollumfänglich anwenden lassen, weshalb hier auf eine Beurteilung verzichtet wird.

6. Kombinierte Massnahmen

Es ist denkbar, einzelne der beschriebenen Schutzmassnahmen zu kombinieren, um eine bessere Schutzwirkung zu erreichen. Schon vor Jahren wurde in verschiedenen Publikationen darauf hingewiesen, dass eine Kombination zwischen der Schutzerdung und der Nullung nicht nur keine Vorteile bringt, sondern gefährlich ist. Hingegen dürfte die Kombination Nullung FI-Schaltung oder Schutzerdung-Fi-Schaltung eine wesentliche Erhöhung der Sicherheit bringen, indem dort, wo die Nullung bzw. Schutzerdung zu langsam oder gar ungenügend wirkt, der FI-Schalter für relativ rasche Abschaltung sorgt und auch den Brandschutz übernimmt. Sollte der FI-Schalter aus irgend einem Grunde schadhaft werden, so würde die Nullung allein noch eine beachtliche Sicherheit gewährleisten. Die Kombination FI-FU-Schutzschalter wird bereits im Ausland angewendet, um zu verhindern, dass bei Null-Polleiterberührungen oder Nulleiterbrüchen im Verteilnetz gefährliche Spannungen in den Hausinstallationen verschleppt werden.

7. Schlussbemerkung

Bei der Beurteilung der Wirksamkeit einer Schutzmassnahme ist es oft nötig, die örtlichen Verhältnisse, wie Art und Ausdehnung des Wasserleitungsnetzes, Ausbautendenz des Verteilnetzes, Bauart der Häuser, Art und Erreichbarkeit von Fachpersonal usw. zu berücksichtigen. Hingegen sollten Tradition und zum Teil bestimmte Erfahrungen bezüglich der vorgekommenen Unfälle und Brandfälle nicht die entscheidende Rolle spielen. Gesamthaft gesehen ereignen sich nämlich in der Schweiz relativ wenig Elektrounfälle und die Zahl der Brandfälle ist nicht richtig abschätzbar, weil die Brände nicht in allen Kantonen gleich genau untersucht werden und sich eine beträchtliche Zahl von Brandfällen als unabklärbar erwiesen. Hingegen sollte bei der Wahl der Schutzart vermehrt die zukünftige Entwicklung berücksichtigt werden.

Schrifttum:

[1] *H. Freiberger:* Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen Gleich- und Wechselstrom, Verlag Julius Springer, Berlin 1934.
[2] *C. F. Dalziel:* Perception of electric currents, Electr. Engng. Bd. 69 (1950), S. 794...800.
[3] *D. Brentani:* Erdung und Nullung als Schutzmassnahmen in Hausinstallationen, Bulletin SEV, Jahrg. 1944, Nr. 25.
[4] *M. Wettstein:* Schutzmassnahmen zur Vermeidung elektrischer Unfälle in den Hausinstallationen, Bulletin SEV, Jahrg. 1934, Nr. 23...26.
[5] *Schwenkhagen/Schnell:* Gefahrenschutz in elektrischen Anlagen. Verlag W. Girardet, Essen, 1957.
[6] *W. Laubenheimer:* Nullung nach VDE 0100/58 in Verbraucheranlagen, ETZ, Ausgabe B, Jahrg. 1960, Heft 17.
[7] Sonderheft Fehlerstrom-Schutzschaltung, ETZ, Ausgabe B, Jahrg. 1966, Heft 6.

Adresse des Autors:
Edwin Homberger, Obering. des Eidg. Starkstrominspektorates, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.

Aus dem Kraftwerkbau

621.311.17 : 621.039

Der Kernreaktor in Lucens wurde erstmals kritisch

Die Nationale Gesellschaft zur Förderung der industriellen Atomtechnik (NGA) teilt mit, dass der *Reaktor des Versuchsatomkraftwerkes in Lucens* am Donnerstag, 29. Dezember um 17.00 Uhr *erstmals kritisch geworden ist.* Die Kritikalität wurde während der Nulleistungsversuche erreicht, die am 23. Dezember begonnen haben. Zweck dieser Versuche ist das Messen der genauen Nukleareigenschaften des Reaktorkerns sowie die Prüfung der zu dessen Dimensionierung angewendeten Berechnungsmethoden.

Die Versuche sollen anfangs Januar 1967 einen Unterbruch von mehreren Wochen erfahren und erst nach Beendigung der restlichen Montage- und Fertigstellungsarbeiten wieder aufgenommen werden. Den Nulleistungsversuchen, die ausschliesslich den Reaktor betreffen, wird die stufenweise Leistungsaufnahme des Atomkraftwerkes folgen, welche die sukzessive Inbetriebsetzung sämtlicher Anlagen umfasst.

Das erste Atomkraftwerk in der Schweiz wird unterirdisch gebaut; einzig das Betriebsgebäude sowie einige Hilfseinrichtungen werden oberirdisch erstellt. Die eigentliche Kraftwerkanlage liegt etwa 100 m tief im Fels. Sie ist mit einem Reaktor schweizerischer Konzeption ausgerüstet, der mit schwerem Wasser moderiert wird und eine Ladung von 73 Spaltstoffelementen, nämlich rund 5600 kg leicht angereichertes Uran, aufnehmen kann. Für die gegenwärtig in Lucens durchgeführten Versuche werden jedoch nur 37 Spaltstoffelemente benötigt.

Mit der Erstellung des Versuchsatomkraftwerkes Lucens wird als erste und wichtigste Voraussetzung aller weitern Entwicklung eine Quelle praktischer Erfahrung geschaffen, welche die Fachleute in unserem Land mit den spezifischen Problemen der Kernenergienutzung vertraut machen wird. NGA

Verbandsmitteilungen

Die BKW klären auf

(Eine vorbildliche Initiative für ländliche Vertrauenswerbung über das Thema «Elektrizität aus Atomenergie»)

Unter der tatkräftigen Leitung von Vizedirektor Meichle, Chef der Informations-Abteilung der BKW, führen die Bernischen Kraftwerke gegenwärtig auf der Landschaft einen Aufklärungsfeldzug durch. Mit dem dreiteiligen Programm Wander-Ausstellung, Film und anschliessender Fragestunde (unter Abgabe von wertvollem Informationsmaterial) wollen die BKW die Landbevölkerung und vorab die Gemeindebehörden, Schulen, Vereine und die Lokalpresse über alle mit dem Übergang zur Atomenergie zusammenhängenden Fragen orientieren. Wie ein Augenschein in Langnau im Emmental anfangs November ergab, entspricht ein solches Vorgehen einem offenkundigen Bedürfnis und dient in hohem Masse der Stärkung des Vertrauensverhältnisses der Energiekonsumenten zu den Werken.

Die in lokalen Gasthöfen, Turnhallen oder Gemeinde-Sälen untergebrachte Wanderausstellung behandelt mit 28 Text- und Bildtafeln und einer Reihe aufschlussreicher Modelle das Thema «*Elektrizität aus Atomenergie*». Sie gibt interessante Hinweise auf das grosse Leistungs-Atomkraftwerk der BKW in Mühleberg, am Aarelauf nur 14 km von der Stadt Bern entfernt, mit dessen Bau im Frühjahr 1967 begonnen werden soll, orientiert aber auch über Lucens und die übrigen in unserem Lande im nächsten Jahrzehnt vorgesehenen Atomkraftwerke. Ein amerikanischer und ein deutscher Atomfilm (als vorläufige Aushilfe für einen kommenden populären Schweizer-Atomfilm) bedeuten eine wertvolle Ergänzung und Erweiterung des Ausstellungsthemas und bringen namentlich den Schulen manche zusätzliche Information und Anregung für den Unterricht.

An der Aussprache mit dem Langnauer Gemeinderat nahmen auch Fürsprecher Dreier, der Direktions-Präsident der BKW und als Gast Dr. F. Wanner, Präsident der Aufklärungskommission des VSE, teil. Sie darf dahin zusammengefasst werden, dass heute offenbar in unserer Landbevölkerung die Angst vor Atomkraftwerken weitgehend geschwunden ist, und dass die Vorteile der Schweiz mit ihrem Reichtum an Wasserkräften hinsichtlich des Zusammenspieles mit der aus Atomkraftwerken gewonnenen «Bandenergie» lebhaftestem Interesse begegnen. Im übrigen drehten sich die meisten Fragen um die Vorratshaltung und die Sicherstellung des Brennstoffes sowie das Kühlwasser, bzw. dessen Erwärmung bei Rückgabe an den Fluss und die eventuellen Auswirkungen auf die Fischerei. Es war auch die Erleichterung zu verspüren, dass mit ölthermischen Werken zur Zeit im Kanton Bern nicht mehr gerechnet werden muss. Vielleicht am stärksten beeindruckte aber der Hinweis auf die langfristig eintretende Aufwertung der Speicherwerke, weil offenbar doch da und dort sich die Vorstellung eingenistet hat, die bestehenden Wasserkraftwerke, in denen ein grosser Teil unseres Volksvermögens investiert ist, könnten bald einmal überflüssig und abbruchreif werden.

Der Aufklärungsfeldzug der BKW in den Landgemeinden ihres Versorgungsgebietes ist zu begrüssen und er findet hoffentlich bei andern Werken Nachahmung. Die EKZ haben mit ihren Testveranstaltungen, die sie vor einiger Zeit in Verbindung mit der Elektrowirtschaft und dem VSE im Blick auf die neuartigen Wettbewerbsverhältnisse organisierten, in gleicher Weise wie die BKW einen eigentlichen Informationshunger über die Wandlungen auf dem Energiemarkt festgestellt. Unsere Bevölkerung hatte bis jetzt ein fast unbegrenztes Vertrauen zu den Elektrizitätswerken. Veranstaltungen, wie die Wanderausstellung der BKW, sind geeignet, dieses Vertrauen angesichts der Wandlungen auf dem Energiemarkt und besonders aus der Perspektive des optimalen Einsatzes von Wasserkraft und Atomkraft zu erhalten und zu verstärken. VSE und Elektrowirtschaft sind sicher gerne bereit, den Werken bei der Organisation solcher lokaler Veranstaltungen an die Hand zu gehen und es ist erfreulich, dass die Elektrowirtschaft gemeinsam mit dem VSE dem Thema «*Elektrizität und Atomenergie*» auch an der nächsten Mustermesse den ersten Platz einräumen wird. *F. W.*