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: 86 (1995)

Heft: 23

Artikel: Die messtechnische Überprüfung von grossen Erdungsanlagen

Autor: Bräunlich, Reinhold

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902507

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

Der vorliegende Artikel behandelt die Problematik der experimentellen Untersuchung grösserer Erdungssysteme von teilweise sehr unterschiedlichen Hochspannungsanlagen und beschreibt die dazu eingesetzten Messmethoden. Zur Überprüfung der Anforderungen bezüglich Personensicherheit genügt im allgemeinen die Erfassung von Einwirkspannungen oder die Bestimmung der Erdungsspannung einer Anlage. Es wird jedoch gezeigt, dass mit einer systematischen Erfassung der Erdungsstromverteilung darüber hinaus betrieblich relevante Aussagen über die Erdungssituation und den Erdungszustand einer Hochspannungsanlage möglich sind.

Die messtechnische Überprüfung von grossen Erdungsanlagen

■ Reinhold Bräunlich

Erdungsmessungen haben primär eine wichtige sicherheitstechnische Aufgabe: Sie bezwecken die Überprüfung der Wirksamkeit von Erdungssystemen. Im Einflussbereich von elektrischen Anlagen dürfen weder im Betrieb noch im Störungsfall Erdpotentialdifferenzen oder Erdströme auftreten, die Lebewesen oder technische Einrichtungen gefährden können. Diese Anforderungen sind in Form von Grenzwertfestlegungen in der SEV-Regel 3569-1.1985 «Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen» [1] und in der geltenden Starkstromverordnung (Ausgabe März 1994) [2] im einzelnen formuliert.

Neu erstellte oder modifizierte Anlagen müssen diesbezüglich mittels Erdungsmessungen überprüft werden. Bei bestehenden Erdungsanlagen ist der experimentelle Nachweis ihrer Wirksamkeit alle zehn Jahre zu wiederholen. Die bei Erdungsmessungen zu überprüfenden Anforderungen an Erdungsanlagen beinhalten konkret die gesetzlich geregelte Einhaltung der maximalen Einwirkspannungen zur Gewähr-

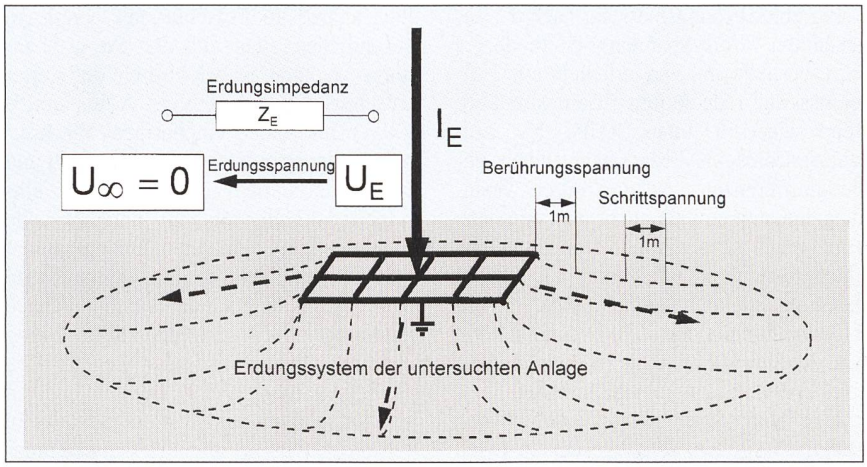


Bild 1 Grundprinzip einer Erdungsmessung

Ein Erdschlussstrom I_E wird in das Erdsystem eingespeist. Dieser Strom tritt ins Erdreich über und erzeugt dabei in der Anlagenumgebung eine trichterförmige Potentialanhebung U_E. Im Übergangsbereich der Anlage entstehen Schritt- und Berührungsspannungen, die gemessen und ausgewertet werden.

Dieser Artikel basiert auf einem Referat, das der Autor an der FKH/VSE-Fachtagung «Erdungssysteme von Energieversorgungsanlagen; Anforderungen, Berechnungsmethoden, neue Messverfahren» am 20. September in Luzern gehalten hat.

Adresse des Autors:
Dr. *Reinhold Bräunlich*, Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH, Voltastrasse 9, 8044 Zürich.

leistung der Personensicherheit und zur Reduktion von Beeinträchtigungen fremder technischer Einrichtungen.

Ausser der Kontrolle der sicherheitstechnischen Aspekte soll die Erdungssituation einer elektrischen Anlage aber auch nach betriebstechnischen Gesichtspunkten beurteilt werden. Im Zentrum stehen dabei Abklärungen zur Vermeidung von Beeinflussungen und Überlastungen eigener Betriebseinrichtungen und Leitungen im Erdschlussfall oder Untersuchungen zur Minimierung von Energieverlusten im Betrieb aufgrund geerdeter Leiterschleifen.

Zur Erfüllung aller Zielsetzungen ist nicht nur das Erdungssystem alleine zu betrachten, sondern es sind weitere Faktoren, wie die Netzsituation und die Eigenschaften der gesamten elektrischen Anlage und deren Umgebung, einzubeziehen. Dabei ist insbesondere zu bedenken, dass die Einzelmessungen bei der Überprüfung einer Erdungsanlage nur stichprobenweise vorgenommen werden können und dass die Auswahl solcher Stichproben eine genaue Kenntnis der Gesamtsituation der untersuchten Anlage voraussetzt.

Mit den im folgenden beschriebenen Messmethoden werden im wesentlichen die Erdungsverhältnisse bei *netzfrequenten Vorgängen* untersucht. Dies betrifft im weitesten Sinn die Überprüfung der Erdungsanlage im *Erdschlussfall*. Auch die Auslegung von Erdungsanlagen erfolgt im allgemeinen nach den Anforderungen des Erdschlussfalls. Bei einem solchen Ereignis fliesst ein meist hoher Erdschlussstrom über das Erdungssystem zur erdschlussspeisenden Quelle zurück. Der Rückstrompfad führt einerseits über die Anlagenerder durch das Erdreich, andererseits aber über geerdete Leiter (Erdseile, Kabelschirme). Der jeweilige Erdungsstromanteil ist je nach Beschaffenheit der Anlage und des Netzes stark variabel.

Bei einer Erdungsmessung nach der sogenannten Strom-Spannungs-Methode [3] wird deshalb im wesentlichen ein Erdschluss mit reduziertem Strom simuliert. Beim Übertritt eines Teils des Erdschlussstroms ins Erdreich entstehen Potentialdifferenzen, welche durch Spannungsmessungen untersucht werden (siehe Bild 1). Der übrige Anteil der Erdschlussströme, welcher als Rückstrom in Erdleitern fliesst, muss jedoch durch Strommessungen erfasst werden (siehe z. B. Erdseilstrom in Bild 2). Eine messtechnische Überprüfung eines Erdsystems besteht demnach aus Messungen von Spannungsdifferenzen und Ausgleichsströmen an ausgesuchten Orten der Erdungsanlage, die durch Erdschlussströme entstehen.

Nach Abschluss einer Messkampagne müssen die Wirksamkeit der Erdungsanlage und die im Erdschlussfall auftretenden Einwirkspannungen beurteilt und dokumentiert werden. Bei dieser Beurteilung ist eine Analyse der Erdungssituation aus einer Vielzahl der gemessenen Spannungs- und Stromwerte vorzunehmen. Es müssen für den Anlagenbetreiber Schlussfolgerungen gezogen werden, aus denen gegebenenfalls Schwachstellen der Erdungsanlage und weitere Optimierungsmassnahmen abzuleiten sind.

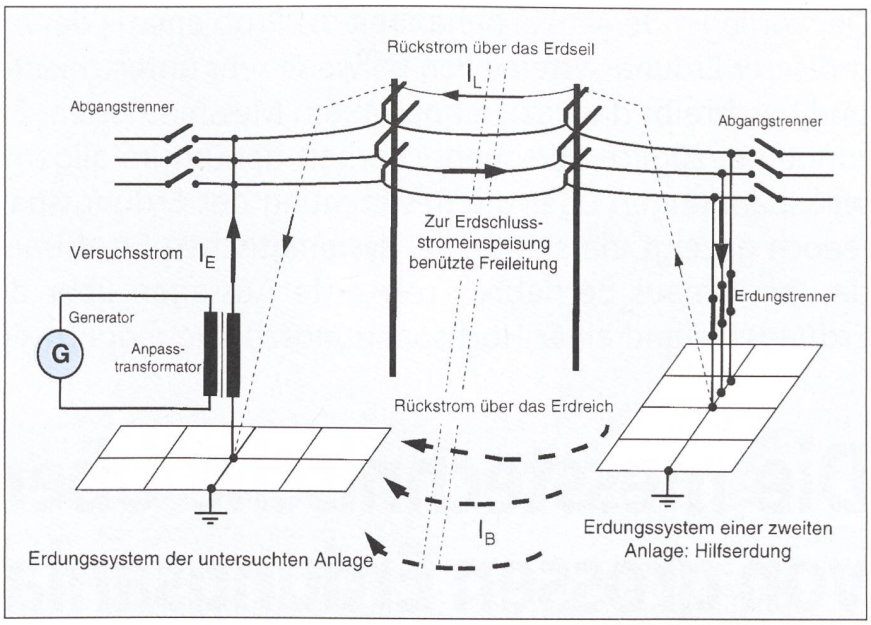


Bild 2 Erdschlussschleife über die Erdungssysteme zweier Unterwerke unter Benutzung einer Freileitung
Die Summe des Rückstroms im Erdreich I_B und des Rückstroms im Erdseil I_L ergibt den versuchsmässig eingespeisten Erdschlussstrom I_E.

Einspeisung des Erdschlussstroms – Bildung einer Erdschlussstromschleife

Die messtechnische Untersuchung der Potential- und Stromverteilung einer Erdungsanlage im Erdschlussfall beruht im wesentlichen stets auf der Strom-Spannungs-Methode. Dabei wird ein definierter Erdschlussstrom I_E (einige A bis einige 100 A) mit einer einphasigen Wechselstrom- oder Impulsstromquelle erzeugt und in eine definierte Erdschlussschleife eingespeist, welche die zu untersuchende Erdungsanlage beinhaltet. Bei grösseren Anlagen wird für die Erdschlussschleife nach Möglichkeit eine ausser Betrieb genommene Freileitung oder Kabelleitung verwendet, welche in einer Gegenstation geerdet wird (vgl. Bild 2). Die untersuchten Anlagen bleiben jedoch normalerweise in Betrieb, so dass bei allen Messungen mögliche Beeinflussungen aus dem Anlagenbetrieb (50 Hz und Oberwellen) zu berücksichtigen sind. Die Entfernung zwischen den beiden für die Erdschlussschleife benützten Unterwerken muss ausreichend gross sein, so dass eine gegenseitige Beeinflussung der Erdungssysteme ausgeschlossen werden kann. Um die Erdschluss-Schleifenimpedanz bei den notwendigen Distanzen zu reduzieren, werden die Phasen der Freileitungen oder Kabelleitungen, über welche die Erdschlusseinspeisung erfolgt, normalerweise parallel geschaltet.

Durch den Schleifenstrom wird das Potential des untersuchten Erdungssystems um die Erdungsspannung U_E angehoben, die in Form eines Potentialberges von der äusseren Begrenzung der Erdungsanlage mit zunehmender Entfernung abfällt. Die in diesem Potentialtrichter befindlichen Objekte liegen in einem Spannungsgradienten und weisen somit Spannungsdifferenzen gegenüber der Umgebung auf, welche als Einwirkspannungen mit geeigneten Voltmetern gemessen werden können[1].

Wie einleitend schon erwähnt wurde, fliessen die in der versuchsmässig eingerichteten Erdschlussschleife erzeugten Ströme (wie auch im Erdschlussfall) nicht ausschliesslich durch das Erdreich zur Gegenerde zurück, sondern nehmen ihren Weg zu einem wesentlichen Anteil über Erdseile und Kabelschirme von Leitungsabgängen. Auch andere ausgedehnte leitfähige Strukturen in der Umgebung der Erdungsanlage, wie zum Beispiel Rohrleitungen, Bahnanlagen oder Telecomleitungen, führen Erdungsströme. Die Erfassung dieser lei-

[1] Auch um das für die Gegenerde (Hilfserde) verwendete Erdsystem bildet sich ein Potentialtrichter aus. Es können deshalb mit der gleichen Erdschlussschleife beide Erdsysteme gleichermassen untersucht werden.

tungsgebundenen Erdungsströme ist ebenfalls Bestandteil einer Erdungsmessung.

Alle Messergebnisse (Einwirkspannungen und Erdleiterströme) werden nachträglich auf den maximalen Erdschlussstrom der untersuchten Anlage linear hochgerechnet. Der maximale Erdkurzschlussstrom einer starr geerdeten Hochspannungs-Schaltanlage entsteht normalerweise bei einem einpoligen Erdfehler an einer Sammelschiene und ist vom Netzzustand abhängig.

Bei grösseren Erdungsanlagen von Unterwerken und Kraftwerksanlagen wird zur Einspeisung des Erdschlussstroms I_E eine Stromquelle von einigen 10 A bis einigen 100 A benötigt. Die FKH verwendet dazu ein mobiles 100-kVA-Diesel-Generator-Aggregat. Der integrierte Asynchrongenerator gibt an den Klemmen eine Ausgangsspannung von etwa 500 V ab. Zur Anpassung an die jeweilige Impedanz der Versuchsleitung wird zwischen Generator und Erdschluss-Einspeisestelle ein Anpasstransformator geschaltet.

Bei kleinen Erdungsanlagen, beispielsweise bei Transformatorenstationen und bei Masterdern, werden Erdungsmessgeräte (Voltmeter mit integrierter Stromquelle) eingesetzt, wobei die Gegenerde mit Erdsonden bewerkstelligt wird. Zur Impedanzmessung einzelner Erdschleifen werden neuerdings auf dem Markt auch Erdungsmesszangen angeboten.

Grundsätzliche Problematik der Erdungsmessungen

Selbst wenn alle messtechnischen Probleme, wie zum Beispiel die Eliminierung von Störspannungen (siehe nachfolgendes Kapitel «Methoden zur Eliminierung von Störspannungen»), beherrscht werden, bleiben bei Erdungsmessungen eine Reihe prinzipieller Probleme bestehen, welche oft erhebliche Unsicherheiten bei der Interpretation der gemessenen Werte zur Folge haben. Ebenso sind der Reproduzierbarkeit von Erdungsmessungen unabdingbare Grenzen gesetzt. Die dafür verantwortlichen Probleme sollen im folgenden aufgezählt und wo nötig kurz erläutert werden. Einige der offenen Probleme können durch eine standardisierte Messprozedur bereinigt werden. Spezielle Aspekte der Messmethoden müssten teilweise mit praktischen Versuchen an Erdungsanlagen untersucht werden.

1. Der *spezifische Widerstand* des Erdbodens ist zeitlich nicht konstant. Er unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen, die von der Erdbodenfeuchtigkeit und der Temperatur abhängig sind [3, 4].

2. Nach einer Neuverlegung von erdfühligen Leitern findet durch Verdichtung des Erdreichs in der Umgebung der Erdelektroden eine langsame *Reduktion des Erdübergangswiderstands* statt, welche normalerweise über viele Monate andauert [3].

3. Da die *Erdbodenleitfähigkeit* aus geologischen Gründen *zu grösseren Tiefen hin abnimmt*, bilden allfällige Erdschlussströme keine kugelsymmetrischen Strömungsfelder um die Erdungsanlagen. Die Erdströme fliessen vermehrt an der Oberfläche ab. Werden vorerst die Wechselstromeffekte (siehe Bild 3) ausser acht gelassen, dann nimmt die Stromdichte und das resistive elektrische Feld eines Einzelerders zunächst quadratisch mit dem Abstand und weiter entfernt davon nahezu linear dazu ab. Der Einfachheit halber wird für die folgende Überlegung eine halbkugelförmig begrenzte Erdungsanlage angenommen. Mathematisch ausgedrückt ist die Erdungsspannung U_E das Integral der resistiven Feldstärke $E_E(r)$ vom Rand des Erdungssystems ($r=r_0$) bis zu einem unendlich grossen Abstand.

$$U_E = \int_{r_0}^{\infty} E_E(r)\,dr = \int_{r_0}^{\infty} E_0 \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-k} dr$$

mit $1<k<2$ (1)

E_E resistive Feldstärke um das Erdungssystem [V/m]
r Abstand vom Zentrum des Erdungssystems [m]
r_0 Radius des Erdungssystems [m]
E_0 resistive Feldstärke an der Begrenzung des Erdungssystems [V/m]
k vom geologischen Untergrund abhängiger Exponent für die abfallende Trichterspannungsfunktion

Da in der Praxis das Spannungstrichterprofil nicht bis zu einem unendlich grossen Abstand erfasst werden kann, ist die Erdungsspannung U_E und damit auch die Erdungsimpedanz $Z_E = U_E/I_E$ der Anlagen davon abhängig, bei welcher Distanz von der Erdungsanlage die Auswertung des Trichterpotentials für die Bestimmung der Erdungsspannung erfolgt. Im Grenzfall der flächenhaften Stromausbreitung ($k = 1$) wäre die Erdungsimpedanz gar unendlich gross (siehe auch [7], Kapitel D, Abschnitt f: «Erdungen auf Böden mit leitender Oberschicht auf schlecht leitendem Untergrund»).

4. Das unter dem Aspekt *3* beschriebene Problem der unklaren Definierbarkeit der Erdungsimpedanz wird dadurch noch komplizierter, dass es sich bei den Erdschlussströmen um betriebsfrequente Wechselströme handelt, welche den Stromverdrängungseffekten im Erdboden unterworfen sind (siehe Bild 3). Wechselströme

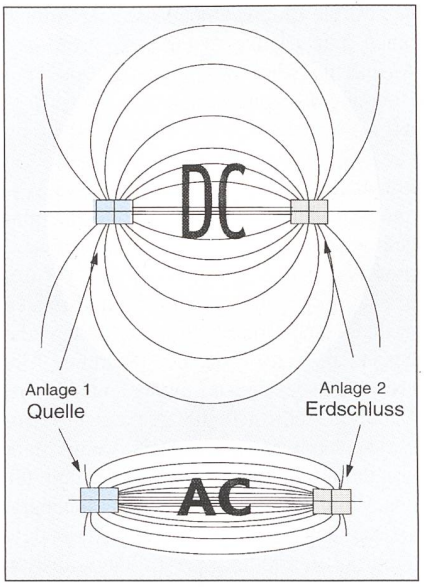


Bild 3 Stromlinien im resistiven Feld zwischen zwei Erdungssystemen (qualitative Darstellung)
oben im Fall von Gleichstrom,
unten im Fall von Wechselstrom.
In beiden Fällen liegt in der Anlage 2 ein Erdschluss vor, welcher über eine Leitung von der Anlage 1 aus gespeist wird. Man beachte im Wechselstromfall die Konzentration der Stromlinien jeweils auf der Seite des Leitungsabgangs.

im Erdboden breiten sich nicht beliebig weit aus, sondern sie sind bestrebt, den Erdschluss-Stromkreis in einer möglichst engen Schleife zu schliessen. Erdschlussrückströme im Boden fliessen demnach nicht gemäss einem Dipolströmungsfeld (Bild 3 oben) zur Gegenerde zurück, sondern sie fliessen in einem engen Korridor von einigen 100 m Breite entlang der erdschlussspeisenden Leitung (Bild 3 unten). Aus diesem Grund entsteht eine stark *asymmetrische Erdungsstromverteilung* um die untersuchte Erdungsanlage, zumal der Erdschlussstrom nur von einer Seite her eingespeist wird. Mittels der Magnetfeld- oder Stromeindringtiefe in den Erdboden, δ, lassen sich quantitative Aussagen über die Ausbreitung von Erdströmen machen.

$$|\delta| = \sqrt{\rho / \omega\mu_0} \qquad (2)$$

δ Eindringtiefe des Erdrückstroms [m]
ρ spezifischer Widerstand des Erdreichs [Ωm]
ω Kreisfrequenz des Erdstroms [s^{-1}]
μ_0 magnetische Permeabilität des Vakuums [$4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am]

Bei den in der Praxis vorkommenden spezifischen Erdbodenwiderständen von 10 bis 1000 Ωm resultieren bei einer Netzfrequenz von 50 Hz Eindringtiefen δ zwischen 150 und 1500 m. Aus obigem Zusammenhang ist zu folgern, dass die

gemessene Erdungsimpedanz einer Anlage nicht nur (gemäss Punkt *3*) von der Auswertungsdistanz, sondern von der Richtung des gemessenen Spannungstrichterprofils gegenüber der Einspeiserichtung des Erdschlussstroms und auch von dessen Frequenz abhängig ist. Besonders die Erdungsanlagen grosser elektrischer Anlagen, welche im Durchmesser die Grössenordnung der Stromeindringtiefe δ, das heisst einige 100 m, erreichen, besitzen deshalb eine Erdungsstromverteilung, die besonders stark von der Richtung der erdschlussspeisenden Leitung abhängig ist. Dadurch sind auch die gemessenen Einwirkspannungen rund um die Anlage stark von der ausgewählten Versuchsleitung, die den Mess-Erdschlussstrom trägt, abhängig. Dieser Umstand erschwert insbesondere dann die Beurteilung der Erdungssituation bei Erdungsmessungen grosser Anlagen, wenn nur eine Einspeisevariante untersucht wird.

5. Durch gewisse *ausgelagerte, aber erdungsmässig verbundene Anlagenteile*, wie beispielsweise Endmasten von Kabelausführungen, liegt keine klare Begrenzung der Erdungsanlage vor. Die Erdungsimpedanz ist nicht zuletzt auch aus diesem Grund nicht genau definierbar. Ausserdem hängt der messtechnisch bestimmte Reduktionsfaktor für Einwirkspannungen (Verhältnis des Erdungsstroms zum Erdschlussstrom) von der genauen Stelle ab, an welcher der Erdseilrückstrom oder der Kabelmantelrückstrom erfasst wird. Schliesslich wird das Ergebnis der Messungen von Einwirkspannungen wegen der genannten Ausläufer des Erdsystems noch mehr von der Richtung der erdschlussspeisenden Leitung abhängig.

Aus den oben aufgeführten Aspekten geht klar hervor, dass nur die Einspeisung eines Erdschlussstroms via alle erdschlussspeisenden Leitungen ein richtiges Abbild der Erdschlusssituation ergibt. Eine solche Erdungsmessung ist jedoch aus praktischen Gründen wohl nur im Ausnahmefall machbar. Um dennoch zumindest reproduzierbare Erdungsmessungen durchführen zu können, wäre deshalb eine einheitliche Vorgehensweise für die Durchführung von Erdungsmessungen an grösseren Erdungsanlagen zweckmässig. Zurzeit fehlen jedoch entsprechende Richtlinien oder Empfehlungen für die Schweiz.

Methoden zur Eliminierung von Störspannungen

Da Schaltanlagen und Kraftwerkszentralen normalerweise während der Erdungsmessungen in Betrieb stehen, können durch ohmsche oder induktive Kopplung Störspannungen in die Versuchsstromschleife oder die Messschleife eingekoppelt werden. Die Überlagerung solcher Störspannungen führt leicht zu wesentlichen Messwertverfälschungen, wenn sie nicht durch geeignete Massnahmen eliminiert werden [3, 5]. Nebst den betriebsfrequenten Störsignalen der Starkstromanlage (50 Hz oder $16^2/_3$ Hz) können auch Netzoberwellen und Gleichströme zu Messfehlern führen. Als Massnahmen gegen die Störspannungen sind die folgenden Methoden üblich:

- Schwebungsmethode
- Ein/Aus-Methode
- Umpolmethode
- Vektorvoltmeter, Synchrongleichrichter, Einfangverstärker
- Wahl einer von der Netzfrequenz abweichenden Frequenz, Filterung der Störfrequenzen

Bei der *Schwebungsmethode* wird für den Versuchsstrom eine leicht vom Betriebsstrom abweichende Frequenz gewählt (Abweichung kleiner als 1 Hz). Durch die Überlagerung von netzfrequenten Störspannungen U_s mit der Messspannung U_m entsteht ein Schwebungseffekt, der die Anzeige des Voltmeters zwischen einem Maximalwert U_{max} und einem Minimalwert U_{min} schwanken lässt. Die Messspannung errechnet sich aus den Extremwerten des Anzeigeinstruments gemäss Bild 4. Es liegt auf der Hand, dass die Ableseunsicherheit von der Geschicklichkeit des Ausführenden und von der Zeitkonstante des Instruments abhängig ist.

Bei der *Ein/Aus-Methode* und der *Umpolmethode* wird ein netzfrequenter Versuchsstrom erzeugt, der periodisch ein- und ausgeschaltet wird. Bei der Umpolmethode werden die beiden Phasen der Quelle zusätzlich bei jedem Einschalten noch umgepolt. Alle Messungen werden dann bei ausgeschalteter Versuchsstromquelle (Messung von U_s) und eingeschalteter Versuchsstromquelle durchgeführt, wobei bei der Umpolmethode bei beiden Polaritäten gemessen wird (U_1 bei positiver, U_2 bei negativer Polarität und U_s bei ausgeschaltetem Versuchsstrom). Es ist zu bemerken, dass die Umpolmethode nur dann sinnvolle Werte liefert, wenn der Versuchsstrom absolut phasenstarr mit dem Netzstrom ist. Ausserdem muss der sich als Störgrösse einkoppelnde Netzstrom während der drei Ablesungen an einem Messpunkt konstant bleiben.

Während bei der Ein/Aus-Methode mit Voltmetermessungen nur eine obere Grenze für den Messfehler angegeben werden kann, besteht bei der Umpolmethode eine

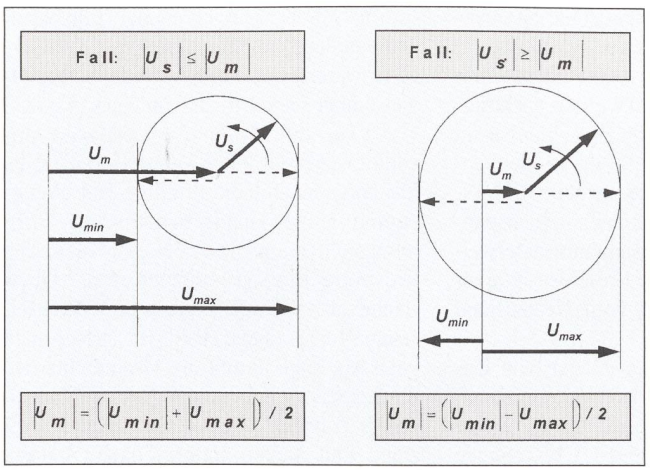


Bild 4 Bestimmung der Messspannung mit der Schwebungsmethode
Die Messspannung U_m wird bestimmt durch Eliminierung von netzfrequenten Störeinkopplungen für den Fall, dass die Messspannung grösser ist als die Störspannung (links), und den Fall, dass die Messspannung kleiner ist als die Störspannung (rechts).

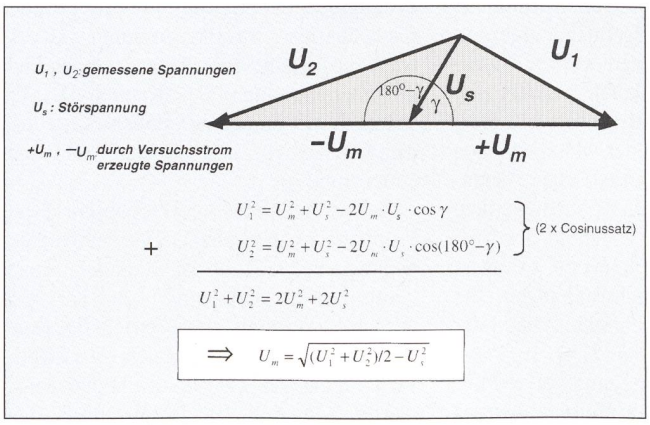


Bild 5 Bestimmung der Messspannung mit der Umpolmethode
Zeigerdiagramme für die Bestimmung der Messspannung durch Eliminierung von netzfrequenten Überlagerungen aus dem Messwert der Störspannung ohne Versuchsstrom und den Messwerten für die beiden Polaritäten der Versuchsstromquelle.

Methode	Frequenz	Messung	Vorteile	Nachteile
1. Schwebungs-methode	Abweichung von der Netzfrequenz <1 Hz	Messzeit einige Sekunden ohne Filter	Messung bei nahezu Netzfrequenz	Auswertung nicht immer eindeutig
2. Ein/Aus-Methode	beliebig	zwei Messvorgänge, ohne Filter	Einfachheit	keine Fehlereliminierung, nur Fehlerabschätzung
3. Umpolmethode	Netzfrequenz	drei Messvorgänge, ohne Filter	eindeutige Ermittlung von Messspannungen, Messung bei Netzfrequenz	keine Eliminierung von Oberwellen, dreimalige Messung
4. Vektorvoltmeter, Einfangverstärker	beliebig	ein Messvorgang mit Spezialmessgerät	Unterdrückung sämtlicher Störungen möglich	Referenzsignal der Versuchsstromquelle nötig
5. Filterung der Störfrequenzen	Abweichung von der Netzfrequenz >10 Hz	ein Messvorgang mit Filter	Unterdrückung sämtlicher Störungen möglich	Messfrequenz entspricht nicht Netzfrequenz

Tabelle I Unterdrückung von Störeinkopplungen bei Erdungsmessungen
Zusammenstellung der Eigenschaften sowie der Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden

eindeutige Beziehung zwischen den drei Messwerten und der durch den Versuchsstrom hervorgerufenen Messspannung U_m (siehe Bild 5). In jüngster Zeit wurde auch eine Ein/Aus-Methode mit Computer-Mess- und -Auswertesystem vorgestellt, welches eine wirkungsvolle Eliminierung der Störeinflüsse ermöglicht [6].

Die FKH hat in der Vergangenheit, mit Ausnahme der Umpolmethode, mit allen diesen Methoden einige Erfahrungen gesammelt. Dabei hat sich die Verwendung einer von der Netzfrequenz abweichenden Frequenz für den Versuchsstrom am besten bewährt. Das Verfahren wird in einzelnen Fällen in Kombination mit der Methode der Synchrongleichrichtung verwendet. Zur Erzeugung des Versuchsstroms verwendet die FKH einen Asynchrongenerator, welcher bei ungefähr 60–70 Hz betrieben wird. Die von 50 Hz abweichende Frequenz des eingespeisten Erdungsstroms erlaubt eine einfache und wirkungsvolle Trennung der versuchsbedingten Erdungsströme von betriebsmässigen Erdungsströmen. Zur Ermittlung der Einwirkspannungen wird ein geeignetes hochselektives Filter verwendet, welches eine Beeinflussung der Messresultate durch den 50-Hz-Anlagenbetrieb oder auch durch $16^2/_3$-Hz-Bahnströme wirksam verhindert.

Zur Messung von Stromverteilungen werden auch *Einfangverstärker* oder *Synchrongleichrichter* eingesetzt, welche eine sehr empfindliche Messung von Erdungsteilströmen in Amplitude und Phase zulassen. Durch solche hochentwickelte elektronische Geräte lassen sich präzise Messungen bei grossen Anlagen und kleinen Versuchsströmen (einige 10 A) problemlos durchführen. Für diese Messmethode ist es allerdings notwendig, ein Referenzsignal von der Versuchsstromquelle zum Messort zu übertragen.

Weitere Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden zur Unterdrückung von Störeinflüssen sind in Tabelle I aufgezählt.

Ermittlung von Spannungsprofilen und Erdungsimpedanzen

Zur genaueren Beurteilung von Erdungsanlagen kann der Verlauf von Erdungsspannungsprofilen (d. h. Erdungsspannungstrichtern) herangezogen werden. Zur Ermittlung eines Profils des Spannungstrichters werden Spannungsdifferenzen zwischen der Anlagenerde (Referenz) und einer in den Erdboden gesteckten Messsonde an definierten Stellen (z. B. 1 m, 5 m, 10 m, 100 m Distanz zur Anlage) entlang einer vorgegebenen Richtung gemessen (siehe Bild 6).

Aus dem Verlauf eines Spannungsprofils kann vor allem der Anlagen-Übergangsbereich und die Wirksamkeit von Potentialsteuerungsmassnahmen einer Erdungsanlage beurteilt werden. Insbesondere sind hier die Spannungsgradienten direkt ersichtlich. Die auftretenden Schrittspannungen können als Spannungsdifferenzen den gemessenen Spannungsprofilen entnommen werden.

Wenn das Spannungsprofil über eine genügend grosse Distanz vorliegt, kann die wirksame Erdungsimpedanz der zu untersuchenden Anlage ermittelt werden. Der Betrag der Erdungsimpedanz Z_E ist definiert als das Verhältnis der maximalen Trichterspannung U_E (Asymptote) zu dem diese Spannung hervorrufenden Erdungsstrom I_E oder Messstrom I_M:

$$Z_E = U_E / I_E \qquad (3)$$

Ein wichtiger Grund für die Messung von Spannungsprofilen ist die Frage nach der Höhe der Erdübergangsspannung U_E. Ist U_E nämlich kleiner als die maximal zulässige Berührungsspannung, so kann praktisch auf die Messung von Einwirkspannungen verzichtet werden. Aus den im Kapitel über die Einspeisung des Erdschlussstroms beschriebenen Schwierigkeiten und aus den Erfahrungen der FKH geht allerdings hervor, dass die auf diese Weise gemessene Trichterspannung stark von der Richtung des Messprofils (gegenüber dem Leitungsabgang mit dem versuchsmässig eingespeisten Erdungsstrom) abhängig ist. Reproduzierbare Werte für eine gemessene Erdungsimpedanz werden aber erzielt, wenn die Profilrichtung etwa im rechten Winkel zur Erdschluss-einspeisenden Leitung steht und wenn ausserdem in der Richtung der Profilmessung keine anderen Leitungsabgänge und erdfühligen Strukturen vorhanden sind.

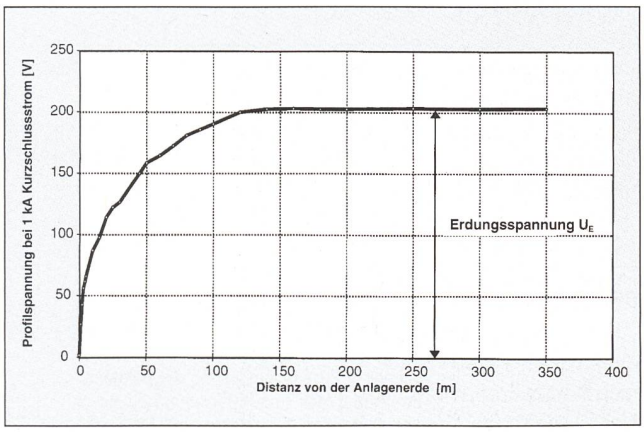


Bild 6 Spannungstrichterprofil einer mittelgrossen Hochspannungsanlage
Aus diesem gemessenen Profilverlauf ergibt sich eine Erdungsimpedanz Z_E von etwa 205 mΩ.

Sind diese Forderungen erfüllt, dann tritt insbesondere durch den Stromverdrängungseffekt (bei 50 Hz) verhältnismässig bald (nach wenigen hundert Metern) eine Sättigung im Potentialverlauf ein. Damit kann ein eindeutiger und sinnvoller Wert für eine «scheinbare» Erdungsspannung ermittelt werden. Es ist stets zu empfehlen, dass mindestens zwei Spannungstrichterprofile aufgenommen werden, damit die Reproduzierbarkeit der Messung überprüft werden kann.

Messung von Berührungs-, Schritt- und Differenzspannungen

Bei der Messung von Berührungs- und Schrittspannungen wird die Spannungsdifferenz in 1 m Abstand zum betrachteten leitfähigen Objekt mit Potentialsonden und Messkabeln abgegriffen. Als Potentialsonden für die Kontaktierung im Erdreich dienen rund 10 bis 20 cm tief in den Boden gesteckte Stahlspiesse (Stichel). In bestimmten Fällen werden auch Differenzspannungen zwischen zwei berührbaren, metallisch leitenden Objekten (z. B. zwischen Metallpfosten, Kandelabern usw.) gemessen. Bei diesen Messungen ist der Abstand für den Spannungsabgriff variabel und soll laut SEV-Regel 3659 [1] bis zu 1,75 m berücksichtigt werden.

Als Messgerät für die Berührungs-, Differenz- und Schrittspannungen wurde bei der FKH ein spezielles, selektives Voltmeter[2] für Erdungsmessungen entwickelt. Zur Unterdrückung niederfrequenter Störeinflüsse beinhaltet das Messgerät wahlweise einschaltbare Bandsperrfilter für 50 Hz und $16^2/_3$ Hz. Mit dem Gerät lassen sich direkt Spannungen von 10 mV bis 1000 V digital messen. Durch die Erdschluss-Stromeinspeisung mit Frequenzen von 60 bis 70 Hz sowie durch die selektive Unterdrückung (etwa 40 dB) von netzfrequenten (50 Hz) Einflüssen oder von Bahnstrom-Störkomponenten ($16^2/_3$ Hz) können in der Regel selbst kleine Nutzsignale im mV-Bereich zuverlässig erfasst werden. Pro Messpunkt werden jeweils zwei Messungen vorgenommen. In der ersten Messung wird die Spannung direkt über dem hochohmigen Eingangswiderstand des Aktivfilters gemessen. In der zweiten Messung wird parallel zum Filtereingang ein Widerstand von 2 kΩ[3] geschaltet. Die erste Messung ergibt die tatsächlich an der Messstelle vorhandene Spannung, während mit der zweiten Messung jene Spannung gemessen wird, welche an der Messstelle auftreten würde, falls diese durch den Widerstand des menschlichen Körpers belastet würde. Die mit dieser Belastungsimpedanz gemessenen Spannungen werden deshalb für die Auswertungen herangezogen.

[2] Eine entsprechende Dokumentation des FKH-Voltmeters ist verfügbar.

[3] Die SEV-Regel 3569-1.1985 [1] schreibt eine Messimpedanz zwischen 2 und 20 kΩ vor.

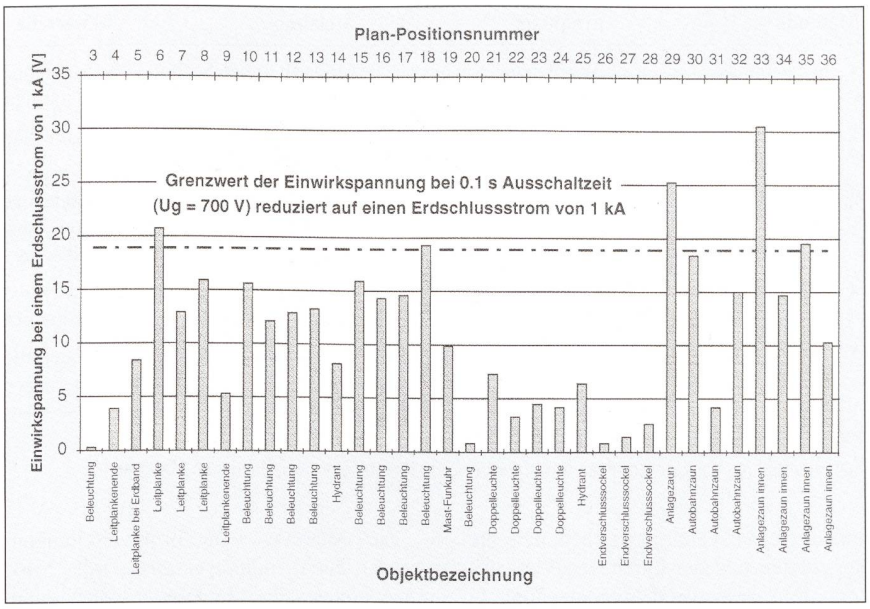


Bild 7 Auswertung von Messungen der Einwirkspannungen in der Umgebung einer Hochspannungsschaltanlage

Nach Abschluss der Erdungsmessungen müssen die Wirksamkeit der Erdungsanlage und die im Erdschlussfall auftretenden Einwirkspannungen beurteilt und dokumentiert werden. Standardmässig werden Säulendiagramme mit Einwirkspannungen erstellt, wobei die Messwerte auf einen Erdkurzschlussstrom von 1 kA oder auf den maximal möglichen Erdschlussstrom hochgerechnet werden. Ein Beispiel ist in Bild 7 dargestellt.

Bei unzulässig hohen Berührungs-, Schritt- und Differenzspannungen werden Abhilfemassnahmen vorgeschlagen. Zur Vermeidung hoher Einwirkspannungen oder zur Verminderung derer Gefahren stehen folgende häufig angewendete Massnahmen zur Verfügung:

- Aufbringen eines isolierenden Bodenbelags (Asphalt, Schotter oder Kies)
- Aussteuerung der Umgebung mit Erdelektroden (Erdbändern)
- Anbringen eines isolierenden Farbanstrichs auf den Freileitungsmasten und geerdeten Anlageteilen
- Anbringen von Warntafeln
- Reduktion der Ausschaltzeit für Erdfehler

Ermittlung der Erdungsstromverteilung

Die Ermittlung der Erdungsstromverteilung dient insbesondere der Beantwortung folgender wichtiger Fragen:

1) Sind alle Erdverbindungen intakt und genügend niederohmig ausgeführt?
2) Gibt es Energie- oder Nachrichtenkabel, die in einem Erdschlussfall unverhältnismässig hoch mit Erdungsströmen belastet werden, wodurch Störungen, Überspannungen oder gar thermische Überlastungen eines Kabels auftreten können?
3) Bestehen unerwünschte Verbindungen zwischen isolierten Leitern auf Nullpotential und Erde (offene Kabelschirme, Sondererder usw.)?

Für die Überprüfung der Wirksamkeit von Erdungssystemen empfiehlt sich deshalb eine systematische Ermittlung der Stromverteilung sämtlicher Leiter, welche mit der Anlagenerde in Berührung stehen bzw. zu deren Erdung dienen. Darunter fallen insbesondere die in Tabelle II aufgeführten Leiterarten.

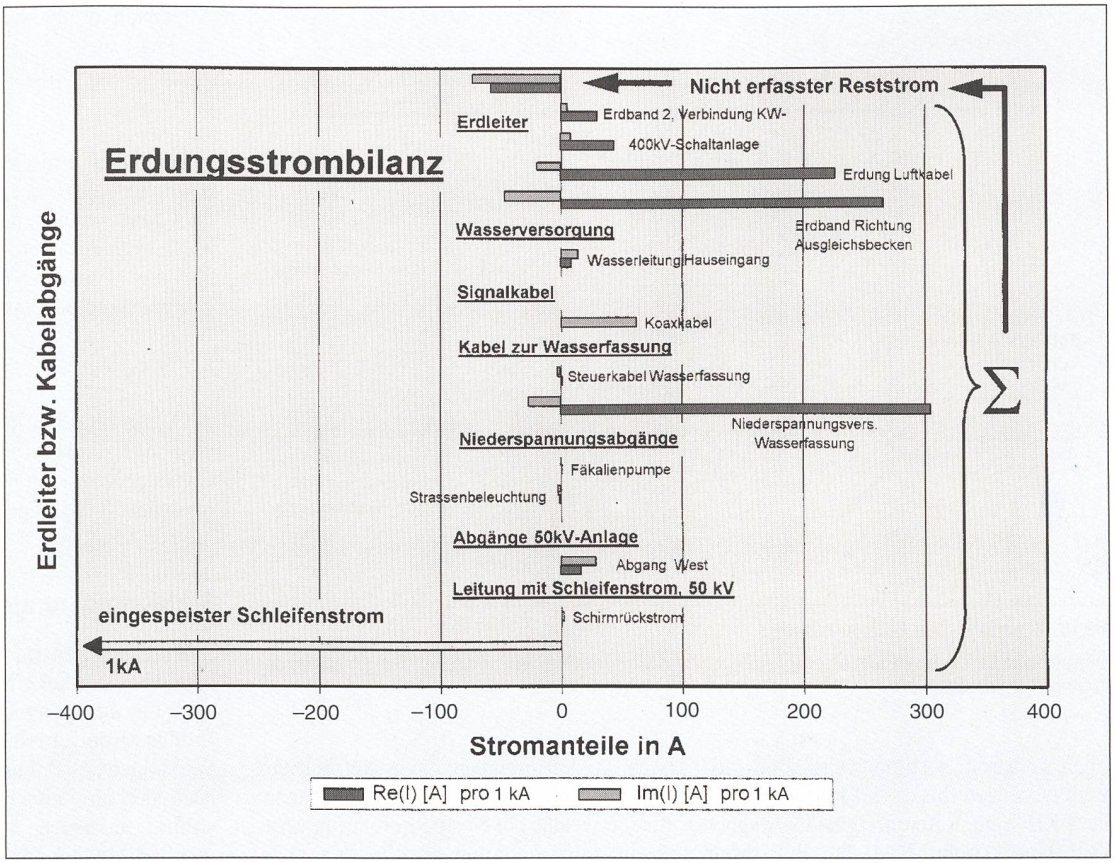
Werden die Ströme aller in Tabelle II aufgeführten Leiter in Betrag und Phase vollständig erfasst und bestehen keine weiteren Verbindungen zwischen der Um-

- Verbindungen zu Erdern und geerdeten Strukturen
- abgehende Erdseile von Freileitungen
- geerdete Schirme von Hochspannungs- und Mittelspannungskabeln
- Niederspannungsabgänge
- Steuer- und Signalleitungen mit geerdeten Schirmen
- Telefonleitungen
- metallische Wasser- und Gasleitungen

Tabelle II Zusammenstellung der bei der Ermittlung der Erdungsstromaufteilung zu überprüfenden Leiterarten und Verbindungen

Bild 8 Beispiel einer Erdungsstrombilanz

Da zwischen den Erdungsstromanteilen oft wesentliche Phasenverschiebungen vorliegen, ist die Bilanz getrennt mit Real- und Imaginärteil durchgeführt.



gebungserde und der Anlagenerde, so ergibt die vektoriell addierte Summe der gemessenen Ströme den eingespeisten Schleifenstrom. Die Aufteilung des Erdungsstroms für den Kurzschlussfall kann auf diese Weise ermittelt und kontrolliert werden. In der Regel tritt jedoch ein erheblicher Anteil des Erdungsstroms via Erdungsnetz direkt ins Erdreich über. Dieser Anteil ist normalerweise einer direkten Messung nicht zugänglich und erscheint in der Erdungsstrombilanz als Restbetrag. Ein Beispiel einer Erdschlussstrombilanz ist in Bild 8 dargestellt.

Die FKH verwendet für die Messung einzelner Stromanteile geeignete Zangenstromwandler oder spezielle Rogowskispulen, so dass auch Leiter grösseren Querschnitts (z. B. Hochspannungskabel), Rohrleitungen und Masten bis zu Durchmessern von über einem Meter umfasst werden können. Die Bürdenspannungen der Stromwandler müssen zur Vermeidung von Störeinkopplungen mit abgeschirmten und verdrillten Signalkabeln zum Messplatz übertragen werden. Zur Unterdrückung von 50-Hz-Betriebsströmen und $16^2/_3$-Hz-Bahnströmen werden wie bei der Messung von Einwirkspannungen Bandsperrfilter eingesetzt.

Die Bestimmung der Phasenlage von Erdstromanteilen in Erdleitern und Kabelmänteln erfordert, dass ein Referenzsignal des versuchsmässig eingespeisten Erdschlussstroms bis zum Messort übertragen wird. Bei kurzen Distanzen (bis etwa 100 m) kann das Referenzsignal des eingespeisten Erdschlussstroms mit einem bebürdeten Stromwandler erfasst und über eine abgeschirmte und verdrillte Zweidrahtleitung bis zum Messplatz übertragen werden, wo die Phasenverschiebung zwischen dem Referenzstrom und dem gemes-

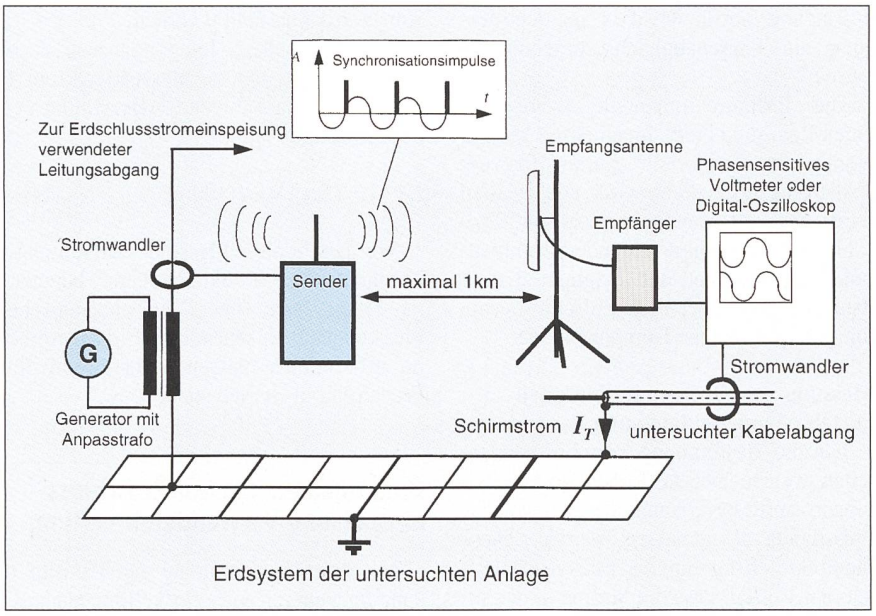


Bild 9 Übertragung von Synchronisationssignalen

Prinzipschema für die Übertragung von Synchronisationssignalen zur Messung von Phasenwinkeln zwischen dem eingespeisten Schleifenstrom (Speisequelle: Generator, links) und dem zu messenden Teilerdungsstrom I_T (rechts).

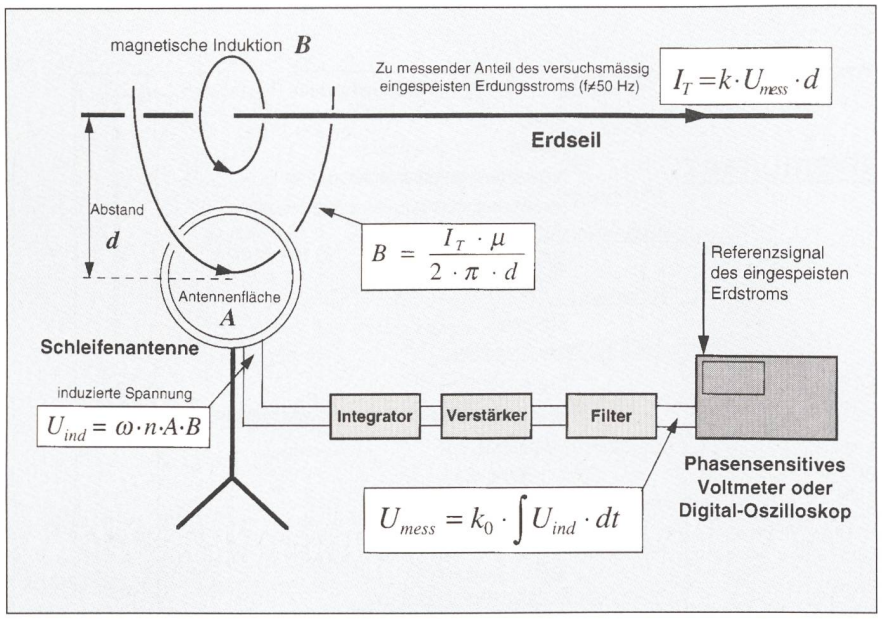


Bild 10 Ermittlung eines Teilerdungsstroms

Prinzipschema für die Ermittlung eines Teilerdungsstroms I_T im Erdseil einer Freileitung mittels Messung der magnetischen Induktion B.

senen Teilstrom bestimmt wird. Bei grösseren Distanzen (bis etwa 1 km) verwendet die FKH eine Referenzsignalübertragung über Funk (siehe Bild 9). Bei jedem detektierten positiven Nulldurchgang des Referenzstroms wird ein kurzer Synchronisationsimpuls gesendet, welcher am Messplatz empfangen wird. Die Phasenverschiebung des Messstroms kann dann durch Vergleich des Nulldurchgangs des gemessenen Stroms mit dem Synchronisationsimpuls bestimmt werden. Die erreichbare Messunsicherheit bei der Bestimmung der Phasenlage liegt bei ±5°. Voraussetzung hierfür ist, dass vor der Messung ein Phasenabgleich vorgenommen wurde.

Die Erdungsstromanteile werden in einen Real- und einen Imaginärteil zerlegt, womit eine vektorielle Summation der Teilströme ermöglicht wird. Als Realteil wird die mit dem eingespeisten Erdschlussstrom in Phase liegende Stromkomponente bezeichnet; der Imaginärteil stellt dann die gegenüber dem Erdschlussstrom um 90° verschobene Komponente dar.

Messung von Strömen in Erdseilen mittels Magnetfeldmessung

Für die Bestimmung von Erdstromanteilen, welche über das Erdseil von Freileitungen abfliessen, kann die magnetische Flussdichte B gemessen werden. Diese «indirekte» Erfassung der Erdseilströme I_T hat den Vorteil, dass die Ströme in den oft schwer zugänglichen Erdseilen ohne Mastbesteigungen mittels einer Schleifenantenne vom Boden aus bestimmt werden können. Da der eingespeiste Strom (≈ 70 Hz) sich in der Frequenz vom Netzbetriebsstrom unterscheidet, können die Magnetfelder, welche der Netzbetriebsstrom verursacht, durch Filterung unterdrückt werden.

Das Prinzip der «indirekten» Erdleiterstrommessung ist in Bild 10 dargestellt. Der Erdseilstrom I_T verursacht eine magnetische Flussdichte B, welche in der Schleifenantenne eine Spannung U_{ind} induziert. Nach Verstärkung und zeitlicher Integration des induzierten Spannungsverlaufs erhält man ein Signal U_{mess}, welches sich proportional zu dem im Erdseil fliessenden Strom und umgekehrt proportional zum Vertikalabstand d verhält.

Der verwendete Integrator wurde so kalibriert, dass der zu messende Strom I sehr einfach aus folgender Beziehung ermittelt werden kann:

$$I_T[\mathrm{A}] = U_{mess}[\mathrm{V}] \cdot d\,[100\mathrm{m}] \qquad (4)$$

Werden für diese Messmethode Einfangverstärker (Synchrongleichrichter) benutzt, so lassen sich über die magnetische Flussdichte auch sehr kleine Erdseilströme im mA-Bereich messen, selbst wenn die Freileitung in Betrieb steht.

Nullimpedanz der zur Erdschlusseinspeisung verwendeten Leitung

Mit der Messanordnung gemäss Bild 1 kann im weiteren auch die Nullimpedanz Z_0 eines Leitungssystems ermittelt werden. Dazu werden Betrag und Phase der treibenden Spannung U_0 und des Messstromes I_M oder des Erdschlussstromes I_E bestimmt. Allgemein ergibt sich die Nullimpedanz pro Phase aus:

$$Z_0 = U_0 / I_0 \qquad (5)$$

Bei einer Erdschlusseinspeisung über eine einphasige Leitung entspricht die Null-Komponente des Stromes I_0 dem Messstrom I_M. Werden für eine Messung die drei Phasen einer Leitung parallel geschaltet, so bekommt man bei $I_M = 3 \cdot I_0$:

$$Z_0 = 3\, U_0 / I_M \qquad (6)$$

Da die FKH bei Erdungsmessungen mit etwa 70 Hz arbeitet, muss der Imaginärteil der Impedanz Z_0 jeweils auf die Verhältnisse bei 50 Hz umgerechnet werden.

Schlussfolgerungen

Durch erweiterte Messmethoden und speziell entwickelte Messgeräte, insbesondere für die systematische Messung von Erdungsstromverteilungen, kann nebst den Wirkungen des Erdungsstroms im Erdreich auch der an Leiter gebundene Erdungsstrom untersucht und charakterisiert werden. Mit der für die Erdungsmessung versuchsweise eingerichteten Erdschlussschleife lässt sich mit den aufgezeigten Methoden eine eigentliche Erdschlussstrombilanz erstellen, womit alle Erdungsstromanteile quantifiziert werden können. Es können dadurch Fehler und Schwachstellen in der Erdungsanlage ausfindig gemacht werden. Die Stromverteilung gibt überdies nützliche Hinweise darüber, wo mit erhöhten Einwirkspannungen zu rechnen ist.

Es zeigt sich, dass bei allen Messungen der Unterdrückung von störenden Einkopplungen aus dem Anlagenbetrieb besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Es ist dabei insbesondere mit ohmschen und induktiven Einkopplungen – bei hochohmigen Messgeräten in Freiluftanlagen auch mit kapazitiven Einkopplungen – zu rechnen. Nach den Erfahrungen der FKH hat sich die Verwendung von Versuchsströmen mit von der Netzfrequenz abweichenden Frequenzen bewährt, da mit einfachen Filtern sehr hohe Unterdrückungsfaktoren für Störsignale erreicht werden können. Eine für diesen Zweck besonders leistungsfähige Filtermethode stellt die mit dem Versuchsstrom phasensynchrone Gleichrichtung (Lock-in-Technik, Einfangverstärker) dar.

Aus den im Kapitel über die grundsätzliche Problematik der Erdungsmessungen diskutierten prinzipiellen Problemen geht hervor, dass Erdungsmessungen keinen Anspruch auf hohe Genauigkeit erheben kön-

nen, da ein erheblicher Spielraum in der Anwendung der Messverfahren und der Interpretation besteht. Es kann auch nicht das Ziel einer Erdungsmessung sein, ein scharfes Kriterium für «ausreichend» oder «ungenügend» aufgrund einiger weniger Messwerte zu liefern. Die Schwierigkeiten hängen vor allem auch damit zusammen, dass im Rahmen einer Erdungsmessung ein Erdschluss nicht realistisch genug simuliert werden kann. Die Erdungsstromverteilung hängt stets empfindlich von der Wahl der Leitung ab, über welche der versuchsmässige Erdschlussstrom eingespeist wird. Einen wichtigen Faktor in diesem Zusammenhang stellt der bei Wechselstrom stets vorhandene Stromverdrängungseffekt dar, welcher eine stark asymmetrische Strom- und Potentialverteilung im Erdreich erzeugt.

Die Verfahren zur messtechnischen Untersuchung von Erdungssystemen müssen deshalb in Zukunft so gewählt werden, dass möglichst wenig Spielraum für die daraus hervorgehenden Resultate entsteht. Um die Reproduzierbarkeit der Untersuchungsergebnisse an Erdungssystemen zu verbessern, wäre eine Standardisierung der Messmethoden zum Beispiel über die Schaffung einheitlicher Empfehlungen für die Durchführung von Erdungsmessungen sehr zu begrüssen.

Verdankung

Der Autor dankt allen beteiligten FKH-Mitarbeitern für die geleistete Arbeit im Zusammenhang mit den beschriebenen Messmethoden und Ergebnissen. Besonderer Dank gilt Herrn Dr. *Th. Aschwanden* für wichtige Anregungen und Ergänzungen zu diesem Artikel.

Literatur

[1] SEV-Regel 3569-1.1985: Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen, Teile 1–3.

[2] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung) vom 30. März 1994.

[3] Erdungen in Starkstromnetzen. Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke m.b.H. – VDEW, Frankfurt am Main; 3. Auflage, 1992.

[4] *J. Wiesinger* und *P. Hasse:* Handbuch für Blitzschutz und Erdung. VDE-Verlag GmbH, Berlin, 1982.

[5] *F. Schwab:* Erdungsmessungen in ausgedehnten Anlagen. Bull. SEV/VSE 71(1980)4, S. 174.

[6] *R. Hoffmann:* Neues Messverfahren zur Eliminierung von Fremd- und Störspannungen bei Beeinflussungs- und Erdungsmessungen. Elektrizitätswirtschaft 91(1992)22, S. 1455–1462.

[7] *W. Koch:* Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV, Berechnung und Ausführung. Springer-Verlag, 2. Auflage, Berlin, 1955.

La technique de mesure dans le contrôle des grandes installations de mise à la terre

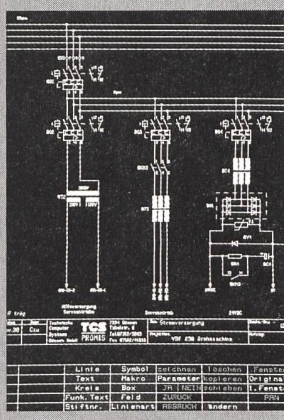
Cet article décrit le problème de l'examen expérimental de grands systèmes de mise à la terre d'installations à haute tension en partie très diverses, et décrit les méthodes de mesure appliquées. En vue d'assurer l'application des exigences relatives à la sécurité des personnes, il suffit en général de saisir les tensions en présence ou de déterminer la tension de mise à la terre d'une installation. On verra cependant que la saisie systématique de la répartition des courants de terre permet en outre d'obtenir d'utiles renseignements sur la situation et l'état de mise à la terre d'une installation à haute tension.

Wie Sie automatisch zu besseren Schaltplänen kommen

Ganz einfach – mit Promis, dem CAE-System der TCB AG. Denn Promis verknüpft und überwacht grafische und logische Informationen, erstellt Schaltpläne, liefert Dokumentationsunterlagen und gibt automatisch Klemmenpläne, Schaltschrank-Layouts und Stücklisten aus. Und das auf einer breiten Hardware-Plattform, sowohl unter UNIX wie auch unter MS-DOS/WIN. Dabei spielt es keine Rolle, ob Sie nach europäischen oder US-Normen arbeiten.

Kein Wunder, denn Promis basiert auf den Erfahrungen von Experten. Interessiert? Dann schreiben Sie uns.

Technische Computer Systeme
Buchs AG, Fabrikstr. 19, CH-9470 Buchs
Telefon 0 81/7 56 52 59, Fax 0 81/7 56 29 37



promis
DAS CAE-SYSTEM FÜR DIE ELEKTROTECHNIK.

NIV-Mess-Seminare
des Starkstrominspektorates

– für Betriebselektriker
– für dipl. Elektromeister
– für Elektrokontrolleure

Die NIV verlangt eine Schlusskontrolle für Installationen vor deren Inbetriebnahme.

Im Seminar wird auf wichtige Punkte eingegangen:

– **wer** hat zu messen – Pflichten und Verantwortung
– **was** ist zu messen
– **wo** liegen die Tücken der Messungen
– **wie** ist das Messprotokoll zu erstellen

Das eintägige Seminar informiert

Auskünfte: Starkstrominspektorat
Abt. SLQ, Herr P. Häderli

Tel. 01/ 956 12 12
Fax 01/ 956 12 22

Séminaires de mesure OIBT
de l'Inspection des installations à courant fort

– pour électriciens d'exploitation
– pour installateurs électriciens diplomés
– pour contrôleurs d'installations électriques

L'OIBT exige un contrôle complet des installations avant la mise en service.

Le séminaire d'une journée vous informe sur:

– qui doit mesurer: devoirs et responsabilités
– que faut-il mesurer
– comment mesurer et interpréter les résultats
– comment remplir le protocole de mesure

Renseignements: Inspection Suisse Romande

Tél. 021/ 312 66 96
Fax 021/ 320 00 96