

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 39 (1948)
Heft: 3

Artikel: Schutz-, Betriebs- und Sondererdungen als Schutzmassnahmen in den elektrischen Erzeugungs- und Verteilanlagen
Autor: Sibler, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059256>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Schutz-, Betriebs- und Sondererdungen als Schutzmassnahmen in den elektrischen Erzeugungs- und Verteilanlagen

Mitgeteilt vom Starkstrominspektorat (F. Siblinger)

621.316.99(494)

Die Bestimmungen der bundesrätlichen Starkstromverordnung vom Jahre 1933 über die Schutzmassnahmen in den elektrischen Erzeugungs- und Verteilanlagen werden näher erläutert und insbesondere jene Sonderfälle behandelt, die öfters zu Rückfragen an das Starkstrominspektorat führen, weil über die Auslegung der einschlägigen Bestimmungen Unklarheit herrscht. Ein generelles Schema zeigt ausserdem die in Transformatorstationen erforderlichen Erdungen.

Cette communication précise certaines dispositions de l'Ordonnance fédérale sur les installations à fort courant de 1933, relatives aux mesures de protection à appliquer dans les installations de production et de distribution d'énergie électrique, et s'occupe notamment des cas spéciaux, qui donnent souvent lieu à des divergences dans l'interprétation du texte des prescriptions et à des demandes de renseignements auprès de l'Inspectorat des installations à courant fort. Un schéma de principe indique les mises à la terre qui doivent être prévues dans les postes de transformation.

Für jeden Betriebsinhaber einer elektrischen Anlage, der seine Einrichtungen betrieb- und unfallsicher ausführen will, ist es wichtig, dass auch die Schutzmassnahmen, vor allem die Erdungen, den einschlägigen Vorschriften entsprechen und möglichst wirksam sind. Gewiss sind, wenn Unfälle verhütet werden sollen, in erster Linie die elektrischen Installationen und Apparate zuverlässig auszuführen; sie dürfen an zugänglichen Stellen, besonders in den Installationen der Abonnenten, keine blanken Teile aufweisen und müssen den grundlegenden Sicherheitsanforderungen genügen. Aber auch wenn die Apparate nach den letzten Errungenschaften der Technik gebaut sind, lässt sich nicht vermeiden, dass durch Isolationsdefekte oder atmosphärische Einwirkungen Gefahren auftreten. Für diese Fälle enthalten sowohl die bundesrätliche Starkstromverordnung vom 7. Juli 1933, als auch die im Jahre 1927 neu bearbeiteten und seither wiederholt ergänzten Hausinstallationsvorschriften des SEV (HV) Bestimmungen über die Schutzmassnahmen.

Als wichtigste Schutzmassnahme darf wohl die Erdung der verschiedenen Anlageteile gelten, die verhindern soll, dass bei Isolationsdefekten irgendwelche Anlageteile, die im normalen Betriebszustand spannungslos sind, gefährliche Berührungsspannungen annehmen. Diesen Zweck erfüllt die Schutzerdung der Eisengestelle und metallenen Apparategehäuse in den Transformatorstationen, sowie die Apparateerdung bzw. -nullung in den Hausinstallationen. Ausserdem sollen atmosphärische Ueberspannungen, von Blitzschlägen oder statischen Aufladungen verursacht, durch Ueberspannungsableiter und ihre Betriebserdung möglichst unschädlich gemacht werden. In den Niederspannungsnetzen hat die direkte Erdung des Sternpunktes (Sondererdung) den Zweck, die Anlagespannung gegen Erde zu verringern und auf allen Polleitern

des Verteilnetzes die gleiche Spannung gegen Erde festzuhalten, d. h. zu verhüten, dass sich das Potential einzelner Polleiter über die normale Sternspannung hinaus erhöht.

Schon diese wenigen Streiflichter zeigen, dass das Gebiet der Erdungen in Starkstromanlagen weit-schichtig ist. Wir verzichten aber im folgenden darauf, auch die Erdungen der elektrischen Apparate und Energieverbraucher in den Verbraucheranlagen zu behandeln, da die Schutzmassnahmen in Hausinstallationen schon in einer früheren Veröffentlichung ausführlich erörtert wurden¹⁾.

Die folgenden Ausführungen werden sich daher auf die in den Erzeugungs- und Verteilanlagen erforderlichen Erdungen, die durch die Bestimmungen der Starkstromverordnung vom Jahre 1933 (StV) gefordert werden, beschränken.

1. Erdungen in Kraftwerken und Transformatorstationen

In Transformatorstationen, sowie teilweise auch in Erzeugungsanlagen, kommen in der Regel alle drei in Art. 12 StV genannten Erdungen, nämlich Schutz-, Betriebs- und Sondererdungen vor. Bei diesen Begriffen sind, wie die bisherige Erfahrung zeigt, leicht Missverständnisse und Verwechslungen möglich, besonders in bezug auf die Ausdrücke «Betriebserdung» und «Sondererdung». So stösst man z. B. oft auf die Auffassung, die Erdung des Niederspannungssternpunktes sei eine Betriebserdung. Diese Auffassung ist irrtümlich; Betriebserdungen finden sich in der Regel lediglich bei den Hochspannungs-Ueberspannungsableitern (Art. 15 StV), während es sich bei der direkten Erdung der Niederspannungssternpunkte um Sondererdungen (Art. 17, Ziff. 2, StV) handelt.

¹⁾ Brentani, D.: Erdung und Nullung als Schutzmassnahmen in Hausinstallationen. Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 25, S. 754...766.

a) Die Schutzerdung

Die Schutzerdung muss, wie in Art. 13 StV gesagt ist, in Hochspannungseinrichtungen verhindern, dass beim allfälligen Stromübertritt auf Anlage-teile, die normalerweise spannungslos sind oder unter ungefährlichen Spannungen stehen, zwischen diesen und andern leitenden Teilen, die sich in Hand- und Fussreichweite befinden und normalerweise ebenfalls spannungslos sind, gefährliche Potentialdifferenzen auftreten können. Im Gegensatz zu früher, wo die Metallteile der Hochspannungsanlage und jene der Niederspannungseinrichtungen meistens getrennt geerdet wurden, kennt man seit Inkrafttreten der Starkstromverordnung vom Jahre 1933 in Transformatorstationen nur noch eine einzige Schutzerdung, die alle Apparategestelle, Gehäuse von Transformatoren und Apparaten, sowohl auf der Hoch-, als auch auf der Niederspannungsseite umfassen muss. Diese Lösung hat den grossen Vorteil, dass zwischen den einzelnen Gestellen keine Potentialdifferenz entsteht, auch wenn einmal die Schutzerde eine Spannung von einigen Hundert Volt gegen die neutrale Erde der Stationsumgebung annimmt, wie das vor allem bei einem doppelpoligen Erdschluss auf der Hochspannungsseite vorkommen kann. Durch den Zusammenschluss aller Metallteile bleibt diese Potentialerhöhung innerhalb der Station selbst ungefährlich, weil sie überall gleich gross ist. Sie könnte höchstens an eisernen Eingangstüren, die mit der Schutzerde verbunden sind, dann gefährlich werden, wenn versucht würde, die Türen ausserhalb der Station vom Erdboden, also von einem Standort mit anderem Potential aus zu öffnen. Aus diesem Grund erachtet es das Starkstrominspektorat als vorteilhafter, metallene Eingangstüren von Transformatorstationen gar nicht zu erden, immerhin vorausgesetzt, dass keine spannungsführenden Leitungen in der Nähe sind, die bei einem Leiterbruch die Türen berühren und unter Spannung setzen können. Welche Konstruktionsteile im übrigen mit der Schutzerde zu verbinden sind, geht aus dem Wortlaut von Ziff. 2 in Art. 13 StV hervor. Auch das Erdungsschema Fig. 1 gibt hierüber Aufschluss.

Wie bereits erwähnt, sollen metallene Eingangstüren von Transformatorstationen in der Regel nicht mit der Schutzerde der Eisengestelle verbunden werden. Eine weitere Ausnahme besteht für die metallenen Konstruktionsteile von allfälligen Stromwandlern auf der Niederspannungsseite von Transformatoren, für Niederspannungszähler, -Schaltuhren und -Messinstrumente, während bei der Messung des Energieverbrauches auf der Hochspannungsseite die Erdungsbestimmungen eindeutig sind. Sind Hochspannungsmesseinrichtungen vorhanden, so müssen sowohl die Gehäuse der Messwandler, als auch ein Punkt der Meßstromkreise an die Schutzerde angeschlossen sein. Befinden sich aber in einer Transformatorstation Niederspannungszähler, so werden, selbst wenn es sich um Stromwandlerzähler handelt, doch wenigstens die Spannungsspulen direkt aus den Niederspannungsstromkreisen gespiesen. Da nun die Zähler, soweit

es sich nicht um Sonderausführungen handelt, nicht für 4000 V Prüfspannung gebaut sind, sondern nur für 2000 V, dürfen ihre Metallgehäuse keinesfalls mit der Schutzerde verbunden sein, sondern müssen mit einer genügenden Zwischenisolation auf schutzgeerdete Eisengestelle aufgeschraubt werden. Grundsätzlich ist nämlich dafür zu sorgen, dass auch durch Niederspannungsmessinstrumente und -Schaltappa-

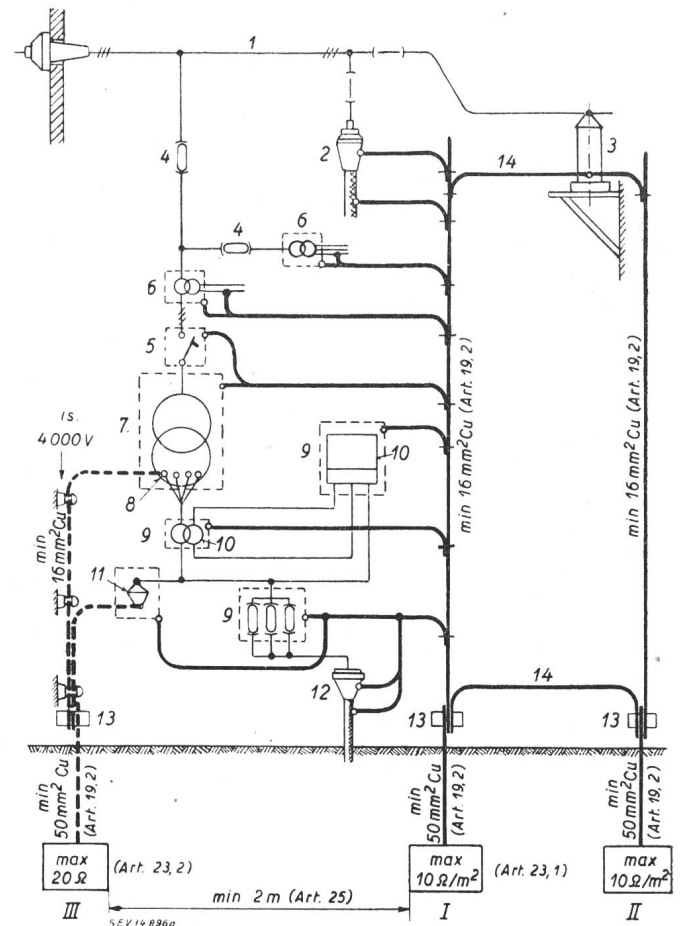


Fig. 1

Schema der Erdungen in Transformatorstationen

1 Hochspannungsfreileitung; 2 Hochspannungskabel mit metallenen Endverschluss; 3 Hochspannungs-Überspannungsableiter; 4 Sicherungen für Transformator- und Spannungswandlerschutz; 5 Hochspannungsschalter mit allpoligem Ueberstromschutz, sofern dieser nicht durch Sicherungen gewährleistet ist (Art. 64 StV); 6 Hochspannungsmesswandler; 7 Leistungstransformator; 8 Niederspannungsternpunkt an isolierter Sondererde; 9 Schutzgeerdete Niederspannungsverteiltafeln; 10 Niederspannungs-Stromwandler, -Zähler, usw., für 4000 V isoliert montiert; 11 Niederspannungs-Überspannungsableiter (Eigenisolation 4000 V); 12 Niederspannungskabel mit metallenen Endverschluss; 13 Trennstellen der Erdleitungen für Kontrollzwecke (Art. 19, Ziff. 4); 14 Zusammenschluss der Betriebs- und Schutzerdungen (Art. 16, neue Fass.).

— Unisolierte Betriebs- und Schutzerdleitungen
 - - - Für 4000 V isoliert verlegte Sondererdleitung des Niederspannungsternpunktes

I Schutzerdelektrode (Art. 13) } in Stationen bis 300 kVA zu einer vereinigt
 II Betriebserdelektrode (Art. 15) } (Art. 22, Ziff. 3)
 III Elektrode der Sternpunktsondererde (Art. 17 und 26)
 Elektrodenart und -oberflächen s. Art. 21...25.

rate (Tarifumschaltuhren, Strassenlampenautomaten und dgl.) die Mindestisolation für 4000 V, die in Transformatorstationen zwischen dem Niederspannungsnetz und den übrigen Anlageteilen verlangt wird, keine Beeinträchtigung erfährt. Nur für

Apparate, die eine 4000 V Prüfspannung entsprechende Isolation besitzen, ist die direkte Befestigung auf den Eisengestellen und damit die Schutz Erdung zulässig. Die Gehäuse von gewöhnlichen Niederspannungszählern, -Schaltuhren und -Kontrollinstrumenten, deren Bauart dieser Isolationsanforderung nicht entspricht, sind dagegen zu nullen, sofern nach den gegebenen Verhältnissen eine Erdung überhaupt nötig ist.

Art. 14 StV bestimmt sodann, dass die Schutz Erdungen blank zu verlegen sind, nicht isoliert befestigt werden dürfen; daher ist es zweckmässig, sie auf Eisendübeln anzubringen. In den zugehörigen Erläuterungen ist ferner noch ausdrücklich gesagt, dass bei an die Schutz Erdung angeschlossenen Schaltgeräten kein besonderer Erdungsanschluss für die darauf montierten Apparate erforderlich ist, wenn alle Teile des Gestelles ein metallisch zusammenhängendes Ganzes bilden. Es ist also in solchen Fällen nicht nötig, die kupferne Erdleitung direkt zu jedem elektrischen Apparat zu führen.

b) Die Betriebserdung

Unter Betriebserdung ist nach Art. 15 StV eine Erdung verstanden, die u. a. den Zweck hat, Ueberspannungen, die die Anlage gefährden könnten, unschädlich zu machen. Die Betriebserde umfasst in den gewöhnlichen Transformatorstationen die Ueberspannungsableiter auf der Hochspannungsseite (früher die Blitzhörner mit Wasserwiderständen, heute die modernen Ueberspannungsableiter) und in Einzelfällen die Erdungstrenner von Freileitungen mit Erdseil. Bis Ende 1943 galt die Bestimmung, dass die Betriebserde isoliert und bis zum Austritt aus dem Gebäude von der Schutz Erde getrennt verlegt werden müsse; die Erdungsstellen der Schutz- und Betriebserdung waren aber schon damals beim Austritt aus dem Gebäude dauernd zuverlässig und gutleitend miteinander zu verbinden (Art. 20, Ziff. 2, StV).

Die Forderung einer getrennten, isolierten Betriebserdung wurde später auf Grund neuerer Forschungsergebnisse durch den Bundesratsbeschluss vom 29. Dezember 1943 fallen gelassen²⁾. Heute ist es nötig, die Ueberspannungsableiter nicht nur an die Betriebserdung anzuschliessen, sondern ausserdem auf dem kürzesten Weg mit den schutzgeerdeten Anlageteilen zu verbinden. Auf diese Weise will man bewirken, dass die Ueberspannungsableiter den schwächsten Punkt der Hochspannungsanlage darstellen. Verbindet man nämlich Isolatorenstützen und Eisengestelle mit der Betriebserdung, so wird erreicht, dass auch beim Ableiten von steilen Wanderwellen keine Potentialdifferenz zwischen der Betriebserdung und den schutzgeerdeten Apparaten entstehen kann.

Wenn in einer Transformatorstation Ueberspannungsableiter eingebaut werden, so müssen von diesen weg bis zur Erdungsstelle immer zwei unisolierte Erdleitungen geführt werden, die indessen in ihrem Verlauf gegenseitig verbunden sein dürfen. Es geht dies eindeutig aus Ziff. 4 von Art. 16 im ge-

nannten Bundesratsbeschluss hervor. Dort ist aber ausserdem gesagt, dass, wenn mindestens zwei den Bedingungen von Art. 19 StV entsprechende Stromwege zur Erdungsstelle vorhanden sind, von weiteren Erdleitungen für Ueberspannungsableiter abgesehen werden darf. Die gleichen Vorschriften gelten im übrigen auch für Ueberspannungsableiter, die an der Aussenwand einer Station montiert werden.

Schutz Erdung und Betriebserdung sind gemäss der neuen Bestimmung beide nur noch unisoliert zu verlegen. Handelt es sich indessen um eine alte Station, wo die Betriebserdung bis zum Austritt aus dem Gebäude isoliert verlegt und getrennt geführt ist, so genügt es, sowohl bei den Ueberspannungsableitern, als auch beim Gebäudeaustritt beide Erdleitungen einfach miteinander zu verbinden; vorhandene Isolatoren der Betriebserdung brauchen dagegen nicht unbedingt entfernt zu werden. Wichtig ist nach den heutigen Vorschriften nur, dass wenigstens zwei parallele Stromwege von den Ueberspannungsableitern zur Erde vorhanden sind.

c) Die Sondererdung

Als dritte Erdung findet sich in den Transformatorstationen die Sondererdung der Systemnullpunkte in Wechselstromniederspannungsanlagen. Art. 26 StV bestimmt, dass die Systemnullpunkte durch isolierte Sondererdungen (Art. 17 und 18 StV) direkt zu erden sind. Wie bereits erwähnt, soll damit erreicht werden, dass auch bei Erdschluss auf keinem Polleiter eine erhöhte Spannung gegen Erde auftritt; in 220/380-V-Normalspannungsnetzen sollen z. B. die einzelnen Polleiter möglichst auf ihrer normalen Spannung von 220 V gegen Erde bleiben und damit keine erhöhte Gefahr eintreten, wenn ein geerdeter Apparat in den Hausinstallationen einen Isolationsdefekt erleidet. Die Systemnullpunkte (normalerweise die Erdung des Sternpunktes) muss in Transformatorstationen isoliert verlegt werden, weil die schutzgeerdeten Anlageteile unter ungünstigen Umständen ein Potential von einigen 100 V gegen Erde annehmen können.

Es genügt nun aber nicht, wenn nur die Sondererdung des Sternpunktes isoliert verlegt wird. Die gleiche Forderung, die bereits im Abschnitt über die Schutz Erdung für die Niederspannungszähler und andere Kontrollapparate aufgestellt wurde, gilt selbstverständlich auch für die Beleuchtungseinrichtungen der Transformatorstation selbst. Für diese Lichtleitungen sowie für die Niederspannungsmessleitungen ist sie leicht einzuhalten, wenn Gummischlauchleiter oder Drähte mit thermoplastischer Isolation verwendet werden; ihre Isolation darf indessen nicht durch Schalter und Zähler, die direkt auf die schutzgeerdeten Gestelle montiert sind, beeinträchtigt werden. Beim Bau von Transformatorstationen müssen also stets alle Niederspannungsstromkreise und alle zugehörigen Apparate gegenüber den schutzgeerdeten Anlageteilen für 4000 V Prüfspannung isoliert werden.

Mit dieser Forderung stimmt der im Bundesratsbeschluss vom 29. Dezember 1943 festgelegte neue

²⁾ vgl. Bull. SEV Bd. 35(1944), Nr. 1, S. 32.

Text von Art. 17, Ziff. 2, StV überein, wonach an eine Sondererdung anzuschliessen sind: Die Schwachstrom- und Niederspannungsstromkreise, sowie ihre Ueberspannungsableiter, die über den Wirkungsbereich des Schutz- und Betriebserdungssystems einer Hochspannungsanlage in Gebäuden oder einem geschlossenen Freiluftkomplex hinausreichen, und ferner die Gehäuse der an solche Stromkreise angeschlossenen Apparate, sofern sie nicht für eine Prüfspannung von 4000 V isoliert sind. Auch die Ausgänge der Niederspannungs-Blitzschutzapparate müssen also mit der Sondererde des Sternpunktes verbunden sein. Werden diese Blitzschutzapparate direkt auf dem schutzgeerdeten Eisengestell befestigt, so setzt dies voraus, dass sie für 4000 V Prüfspannung gebaut sind, wie das bei den neuen Konstruktionen im allgemeinen der Fall sein dürfte.

In Ziff. 2 von Art. 26 StV heisst es sodann: Gehen von einer Transformatorenstation Niederspannungsleitungen wesentlich verschiedener Spannungen aus, so ist der Systemnullpunkt jedes dieser Niederspannungsnetze je an eine eigene Sondererde anzuschliessen. Es ist aber nirgends genau gesagt, was wesentlich verschiedene Spannungen sind. Das Starkstrominspektorat hat daher festgelegt, dass wesentlich verschiedene Spannungen vorliegen, sobald die Sternspannungen mehr als 50 V voneinander abweichen. Die Nullpunkte von Netzen mit 2×125 V Einphasenstrom und 3×250 V Drehstrom dürfen also mit der gleichen Sondererdung verbunden werden, wogegen die Sternpunkte von 220/380-V- und 500-V-Netzen getrennt zu erden sind. Näheres hierüber ist aus einer Veröffentlichung des Starkstrominspektorates ersichtlich³⁾.

Eine besondere Erdung der Niederspannungsternpunkte ist nach Ziff. 2 von Art. 13 StV dann nicht erforderlich, wenn die Niederspannungsstromkreise den Wirkungsbereich der Schutz- und Betriebserde nicht verlassen. Dies ist vor allem der Fall in Unterwerken und grösseren Kraftwerken mit Niederspannungstransformatoren, die nur für den internen Bedarf dienen. Hier ist es nicht nötig und auch nicht zweckmässig, die Niederspannungsternpunkte an eine isolierte Sondererde anzuschliessen; die Niederspannungsleitungen befinden sich durchwegs im Bereich der schutzgeerdeten Anlageteile; ihr Sternpunkt darf daher mit der allgemeinen Schutzerde verbunden, und die Gehäuse der Niederspannungsapparate dürfen ohne besondere Zwischenisolation direkt auf den schutzgeerdeten Gestellen befestigt werden.

Bei kleineren Werken kann dieser Fall z. B. in Transformatorenstationen für Pumpwerke eintreten. In einer solchen Transformatorenstation, die mit dem Pumpwerk im gleichen Gebäude untergebracht ist, wurde z. B. bei der Kontrolle festgestellt, dass im Gegensatz zu den vorerwähnten Ausnahmebestimmungen eine unisolierte Schutz- und eine

isolierte Sternpunkterde vorhanden waren, obwohl eine einzige Erde genügt hätte. In Wirklichkeit waren denn auch beide Erdungssysteme zusammengeschlossen, indem das Werk das schutzgeerdete Niederspannungsgestell ausserdem mit der Erdung des Niederspannungsternpunktes des Transformators verbunden hatte. Die vorhandene Anordnung musste also nicht geändert werden. Erst dann, wenn später eine Niederspannungsleitung aus der Transformatorenstation hinausgehen sollte, werden die Schutzerdung und die Sondererdung vollständig zu trennen sein, oder es muss die abgehende Niederspannungsleitung über einen Schutztransformator mit dem Uebersetzungsverhältnis 1 : 1 und einer Isolation für 4000 V Prüfspannung zwischen beiden Wicklungen ausgeführt werden.

Der gleiche Fall kann in Industrieanlagen vorkommen. Es gibt Fabriken, die für ihre Verbraucherinstallationen im gleichen Gebäude eine eigene Transformatorenstation besitzen. Im allgemeinen ist aber trotzdem der Zusammenschluss der beiden Erdungen nicht zu empfehlen, sofern man nicht über sehr gute Erdelektroden (Wasserversorgungsnetze) verfügt, da meistens der Bereich der schutzgeerdeten Anlageteile verlassen wird. Darum ist es zweckmässiger, die beiden Erdungen zu trennen und auch dort, wo ein gutes Wasserrohrnetz zur Verfügung steht, die Schutz- und Sondererden an zwei verschiedenen Stellen der Wasserleitung anzuschliessen, um Gefahren beim Unterbruch einer Erdleitung sicherer zu vermeiden.

2. Bemessung der Erdelektroden; Mindestoberflächen und zulässige Höchstwiderstände

(Art. 20...25 StV)

Querschnitte der Erdleitungen

(Art. 19 StV)

Für die Bemessung der Erdelektroden ist vor allem die Bestimmung von Ziff. 3 in Art. 22 StV wichtig, wonach in Transformatorenstationen bis 300 kVA installierter Leistung für die Schutz- und die Betriebserdung der Hochspannungsseite eine gemeinsame Erdelektrode von mindestens $0,5 \text{ m}^2$ wirksamer Oberfläche genügen kann, während Ziff. 1 die allgemeine Bestimmung enthält, dass die wirksame Gesamtoberfläche mindestens soviel m^2 betragen muss, als die Anlage Hochspannungssysteme besitzt.

Der höchstzulässige Widerstand der Schutzerdelektrode ergibt sich aus dem Wortlaut von Ziff. 1 in Art. 23 StV, wonach nämlich ein einpoliger Hochspannungserdschluss bei einem Erdschlußstrom von mindestens 5 A und 1 m^2 Elektrodenoberfläche keine grössere Spannungsdifferenz als 50 V zwischen Elektrode und neutraler Erde hervorrufen darf. Daraus ergibt sich für den Widerstand der Schutzerdelektrode in jenen Fällen, wo nach Ziff. 3 von Art. 22 StV eine Elektrode von $0,5 \text{ m}^2$ wirksamer Oberfläche genügt, ein zulässiger Höchstwert von 20 Ohm oder ganz allgemein von 10 Ohm pro 1 m^2 . Für die Sternpunkt-Sondererdung ist in Ziff. 2 von

³⁾ Verwendung von Leistungstransformatoren mit Anzapfungen für verschiedene Niederspannungen. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 10, S. 287...288.

Art. 23 StV festgelegt, dass ihr Widerstand höchstens 20 Ohm erreichen darf. Jedoch lässt sich, wie in den anschliessenden Erläuterungen der Starkstromverordnung gesagt ist, die Grösse der nötigen Elektrodenflächen für schweizerische Verhältnisse nicht zum voraus sicher angeben. Nach den dort angeführten Erfahrungswerten ist z. B. gegenüber Lehm als umgebendem Erdreich der Widerstand in Humus etwa 2-, in Sand 3- und in Kies 10mal grösser; Elektroden, die frei im Wasser liegen, ergeben eher noch eine grössere Verhältniszahl als 10 und sind deshalb zu vermeiden. Ueber das Material und die Ausführung der Elektroden gibt Art. 24 StV Auskunft.

Die besten Erdungsverhältnisse werden mit ausgedehnten Rohrnetzen von Wasserversorgungen erreicht. Immerhin beschränkt Ziff. 1 von Art. 21 StV aus Sicherheitsgründen die Erdungsanschlüsse an Wasserleitungen auf jene Fälle, wo der Widerstand des Rohrnetzes dauernd kleiner als 2 Ohm ist. Dies trifft im allgemeinen für Wasserleitungen ohne Isoliermuffen von einigen km Länge zu⁴). Es ist aber zu beachten, dass da, wo alle Erdungen an ein solches Rohrnetz angeschlossen werden, eine gemeinsame Rohrbride für die Schutz- und Betriebserde, sowie eine weitere Rohrbride in etwa 2 m Abstand für den Anschluss der Sternpunkt-Sondererde vorzusehen sind. An diesen zwei getrennten Anschlüssen muss festgehalten werden, weil eine Erdleitung einen Unterbruch erleiden kann und daraus die Gefahr entstehen würde, dass bei einem Hochspannungsübertritt auf die Schutz-erde die Hochspannung sich auf das Niederspannungsnetz übertragen könnte, wenn Schutz-, Betriebs- und Sternpunkterde gemeinsam zur gleichen Rohrbride geführt wären. Dies hindert aber nicht, dass da, wo die Wasserleitung nicht unmittelbar bei der Station zugänglich ist, beide Erdleitungen im gleichen Graben verlegt werden dürfen, sie müssen nur gegeneinander isoliert sein. Am besten ist es, sie möglichst zu distanzieren und als Sondererde ein für 4000 V Prüfspannung gebautes Kabel zu verwenden.

Dem Erdungswiderstand der Sternpunktsondererdung in den Transformatorstationen ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken, wenn im Verteilnetz für die angeschlossenen Apparate und Energieverbraucher als Schutzmassnahme die Erdung mit Hilfe künstlicher Erdelektroden (Schutzerdung) angewendet wird. Nach den grundlegenden Bestimmungen der Hausinstallationsvorschriften des SEV (§ 17, Ziff. 2) muss nämlich die Schutzerdung in den Hausinstallationen bewirken, dass beim Auftreten von Isolationsfehlern der defekte Anlageteil entweder durch das Schmelzen einer vorgeschalteten Sicherung innert einiger Sekunden (höchstens 5) selbständig abgetrennt wird oder dass am defekten Anlageteil keine höhere Spannung als 50 V bestehen bleibt. Früher begnügte man sich damit,

⁴) vgl. Ryf, W.: Erfahrungen mit der Erdung von Starkstromanlagen bei Verwendung isolierender Schraubmuffen in Wasserleitungsrohren. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 24, S. 701...709.

von den zu erdenden Apparaten eine Verbindungsleitung zu einer Erdplatte oder im besten Fall zu einer Wasserleitung zu erstellen. Wiederholt hat sich aber bei Unfällen an schutzgeerdeten Anlageteilen mit Isolationsdefekten gezeigt, dass die Erdungsanlage in Ordnung und die Unfallursache im ersten Moment unabgeklärt schien, besonders in früheren Jahren, wo die Anforderungen für eine gute Erdung noch nicht genügend bekannt waren. Die nähere Untersuchung dieser Unfälle zeigte aber fast durchwegs, dass die Apparateerdungen einen viel zu hohen Widerstand aufwiesen und darum keinen Schutz boten. Es genügt eben bei der Schutzerdung der Hausinstallationsapparate nicht, irgendeine Erdung zu erstellen, sondern sie muss auch den bereits genannten Bedingungen entsprechen. Das Schmelzen der Sicherung lässt sich bekanntlich bei der Schutz-erde nur erreichen, wenn sowohl der Transformator-Sternpunkt, als auch die schutzgeerdeten Anlageteile in den Hausinstallationen mit einem sehr guten Wasserleitungsnetz verbunden sind. Müssen andere künstliche Erdelektroden (Platten, Bänder, Rohre) verwendet werden, so ist dafür zu sorgen, dass keine höhere Berührungsspannung als 50 V bestehen bleibt. Grundsätzlich bedingt dies, dass man die Erdung des Sternpunktes mit den Objekterdungen der Abonnenten entsprechend abstimmt, wobei immerhin der Widerstand der Sternpunkterde 20 Ohm nicht überschreiten darf (Art. 23, Ziff. 2, StV). Handelt es sich z. B. um ein 220/380-V-Netz und soll keine Berührungsspannung von mehr als 50 V auftreten, so darf der Widerstand der Schutzerdungen in den Hausinstallationen nicht mehr als $\frac{1}{3}$ des Widerstandes der Sternpunkterde aufweisen. Ist also in einem solchen Netz eine Transformatorsternpunkterde von 15 Ohm vorhanden, so muss in den Hausinstallationserdungen ein Widerstand von mehr als 5 Ohm vermieden werden. Schliesst man den Sternpunkt an eine Wasserleitung von höchstens 2 Ohm an, dann dürfen auch in keiner Hausinstallation andere künstliche Erdelektroden, als die Wasserleitung benutzt werden. Für nähere Einzelheiten über die Anforderungen an gute Schutzmassnahmen in den Hausinstallationen sei auf die bereits erwähnte Veröffentlichung «Erdung und Nullung als Schutzmassnahmen in Hausinstallationen»⁵) verwiesen.

Im Zusammenhang mit diesen Erörterungen über die Bemessung der Erdelektrodenflächen und ihre zulässigen Widerstände sei noch erwähnt, dass in Transformatorstationen jede sichtbare und der Kontrolle zugängliche Erdleitung einen Querschnitt von mindestens 16 mm² aufweisen muss. Für jene Erdleiter, die nicht offen zu Tage liegen, erhöht sich dieser Mindestquerschnitt auf 50 mm² Cu entsprechend einem Draht von 8 mm Durchmesser (Art. 19 StV). Alle Erdleiter sollen ferner für die Kontrolle abgetrennt werden können, denn nach Art. 27 StV sind die Erdungsanlagen periodisch zu prüfen und ihre Übergangswiderstände festzustellen.

⁵) vgl. Fussnote 1.

3. Erdung von Kabelendverschlüssen beim Übergang von Freileitungen auf Kabelleitungen in Hochspannungsnetzen

(Art. 13, Erläuterung zu Ziff. 2, und Art. 107 StV)

Für Transformatorenstationen von industriellen Anlagen, die sich in Fabrikgebäuden befinden, und für andere gemauerte Stationen mit nur einem Stockwerk wird oft die Hochspannung unterirdisch mit Kabeln eingeführt, die von in der Nähe verlaufenden Freileitungen abgezweigt sind. Dabei tritt die Frage auf, ob der Kabelendverschluss auf dem Übergangsmast besonders zu erden ist, oder ob es genügt, ihn gutleitend mit dem Bleimantel des Kabels zu verbinden. Da Art. 13 StV ausdrücklich fordert, dass an die Schutzerde der Transformatorenstationen alle Bleimäntel anzuschliessen sind, kann für kurze Kabeleinführungsstücke auf eine besondere Erdung der Endverschlüsse auf den Übergangsmasten unter der Bedingung verzichtet werden, dass Endverschluss und Bleimantel miteinander gut leitend verbunden sind. Wegleitend sind dabei die Bestimmungen, dass der Kabelbleimantel in der Transformatorenstation zu erden und nur das Benützen der Eisenbandarmierungen als Erde verboten ist (Erläuterung zu Ziff. 2 von Art. 13).

Auf Kabelübergangsstangen muss vor allem das Auftreten von zwei verschiedenen Potentialen vermieden werden. Dies könnte aber bei einem Isolationsdefekt im Endverschluss der Fall sein, wenn der Kabelendverschluss für sich geerdet, Bleimantel und Kabelendverschluss dagegen voneinander isoliert wären. Besteigt dann ein Monteur für irgendeine Kontrolle eine solche Übergangsstange im Betriebszustand, so würde er sich einer Gefahr aussetzen, sobald er gleichzeitig den Bleimantel und den davon isolierten, mit einem Isolationsfehler behafteten Endverschluss berühren sollte. Beträgt jedoch die Länge des Kabels bis zur Transformatorenstation einige 100 m, so soll auf der Übergangsstange nicht nur der Bleimantel mit dem Endverschluss leitend verbunden, sondern ausserdem eine besondere Erdung angebracht werden, obwohl sich erfahrungsgemäss auf langen Kabelstrecken im Boden auch die umgebende Erde als Ableiter allfälliger Spannungen im Bleimantel auswirkt.

Für Tragwerke aus Eisen oder Eisenbeton verlangt Ziff. 1 von Art. 107 StV stets eine besondere Erdung. Auf solchen Tragwerken sollen auch die Kabelendverschlüsse und damit die Bleimäntel mit den geerdeten Tragwerkteilen metallisch verbunden werden.

4. Erdung der Antriebe von Hochspannungsfreileitungsschaltern

(Art. 107, Ziff. 5, StV)

Die bundesrätliche Starkstromverordnung bestimmt in Ziff. 5 von Art. 107, dass bei Freileitungsschaltern auf Holztragwerken entweder das Schaltgestell oder der Betätigungsmechanismus an Erde zu legen ist. Die Vorschriften überlassen es also dem Entscheid der Betriebsleiter, ob sie den oberen Teil, oder den davon durch Isolatoren im Antriebsgestänge elektrisch getrennten Handgriff an Erde le-

gen wollen. Die Anschauungen über die Zweckmässigkeit der beiden Erdungsarten sind verschieden. Im allgemeinen legen die Elektrizitätswerke den Betätigungsmechanismus (Handgriff) an Erde, weil eine grössere Betriebssicherheit gewährleistet ist. Auf Freileitungsschaltern können dann aber Beschädigungen von Isolatoren vorkommen, ohne dass sie sofort bemerkt werden. Dies hat u. U. zur Folge, dass der ungeerdete Schalterteil oberhalb der Trennisolatoren unter Spannung gegen Erde gelangt. Ein Monteur im Süden unseres Landes erlitt aus diesem Grunde einen Unfall, weil er eine Schalterstange bestieg, deren Zuleitung unter Spannung stand; als er über den Bereich der Trennisolatoren hinaufkam, berührte er mit dem Handrücken den oberen, unter Spannung stehenden Teil des Antriebsgestänges, während er mit den Steigeisen gleichzeitig den unteren, geerdeten Schalterantrieb umklammerte. In diesem Moment wurde er heftig elektrisiert und erlitt schwere Brandwunden, sowie, vom Zurückfallen, Schlagwunden am Kopf. Es zeigte sich, dass ein Isolator gerissen war und sich die Hochspannung auf das ungeerdete Schaltergestell übertragen hatte. Das Monteurpersonal muss sich daher, wenn es Schalterstangen besteigt, bewusst sein, dass der obere Teil des Gestänges ein Potential aufweisen kann, solange die Hochspannungsleitung nicht beidseitig des Schalters ausgeschaltet ist.

Ein besonderer Fall liegt dann vor, wenn auf einer Schalterstange auch Ueberspannungsableiter oder ein Kabelendverschluss vorhanden sind. Hier wird es zweckmässig sein, den oberen Teil des Schaltergestelles zu erden, und zwar zusammen mit dem Kabelendverschluss und dem Bleimantel des Hochspannungskabels. Die Erdleitung muss aber nicht nur der Stange entlang der Berührung entzogen, sondern auch ein beträchtliches Stück in den Erdboden hinein isoliert sein, um allfällige Schrittspannungen am Betätigungsort des Schalters zu vermeiden, oder dann zu einer benachbarten Stange gezogen und erst dort zur Erde geführt werden. Insbesondere wenn Ueberspannungsableiter mit der Schaltererdung zusammengeschlossen sind, darf der Übergangswiderstand der Erdelektrode 5 Ohm nicht überschreiten; andernfalls ist es nötig, die Erdleitung des oberen Schaltergestells und der Ueberspannungsableiter unbedingt zu einer andern Leitungsstange und von dort isoliert zur Erde zu führen.

Es sei noch beigefügt, dass selbstverständlich nie der obere und der untere Teil des Mechanismus eines Hochspannungsfreileitungsschalters mit der gleichen Erde verbunden werden dürfen, denn sonst werden ja die Trennisolatoren, die im Antriebsgestänge vorgeschrieben sind, zwecklos. Leider sind solche Fälle schon festgestellt worden.

5. Nullung der Bleimäntel und Endverschlüsse von unterirdischen Kabelanschlussleitungen in den Hausinstallationen

In Transformatorenstationen sind nach Art. 13 StV auch die Bleimäntel und Armaturen der ab-

gehenden Niederspannungskabel an die Schutz Erde anzuschliessen. Wiederholt ist nun schon dem Starkstrominspektorat die Frage vorgelegt worden, ob eigentlich nicht der Grundsatz einer vollständigen Trennung zwischen Niederspannungsstromkreisen und schutzgeerdeten Anlagenteilen durchbrochen werde, wenn man die gleichen Bleimäntel in den versorgten Liegenschaften, wenigstens in genullten Netzen, auch mit dem Netznullleiter verbindet, d. h. nullt. Diese Ueberlegung ist an und für sich richtig; trotzdem lassen sich aber Bleikabel ohne weiteres in den Transformatorstationen mit der Schutz Erde und in den Häusern der Abonnenten mit dem Netznullleiter verbinden, weil die Kabelmäntel im allgemeinen eine so gute Erdelektrode bilden, dass allfällige Potentialerhöhungen an der Schutz Erde der Transformatorstation in den Bleimänteln der abgehenden Kabel schon nach kurzen Strecken abklingen. Es ist dem Starkstrominspektorat kein Fall aus der Praxis bekannt, wo sich ein störungsbedingtes Potential an der Schutz Erdung der Transformatorstation über die Bleimäntel von im Erdboden verlegten Kabeln auf die Hausinstallationen übertragen hat, auch wenn hier die Kabel und ihre Armaturen genullt waren. Ein Abweichen

von der genannten Regel wird höchstens dort am Platze sein, wo sich in industriellen Betrieben oder dergl. die Niederspannungsverteilanlagen in einem von den Hochspannungsräumen vollständig getrennten, aber nur wenig entfernten Raum befinden und hier das Apparategestell, sowie die Apparate selbst genullt sind. Münden schutzgeerdete Niederspannungskabel aus der anstossenden oder doch nur wenig entfernten Transformatorstation in diesen Niederspannungsverteilknoten, so werden ihre Bleimäntel gegenüber den Kabelendverschlüssen und natürlich auch gegenüber dem genullten Eisengestell durch Teerband oder dergl. zu isolieren und nur die Kabelendverschlüsse zu nullen sein.

6. Schlussbetrachtungen

Wir haben uns darauf beschränkt, in erster Linie Erdungsfragen von allgemeiner Bedeutung zu behandeln, die in den Transformatorstationen und Verteilanlagen vorkommen. In grossen Kraftwerken und bedeutenden Hochspannungsunterwerken können allerdings weitere, besondere Erdungsprobleme auftreten. Für diese Fälle ist das Starkstrominspektorat gerne bereit, beim Entscheid über die nötigen Erdungen beratend mitzuwirken.

Beitrag zum Entwurf von Hochstrommaschinen

Von E. Dick, Gümligen

621.313.2

Der vorliegende Aufsatz stellt einen Beitrag zum Entwurf von vielpoligen Hochstrommaschinen grosser Leistung dar. Der Autor behandelt besonders die Probleme, die sich auf die Kommutierung bei gleichzeitig höchster Ausnützung des aktiven Materials beziehen. Die Ueberbeanspruchung der dem Netzanschlusspunkt nächstgelegenen Bürsten kann beseitigt werden, wenn das System der Sammelringe aufgegeben und der die Unsymmetrie hervorrufende Netzanschlusspunkt ausserhalb der Maschine derart angeordnet wird, dass dieser zentral zu den Anschlusspunkten der Bürstennachszweige zu liegen kommt.

Eine weitere nicht einwandfreie Schaltungsweise betrifft die übliche gegenläufige Serieschaltung der Wendepolwicklungen. Theoretisch einwandfrei wirkt die Einrichtung nur dann, wenn die Ankerwicklung ganz symmetrisch belastet ist. Treten aber Ungleichheiten auf, indem die Ankerstromzweige Ströme verschiedener Stärke führen, können die gleich stark erregten Wendepolwicklungen der verschiedenen Gegenfelder des Ankers zum Teil nicht mehr ausgleichen, was an bestimmten Bürsten Ueber- bzw. Unterkommütierung verursachen kann. Dieser Nachteil wird durch die im Aufsatz beschriebene Sektorenschaltung der Wendepol- und Kompensationswicklung beseitigt. Ausserdem ermöglicht die Sektorenschaltung, dass günstige, leicht bearbeitbare Leiterbänder für die Herstellung der Wicklungen verwendet werden können.

Einleitung

Bei Hochstrommaschinen bildet die Kommutierung wohl die grössten Schwierigkeiten. Diese sind auf die grossen Stromstärken pro Ankerzweig zurückzuführen, die in den kurzgeschlossenen Ankerwicklungen auftreten und kommutiert werden müssen. Bedenkt man ferner, dass Maschinen grosser Leistung eine der Polzahl entsprechende Zahl von Ankerstromzweigen aufweisen, die, um eine gleichmässige Stromverteilung auf die gleichnamigen

L'auteur traite des projets de machines multipolaires à forte intensité de grande puissance, notamment des problèmes que soulève la commutation lorsqu'il s'agit de tirer le maximum de rendement des matières actives. Le surcroît de sollicitation des balais les plus proches du point de raccordement au réseau peut être évité en renonçant au système des bagues collectrices et en disposant en dehors de la machine le point de raccordement au réseau qui provoque l'asymétrie, de telle manière que ce point soit situé centralement entre les points de raccordement des dérivations aux axes des balais.

Un autre couplage peu satisfaisant est celui qui consiste à coupler en série et en opposition les enroulements des pôles de commutation. En théorie, ce dispositif n'est parfait que si l'enroulement de l'induit est chargé d'une manière tout à fait symétrique. Dès que des inégalités se présentent, c'est-à-dire que des courants d'intensités différentes parcourent les voies d'enroulement, les champs de commutation ne peuvent plus compenser individuellement les champs antagonistes de l'induit, dont les intensités sont différentes, ce qui provoque une commutation trop forte ou trop faible dans certaines rangées de balais. Cet inconvénient est supprimé par le couplage à secteurs des enroulements des pôles de commutation et de compensation, décrit dans cet article. Ce couplage permet en outre d'utiliser des rubans conducteurs, qui facilitent la confection des bobinages.

Bürstennachsen zu erzielen, alle vom Zweigstrom gleicher Stärke durchflossen sein sollten, so erkennt man die Schwierigkeiten, die sich zur Erreichung dieses Idealzustandes ergeben. Ungleichheiten in der Herstellung der Maschine, als auch im aktiven Material sind stets im kleinern und grössern Mass vorhanden, z. B. Ungenauigkeiten der Nutteilung des Ankers, der Lamellentteilung des Kollektors, der Polteilung des Gehäuses, der Teilung der Bürstennachsen, allenfalls ungleicher Luftabstand, bzw. ex-