Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 48 (1957)

Heft: 25

Artikel: Probleme bei Schaltapparaten und Messwandlern im Zusammenhang mit der Koordination der Isolation

Autor: Scherb, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060634

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: 13.12.2025

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

48. Jahrgang Nr. 25 Samstag, 7. Dezember 1957

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

Probleme bei Schaltapparaten und Messwandlern im Zusammenhang mit der Koordination der Isolation

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV am 7. März 1957 in Bern,

von *E. Scherb*, Aarau

621.316.93 : 621.31.048

Die Koordination der Isolation in Hochspannungsanlagen bezweckt, diese bei gegebener Betriebssicherheit mit den wirtschaftlichsten Mitteln auszuführen. Die Regeln für die Koordination der Isolation des SEV (im folgenden Koordinationsregeln) enthalten die Anforderungen, die an das Material zu stellen sind, um eine zweckmässige Isolation zu erreichen. Diese Anforderungen betreffen in den neuen Koordinationsregeln im wesentlichen die Stosshaltespannung, die Minutenprüfung bei 50 Hz im trockenen Zustand und — bei Freiluftmaterial — die Minutenprüfung bei 50 Hz, im nassen Zustand; die sog. innere Koordination wird nicht mehr verlangt. Im folgenden sollen einige Probleme behandelt werden, die sich im Zusammenhang mit diesen Anforderungen bei Hochspannungsapparaten und Messwandlern stellen.

Hochspannungsapparate — Leistungsschalter, Lasttrenner, Trenner, Sicherungen, Stützer und Durchführungen — stellen, isolationstechnisch gesehen, verhältnismässig einfache Gebilde dar. Ihre Abmessungen werden meist durch die äussere Isolation bestimmt.

Die elektrischen Felder, denen wir bei den Apparaten begegnen, sind meist sehr ungleichförmig, von der Form, wie sie sich zwischen Spitze und Platte oder zwischen Spitze und Spitze einer Funkenstrecke ausbilden. Fig. 1a und 1b zeigen die Überschlagspannung bei 50 Hz bzw. bei positiven und negativen Stosswellen für beide Feldformen in Funktion der Schlagweite. Man sieht, dass vor allem für die Feldverteilung bei Spitze — Platte der Polaritätsunterschied der Stosswelle von grosser Bedeutung ist. Die Überschlagstoßspannung liegt bei positiven Wellen besonders tief gegenüber den negativen, was sich auf die Dimensionierung der Apparate besonders ungünstig auswirkt. Zur richtigen Bestimmung der Spannungen, welche für die Schlagweiten und dadurch auch für die Dimensionierung der Apparate ausschlaggebend sind, muss berücksichtigt werden, dass die von den Regeln verlangte Prüfspannung bei Stoss etwa 1,6mal höher ist als der Scheitelwert der verlangten 50-Hz-Prüfspannung. Zum besseren Verständnis ist in Fig. 1a die Vergleichskurve 3a mit dem 1,6fachen Spannungsmaßstab der 50-Hz-Kurve eingetragen. Daraus ist ersichtlich, dass die Überschlagdistanzen bei Innenraummaterial eindeutig durch die positiven Stosswellen bestimmt sind. Bei Freiluftmaterial dagegen kann auch die 50-Hz-Überschlagspannung unter Regen bestimmend sein, da diese nur etwa 70...80 % des Trockenwertes erreicht. Bei den Anforderungen nach den alten Koordinationsregeln wurde z. B. die Höhe der Freiluftisolatoren von Schaltern eindeutig durch die Prüfspannung von 50 Hz unter Regen bestimmt; nach den neuen Regeln dagegen, in denen der Stossprüfwert wesentlich höher angesetzt wurde, sind die Prüfstoßspannung und die Prüfspannung von 50 Hz unter Regen etwa gleich bestimmend für die Höhe der Isolatoren. Es ist also ein glücklicher Zufall, dass die Freiluftapparate, die den alten Koordinationsregeln entsprochen haben, im allgemeinen auch den neuen genügen werden. Für Innenraummaterial gilt dies natürlich nicht.

Wenn man also besonders Innenraumapparate klein dimensionieren will, so muss man trachten, die Feldform der Spitze — Platte zu vermeiden. Dies kann allerdings nicht immer erreicht werden, aber gewisse Möglichkeiten zur Verbesserung der Feldverteilung können trotzdem ausgenützt werden.

Gerade der Stützer, mit dem man es bei der Isolation gegen Erde meist zu tun hat, neigt zu der erwähnten ungünstigen Feldform. Doch hat man es hier in der Hand, durch Versenken der Elektroden in das Isoliermaterial die Feldverteilung günstig zu beeinflussen. Durch diese Anordnung kann die Überschlagstoßspannung bei positiver Welle erhöht, oder, was gleichbedeutend ist, der Stützer mit kleineren Dimensionen konstruiert werden (Fig. 2).

Ungesteuerte Durchführungen in Luft zeigen das gleiche Verhalten wie Stützer, solange keine Gleitfunken auftreten. Ist deshalb eine einfache glatte Durchführung richtig bemessen, d. h. stehen Flanschdurchmesser und Überschlagweiten im richtigen Verhältnis, so erreicht die Überschlagstossfestigkeit bei positiven Stosswellen ähnliche Werte

wie beim gewöhnlichen Stützer. Bei negativen Wellen liegt aber dann die Überschlagstoßspannung, abweichend vom Stützer infolge der einsetzenden Gleitüberschläge, nur wenig höher. Etwas günstigere Werte der Überschlagstoßspannung lassen sich erreichen durch Schirmbarrieren, besonders am

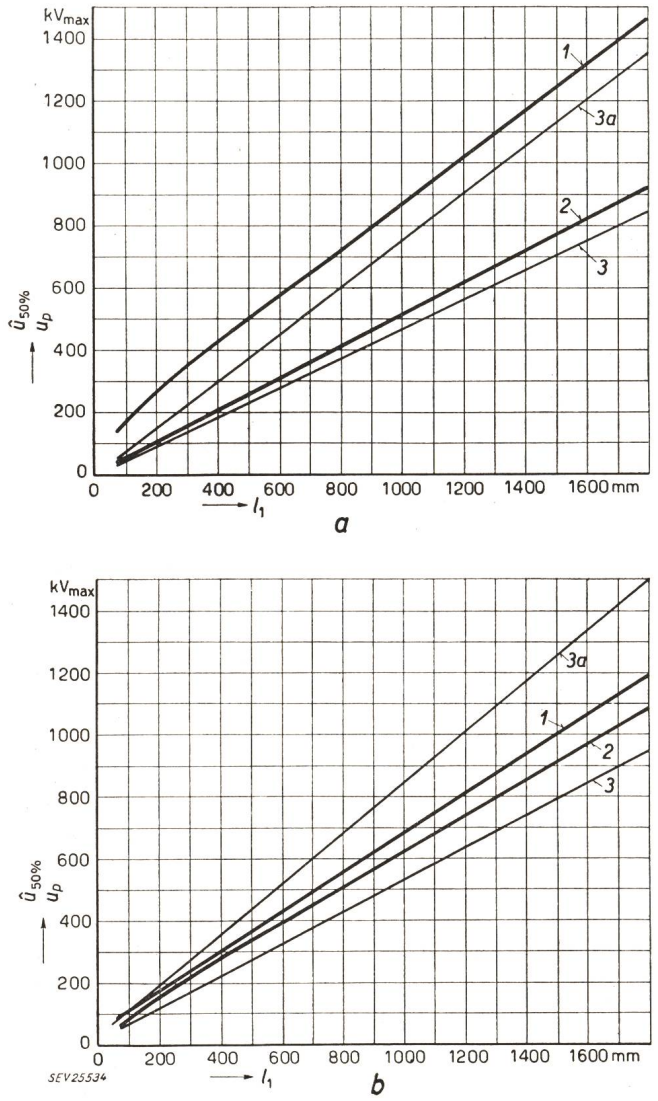

Fig. 1

50-%-Überschlagstoßspannung bzw. Überschlagspannung bei 50 Hz

l_1 Schlagweite; $\hat{U}_{50\,\%}$ 50-%-Überschlagstoßspannung, u_p Trockenüberschlag-Wechselspannung

3a Spannungsmaßstab: 1,6 × Spannungsmaßstab von Kurve 3

Flansch der Durchführung, oder noch besser durch gesteuerte Durchführungen, sei es durch Kondensatorbeläge oder vorgeschobene Elektroden im Innern des Isoliermantels. Die zweite Möglichkeit wird neuerdings z. B. bei den Giessharzdurchführungen mit Vorteil angewandt (Fig. 3).

Bei den Trennstrecken der Schalter können bezüglich Feldform alle Varianten vorkommen. Bei Leistungsschaltern hat man es meist in der Hand, durch geschickte Anordnung oder Verschieben der Elektroden im Isoliermedium, z. B. im Öl, die Feldform Spitze — Spitze und damit günstige Dimensionen und ziemlich ausgeglichene Polaritäten zu erreichen. Das gleiche gilt auch von den üblichen Freiluft-Höchstspannungstrennern, z. B. von Drehtrennern. Beim Innenraumtrenner üblicher Bauart, d. h. mit festem Kontakt und schwenkbarem Messer (Fig. 4), liegen die Verhältnisse leider ungünstiger, da hier eine ausgeprägte Feldform, wie sie sich zwischen Spitze — Platte einer Funkenstrecke ausbildet, vorliegt. Wird die Stoßspannung von der Mes-

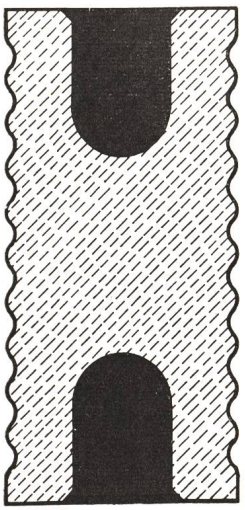

Fig. 2

Isolierkörper aus Porzellan für Stützer mit versenkten Elektroden

serseite her angelegt, so sind die Polaritäten noch ziemlich ausgeglichen. Wirkt sie aber von der Seite des festen Kontaktes her, so erreicht man bei negativen Stosswellen hohe, bei positiven ausgesprochen tiefe Überschlagwerte.

Die Regeln des SEV verlangen beim Trenner eine gewisse innere Koordination, so dass bei einer einfallenden Stosswelle ein allfälliger Überschlag nach Erde geht und nicht über den geöffneten Trenner, selbst wenn auf der anderen Seite die umgekehrte maximale Betriebspannung liegt. Um dies zu erreichen, dürfen nach den Regeln Funkenhörner am Trenner angebaut werden, deren Ansprechstoßspannung unter dem vorgeschriebenen Halteniveau liegen

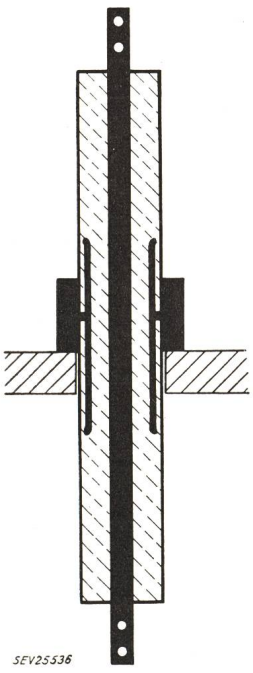

Fig. 3

Durchführung mit vorgeschobener Flansch-Elektrode

darf. Eine Koordination dieser Funkenstrecken mit dem Schutzniveau ist dann allerdings nicht mehr sicher garantiert. Insbesondere bei Innenraumtrennern ist deshalb darauf zu achten, dass ein allfällig an den Funkenhörnern entstehender Leistungslichtbogen nicht auf die Trennstrecke wandern kann, wodurch natürlich mit den Funkenhörnern gerade das Gegenteil von dem, was bezweckt war, erreicht würde.

Bei Leistungsschaltern wird eine Koordination zwischen der Trennstrecke und Erde nicht mehr verlangt, womit auch die Koordinationsfunkenstrecken wegfallen können.

Bei ganzen Anlagen, die keiner Stoßspannungsprüfung unterworfen werden, muss man natürlich für alle Abstände, ausser denjenigen der geprüften Apparate, die ungünstigste Feldverteilung voraussetzen. Es wäre noch darauf hinzuweisen, dass in

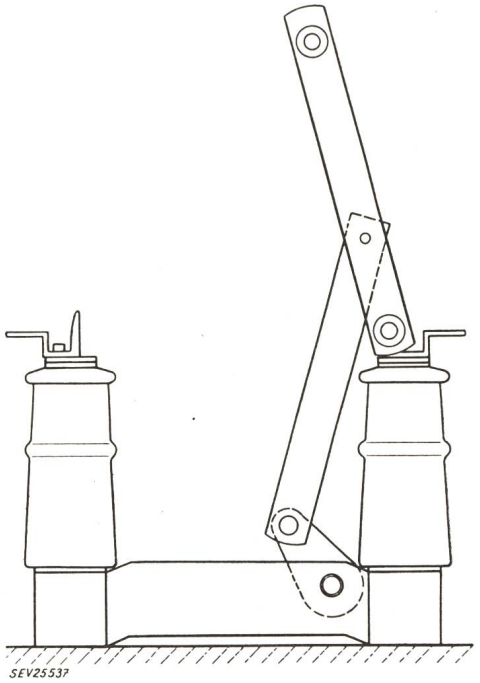

Fig. 4
Innenraum-Trennschalter

einer Anlage meistens viele Überschlagstrecken gegen Erde parallel geschaltet sind, wodurch, bei gleichem Halteniveau, Überschläge infolge Stoßspannungswellen eher nach Erde erfolgen werden, als über eine geöffnete Schaltstrecke.

Im Freien können die Isolationsbedingungen durch Regen, Schnee, Betauung und Verschmutzung der Porzellanoberfläche wesentlich verändert werden. Vor allem wird in solchen Fällen die 50-Hz-Überschlagspannung stark herabgesetzt, z. B. bei dem in den Regeln für die Koordination der Isolation vorgeschriebenen Regen auf ca. 70...80 %. Bei Stoßspannungswellen, besonders bei positiven, die ja in der Regel die Schlagweite bestimmen, ist der Einfluss des Regens usw. nur gering. Aus diesem Grunde verlangen die Koordinationsregeln eine Prüfung unter Regen nur bei der 50-Hz-Spannung.

Es scheint überraschend zu sein, dass es nicht gelingt, den Überschlag unter Regen durch entsprechende Schirmformen, Ausladung usw. zu verbessern. Praktisch sind aber solchen Verbesserungen enge Grenzen gesetzt. Schirmausladung und Schirmzahl können von einer gewissen minimalen Grenze an zwischen ziemlich weiten Grenzen variieren, ohne dass das Ergebnis stark geändert würde. Als Beispiel zeigt Fig. 5 die vom VDE genormten Schirmformen: *A* die gewöhnliche, auch in der Schweiz oft angewandte Ausführung, *B* diejenige eines Nebelisolators. Bei gleicher Schlagweite hat der Isolator nach *B* mehr Schirme, und diese haben auch eine etwas grössere Ausladung als jener nach *A*. Trotzdem ist die Überschlagspannung unter Regen bei beiden Isolatortypen etwa gleich hoch. Dies ist auch bei anderen Formen der Fall, solange das Verhältnis $l : a$ grösser als 1 und kleiner als 2,5 ist.

Anders verhält es sich mit der Verschmutzung. Dort hängt der Überschlag, bei sonst gleichen Bedingungen, von der Länge des Kriechweges ab. Die Regenprüfung sagt also für das Betriebsverhalten nicht alles aus. Kurve *3* in Fig. 5 gibt in Funktion der maximalen Betriebspannung die Schlagweiten bei Stützern an, wie sie sich aus den neuen Koordinationsregeln ungefähr ergeben. Die Werte stimmen übrigens ziemlich gut mit denen der alten VDE-Regeln überein. Die Kurven *1* und *2* der Fig. 5 geben die für die Ausführungen *A* und *B* den Schlag-

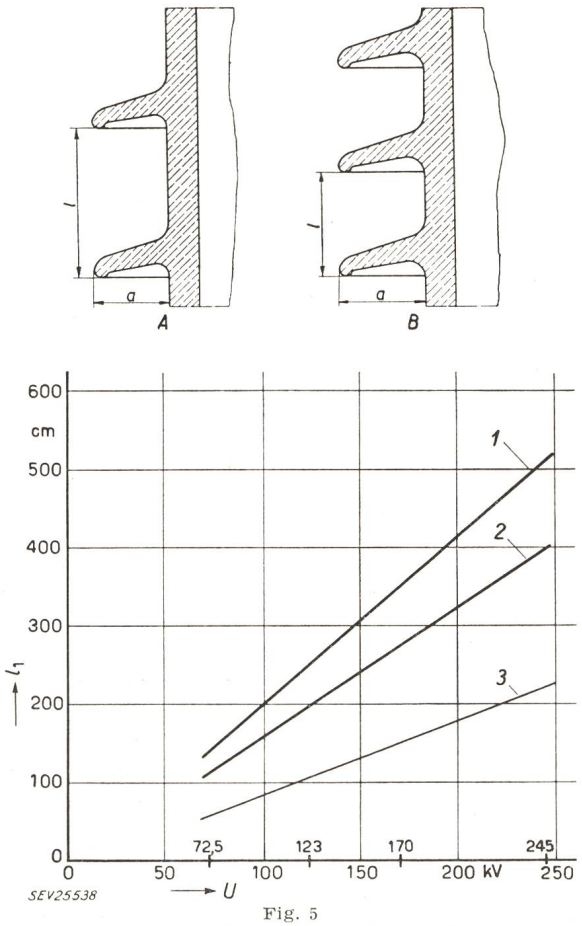

Fig. 5
Beispiel von Schirmformen (nach VDE)
A Normalisator $l/a = 2$; *B* Nebelisolator $l/a = 1{,}2$; l_1 Schlagweite bzw. Kriechweg; *U* höchste Betriebspannung; *1* Kriechweg von Nebelisolatoren nach *B*; *2* Kriechweg von Normalisolatoren nach *A*; *3* Schlagweite

weiten zugeordneten Kriechwege an, die für die Spannungsfestigkeit bei Verschmutzung massgebend sind. In der Schweiz spielt die Verschmutzung der Isolatoren keine grosse Rolle, weshalb Kurve *2* in der Regel zur Anwendung gelangt. In gewissen Industrie- und Küstengebieten des Auslandes hingegen vermögen Salz, Russ und andere Ablagerungen die Isolationsfestigkeit ganz empfindlich zu beeinflussen, so dass vor allem die 50-Hz-Überschlag-

spannung weit unter den Prüfwert bei Regen herabgesetzt wird. Es sind denn auch dort Bestrebungen im Gang, auch diese Beanspruchungen durch entsprechende Prüfmethoden zu erfassen, was jedoch in Anbetracht der Vielfältigkeit des Problems nicht leicht zu erreichen sein dürfte.

Im Gegensatz zu den Schaltapparaten stellt beim Messwandler die innere Isolation die grösseren Probleme. Das kommt in den Regeln dadurch zum Ausdruck, dass hier die Stoßspannungsprüfung ohne Reduktion auf atmosphärische Normalbedingungen auszuführen ist. Nach den Koordinationsregeln werden die Stromwandler den Transformatoren zugeordnet, d. h. die Stoßspannungsprüfung sieht 3 positive und 3 negative Stösse vor. Man kann sich fragen, ob dies ganz richtig ist, da ein Stromwandler, besonders für Höchstspannungen, heute nichts anderes als einen Kabelendverschluss darstellt, der wie Apparate mit 5 positiven und 5 negativen Stössen zu prüfen ist. Es ist auch die Primärwicklung bei der Prüfung kurz zu schliessen, so dass sich diese auf eine Prüfung des Dielektrikums gegen Erde reduziert. Die Stoßfestigkeit sollte deshalb für Stromwandler heute kein Problem mehr darstellen, um so weniger, als es sich hier um Serienfabrikate handelt, bei denen Entwicklungsversuche sorgfältig durchgeführt und allfällige Konstruktionsfehler ausgemerzt werden können. Bei den Stoßspannungsprüfungen lassen sich allfällige schädliche Entladeerscheinungen durch oszillographische Messungen während des Stosses kontrollieren. Messungen des Verlustfaktors vor und nach den Stossversuchen können ebenfalls wertvolle Hinweise geben, sind aber kein absolut sicheres Kriterium dafür, dass nicht ein lokaler Schaden entstanden ist.

Wenigstens bei Wandlern höherer Spannung werden in der Regel Vorkehren zur Steuerung des Feldes getroffen. Fig. 6 zeigt ein Beispiel, in welchem Steuerbeläge mit Ringen verwendet werden. Diese sind so angeordnet, dass sie das Feld sowohl in Öl, als auch längs des Porzellanmantels in der Luft steuern.

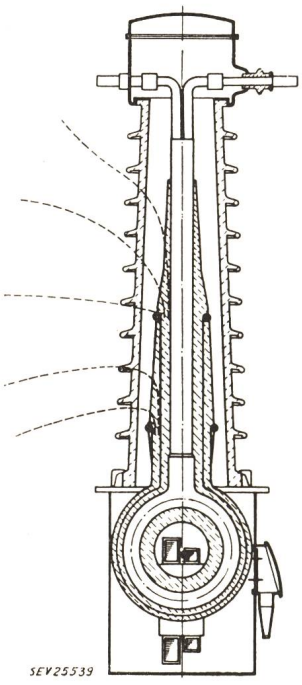

Fig. 6
Schnittbild eines Ölstromwandlers (Ölpapierwandler)

Über die Prüfung der Primärwicklung von Stromwandlern auf Stossfestigkeit sagen die Koordinationsregeln nichts aus. Tatsächlich ist bei solchen Wicklungen die Induktivität verhältnismässig klein und die Windungskapazität gross, so dass die elektrische Beanspruchung leicht zu beherrschen ist. Heute schützt man die Wicklung durch eine Funkenstrecke, die auf etwa 12 kV eingestellt ist. Die Windungsisolation ist auf diese Spannung abgestimmt.

Beim Spannungswandler sind die Isolationsprobleme wesentlich komplizierter. Betrachten wir zunächst den magnetischen Typ:

Hier ist nicht nur die Isolation gegen Erde zu betrachten, sondern besonders auch die Wicklung. Von dieser gilt das umgekehrte als vom Stromwandler: grosse Windungslänge, kleine Kapazität, grosser Wellenwiderstand. Deshalb verhält sich hier

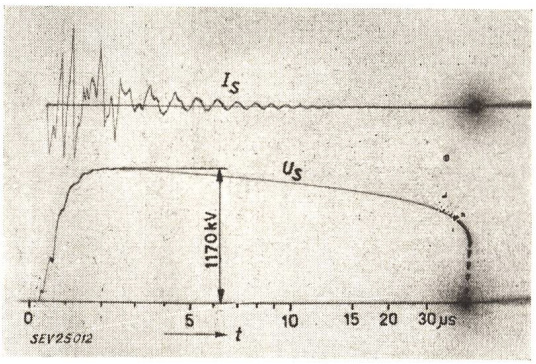

Fig. 7
Oszillogramm der Prüfung eines 220-kV-Spannungswandlers
I_S Stoßstrom; U_S Stoßspannung am Teiler; t Zeit

die eindringende Spannungswelle ziemlich anders als beim Leistungstransformator (Fig. 7). Die Welle dringt nur langsam ein, die Spannung wird fast nicht abgesenkt, der Ladestrom ist nur beim Auftreffen ausgeprägt, nachher sehr klein.

Um die Spannungsverteilung über die Wicklung zu verbessern, ist man dazu übergegangen, diese kapazitiv zu steuern. Man kann dies erreichen durch Lagenwicklung oder bei Spulenwicklung mit

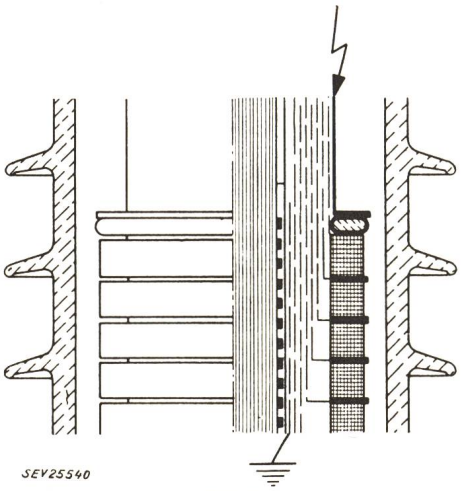

Fig. 8
Kapazitive Steuerung der Primärspulen eines Spannungswandlers mit Kondensatorbelägen

Hilfe zusätzlicher Kapazitäten, wodurch eine sehr gute Spannungsverteilung über die Spulen erreicht werden kann. Fig. 8 zeigt ein Beispiel der Steuerung einer Spulenwicklung durch Steuerbeläge, die

in der Isolation des Wandlers gegen Erde untergebracht sind und gleichzeitig auch diese Isolation steuern. In Fig. 9 ist dafür die Spannungsverteilung über die Spulen dargestellt für die Fälle: keine Spule angeschlossen, jede fünfte Spule angeschlossen, alle Spulen angeschlossen. Für den letzten Fall ist die Spannungsverteilung über die Spulen praktisch gleichmässig. Solche Wandler sind sehr stossfest, sie können ohne Gefahr durch die vorgeschriebenen Stösse beansprucht werden.

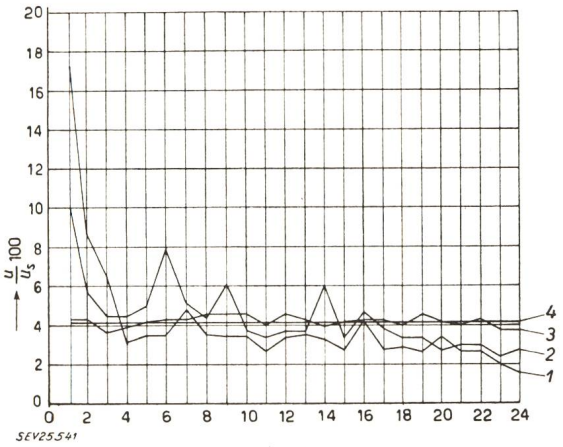

Fig. 9

Elektrische Beanspruchung der Primärspulen eines 220-kV-Spannungswandlers mit Stabkern beim Normalstoss 1|50 in Funktion der Spulennummer

$(u/u_s)100$ Spulenspannung u_s in Prozenten der angelegten Spannung u

1 ohne kapazitive Steuerung; *2* Spulen 1...5 mit abgestufter Kapazität gesteuert; *3* alle Spulen kapazitiv gesteuert; *4* theoretischer Mittelwert

Eine Stossprüfung hat nur einen Sinn, wenn dabei allfällige Überschläge oder Entladevorgänge entdeckt und lokalisiert werden können. Durch Messen des erdseitigen Ladestromes oder der Spannung des Sekundärkreises mittels Oszillographen beim Stoss, ähnlich wie beim Leistungstransformator, ist es heute möglich, noch ziemlich geringe Fehler zu erkennen und aufzufinden. Bei der Typenprüfung mit Stoßspannung wird man sich dieser Methode bedienen. Da diese Wandler im Serienbau hergestellt werden, können Entwicklungsversuche gründlich, eventuell bis zur Zerstörung des Wandlers, durchgeführt und konstruktive Mängel vollständig ausgemerzt werden. Es bleiben noch die fabrikatorischen Mängel, die es durch eine sorgfältige Kontrolle der Fabrikation und der Einzelteile zu vermeiden gilt. Es können z. B. bei Spulenwicklung die einzelnen Spulen auf Windungsschluss einwandfrei geprüft werden. Die Stückprüfung sollte sich nach obigen Ausführungen auf eine Prüfung mit induzierter Spannung beschränken.

Spannungswandler auf kapazitiver Grundlage verwenden bekanntlich einen kapazitiven Spannungsteiler, an dem eine gewisse Spannung, in der Regel 10...20 kV, auf der Erdseite abgegriffen und einem induktiven Wandler zugeführt wird. Der Aufbau des Spannungsteilers aus einer Serie von vielen Einzelelementen (flachgepresste Kondensatorwickel) ist einfach. Dazu kommt die günstige Spannungsverteilung längs der Säule bei allen Frequenzen. Das induktive Zusatzgerät lässt sich mit verhältnismässig wenig Aufwand spannungsmässig ebenfalls robust bauen, so dass einer ausgezeichneten Haltung gegenüber allen Spannungsbeanspruchungen nichts im Wege steht. Die Prüfanforderungen, nach welchen die kapazitiven Wandler zu prüfen sind, entsprechen jenen für Apparate. Bei der Stoßspannungsprüfung besteht auch hier die Notwendigkeit, aufgetretene kleinere Fehler oder Entladungen zu erkennen und zu lokalisieren, was ebenfalls durch oszillographische Vergleichsmessungen geschehen kann.

An Stelle der 50-Hz-Prüfung kann auch eine solche mit Gleichspannung treten, deren Höhe nach den Koordinationsregeln gleich dem Scheitelwert der 50-Hz-Prüfspannung sein soll. Dieser Wert scheint eher etwas niedrig gewählt zu sein, wenn wir ihn mit den Werten entsprechender Apparateregeln anderer Länder vergleichen. Als Beispiel sei erwähnt, dass für einen 245-kV-Wandler folgende Prüfspannungen gefordert werden: Nach den Koordinationsregeln des SEV 460 $\sqrt{2} = 650$ kV, nach den Kondensator-Regeln der CEI 920 kV, nach den Kondensator-Regeln des VDE 1010 kV.

Zum Vergleich zwischen Spannungswandlern induktiver und kapazitiver Bauart in bezug auf Spannungsfestigkeit kann folgendes gesagt werden: Beide Arten von Wandlern können heute grundsätzlich stossfest ausgeführt werden. Der kapazitive Wandler hat den Vorteil der grösseren Einfachheit des von der hohen Spannung beanspruchten Teiles, muss aber das Zusatzgerät in Kauf nehmen. Beim Stossen können eventuell auftretende Fehler bei ihm etwas leichter erkannt werden. Bei beiden Arten ist man aber auf eine zuverlässige Fabrikation angewiesen. Die Wahl des Systems wird meist noch von andern Erwägungen bestimmt: Der induktive Wandler ist eindeutig im Vorteil bezüglich Leistung und Genauigkeit, die von Frequenz, Temperatur und Oberwellen unabhängig sind. Der kapazitive Wandler hingegen kann gleichzeitig als Kopplungskondensator verwendet werden. Auch der Preis wird in vielen Fällen eine Rolle spielen, und dieser ist bei den höchsten Spannungen eher für den kapazitiven Wandler günstig.

Abschliessend möchte ich noch eine kurze Betrachtung über die Anwendung der vollen oder reduzierten Isolation bei Apparaten und Messwandlern für 123 kV und höher hinzufügen. Obschon die Höchstspannungsnetze heute in der Mehrzahl mit wirksamer Nullpunkterdung ausgeführt sind, scheinen Messwandler und Apparate allgemein mit voller Isolation ausgeführt zu werden. Besonders im Ausland scheint sich heute die Praxis herauszubilden, für Transformatoren einerseits und für das übrige Material anderseits verschiedene Isolationshöhen zu wählen. Die Transformatoren als die teuersten Objekte werden mit reduzierter Isolation ausgeführt und durch unmittelbar in der Nähe aufgestellte Ableiter geschützt. Weiter von den Ableitern abseits liegende Anlageteile, darunter Apparate und Wandler, werden mit voller Isolation ausgeführt, damit sie noch in den Schutzbereich der

Ableiter fallen. Dies kann einfacher und wirtschaftlicher sein, als weitere Sätze von Ableitern aufzustellen. Auch allfällige Schutzfunkenstrecken mit ihrem grösseren Streubereich und ihrer ungünstigen Ansprech-Charakteristik lassen sich dann leichter in die Koordination einfügen. Anderseits ist der Preisunterschied zwischen voller und reduzierter Isolation bei den erwähnten Apparaten, besonders bei den Leistungsschaltern, nicht sehr gross. Solange auch nur ein Teil dieses Materials für volle Isolation verlangt wird, wird der Fabrikant im Interesse der Vereinheitlichung nur diesen einen Typ bauen.

Adresse des Autors:
E. Scherb, Direktor der Sprecher & Schuh A.-G., Aarau.

Verzapfte Stossfugen in magnetischen Kreisen

Von *W. Schuisky*, Västerås

621.317.4.017.3 : 621.3.042.143.3

Die Zusatzverluste bei überlappenden Stossfugen von Magnetblechen sind sehr gering und können kaum bemerkt werden. Eine Erhöhung des magnetischen Widerstandes durch die Fugen kann jedoch unter Umständen eine nicht mehr vernachlässigbare Grösse erreichen.

Les pertes additionnelles dues à des joints enchevêtrés de tôles magnétiques sont très faibles et à peine perceptibles. Dans certains cas, une augmentation de la réluctance par ces joints peut toutefois atteindre une valeur qui cesse d'être négligéable.

1. Magnetischer Widerstand der Stossfuge

Der magnetische Kreis vieler elektrischer Maschinen und Geräte besteht aus Blechen. Aus herstellungstechnischen und ökonomischen Gründen kann der Eisenkörper des ganzen magnetischen Kreises nicht aus zusammenhängenden Blechstücken hergestellt werden, sondern aus mehreren Teilblechen, die dann zusammengesetzt werden. Die Zusammensetzung der Teile kann entweder stumpf oder verzapft ausgeführt werden. Bei stumpfer Verbindung bleibt zwischen den beiden Blechteilen ein Luftspalt übrig, dessen Grösse von der Bearbeitung der Stossflächen (bzw. von der Isolierung) abhängig ist und durchschnittlich 0,05...0,25 mm beträgt. Bei verzapfter Verbindung werden die Bleche überlappt. Die Induktionslinien treten in der Nähe der Stossfuge zweier Bleche zu den Nachbarblechen über und entlasten damit den Luftspalt in der Stossfuge. Solche überlappten Verbindungen verwendet man bei Transformatoren, Statoren von Grossmaschinen, Kettenläufern usw. Das Vorhandensein eines Luftspaltes in den verzapften Verbindungen muss sich in einer Vergrösserung des magnetischen Widerstandes gegenüber dem des ungeteilten Kreises, sowie durch das Entstehen zusätzlicher Verluste bemerkbar machen.

In Fig. 1 ist die verzapfte Verbindung, d. h. die mit den überlappenden Blechen, schematisch gezeigt. Die Blechdicke sei mit s [cm] bezeichnet, die Luftspaltlänge in den Fugen mit δ [cm], der Abstand zwischen den Blechen mit ε [cm] und der Mittelwert der Induktion in der Längsrichtung mit B_0 [Gs][1]). Der Abstand ε ist gegeben durch die Isolation zwischen den Blechen sowie durch die unvermeidlichen Unebenheiten der Blechoberfläche.

Der durch ein Blech hindurchgehende Fluss ist:

$$\Phi = \Delta B_0 = \Delta B_1 + \Delta B_2 \qquad (1)$$

Darin bedeuten ΔB_1 jenen Teil des Flusses, der durch den Luftspalt in der Stossfuge geht und ΔB_2 den anderen Teil, der nach benachbarten Blechen übertritt.

Der Mittelwert der Querinduktion ist:

$$B_{qm} = \frac{s}{h_0} B_2 \qquad (2)$$

[1]) Gauss.

Die Querinduktion ist allgemein nicht gleichmässig über die Strecke h_0 verteilt. Beim Gleichstrom bestimmt die Eisensättigung diese Verteilung, beim Wechselstrom sind es dagegen hauptsächlich die Wirbelströme. Die Wirkung der Eisensättigung ist im zweiten Fall gering, da der Fluss zum grössten Teil am Anfang und am Ende der Strecke h_0 ein- bzw. austritt und der gesättigte Teil in Längsrichtung kurz wird (vgl. Fig. 1). Man kann deshalb die Eisensättigung vernachlässigen und damit für die Verteilung der Querinduktion einfache und bereits bekannte Ausdrücke erhalten.

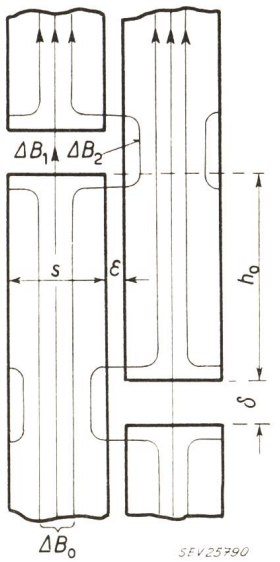

Fig. 1
Verzapfte Verbindung im magnetischen Kreis
Bezeichnungen siehe im Text

Mit den Abkürzungen:

$$\xi = \varkappa h_0 \qquad (3a)$$

und

$$\varkappa = 2\pi \sqrt{\frac{\mu f}{\varrho \cdot 10^5}} \qquad [\mathrm{cm}^{-1}] \qquad (3b)$$

wird die Querinduktion an den Enden der Strecke h_0 [1][2]):

$$B_{qs} = B_{qm} \sqrt{\frac{\xi^2}{2} \cdot \frac{\cosh \xi + \cos \xi}{\cosh \xi - \cos \xi}} \qquad (4)$$

Darin bedeuten μ die relative Permeabilität des Eisens, f die Frequenz und ϱ den spezifischen Widerstand des Eisens. Bei den sehr niedrigen in Frage kommenden Induktionen beträgt μ etwa 50...200. Der spezifische Widerstand ϱ beträgt je nach dem Si-Gehalt der Bleche 0,12...0,52 $\Omega\,\mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$. Damit wird $\varkappa \approx 1{,}3...2{,}5\ \mathrm{cm}^{-1}$ und ξ in der Regel > 4.

[2]) siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.