

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 35 (1944)
Heft: 20

Rubrik: Diskussion des Themas Ueberspannungen beim Abschalten leerlaufender Transformatoren

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: 16.05.2025

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

Zu c): Der beschränkte magnetische Energieinhalt in Transformatoren macht es *theoretisch* möglich, *Ableiter für atmosphärische Ueberspannungen* als Schutz gegen solche Leerschaltüberspannungen zu verwenden. Die Beanspruchung der Ableiter ist eine andere in der Beziehung, dass der abzuleitende Strom wohl viel kleiner, dessen Dauer aber viel grösser ist als bei atmosphärischen Stössen. Erfahrungsgemäss bedeutet dies für den Ableiter bei gleicher Ws -Zahl oft die schwierigere Aufgabe, so dass das Verhalten üblicher Ableiter immerhin daraufhin geklärt werden müsste.

Praktisch kommt bei der Verwendung von Ableitern als Schutz gegen zu hohe Schaltüberspannungen wohl nur der Einbau zwischen Transformatorklemmen und Erde in Frage, nicht parallel zum Schalterpol. Einmal sind dabei die betriebsfrequenten Spannungen auf Stern- oder verkettete

Spannung eines Betriebes begrenzt, während sie über den Schalterpol bei asynchronen Betrieben als Summe von Anteilen der beiderseitigen Betriebsspannungen erscheinen können. Die Frage, ob sich spannungsabhängige Widerstände, genauer ventilartige Widerstände, als Ersatz der heutigen Ohmschen Schalterwiderstände bauen lassen, wobei sie für etwa eine Halbperiode einen grösseren betriebsfrequenten Strom aufzunehmen hätten, dürfte noch nicht geklärt sein. Schliesslich ist es vor allem die Isolation des Transformators gegen Erde, an der die Spannung begrenzt werden muss, und in dieser Beziehung wird ein Ableiter den Zweck am besten erreichen lassen, trotzdem es fast ironisch anmutet, wenn heute infolge der Entwicklung auf der Schalterseite wieder vom Ueberspannungsschutz gegen Schaltüberspannungen gesprochen werden muss.

Diskussion des Themas Ueberspannungen beim Abschalten leerlaufender Transformatoren

Aus der Mitgliederversammlung der FKH vom 24. Juni 1944 in Lugano

Die beiden vorliegenden Berichte (S. 551...570) wurden der Mitgliederversammlung der FKH vom 24. Juni 1944 in Lugano in einem Referat des Versuchsleiters dargelegt. Daran schloss sich auch eine kurze Diskussion, deren Voten wir, um einem Wunsch aus Mitgliederkreisen zu entsprechen, hier im Anschluss an die beiden Berichte ebenfalls veröffentlichen.

Dr. W. Wanger, Obergeringenieur der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden: Gestatten Sie mir ein paar kurze Bemerkungen zur Frage der Ueberspannungen beim Abschalten leerlaufender Transformatoren. Ich habe die beiden Berichte von Dr. Berger mit ausserordentlichem Interesse gelesen, da ich mich selber auch schon intensiv mit diesen Fragen beschäftigt hatte. Wir haben bereits vor etwa 7 Jahren die ersten ausgedehnten und systematischen Versuche durchgeführt, und seither musste ich mich von Zeit zu Zeit immer wieder mit diesen Fragen befassen, zum letztenmal bei der neuesten Entwicklung der Druckluftschalter mit Dämpfungswiderständen.

Bei den ersten Untersuchungen im Jahre 1937 sind wir freilich noch nicht so tief in die Berechnung eingedrungen wie heute Dr. Berger in seinem Bericht; ich kann ihm zu diesem Erfolg nur gratulieren. Dafür gingen unsere Versuche in einer Richtung wesentlich weiter, da wir Gelegenheit hatten, den Einfluss der Grösse des Leerlaufstromes auf die Höhe der Abschaltüberspannungen eingehend zu untersuchen. Es standen verschiedene Transformatoren zur Verfügung, und im weitem konnte wir insbesondere mit Drosselspulen einen grossen Bereich verschiedener Ströme untersuchen. Jene Versuche zeigten, dass die grössten Ueberspannungen etwa bei 20 A auftreten. Dadurch werden die theoretischen Ableitungen von Dr. Berger vollständig bestätigt, dass in einem gewissen Strombereich die Ueberspannungen mit zunehmendem Strom grösser werden, dass sie aber bei weiterer Steigerung des Stromes schliesslich wieder abnehmen, weil dann der Strom nicht mehr abgerissen wird wie bei den kleineren Stromwerten. Man darf aus diesen Versuchen natürlich nicht schliessen, dass nun immer gerade 20 A die gefährlichste Stromstärke sei; die Höhe der Ueberspannungen hängt ja noch von sehr vielen Umständen ab. Aber der genannte Zahlenwert gibt wenigstens einen Begriff von der Grösse der kritischen Stromstärke.

Es ist interessant, dass die kleinen Ströme ganz unabhängig vom Typ des verwendeten Schalters abgerissen werden. Nur die Höhe der erreichten Ueberspannungen ist je nach dem Schaltertyp verschieden. Der Schalter begrenzt sich ja seine Ueberspannungen selber, indem er die Spannung nur so hoch ansteigen lässt, bis sie die Festigkeit zwischen den geöffneten Schalterkontakten überschreitet und dort zu einer Rückzündung führt. Es ist verständlich, dass ein Druckluftschalter mit seiner ausgezeichneten Löschfähigkeit die Spannungen höher ansteigen lässt als ein alter Oelschalter mit schlechter Löschfähigkeit.

Dr. Berger hat erwähnt, dass man rein theoretisch die Ueberspannungen des Druckluftschalters begrenzen könnte, indem man seine Löschfähigkeit vermindert. Er hat aber wohl mit vollem Recht diese Möglichkeit für die praktische Verwirklichung nicht in Betracht gezogen. Glücklicherweise gibt es ja ein Mittel, um die Abschaltüberspannungen von leerlaufenden Transformatoren auf ungefährliche Werte zu reduzieren, ohne deswegen die Löschfähigkeit des Schalters zu beeinträchtigen. Dr. Berger hat dieses Mittel auch schon genannt: Die Verwendung von Dämpfungswiderständen. Bei den Versuchen in Spiez hat sich gezeigt, dass ein Druckluftschalter mit Widerständen die Schaltüberspannungen sehr wirksam reduzierte, während ein anderer Druckluftschalter mit Widerständen in dieser Beziehung so gut wie unwirksam war. Daraus kann man schliessen, dass es eben nicht genügt, irgendwelche Widerstände irgendwie an Schaltern anzubringen, sondern dass der Dämpfungswiderstand und die Funkenstrecke, die den Widerstand einschaltet, sehr sorgfältig abgestimmt werden müssen. Wenn aber das gemacht wird, hat man ein ausserordentlich wirksames Mittel in der Hand, um die Ueberspannungen in engen Grenzen zu halten.

Man kann sich fragen, ob es besser sei, die Dämpfungswiderstände von vornherein an allen Mittelspannungsschaltern anzubringen oder nur in den Fällen, wo wirklich zu hohe Schaltüberspannungen entstehen. Tatsache ist, dass von den sehr vielen Druckluftschaltern im Betrieb nur ein ganz kleiner Prozentsatz zu unzulässigen Ueberspannungen Anlass gegeben hat. Ich möchte die gestellte Frage am liebsten auf Grund einer wirtschaftlichen Ueberlegung beantworten. Würde ein Schalter durch einen Dämpfungswiderstand stark verteuert, so wäre es wohl nicht zu verantworten, *alle* Schalter mit Widerständen zu versehen, wenn man weiss, dass die Widerstände nur in relativ seltenen Fällen tatsächlich nötig sind. Seitdem man jedoch gelernt hat, die Schalter mit Dämpfungswiderständen nicht nur nicht teurer, sondern so-

gar billiger zu fabrizieren, als Schalter ohne Widerstände, ist es vielleicht doch richtiger, die Widerstände im Bereich der Mittelspannungen, die in bezug auf die Ueberspannungen besonders gefährlich sind, von Anfang an überall einzubauen. Dieses Vorgehen ist natürlich für den Betriebsleiter beruhigender; er weiss dann von vornherein, dass er mit seinen Schaltern keine Schwierigkeiten beim Abschalten leerlaufender Transformatoren haben wird.

H. Wüger, Obergeringenieur der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), gibt seiner Befriedigung darüber Ausdruck, dass nun einige Messungen vorliegen über die Höhe von Schaltueberspannungen. Die Ergebnisse bestätigen die auf Grund der Betriebserfahrungen geäusserten Befürchtungen, dass die modernen Schalter relativ hohe Ueberspannungen erzeugen können. Um so angenehmer sind daher die Mitteilungen von Dr. Wanger, dass diese Ueberspannungen mit einfachen Mitteln und relativ billig auf niedere Werte begrenzt werden können, und dass Brown Boveri beabsichtigt, diese Mittel zukünftig bei ihren Fabrikaten anzuwenden. Er stellt die Frage, ob ein Schalter, der so gebaut ist, dass er leerlaufende Transformatoren praktisch überspannungsfrei abschalten kann, auch geeignet sei, eine Kapazität (leerlaufende Leitung) überspannungsfrei zu schalten. Im weiteren erkundigt er sich bei den andern Fabrikanten, ob auch sie beabsichtigen, ihre Schalter mit Dämpfungswiderständen oder andern zweckdienlichen Einrichtungen zu bauen, da dies offenbar die Voraussetzung für die Erfüllbarkeit der jetzt aufgestellten Koordinationsregeln wäre. An Dr. Berger und Dr. Wanger richtet er die Frage, ob durch den Einbau von Dämpfungswiderständen die Verwendung von Druckluftschaltern zum automatischen Wiedereinschalten nach dem Abschalten von Kurzschlüssen nicht verunmöglicht werde.

Dr. Wanger: Ich möchte kurz ein paar Fragen beantworten, die mir gestellt worden sind; zunächst die Frage, warum ein Schalter mit Dämpfungswiderstand billiger sein kann als ein Schalter gleicher Abschaltleistung ohne Widerstand. Das hängt damit zusammen, dass der Druckluftschalter ohne besondere Massnahmen ziemlich eigenfrequenzempfindlich ist; mit zunehmender Eigenfrequenz der wiederkehrenden Spannung nimmt die zulässige Abschaltleistung beträchtlich ab. Durch eine doppelstufige Löschung, bei der zunächst ein Widerstand eingeschaltet und erst dann vollständig unterbrochen wird, lässt sich jedoch der Verlauf der wiederkehrenden Spannung so beeinflussen, dass sich die hohen Eigenfrequenzen für den Schalter überhaupt nicht bemerkbar machen. Daher kann bei einer relativ hohen Eigenfrequenz des Netzes ein Schalter mit Widerständen eine grössere Leistung abschalten als der gleiche Schalter ohne Widerstände, oder umgekehrt: ein Schalter mit Widerständen braucht nicht so gross zu sein wie einer ohne Widerstände, um die gleichen Abschaltleistungen bewältigen zu können. Durch die Verwen-

dung der doppelstufigen Löschung mit Widerständen können also nicht nur die Ueberspannungen beim Abschalten leerlaufender Transformatoren begrenzt werden, sondern gleichzeitig lässt sich der Schalter auch eigenfrequenzunempfindlich machen, und überdies ist ein Schalter mit Widerständen für gleiche Abschaltfähigkeit — gemessen bei einer relativ hohen Eigenfrequenz — erst noch kleiner und daher billiger.

Die zweite gestellte Frage betrifft die rasche Wiedereinschaltung bei Verwendung von Schaltern mit Widerständen. Durch die doppelstufige Löschung wird der Abschaltvorgang um ca. eine halbe Periode der Betriebsfrequenz verlängert. Um klar zu machen, was das bedeutet, möchte ich nur erwähnen, dass bei erfolgreichen Wiedereinschaltversuchen, die vor einer Woche in einem 50-kV-Netz durchgeführt wurden, die Kurzschlussdauer 10 bis 12 Halbperioden und die Unterbrechungsdauer ca. 25 Halbperioden, die totale Störungszeit also ca. 35 Halbperioden betrug. Es ist klar, dass demgegenüber eine Verlängerung um 1 Halbperiode belanglos ist, um so mehr, als während der zusätzlichen Halbperiode nicht der Kurzschlussstrom, sondern nur der relativ kleine Widerstandsstrom fliesst.

Schliesslich wurde noch die Frage gestellt, ob das Problem der Ueberspannungen beim Abschalten leerlaufender Transformatoren durch die Einführung der Dämpfungswiderstände endgültig gelöst sei. Ich kann bestätigen, dass es gelingt, diese Abschaltueberspannungen mit Hilfe von Dämpfungswiderständen auf das $2\frac{1}{2}$ - bis 3fache der verketteten Betriebsspannung zu begrenzen. In Mittelspannungsnetzen, wo der Sicherheitsgrad der Isolation relativ hoch ist, ist daher von den Abschaltueberspannungen tatsächlich nichts mehr zu befürchten. Die höheren Betriebsspannungen sind dagegen an sich etwas ungünstiger, weil dort der Sicherheitsgrad kleiner ist. Andererseits darf man aber auch nicht einfach annehmen, dass die Abschaltueberspannungen in diesen Fällen ebenso gefährlich seien wie bei den Versuchen von Dr. Berger in einem 16-kV-Netz. Beispielsweise ist mir kein einziger Fall bekannt, wo Druckluftschalter in 110-kV-Netzen unzulässige Ueberspannungen erzeugt hätten. Dabei sind, insbesondere im Ausland, recht viele solcher Schalter im Betrieb. Uebrigens hatten wir gerade vor 2 Tagen Gelegenheit, auch in einem schweizerischen Netz von 115 kV Betriebsspannung Abschaltversuche mit leerlaufenden Transformatoren durchzuführen und zu bestätigen, dass die Ueberspannungen absolut harmlos waren. Bei den allerhöchsten Spannungen — 220 kV — können allerdings die Verhältnisse wieder etwas ungünstiger werden, besonders, wenn im Zusammenhang mit langen Leitungen sehr grosse Kompensations-Drosselspulen vorkommen. Aber auch in solchen Extremfällen gibt es noch Mittel und Wege zur wirksamen Begrenzung der Abschaltueberspannungen; ich möchte nur erwähnen, dass man z. B. mit spannungsabhängigen Widerständen noch einiges mehr erreichen kann als mit festen Widerständen.

Isolation und Prüfung von Statorspulen für Hochspannungsmaschinen der Bernischen Kraftwerke A.-G.

Von R. Frey, Bern.

621.313.048.0014

Im folgenden werden Erfahrungen mitgeteilt, welche im Verlaufe der Jahre mit nicht compoundierten Statorspulen für Hochspannungsgeneratoren gemacht worden sind. Anschliessend teilt der Verfasser mit, was für Verbesserungen sukzessive erreicht werden konnten, und mit welchen Mitteln. Hand in Hand mussten auch die Prüfverfahren ausgebaut werden, damit eine Kontrolle der konstruktiven und fabrikatorischen Massnahmen möglich war. Hierbei ergab sich die Notwendigkeit, Versuche, welche ausserhalb der bestehenden Prüfvorschriften liegen, durchzuführen. Zum Schlusse wird angeregt, dass das Prüfverfahren für Statorspulen von Hochspannungsmaschinen erweitert werden sollte.

1. Einleitung

Ein Teil des Verteilungsnetzes der Bernischen Kraftwerke A.-G. (BKW) wird direkt mit der von

L'auteur consigne les expériences faites pendant plusieurs années avec des bobines non compoundées pour stators d'alternateurs à haute tension, puis il indique les améliorations successives qui furent apportées à la confection de ces bobines et les moyens utilisés dans ce but. Il a fallu également développer les méthodes d'essais en s'écartant parfois des prescriptions en vigueur, afin de permettre un contrôle des perfectionnements intéressant la construction et la fabrication. L'auteur estime que les méthodes d'essais appliquées aux bobines de stators des machines à haute tension devraient être complétées.

den Generatoren erzeugten Spannung von 16...17 kV gespeist in der Weise, dass in den Kraftwerken eine Anzahl Generatoren auf ein bestimmtes Sammel-