

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 53 (1962)  
**Heft:** 10  
  
**Artikel:** Möglichkeiten der Schalterprüfung  
**Autor:** Joss, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916936>

### **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:** 13.05.2025

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

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)  
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

## Bericht über die Diskussionsversammlung des SEV «Wechselstrom-Hochspannungsschalter»

vom 30. und 31. Januar 1962 in Zürich

### 2. Tag <sup>1)</sup>

Am zweiten Tag der Diskussionsversammlung eröffnete der Tagespräsident, Direktor Dr. W. Wanger, die Tagung mit folgenden Worten:

«Ich begrüße Sie herzlich zum zweiten Teil unserer Schaltertagung. Das heutige Programm umfasst zwei Vorträge allgemeiner Art und sämtliche Vorträge über das Innenraummaterial. Die allgemeinen Vorträge behandeln einerseits die verschiedenen Möglichkeiten der Schalterprüfung, andererseits das Problem der

Schaltüberspannungen und deren Begrenzungsmöglichkeiten, beides sehr wichtige Fragenkomplexe.

Über das Innenraummaterial haben wir zuerst drei Konstrukturvorträge vorgesehen, auch hier nicht nach Firmen, sondern thematisch aufgeteilt, nämlich einen Vortrag über Druckluft- und Magnetschalter, einen über ölarme Schalter und schliesslich einen über Trenner und die besonderen Schalter mit ganz kleinem Ausschaltvermögen, die unter den Namen Last- und Leistungstrenner bekannt sind. Schliesslich folgt dann noch ein Vortrag von Werkseite über Einbaufragen und Betriebserfahrungen.»

### Möglichkeiten der Schalterprüfung

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 30. und 31. Januar 1962 in Zürich,  
von P. Joss, Zürich

621.316.57.001.4

*Ausgehend von den heute an Hochspannungsschaltern allgemein ausgeführten Versuchen wird die Problematik der Prüfungen bezüglich der Ein- und Aus-Schaltoperationen vor allem bei gestörten Betriebsverhältnissen erläutert. Die für derartige Versuche benötigten grossen Prüfleistungen machen besondere, sehr kostspielige Versuchsanlagen notwendig. Es wird der Stand der in den heutigen Schalterprüffeldern verfügbaren Prüfleistungen verglichen mit den für die Schaltgeräte geforderten Ausschaltleistungen, wobei vor allem für die Höchstspannungsschalter eine beträchtliche Diskrepanz zwischen geforderten und verfügbaren Werten zu Tage tritt. Ausgehend von dieser Situation werden die verschiedenen Prüfmöglichkeiten besprochen, welche bei ungenügender Versuchsleistung der Prüfanlagen angewendet werden können. Die Betrachtung wird durch die Beschreibung zweier synthetischer Schalterprüfverfahren (Weil und Skeats) abgeschlossen, die heute in zwei Hochleistungsanlagen für die Prüfung von Schaltgeräten eingesetzt werden.*

*En partant des essais usuels auxquels sont actuellement soumis les disjoncteurs à haute tension, le conférencier indique quels sont les problèmes que posent les essais d'enclenchement et de déclenchement simulant des incidents d'exploitation. Les très grandes puissances nécessaires pour l'exécution de ces essais exigent des installations très coûteuses. Les puissances actuellement disponibles sur les plates-formes pour l'essai des disjoncteurs sont comparées avec les puissances de coupure requises. L'écart entre valeurs nécessaires et valeurs disponibles est considérable. Le conférencier examine les possibilités qui permettent de procéder à ces essais malgré une puissance disponible insuffisante. Il termine son exposé par la description de deux procédés d'essais synthétiques (de Weil et Skeats), appliqués actuellement dans deux laboratoires à haute tension pour les essais de disjoncteurs.*

Wenn man an dieser Stelle von «Möglichkeiten der Schalterprüfung» spricht, so will man damit andeuten, dass man auch heute noch in dieser Beziehung gewissen Einschränkungen unterworfen ist. Auch heute ist man noch offenbar in bestimmten Fällen nicht in der Lage, die Schaltgeräte in vollem Umfange zu prüfen und damit den Nachweis zu erbringen, dass sie sämtlichen im praktischen Betrieb auftretenden Beanspruchungen gewachsen sind, und die verschiedenen, ihnen zugeordneten Funktionen störungsfrei ausführen können. Dabei wäre eine allgemeine Lösung dieser Frage für Hersteller und Benützer von ausserordentlicher Bedeutung, zumal bei den Schaltgeräten die schwierigsten Beanspruchungen in der Regel nicht im normalen Betrieb, sondern in Störfällen auftreten, und die

volle, für einen bestimmten Schalter verlangte Kurzschlussleistung oft erst Jahre nach der Inbetriebnahme des Gerätes am entsprechenden Einbauort abgeschaltet werden muss. Es ist deshalb durchaus berechtigt, dass man sich die Frage nach dem gegenwärtigen Stand der Entwicklung auf diesem Gebiete stellt.

Die an Schaltern heute normalerweise ausgeführten Prüfungen lassen sich im allgemeinen in folgende Gruppen von Versuchen zusammenfassen:

1. Prüfungen bezüglich der mechanischen Funktionen und Beanspruchungen:

Bewegungsablauf, Kontaktgeschwindigkeiten, Schaltzeiten; allgemeine mechanische Funktion, Verriegelungen, Funktion bei maximalen und minimalen Antriebsspannungen bzw. Antriebsdrücken; mechanische Dauerfestigkeit, Abnützungen; Statische Festigkeit; Funktion bei besonderen klimatischen Bedingungen;

<sup>1)</sup> Siehe die Vorträge des ersten Tages im Bull. SEV 53(1962)8.

2. Prüfungen bezüglich des Führens des Betriebsstromes in eingeschaltetem Zustand:

Erwärmung bei dauerndem Führen des Betriebsstromes, Spannungsabfälle im Strompfad, Kontaktübergangswiderstände;

3. Prüfungen bezüglich der Isolation:

Isolation gegen Erde, über der Schaltstrecke und zwischen den Phasen mit betriebsfrequenter Spannung und Stoßspannung, trocken und bei Regen (für Freiluftausführungen);

4. Prüfungen bezüglich des Führens von Kurzschlußströmen in eingeschaltetem Zustand:

Kurzzeitiges Führen von Kurzschlußströmen; elektrodynamische Festigkeit;

5. Prüfungen bezüglich der Ein- und Aus-Schaltoperationen bei normalen und gestörten Betriebsverhältnissen:

Ein- und Aus-Schalten bei ohmisch-induktiven, induktiven, kapazitiven Betriebsströmen; Ein-, Aus-, Ein-Aus-, Aus-Ein-Aus-Schalten usw. bei gestörtem Betrieb (Kurzschluss) sowie unter zusätzlichen besonderen Bedingungen (Phasenopposition, Erdschlussfehler, Distanzfehler, Umschlagsstörung usw.).

Es würde allerdings den Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung sprengen, wollte man auf diese Versuchsgruppen im einzelnen eingehen. Tatsächlich sind es vor allem die Proben bezüglich der Ein- und Aus-Schaltoperationen, vor allem bei gestörten Betriebsverhältnissen, auf die der Titel anspielt, wenn er von «Möglichkeiten der Schalterprüfung» spricht. Tatsächlich macht die Durchführung der in dieser Gruppe erwähnten Versuche eine besondere Art von Laboratorien, sog. Hochleistungs-Prüffelder notwendig, die zu den grössten elektrotechnischen Versuchsanlagen zu zählen sind, und deren Erstellung beträchtliche finanzielle Mittel erfordert. Obschon für derartige Versuchsfelder heute sehr grosse Beträge aufgewendet werden (für eine mittlere Anlage muss mit Kosten von 5 bis 10 Millionen Franken und mehr gerechnet werden), so reicht die darin erzeugte Prüfleistung für grössere Schalter in der Regel nicht aus. Einer Vergrösserung der Prüfanlagen, welche technisch an und für sich realisierbar wäre, stellen sich von der finanziellen Seite her Grenzen entgegen, indem das Produkt, die Schalter, derart hohe Entwicklungs- und Prüfkosten nicht zu tragen in der Lage sind. Man sieht sich also bei der Schalterprüfung gezwungen, andere Mittel und Wege zu suchen, welche eine ausreichende Lösung der gestellten Aufgabe erlauben, ohne jedoch den dafür notwendigen Aufwand in Unzulässige wachsen zu lassen.

Diese Feststellungen führen zur Frage nach den heute im allgemeinen zur Verfügung stehenden Prüfleistungen und deren Verhältnis zu den heute verlangten Schaltleistungen der zu prüfenden Geräte. Tabelle I zeigt eine Zusammenstellung der installierten Maschi-

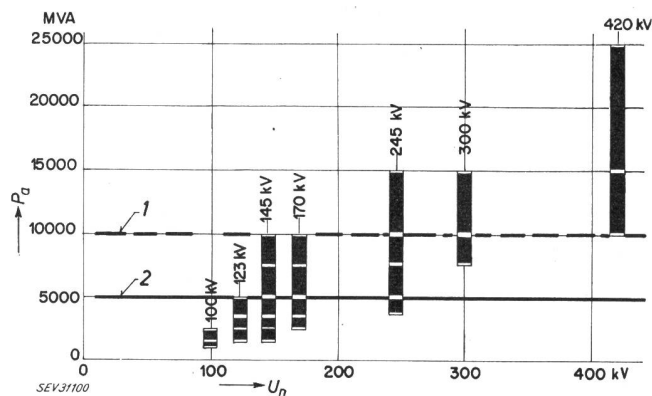


Fig. 1

Genormte Nenn-Ausschaltleistungen  $P_a$  in Funktion der höchsten spezifizierten Nenn-Spannung  $U_n$  nach Publ. 56-3 der CEI

- 1 Gegenwärtig ungefähr maximal realisierbare direkte Prüfleistung bei Feldversuchen
- 2 Gegenwärtig ungefähr maximal realisierbare direkte Prüfleistung bei Versuchen in Prüfanlagen

nenleistungen<sup>1)</sup> einiger firmeneigener Anlagen in Europa und in den Vereinigten Staaten. Diese Anlagen werden durch einen oder mehrere Kurzschluss-generatoren gespeisen. Die erreichten Prüfleistungen sind beträchtlich, wenn man auch berücksichtigen muss, dass es sich bei den angegebenen Werten um die bei Generatorspannung installierte Prüfleistung handelt, die am Versuchsobjekt normalerweise nicht in vollem Umfang verfügbar sein wird. Immerhin weisen von den 11 verzeichneten Anlagen deren 4 eine installierte direkte Prüfleistung von 4000...5000 MVA auf, während 4 weitere bereits über eine Prüfleistung von 3000...4000 MVA verfügen. Tabelle II zeigt die entsprechenden Angaben bezüglich einiger für die Schalterprüfung allgemein zugänglicher Laboratorien. Im Gegensatz zu den firmeneigenen Anlagen werden diese in 4 von 5 Fällen aus Energieversorgungsnetzen gespeisen, wobei die Prüfleistungen ebenfalls in 4 von 5 Fällen 4500 MVA und mehr betragen. Die heute verlangten Schaltleistungen für Schaltgeräte auf dem Hoch- und Höchstspannungsgebiet sind in Fig. 1 dargestellt, wobei die aufgezeichneten Daten den genormten Werten für die Schaltleistungen der Publ. 56-3 der CEI entnommen wurden. Auf Grund der Zahlenwerte der Ta-

<sup>1)</sup> Die aus der Literatur verfügbaren Angaben bezüglich der Prüfleistungen der verschiedenen Anlagen basieren zum Teil auf sehr verschiedenen Voraussetzungen und sind deshalb nur schwer vergleichbar. Der Autor beschränkte sich deshalb, mit Ausnahme jener Fälle, wo etwas anderes vermerkt wurde, darauf, nur die installierten Generatorleistungen anzugeben.

Beispiele von in firmeneigenen Hochleistungsprüffeldern installierter maximaler direkter Prüfleistung

Tabelle I

| Name der Firma bzw. des Prüffeldes    | Standort                 | Jahr | Art der Erzeugung der Prüfleistung | Maximale installierte direkte symmetrische Prüfleistung bei Generatorspannung |      |
|---------------------------------------|--------------------------|------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| AG, Brown Boveri & Cie.               | Baden, Schweiz           | 1962 | 2 Generatoren                      | 4000 MVA <sup>1)</sup>                                                        |      |
| Sprecher & Schuh AG                   | Aarau, Schweiz           | 1955 | 1 Generator                        | 1060 MVA <sup>1) 4)</sup>                                                     | [10] |
| Maschinenfabrik Oerlikon              | Zürich-Oerlikon, Schweiz | 1957 | 2 Generatoren                      | 3000 MVA <sup>1)</sup>                                                        | [11] |
| Delle-Alsthom                         | Villeurbanne, Frankreich | 1960 | 2 Generatoren                      | 5000 MVA <sup>3)</sup>                                                        | [12] |
| Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft | Kassel, Westdeutschland  | 1953 | 1 Generator                        | 2000 MVA <sup>3) 4)</sup>                                                     | [13] |
| A. Reyrolle & Co. Ltd.                | Newcastle, England       | 1954 | 3 Generatoren                      | 4700 MVA <sup>3)</sup>                                                        | [14] |
| The English Electric Co. Ltd.         | Stafford, England        | 1947 | 2 Generatoren                      | 3000 MVA <sup>3) 5)</sup>                                                     | [14] |
| The General Electric Co. Ltd.         | Birmingham, England      | 1950 | 2 Generatoren                      | 4000 MVA <sup>3)</sup>                                                        | [14] |
| Allmänna Svenska Elektr.              | Ludvika, Schweden        | 1958 | 2 Generatoren                      | 3500 MVA <sup>2)</sup>                                                        | [14] |
| General Electric Comp.                | Philadelphia, USA        | 1951 | 2 Generatoren                      | 3200 MVA <sup>3)</sup>                                                        | [14] |
| Westinghouse Electric Corp.           | East Pittsburgh, USA     | 1940 | 2 Generatoren                      | 2500 MVA <sup>1) 5)</sup>                                                     | [14] |

<sup>1)</sup> Einschaltleistung; <sup>2)</sup> Ausschaltleistung nach 0,2 s; <sup>3)</sup> keine näheren Angaben; <sup>4)</sup> kombiniert mit indirekter Prüfeinrichtung;

<sup>5)</sup> gegenwärtig im Weiterausbau; [ ] Literaturangabe

| Name der Firma bzw. des Prüffeldes                                                    | Standort                      | Jahr           | Art der Erzeugung der Prüfleistung | Installierte maximale direkte symmetrische Prüfleistung                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen<br>Electricité de France | Mettlen, Schweiz              | 1961           | Schweiz. Energie-Versorgungsnetz   | ca. 5000 MVA <sup>1)</sup>                                                 |
|                                                                                       | Fontenay, Frankreich          | 1961           | Franz. Energie-Versorgungsnetz     | ca. 5500 MVA <sup>1)</sup>                                                 |
|                                                                                       | Le Plessis Gassot, Frankreich | 1961           |                                    | ca. 8000...10 000 MVA <sup>1)</sup>                                        |
| Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiana                                           | Milano, Italia                | 1961           | Ital. Energie-Versorgungsnetz      | 4400 MVA <sup>1)</sup>                                                     |
| Naamloze Vennootschap tot Keuring van Electrotechnische Materialen                    | Arnhem, Holland               | bei Vollausbau | 4 Generatoren                      | 4500 MVA (jetzt 4100 MVA, einphasig 2400 MVA <sup>1)</sup> <sup>2)</sup> ) |

<sup>1)</sup> am Prüfobjekt verfügbar; <sup>2)</sup> Ausschaltleistung nach 0,1...0,2 s

bellen I und II kann man heute oder in nächster Zeit damit rechnen, dass in den leistungsfähigsten Prüfanlagen sich — zumindest mittels einphasiger Proben — Prüfleistungen entsprechend einer dreiphasigen Kurzschlussleistung von rund 5000 MVA werden erzielen lassen. In Ausnahmefällen, vor allem bei Versuchen in elektrischen Energieversorgungsnetzen, dürften zudem sogar Werte bis 10 000 MVA erreicht werden. Bezogen auf die max. Betriebsspannungen heisst das, dass Schalter bis zu Spannungen von rund 100 kV und bis zu den, in den nächsten Jahren max. zu erwartenden, höchsten Nennleistungen voll geprüft werden können, während bei höheren Spannungen von 145, 170 kV und mehr bei grösseren Nennleistungen eine direkte Prüfung in der Regel nicht mehr möglich sein wird. Vor allem krass wird die Diskrepanz zwischen benötigter und verfügbarer Prüfleistung jedoch im Bereiche der Höchstspannungen, wo einer Schalter-Nennleistung von 25 000 MVA nur noch eine Prüfleistung von rund 20 % gegenübersteht.

Eines der grundlegenden Probleme der Schalterprüfung besteht in der grossen Vielzahl und Vielgestaltigkeit der die Schaltvorgänge bestimmenden Bedingungen, wie sie sich aus dem Einbau der Schalter an verschiedenen Stellen der elektrischen Netze ergeben. Es ist aus diesem Grunde nicht möglich, einen bestimmten Schalter genau unter denjenigen Bedingungen zu prüfen, die am Einbauort anzutreffen sein werden. Dies würde zu einer nicht zu bewältigenden Zahl von Prüfvarianten führen und müsste eine rationelle Entwicklung, Produktion und Kontrolle der Schaltgeräte verunmöglichen. Es stellte sich somit die Aufgabe, für die Prüfung eine allgemein gültige Methode zu finden, welche einerseits den verschiedenen betrieblichen Anforderungen in genügendem Masse Rechnung trägt, andererseits aber auch auf die Berücksichtigung extremer

Bedingungen (welche entsprechende ökonomische Rückwirkungen haben müssten) verzichtet. Im Rahmen der verschiedenen, nationalen und internationalen Studienkomitees ist in dieser Beziehung sehr viel Arbeit geleistet worden. Sie hat in den verschiedenen Prüfregeln ihren Niederschlag gefunden. So verfügt man z. B. heute über nationale und internationale Vorschriften bezüglich der Überprüfung des Ein- und Ausschaltvermögens von Wechselstrom-Hochspannungsschaltern.

Zum Ausgangspunkt für die weiteren Überlegungen diene das durch die internationalen Vorschriften festgehaltene Vorgehen, das in Tabelle III schematisch dargestellt ist. Dieser Darstellung kann entnommen werden, dass die Prüfregeln der CEI für den Nachweis des Kurzschluss-Ein- und Ausschaltvermögens sog. Prüfzyklen zu je 3 (unter bestimmten Bedingungen auch 2) Schaltoperationen vorsehen, wobei zwischen den einzelnen Operationen bestimmte, vorgeschriebene Pausenzeiten einzuschalten sind. Entsprechende Prüfzyklen werden ausgeführt bei 10, 30, 60 und 100 % der symmetrischen Kurzschlussleistung, wobei der Prüfzyklus mit der vollen Kurzschlussleistung auch die Einschaltoperationen enthält. Ein besonderer Prüfzyklus ist zudem vorgesehen bei der vollen asymmetrischen Ausschaltleistung, während sich für Schalter, welche für Schnellwiedereinschaltung bestimmt sind, eine entsprechende Modifikation der Pausenzeiten ergibt. Auf Grund des für diese Prüfungen vorgesehenen Vorgehens, von welchem zudem verlangt wird, dass es möglichst dreiphasig auszuführen sei, wird es klar, dass man für die Durchführung derartiger Versuche im Prinzip über ein Laboratorium mit der vollen, der Nennausschaltleistung des Schalters entsprechenden Kurzschlussleistung verfügen sollte. Wie bereits erwähnt, kann, entsprechend dem heutigen Stand der verschiedenen Prüf-

Genormte Prüfzyklen nach Publ. 56, der CEI für Schaltgeräte bei Kurzschluss

Tabelle III

| Prüfung: 3polig, Sternpunkt der Stromquelle oder Kurzschluss isoliert                           |                                                                                    |                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Angelegte bzw. wiederkehrende betriebsfrequente Spannung (in % der spezifizierten Nennspannung) | Kurzschluss-Strom (in % des spezifizierten Nenn-Ausschaltstromes)                  | Prüf-Schaltzyklus                                                                                                                                                                |
| für «Ein»<br>100...110 % der höchsten spezifizierten Nennspannung (Max. Betriebsspannung)       | 10 %, symmetrisch<br>30 %, symmetrisch<br>60 %, symmetrisch<br>100 %, asymmetrisch | Je nach Spezifikation wahlweise:<br>Aus - t - Aus - t' - Aus<br>Aus - t'' - Aus<br>Aus - θ - Aus<br>Aus - t - Ein Aus - t' - Ein Aus<br>Aus - t'' - Ein Aus<br>Aus - θ - Ein Aus |
| für «Aus»<br>≥ 95 % der höchsten spezifizierten Nennspannung                                    | 100 %, symmetrisch                                                                 |                                                                                                                                                                                  |

t = t' = 3 min; t'' = 15 s; 0 = Stromlose Pause bei Schnellwiedereinschaltung

anlagen, diese Forderung für max. Schaltleistungen gegenwärtig und in nächster Zukunft ungefähr bis zu max. Betriebsspannungen von rund 100 kV erfüllt werden, während für höhere Betriebsspannungen im Bereiche höherer Schaltleistungen die Prüflleistungen nicht mehr ausreichen werden. Es stellt sich somit die Frage nach weiteren Möglichkeiten für die Durchführung entsprechender Versuche.

Die Suche nach Möglichkeiten einer vollwertigen Prüfung von Schaltgeräten, ohne über die direkte Prüflleistung verfügen zu müssen, ist ungefähr so alt, wie die Schalterprüfung selbst. Eine ganze Reihe von diesbezüglichen Vorschlägen reichen zurück bis in den Anfang der dreissiger Jahre und die Zahl vorgeschlagener Lösungen ist dementsprechend gross. Sie lassen sich folgendermassen einteilen:

1. Substitutive Prüfverfahren
2. Kompensative Prüfverfahren
3. Pol- und elementenweise Prüfung
4. Prüfverfahren mit Schwing- und Resonanzkreisen
5. Synthetische Prüfverfahren

Die verschiedenen Methoden sollen nun in der angegebenen Reihenfolge einer etwas eingehenderen Beleuchtung unterzogen werden.

Substitutive Prüfverfahren lassen sich dazu verwenden, um auf dem Wege der Extrapolation bestimmte, für das Schaltvermögen charakteristische Grössen bei reduzierter Prüflleistung zu ermitteln. Zu diesem Zwecke wird die betreffende Grösse (z. B. die Lichtbogenlänge) vorerst bei Versuchen mit der vollen Prüfspannung in Funktion des Kurzschlußstromes bestimmt. Anschliessend werden die Versuche bei entsprechend der zur Verfügung stehenden Kurzschlussleistungen reduzierter Prüfspannung bis zum vollen Kurzschlußstrom fortgesetzt. Mit Hilfe der im zweiten Versuchsabschnitt ermittelten Messpunkte, welche sich in der Regel als eine Kurve in Funktion des Stromes auftragen lassen, erfolgt die Extrapolation des der vollen Prüfspannung zugeordneten Kurvenverlaufes.

Ähnlich ist das Vorgehen beim kompensativen Verfahren. Im Gegensatz zur substitutiven Methode versucht man jedoch bei der Prüfung mit reduzierter Spannung diesen Mangel durch eine gleichwertige Erschwerung irgend einer anderen Komponente des Versuches — z. B. durch Erhöhung des Kurzschlußstromes oder durch künstliche Verlängerung des Lichtbogens — zu kompensieren. Selbstverständlich ist es notwendig, dass man das Ausmass der anzubringenden Kompensation genau kennt.

Beide Verfahren lassen sich auch kombinieren und können sich auf diese Weise sehr gut ergänzen. Gleichwohl dürfte sich das Anwendungsgebiet beider Methoden vor allem auf Grundlagen- und Entwicklungsversuche erstrecken, wo es sehr oft darum geht, ein bestimmtes Phänomen eingehend zu verfolgen. Für Typenversuche dagegen, wo es wesentlich ist, alle während des Schaltvorganges wirksamen, zu einem guten Teil oft nicht explizite erkennbare Einflüsse, als Gesamtheit wirksam werden zu lassen, dürften sich diese beiden Methoden weniger eignen.

In den meisten Versuchsanlagen erlaubt die Durchführung einer einpoligen Prüfung einerseits eine wesentliche Einsparung des allgemeinen Versuchsaufwandes, andererseits aber auch eine bessere Ausnützung der in der Anlage installierten Prüflleistung. Voraussetzung für die Durchführbarkeit einer einpoligen Prüfung ist allerdings ein nach Polen vollständig getrenn-

ter Aufbau des Schalters, wobei konsequenterweise auch verlangt werden müsste, dass der Antrieb polweise erfolge. Die einpolige Prüfung an Stelle der dreipoligen wird heute in sehr ausgedehntem Masse angewendet, vor allem für Schaltgeräte für hohe Spannungen. Wir wollen an dieser Stelle jedoch nicht näher auf die charakteristischen Eigenschaften dieser Prüfmethode eingehen, obschon sie im Prinzip den ersten Schritt zu einer Ersatzprüfung darstellt.

Eine grosse Zahl von Schalterkonstruktionen verschiedener Bauart, vor allem für das Hoch- und Höchstspannungsgebiet, weisen mindestens zwei oder mehr in Serie geschaltete Unterbrechungsstellen auf. Die Möglichkeit ein einzelnes oder zumindest nur eine Teilgruppe derartiger Unterbrechungselemente einer Prüfung mit entsprechend reduzierter Spannung zu unterziehen, eröffnet prüftechnisch ausserordentlich interessante Aussichten. Nimmt man z. B. an, dass die in den Prüfanlagen für einpolige Versuche zur Verfügung stehende Prüflleistung rund die Hälfte der installierten dreiphasigen Leistung ausmacht, so kann für die nächste Zeit mit verfügbaren Prüflleistungen bis rund 2500 MVA gerechnet werden. Nimmt man zudem an, dass diese Prüflleistung für Versuche mit Schaltelementen eines Schalters zur Verfügung steht, welcher für eine max. Betriebsspannung von 245 kV sechs und für eine solche von 420 kV zehn derartige Elemente anwendet, und dass ferner für die Prüfung, entsprechend den Vorschriften der CEI, mindestens zwei Elemente in Serie geschaltet werden, so steht im Rahmen der elementenweisen Prüfung eine ausreichende Prüflleistung zur Verfügung, um Proben entsprechend den höchsten, gegenwärtig für die betreffenden Schalter verlangten Schaltleistungen auszuführen. Nun bedingt allerdings eine seriöse, elementenweise Prüfung eine Reihe von Voraussetzungen konstruktiver Natur. Notwendig sind: Eine genaue Identität der Elemente, hinreichende Simultanität in der Kontaktbewegung, gegenseitige Unabhängigkeit und Simultanität bezüglich der Versorgung mit dem Lichtbogenlöschmedium, keine gegenseitige Beeinflussung der Elemente bezüglich ihrer mechanischen Funktion, bezüglich Zustand und Zuführung des Löschmediums, als auch bezüglich Abführung der Auspuffprodukte. Besondere Aufmerksamkeit erfordert zudem die Aufteilung der über dem Schalterpol liegenden Spannung auf die verschiedenen Elemente, die ohne besondere Massnahmen infolge der Streukapazitäten gegen Erde normalerweise ungleich ist. Schalter mit mehr als zwei in Serie geschalteten Unterbrechungsstellen werden deshalb in der Regel mit Steuerungselementen ausgerüstet, welche eine gleichmässige Aufteilung der Spannung und damit verbunden, auch eine bessere Ausnützung der einzelnen Schaltelemente erlauben. An diese Anordnung zur Steuerung der Spannungsverteilung muss jedoch die Forderung gestellt werden, dass sie unabhängig von der Grösse des auszuschaltenden Stromes arbeitet, und dass sie die Spannungsverteilung über einen sehr weiten Frequenzbereich — von der niederfrequenten Betriebsspannung über die mittleren Frequenzen der transitorischen Ausgleichsvorgänge bis zu den Stossprüfspannungen — aufrecht erhalte. Die Prüfungen werden in der Regel in Form einpoliger Versuche vorgenommen, wobei am zu prüfenden Schalterpol je nach der zur Verfügung stehenden Leistung eine bestimmte Zahl der Schaltelemente überbrückt wird. Die Empfehlungen der CEI sehen vor, dass vorerst mit

dem kompletten Schalter, bzw. Schalterpol, in offener Stellung als auch bei Ausschaltversuchen Messungen zur Bestimmung der Spannungsverteilung vorzunehmen sind. Ferner verlangen sie, dass die Versuche an einem vollständigen Schalter, bzw. Schalterpol ausgeführt werden, und dass für den Versuch, entsprechend der zur Verfügung stehenden Prüfleistung, die max. mögliche Zahl in Serie geschalteter Elemente, mindestens aber deren zwei zur Anwendung komme. Überdies wird verlangt, dass zusätzlich zu den elementenweisen Proben, die in der Publikation 56 der CEI vorgeschriebenen Prüfzyklen am kompletten Schalter, bzw. Schalterpol, einerseits soweit als möglich mit voller Spannung, andererseits mit den vollen vorgeschriebenen Strömen und entsprechend der zur Verfügung stehenden Prüfleistung reduzierter Spannung vorgenommen werden. Ohne auf Details einzutreten sieht man, dass die seriöse Durchführung derartiger Proben bereits ein gutes Stück Arbeit und selbstverständlich einen entsprechenden Aufwand an Kosten bedeutet. Daneben weist das Verfahren auch einige Punkte auf, die messtechnisch recht heikel sind, oder über deren Einflüsse man gegenwärtig noch zu wenig unterrichtet ist. So besteht z. B. die Gefahr, dass bei der Bestimmung der Spannungsverteilung diese durch die Messeinrichtung selbst beeinflusst wird, vor allem, wenn die Seriikapazitäten der Unterbrechungsstellen klein sind. Ungenügend bekannt sind gegenwärtig auch die Rückwirkungen der sog. Nachströme bei der Lichtbogenlöschung auf die Verteilung der wiederkehrenden Spannung, ein Grund, weshalb in den Empfehlungen der CEI vorgeschrieben wurde, dass mindestens zwei Schaltelemente in Serie geprüft werden sollen. Weitere störende Einflüsse können ferner herrühren von der Anordnung der Kreiserdung, von den Streukapazitäten zu benachbarten Objekten und auch von Ableitströmen infolge Verunreinigung der äusseren Isolation.

Trotz den verschiedenen, im Rahmen dieser Ausführungen geäusserten Mängel, darf man die Bedeutung der einpoligen und der elementweisen Ersatzprüfungen, als auch der möglichen Kombination beider Verfahren nicht unterschätzen. Die beiden Prüfmethode gestatten, unter Verwendung direkter Prüfleistung und im Rahmen heute oder in naher Zukunft vorhandener Anlagen für sehr viele Schaltertypen umfassende Prüfungen bis zur vollen Nennauschaltleistung vorzunehmen. Beide Prüfverfahren können nicht nur für die Grundlagenforschung und Entwicklungsversuche angewendet werden, sondern sie sind, gerade weil sie auf der Anwendung direkter Prüfleistung basieren, auch ausgesprochen geeignet für Typen- und Abnahmeversuche an produktionsreifen Schaltgeräten. Dementsprechend sind beide Methoden für diesen Zweck auch international anerkannt und empfohlen, wie das die diesbezüglichen Prüfeempfehlungen zeigen.

Es liegen Vorschläge für Hochleistungs-Prüfkreise vor, die an Stelle der rotierenden Maschinen für die Erzeugung der Kurzschlussleistung mit Betriebsfrequenz oszillierende Schwing- oder Resonanzkreise vorsehen. Dabei gibt es Anordnungen, bei welchen der Schwingkreis direkt Strom und wiederkehrende Spannung liefert, in anderen Fällen wird das Verfahren kombiniert mit einem synthetischen Prüfkreis zur Erzeugung der wiederkehrenden Spannung. Prüfkreise nach dieser Methode dürften etwas billiger zu stehen

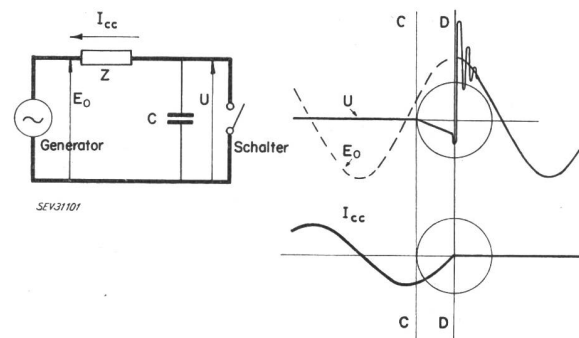


Fig. 2  
Ausschaltleistung, Kurzschlussleistung des Generators und Ausschaltvorgang im einphasigen Kreis  
Ausschaltleistung des Schalters  $P_g = U I_{cc}$   
Kurzschlussleistung des Generators (induktive Blindleistung)  
 $P_o = E_o I_{cc}$

$E_o$  EMK des Kurzschlussgenerators;  $U$  Spannung über den Schalterklemmen;  $I_{cc}$  Kurzschlussstrom;  $Z$  Kurzschlussimpedanz des Prüfkreises;  $C$  Kapazität des Prüfkreises parallel zu den Schalterklemmen; —CC— Moment der Öffnung der Schalterkontakte; —DD— Moment der Löschung des Lichtbogens

kommen als rotierende Maschinen entsprechender Leistung. Sie haben aber den Nachteil, dass die in ihnen aufgespeicherte Energie wesentlich kleiner ist als diejenige der rotierenden Massen normaler Kurzschlussgeneratoren. Das äussert sich in einem entsprechend raschen Verlust der Prüfleistung, einerseits infolge der dem Prüfkreis innewohnenden Verluste, andererseits aber auch wegen der im Prüfling in Form von Lichtbogenarbeit umgesetzten Energie. Entsprechende Prüfkreise dürften sich vor allem für physikalische Lichtbogenuntersuchungen, d. h. für Grundlagenversuche eignen, weniger für Entwicklungsarbeiten und kaum für Typenprüfungen.

Fig. 2 zeigt die Schaltung eines direkten Prüfkreises. Aus dem Diagramm des zeitlichen Verlaufes von Strom und Spannung während einer Kurzschlussausschaltung sieht man, dass der Ausschaltvorgang sich aus zwei, in ihrer Art grundsätzlich verschiedenen Abschnitten zusammensetzt. Der erste Abschnitt ist dadurch gekennzeichnet, dass im Prüfkreis ein Kurzschlussstrom fliesst, während die Spannung über dem Schalter, abgesehen von der Lichtbogenspannung, praktisch null ist. Der zweite Abschnitt dagegen wird charakterisiert durch die nach der Lichtbogenlöschung über den Schalterklemmen erscheinende, wiederkehrende Spannung, während der Kurzschlussstrom zu null geworden ist. Das als sog. Ausschaltleistung definierte Produkt von Kurzschlussstrom und wiederkehrender, betriebsfrequenter Spannung hat physikalisch an und für sich keine grosse Bedeutung; es entspricht aber der im direkten Prüfkreis vom Kurzschlussgenerator während des Zeitabschnittes wo der Kurzschlussstrom fliesst aufzubringenden Scheinleistung. Der Gedanke, die sich in den beiden zuvor erwähnten Zeitabschnitten abspielenden Vorgänge durch getrennte Prüfkreise zu erzeugen, in geeigneter Weise, synthetisch zusammenzusetzen, und damit die Ausschalt- bzw. Prüfleistung im Bezug auf die im Generator während der Stromphase aufzubringende Scheinleistung zu vervielfachen, ist ebenfalls nicht neu. Zwar lässt sich auf Grund der Differentialgleichungen für den direkten und den synthetischen Prüfkreis zeigen, dass eine vollständige Identität, der sich abspielenden Vorgänge nur dann erzielt werden kann, wenn die Kurzschlussleistung der Prüfkreise gleich gross ist,

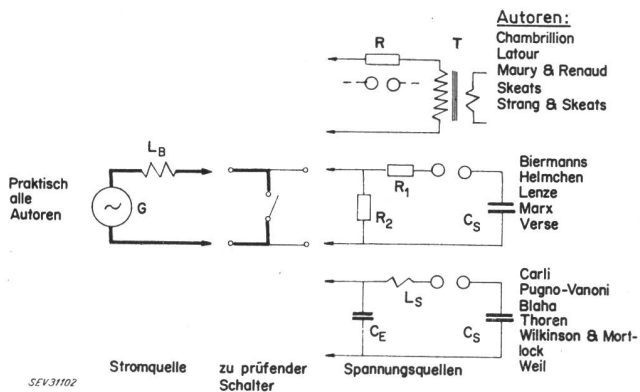


Fig. 3  
Schematisierte Beispiele der Strom- und Spannungsquellen für synthetische Prüfschaltungen

G Kurzschlussgenerator;  $L_B$  Strombegrenzungs-Induktivität; T Hochspannungstransformator; R Koppelungs-Widerstand;  $C_S$  Stoss- bzw. Schwingkapazität;  $R_1, R_2$  Stosskreis-Widerstände;  $L_S$  Schwing-Induktivität;  $C_E$  Kapazität zur Beeinflussung des Einschwingvorganges der wiederkehrenden Spannung

wie die gewünschte Prüf- bzw. Ausschaltleistung. Das schliesst nun allerdings die Anwendung synthetischer Prüfkreise nicht aus, vorausgesetzt, dass eine hinreichende Annäherung der Bedingungen an die Verhältnisse im direkten Prüfkreis möglich ist. Fig. 3 zeigt schematisch einige Varianten der Strom- und Spannungsquellen für synthetische Prüfschaltungen. Als Stromquelle wählen nahezu alle Autoren normale Kurzschlussgeneratoren eventuell in Verbindung mit Transformatoren, wie sie in den bestehenden Anlagen bereits vorhanden sind. Als Spannungsquellen werden dagegen vor allem angegeben: Hochspannungstransformatoren, für Betriebsfrequenz, teilweise aber auch für höhere Frequenzen; aperiodische RC- und auch schwingende LC-Kreise. Die Einspeisung des Stromkreises erfolgt in den meisten Fällen über einen besonderen Hilfsschalter zwischen Stromquelle und Prüfobjekt, der im Moment des Erlöschens des Kurzschlussstromes den Stromkreis abtrennt. Die Ankopplung des Spannungskreises dagegen kann zum Beispiel über einen Widerstand erfolgen, sehr oft wird sie jedoch über eine Funkenstrecke ausgeführt, welche durch ein besonderes Steuergerät im richtigen Zeitpunkt gezündet wird. Die Speisung der Spannungsquelle wird bei gewissen Schaltungen parallel zum Stromkreis ausgeführt, es gibt aber auch Fälle, wo sie vollständig getrennt oder aus der dritten Phase des den Stromkreis speisenden Kurzschlussgenerators erfolgt. Eine der wesentlichen Bedingungen hinsichtlich der Stromquelle besteht darin, dass deren Einspeisung in den Prüfkreis bei hinreichend hoher Spannung ausgeführt wird, um eine Beeinflussung der Kurvenform des Kurzschlußstromes als Folge der Lichtbogenspannungen des zu prüfenden Schalters und des Hilfsschalters innerhalb zulässiger Grenzen zu halten. Bezüglich der Spannungsquelle wird gefordert, dass sie die Steilheit der Flanke des Kurzschlußstromes im Stromnulldurchgang möglichst wenig beeinflusst, dass sie in der Lage sei, zeitgerecht eine wiederkehrende Spannung möglichst gleicher Form wie beim direkten Versuch zu liefern, dass sie ferner leistungsfähig genug sei, allfällige Auswirkungen von Nachströmen zu kompensieren. Wünschenswert ist auch ein Spannungskreis, bei dem der transiente Anteil der wiederkehrenden Spannung den gewünschten Prüfbedingungen angepasst

werden kann. Von den drei im vorangehenden Bild gezeigten Spannungskreisen haben vor allem der schwingende LC-Kreis, als auch der mit betriebsfrequenter Spannung gespeisene Transformator grössere Bedeutung erreicht, während der aperiodische Stromkreis nicht in der Lage ist, die Kurvenform der wiederkehrenden Spannung und die energetischen Verhältnisse im Lichtbogenpfad mit genügender Genauigkeit nachzubilden. Im folgenden sollen als Beispiele zwei synthetische Prüfkreise herausgegriffen und eingehender diskutiert werden. Beide Kreise sind in im praktischen Betrieb stehenden Prüffeldern — eines davon befindet sich in der Schweiz — montiert und werden seit längerer Zeit für die Prüfung von Hochleistungsschaltern eingesetzt.

Das eine der beiden Beispiele betrifft die synthetische Prüfschaltung nach Weil, wie sie im Hochleistungsprüffeld der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG) in Kassel für die Schalterprüfung verwendet wird. Fig. 4 zeigt die Schaltung des Prüfkreises. Dieser besteht aus dem durch den Kurzschlussgenerator G über den Transformator T gespeisenen Stromkreis, der zudem die Begrenzungs-drosselspule  $L_B$  enthält und über den Hilfsschalter  $S_H$  auf den zu prüfenden Schalter  $S_P$  geschaltet wird. Der Spannungskreis dagegen setzt sich zusammen aus dem Kondensator  $C_S$ , der Zündfunkenstrecke F, der Schwinginduktivität  $L_S$  und den Gliedern zur Bestimmung des transienten Einschwingvorganges der wiederkehrenden Spannung, dem Kondensator  $C_E$  und dem Dämpfungswiderstand  $R_D$ . Der Ablauf eines Schaltversuches geht nun folgendermassen vor sich: Vor Beginn werden Hilfsschalter  $S_H$  und Prüfschalter  $S_P$  eingeschaltet, der Kondensator  $C_S$  aufgeladen und der Generator G auf die gewünschte Spannung erregt. Der Beginn des Versuches wird eingeleitet, indem der Zugschalter  $S_D$  geschlossen wird, worauf im Stromkreis der Kurzschlußstrom zu fließen beginnt. Im gewünschten Zeitpunkt, nach einer, eventuell einigen Stromhalbwellen wird der Prüfschalter  $S_P$  und ungefähr gleichzeitig auch der Hilfsschalter  $S_H$  geöffnet. Einige Mikrosekunden vor dem nächstfolgenden Stromnulldurchgang wird nun über das Steuergerät St die Kugelfunkenstrecke F gezündet, wodurch sich der Kondensator  $C_S$  schwingend über die Induktivität  $L_S$  und den Prüfschalter  $S_P$  umlädt und zwar so, dass Schwingungsstrom und Kurzschlußstrom einander überlagert werden (Fig. 5). Dies führt dazu, dass der Strom im Schalter  $S_H$  etwas vor dem Strom im Schalter  $S_P$  zu null wird und löscht. Im Nulldurchgang des Schwingungsstromes von  $C_S, L_S$  löscht dann auch der Lichtbogen im Prüfschalter  $S_P$ , worauf über den Schalterklemmen die vom Spannungskreis gelieferte, wiederkehrende Spannung einschwingt. Der Ausschaltvorgang besteht damit eigentlich in der Unter-

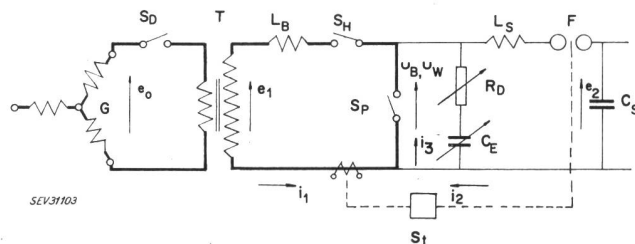


Fig. 4  
Schematisches Schaltbild der synthetischen Prüfschaltung nach Weil  
Bezeichnungen siehe im Text

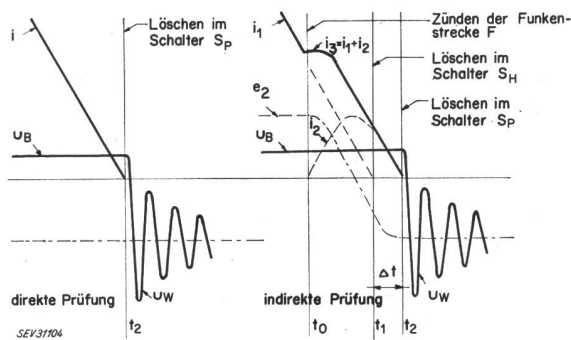


Fig. 5

Zeitlicher Verlauf von Strom und Spannung bei der synthetischen Prüfung mit der Weil-Schaltung in der Gegend des Stromnulldurchganges

Bezeichnungen siehe im Text

brechung des Schwingstromes, dessen Frequenz und Amplitude so gewählt werden kann, dass seine Flanke mit derselben Steilheit gegen null abfällt, wie diejenige des Kurzschlußstromes, wodurch die physikalischen Verhältnisse im Lichtbogen unmittelbar vor dem Löschen sehr weitgehend denjenigen des direkten Versuches angenähert werden. Zudem lassen sich die Kreiselemente des Hochspannungskreises so wählen, dass der sich abspielende Löschvorgang genau den Bedingungen des direkten Versuches entspricht, wobei die Leistung der Spannungsquelle auch ausreicht, allfällige Nachströme im Prüfling zu liefern.

Die beschriebene Prüfschaltung ist von sehr grosser Bedeutung. Nach der Auffassung verschiedener kompetenter Fachleute auf dem Gebiet der Schalterprüfung dürfte sie diejenige synthetische Anordnung sein, welche die genaueste Reproduktion der physikalischen Vorgänge im Bereich des Stromnulldurchganges erlaubt. Trotzdem bestehen noch eine Reihe von Problemen: Vorerst bemerkt man bei näherem Zusehen des zuvor beschriebenen Versuchsablaufes, dass dieser nur möglich ist, für Prüfschalter, welche eine Lichtbogendauer von höchstens einer Stromhalbwellen haben. Beträgt die Lichtbogendauer dagegen mehrere albellen, so wird eine entsprechende mehrfache Wiederholung des beschriebenen Prozesses notwendig, was aber bedingt, dass entweder mehrere Spannungskreise vorhanden sind, welche sukzessive gezündet werden können, oder dass der Stosskondensator des Spannungskreises in entsprechend kurzer Zeit wieder aufgeladen wird. Die erste Möglichkeit ist technisch anwendbar, macht aber die Anlage entsprechend kostspieliger, die zweite dürfte wegen der grossen Ladeleistung, die dazu benötigt wird, kaum in Frage kommen. Man hat auch zu beachten, dass ferner bei jedem Wiederzünden des Prüfschalters, künstlich auch der Kurzschlußstrom in der nächstfolgenden Stromhalbwellen wieder fließen kann. Ein weiterer Nachteil der Versuchsanordnung besteht ferner darin, dass sich dieser Prüfkreis wenig eignet zur Nachbildung von Einschaltversuchen, so dass die in den von der CEI verlangten Prüfzyklen enthaltenen kombinierten Ein-Aus- und Aus-Ein-Aus-Schaltungen nicht ausgeführt werden können.

Das zweite Beispiel betrifft den Prüfkreis der ursprünglich von Skeats vorgeschlagen wurde und in der Hochleistungsanlage der Sprecher & Schuh AG in Aarau zur Ausführung gelangte. Fig. 6 zeigt ein vereinfachtes Schaltbild dieses Kreises. Der Stromkreis

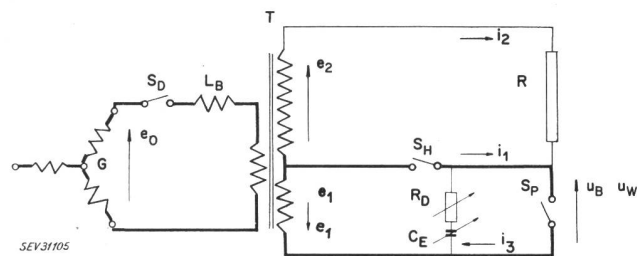


Fig. 6

Schematisches Schaltbild der synthetischen Prüfschaltung nach Skeats

Bezeichnungen siehe im Text

besteht auch hier aus dem Kurzschlussgenerator G, der Begrenzungsdrosselspule  $L_B$  und einem Teil des Transformators  $T$ . Auch in diesem Falle wird der Stromkreis bei der Löschung des Kurzschlußstromes durch einen Hilfsschalter  $S_H$  vom Prüfschalter  $S_P$  abgetrennt. Der Hochspannungskreis dagegen besteht aus einer zusätzlichen Partie des Transformators  $T$  und wird über den Widerstand  $R$  direkt auf den Prüfschalter geführt. Der Ablauf des Versuches ist ebenfalls ähnlich wie beim zuvor beschriebenen Prüfkreis, indem bei geschlossenen Schaltern  $S_H$  und  $S_P$  der Kurzschlußstrom  $i_{1cc}$  eingeleitet wird. In einem geeigneten Zeitpunkt werden dann Prüfschalter  $S_P$  und Hilfsschalter  $S_H$  geöffnet. Beim nächsten Nulldurchgang erfolgt die Löschung des Kurzschlußstromes, wobei die wiederkehrende Spannung an den Klemmen der Schalter  $S_P$  und  $S_H$  erscheint. Allerdings vermag diese Schaltung die physikalischen Vorgänge bei der Löschung weniger genau nachzubilden (Fig. 7). Zwar tritt auch hier, infolge der Lichtbogenspannungen, im Schalter  $S_H$  die Löschung etwas vor derjenigen im zu prüfenden Schalter  $S_P$  auf. Dieser Vorgang ist aber begleitet von einer Abflachung der Stromkurve  $i_3$  im zu prüfenden Schalter unmittelbar vor der Löschung, wodurch eine Erleichterung des Abschaltvorganges eintreten kann. Da ferner die Prüfleistung des hier vorliegenden Spannungskreises wesentlich geringer ist als beim entsprechenden, direkten Versuch und der Widerstand  $R$  zudem noch eine Aufteilung der Spannung bewirkt, so erfolgt im Falle von Nachströmen im Prüfschalter eine wesentlich stärkere Dämpfung der transienten wiederkehrenden Spannung, als dies bei der direkten Prüfung der Fall wäre. Der Prüfkreis hat trotz diesen Nachteilen Eigenschaften, die zu seiner praktischen Verwendung geführt haben. Einerseits erfordert er einen kleineren Aufwand, als die

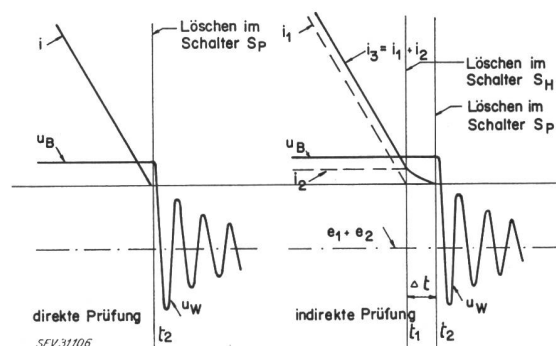


Fig. 7

Zeitlicher Verlauf von Strom und Spannung bei der synthetischen Prüfung mit der Skeats-Schaltung in der Gegend des Stromnulldurchganges

Bezeichnungen siehe im Text

Schaltung nach *Weil* und ist einfacher in seiner Arbeitsweise und hinsichtlich seiner Bedienung. Er lässt sich ferner leichter anwenden für die Prüfung von Schaltgeräten mit Lichtbogendauern von mehreren Halbwellen, indem es nur erforderlich ist, bei jedem Wiederzünden des Prüflings auch den Hilfsschalter erneut zu zünden. Zudem erlaubt der Prüfkreis auch die Anwendung der von der CEI empfohlenen Prüfzyklen, indem ebenfalls die Ein-Schaltung nachgebildet werden kann.

Aus obigen Darlegungen ist ersichtlich, dass man in der Verwendung synthetischer Schalterprüfkreise den Schritt vom rein experimentellen Laboratoriumsversuch zum praktischen Einsatz in der Gross-Versuchsanlage bereits getan hat. Trotzdem bietet dieses Gebiet der Schalterprüfung noch ein reiches Betätigungsfeld, das auch von verschiedenen Seiten intensiv bearbeitet wird und auf dem laufend weitere Fortschritte und Erfahrungen zu erwarten sind. Entsprechend dem heutigen Stand der Schalterprüftechnik akzeptiert man allgemein die Verwendbarkeit synthetischer Prüfverfahren für die Entwicklung von Schaltgeräten; eine umfassende Anerkennung ihrer Anwendung für Typen- und Abnahmeversuche dagegen ist ihnen allerdings bis anhin noch versagt geblieben.

Es verbliebe nun noch eine Abwandlung der Probleme auf andere Fälle der Schalterprüfung bei gestörten und ungestörten Betriebsverhältnissen. Dies z. B. einerseits hinsichtlich der Unterbrechung bei Phasenopposition und Erdschlussfehlern, bei Distanzfehlern, Umschlagstörungen, andererseits aber auch hinsichtlich der Unterbrechung von kapazitiven und induktiven Betriebsströmen. In all diesen Fällen handelt es sich einmal darum, die besonderen Bedingungen der betreffenden Prüfung nachzubilden, wobei bei den Versuchen bezüglich gestörte Betriebsverhältnisse sich zudem das Problem stellt, auch die notwendige Kurzschlussleistung aufzubringen. Es würde in diesem Rahmen zu weit führen, auf alle diese Fälle eintreten zu wollen. Immerhin ist es interessant, darauf hinzuweisen, dass man heute zum Beispiel Ersatzprüfschaltungen zur Nachbildung des Distanzfehlers ausgearbeitet hat. Auch bezüglich der Unterbrechung kapazitiver Ströme liegen Beispiele von Ersatzprüfkreisen vor. Neuerdings versucht man, im Rahmen des CIGRE-Komitees Nr. 3 mit ähnlichen Mitteln auch allmählich zu einem einheitlichen Prüfverfahren für die Unterbrechung kleiner induktiver Ströme zu gelangen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die in den Kurzschlussprüfanlagen heute oder in nächster Zukunft für direkte Prüfungen verfügbare Leistung in vielen Fällen immerhin schon Werte zwischen 3000...5000 MVA erreicht hat, und dass es möglich sein wird, Schalter bis zu Ausschaltleistungen von rund 5000 MVA zumindest einphasig mit direkter Kurzschlussleistung zu prüfen. Sehr wesentliche Bedeutung

kommt zudem dem elementenweisen Prüfverfahren mit direkter Prüfleistung zu, obschon die Anwendung dieser Methode ganz bestimmte konstruktive Eigenschaften der zu prüfenden Geräte zur Voraussetzung hat. Die verfügbaren Prüfleistungen einerseits und die Zuhilfenahme der einpoligen und elementenweisen Prüfverfahren andererseits erlauben bereits heute schon für eine grosse Zahl von Schaltgeräten eine volle Prüfung mit direkter Prüfleistung. Die Anwendung synthetischer Prüfkreise hat bis heute vor allem im Gebiet der Typen- und Abnahmeversuche noch nicht allgemeine Anerkennung gefunden, und sehr viele Prüffelder werden heute noch unter Verwendung direkter Prüfleistungen weiter ausgebaut. Trotzdem ist man sich einig, dass in weiterer Zukunft synthetische Prüfmethoden zur Anwendung kommen müssten. Wie rasch die Entwicklung in dieser Richtung weiterschreiten wird, dürfte allerdings wesentlich von den Bauformen abhängen, welche unsere zukünftigen Schalter haben werden, als auch vom Ausmasse mit welchem die Kurzschlussleistung in unseren Energieversorgungsnetzen noch weiter ansteigt.

#### Literatur

- [1] *Thorén, B.*: Synthetic Methods for Interruption Tests on Circuit-Breakers. Trans. Roy. Inst. Technol., Stockholm. (Prom. Arbeit). Göteborg: Erlander 1955.
- [2] *Thorén, B.*: Synthetic Circuit Breaker Testing. ASEA Res. (1958)1, S. 163...182.
- [3] *Slamecka, E.*: Die Weil-Schaltung, eine Schaltung zur Prüfung von Hochleistungsschaltern. Das Hochspannungsinstitut der AEG. Festschrift zur Eröffnung des Instituts in Kassel; 1953. S. 52...57.
- [4] *Biermanns, J.*: Montage de Weil pour essais de disjoncteurs à haute tension et capacité de rupture élevée. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 15. Session 1954, Bd. 2, Rapp. 102.
- [5] *Becker, H.*: Synthetische Schalterprüfung. Neues von Sprecher Schuh (1955)3, S. 27...29.
- [6] *Becker, H.*: Réalisation d'une installation d'essais synthétiques pour disjoncteur à haute tension. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 16. Session 1956, Bd. 2, Rapp. 117.
- [7] *Vogelsanger, E.*: Les essais indirects des disjoncteurs. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 12. Session 1948, Bd. 2, Rapp. 122.
- [8] *Zajic, V.*: High Voltage Circuit Breakers. Prag: 1957, S. 307...316.
- [9] *Commission Electrotechnique Internationale*: Règles de la CEI pour les disjoncteurs à courant alternatif. Chapitre I: Règles relatives au fonctionnement lors de court-circuits. = Publ. 56, 2. Ausg., 1954. Additif a) au Chapitre I: Recommandations pour les essais par la méthode d'essai direct sur des éléments séparés, relatifs aux pouvoirs de fermeture et de coupure des disjoncteurs. = Publ. 56-1-A, 1959. Chapitre II: Règles pour les conditions en service normal; 3<sup>me</sup> partie: Coordination des tensions nominales, des pouvoirs de coupure nominaux et des courants nominaux en service continu. = Publ. 56-3. 1. Ausg., 1959. Genf: Bureau Central de la CEI.
- [10] *Becker, H.*: Hochleistungs-Prüffeld. Neues von Sprecher Schuh (1955)3, S. 12...26.
- [11] *Gantenbein, A.*: Die neue Hochleistungs-Prüfanlage. Bull. Oerlikon (1954)305, S. 55...68.
- [12] *Mauray, E., M. Lavaut und J. Vigreux*: Le CERDA, centre d'essai et de recherches Delle-Alsthom. Rev. gén. Electr. 69(1960)3, S. 135...173.
- [13] *Nimsch, G.*: Der Kurzschlussgenerator des Hochleistungs-Versuchsfeldes. Das Hochspannungsinstitut der AEG. Festschrift zur Eröffnung des Instituts in Kassel; 1953. S. 38...45.
- [14] *Langguth, P. O.*: High Voltage Circuit Breakers Under Short-Circuit Conditions. Current. Engng. Practice. Sonderdruck von Vol. 2, Nr. 12; Vol. 3, Nr. 1 und 2 (combined).

#### Adresse des Autors:

P. Joss, dipl. Ingenieur, Chef des Schalter-Versuchslokals, Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich 50.

## Schaltüberspannungen und ihre Begrenzungsmöglichkeiten

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 30. und 31. Januar 1962 in Zürich, von K. Berger, Zürich

621.316.57.015.3

In diesem Referat sollen lediglich die zwei wichtigsten Fälle von Schaltüberspannungen besprochen werden, nämlich jene, die beim Ausschalten leerlaufender Transformatoren und leerlaufender Leitungen in Hochspannungsanlagen entstehen.

### I. Das Ausschalten leerlaufender Transformatoren mit dem technischen Lichtbogenschalter

Zwei Definitionen seien vorangestellt:

a) Unter einem idealen Wechselstromschalter soll ein Schalter verstanden sein, dessen Lichtbogenspan-