Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 16 (1925)

Heft: 2

Artikel: Erläuterungen zu den Richtlinien der S. E. V. für die Wahl der Schalter in Wechselstrom-Hochspannungsanlagen

Autor: Brühlmann, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057275

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: 10.12.2025

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

Erläuterungen zu den Richtlinien des S. E. V.

für die Wahl der Schalter in Wechselstrom-Hochspannungsanlagen[1]).

Von *G. Brühlmann*, Baden.

Der Autor erklärt die im Jahre 1924 herausgegebenen gleichnamigen Richtlinien absatzweise und ergänzt dieselben teilweise.

L'auteur commente les „Directives pour le choix des interrupteurs des installations à courant alternatif à haute tension", publiées en 1924 par l'A. S. E., et les complète sur un certain nombre de points.

A. Allgemeines.

Die Richtlinien befassen sich nicht mit konstruktiven Fragen. Sie dienen zur Bestimmung der elektrischen Beanspruchungen, welche ein an bestimmter Stelle eines Kraftnetzes eingebauter Schalter erfahren kann und sollen damit Unterlagen geben zur richtigen Wahl und Bestellung von Schaltern. Sie gelten nicht nur für Oelschalter, sondern für jede Art von Schaltern.

Zweck der vorliegenden Erläuterungen ist, soweit es als notwendig befunden wurde, die Grundlagen und Ueberlegungen zu erklären, auf welchen die Angaben der Richtlinien aufgebaut sind, teilweise fügen sie Ergänzungen hinzu. Dadurch soll das Verständnis der Richtlinien erleichtert und der Weg zu ihrer Einführung in die Praxis geebnet werden.

Im vorliegenden Heft ist ein Aufsatz „Die theoretischen und praktischen Grundlagen für den Bau, die Wahl und den Betrieb der Oelschalter" publiziert, soweit daraus Schlüsse für die Wahl der Schalter gezogen werden können, sei auf denselben als weiteren Beitrag zum Verständnis der Richtlinien verwiesen.

B. Bemerkungen, Erläuterungen und Ergänzungen zu den Richtlinien.

Seite 213/4[2]). *Anfangskurzschlusstrom.* Für die Beanspruchungen durch elektrodynamische Kräfte, insbesondere die Kontaktabhebung, in geringerem Masse auch für die Erwärmungen, spielt ausser dem Sättigungsstoss der asymmetrische Verlauf eine Rolle. Derselbe tritt in mehr oder weniger ausgesprochenem Masse bei jedem Kurzschluss auf, welcher im Zeitpunkt des Nulldurchganges der Spannung oder kurz vor oder nach diesem Moment eintritt. Die Ursachen der Asymmetrie sind aus der Fachliteratur bekannt, sie erzeugt einen abklingenden Gleichstrom, welcher sich dem Wechselstrom überlagert (siehe den Verlauf nach C in den Fig. 2 und 3 der Richtlinien). Bei dreiphasigen Kurzschlüssen, wenn alle drei Phasen gleichzeitig kurzgeschlossen werden, tritt jedesmal, unabhängig vom Schaltmoment, Asymmetrie auf. Für die Beurteilung der Wirkungen im Schalter interessiert hauptsächlich die Erhöhung des grössten Scheitelwertes des Stromes durch die Asymmetrie, da dieselbe für die elektrodynamischen Wirkungen massgebend ist, sie beträgt bei grösster Asymmetrie theoretisch das 2fache, in Stromkreisen mit Eisensättigung mehr als das 2fache der grössten Amplitude des Wechselstromes, wegen der stets vorhandenen Dämpfung ist sie praktisch kleiner und kann allgemein zum zirka 1,8fachen Wert angenommen werden. Da die Asymmetrie durch einen konstanten Faktor immer berücksichtigt werden kann, braucht sie bei der Wahl der Schalter nicht besonders berücksichtigt zu werden, die Angabe des grössten Anfangskurzschlusstromes inkl. Sättigungsstoss genügt in allen Fällen.

Seite 214/5. *Abschaltstromstärke.* Die Stromstärke kann während der Lichtbogendauer mehr oder weniger abnehmen, sowohl deshalb weil der Stromverlauf wegen der Feldschwächung in den Generatoren eine abklingende Kurve darstellt,

[1]) Die Richtlinien sind im Bulletin S. E. V. 1924, No. 5, Seite 210÷228 enthalten.

[2]) Die erste Zahl gibt die Seite an der im Bulletin 1924 abgedruckten Richtlinien, die zweite Zahl die entsprechende Seite im Separatabdruck.

als auch wegen des Einflusses des Lichtbogenwiderstandes, welcher die Impedanz des Stromkreises unter Umständen wesentlich erhöht. Die zweite Ursache hängt mit der Schalterkonstruktion zusammen (besonders der Druck hat darauf Einfluss) und hat mit den für die Wahl eines Schalters erforderlichen Angaben nichts zu tun. Das natürliche Abklingen des Stromes während des wenige Perioden dauernden Lichtbogens ist praktisch vernachlässigbar, der Einfluss könnte auch nicht zum vorneherein bestimmt werden, weil die Lichtbogenlänge unbekannt und durch die konstruktiven Verhältnisse bedingt ist. Aus diesen Gründen wird als Abschaltstromstärke der Strom im Moment der Kontaktöffnung eingesetzt, insbesondere sollen auch vorgenommene Versuche stets in diesem Sinne ausgewertet werden. Dem entspricht auch die Definition der Abschaltstromstärke auf Seite 212/3.

Die *Asymmetrie* ist bis zum Moment des Lichtbogenbeginnes stets schon zu einem wesentlichen Teil abgeklungen, auch wenn der Schalter mit Momentanauslösung versehen ist. Trotzdem der Gleichstromanteil den Mittelwert des Stromes erhöht, erschwert er die Lichtbogenlöschung nicht, sondern erleichtert sie sogar, wie aus Fig. 1 hervorgeht, welche für den widerstandslosen Stromkreis gilt. Sie zeigt, dass beim symmetrischen Kurzschluss die Löschung beim Scheitelwert der Spannung erfolgen muss, wogegen beim asymmetrischen Verlauf im Löschmoment die Spannung 0 ist (also gleich wie bei rein ohmscher Belastung). Zudem liegt die Stromkurve kurz vor der Löschung im asymmetrischen Fall flacher, d. h. der Lichtbogen hat mehr Zeit, sich abzukühlen, ein zweiter Umstand, der die Löschung erleichtert. Bei Versuchen mit rund 20000 A bei zirka 5000 V wurde tatsächlich im Falle starker Asymmetrie Löschung bei bedeutend kleinerer Lichtbogenlänge konstatiert. Der durch die Asymmetrie verkürzten Lichtbogendauer steht die grössere Wärmeentwicklung wegen des höheren mittleren Stromes gegenüber, die totale Schalterarbeit wird aber kleiner bleiben, mit Ausnahme allerdings von Abschaltvorgängen, bei denen der Lichtbogen nur eine Halbperiode dauert, weil in diesem Falle eine Verbesserung der Löschbedingungen überhaupt wirkungslos bleibt. Im letzteren Falle kann die Wirkung der Asymmetrie bei der Schalterkonstruktion durch konstante, von den Betriebsbedingungen unabhängige Faktoren berücksichtigt werden. Aus den angegebenen Gründen wird die Asymmetrie in der Angabe der Abschaltstromstärke nicht berücksichtigt (siehe auch die Definition Seite 212/3).

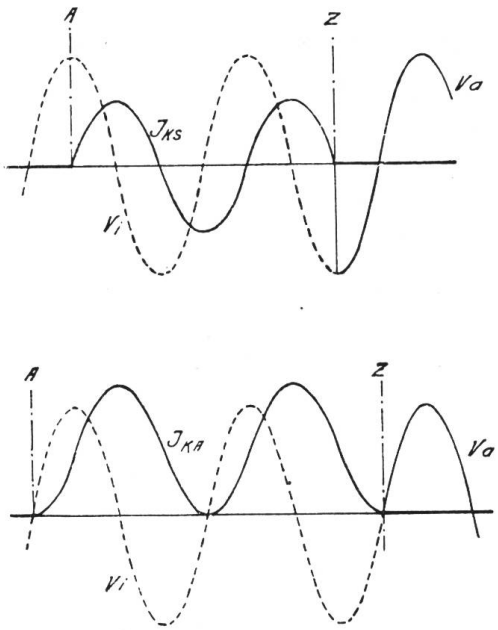

Fig. 1.

Symmetrischer und asymmetrischer Verlauf des Kurzschlusstromes.

V_i = induzierte Spannung.
A = Beginn des Kurzschlusses.
J_{KS} = symmetrischer Kurzschlusstrom.
J_{KA} = asymmetrischer Kurzschlusstrom.
Z = Abschaltmoment (Löschmoment).
V_a = Abschaltspannung.

Seite 214/5, Absatz 3. *Einfluss des cos φ.* Genaueres darüber enthalten die Arbeiten Bauers[3]) im Bulletin 1915, Seite 152÷156. In wenig Worte gefasst, ist die Erklärung folgende: Bei jedem Nulldurchgang des Stromes findet eine kurzzeitige Löschung statt. Es tritt Wiederzünden auf, wenn der Momentanwert der Spannung in diesem Augenblick grösser ist als die Zündspannung. Bei ohmscher Belastung ist nun im Moment der Löschung die Spannung = 0 und steigt nachher ihrer Kurvenform entsprechend an, um erst nach einer Viertelperiode, während welcher Zeit der Lichtbogen sich abkühlen kann, den Scheitelwert zu erreichen. Bei rein

[3]) Berichte der Kommission für Hochspannungsapparate und Brandschutz des S.E.V. und V.S.E. im Bulletin des S.E.V. 1915, Seite 137÷212 und 300÷305; 1916 Seite 85÷112; 1917 Seite 225÷239 und 273÷299.

induktiver Belastung tritt aber im Löschmoment sofort der Scheitelwert der Spannung auf, so dass so lange Wiederzünden stattfindet, bis die Zündspannung gleich dem Scheitelwert der beanspruchenden Spannung geworden ist, was bei sonst gleichen Umständen natürlich erst bei einer grösseren Lichtbogenlänge eintritt. Bei nacheilendem $\cos\varphi$ zwischen 0 und 90^0 ist die Spannung im Löschmoment gleich dem Scheitelwert mal $\sin\varphi$, z. B. bei $\cos\varphi \doteq 0{,}4$ gleich dem 0,92fachen Scheitelwert.

Seite 214/5, zweitletzter Absatz. *Schalthäufigkeit.* Der Schalter muss sich nachher noch in betriebsfähigem Zustand befinden. Vor weiteren schweren Schaltungen soll eine Revision und eventuell Instandstellung stattfinden.

Seite 215/6. *Einfluss der Frequenz.* Bei kleiner Frequenz ist der Stromdurchgang durch Null flacher, woraus wegen besserer Abkühlung oder, was identisch ist, kleinerer Lichtbogenhysteresis, eine Erleichterung der Löschung resultiert, eine ähnliche Wirkung wie bei der Asymmetrie, an Hand von Fig. 1 besprochen. Da weniger Nullwerte auftreten, muss anderseits wieder mit einer Verlängerung des Lichtbogens gerechnet werden, so dass der Vorteil teilweise wieder wettgemacht wird, wenigstens bei mässigen Lichtbogenlängen. Bei ganz kleinen Lichtbogenlängen ist sogar eine Erschwerung zu erwarten.

Seite 215/6. *Abschaltspannung.* Dieselbe ist nur bei verzögerter Abschaltung eines Kurzschlusses bedeutend verschieden von der Betriebsspannung. Der Begriff der Abschaltspannung, auch als „wiederkehrende Spannung" bezeichnet, ist neueren Ursprungs, früher wurde in allen Fällen mit der Betriebsspannung gerechnet. Dadurch kann aber ein ganz falsches Bild der Abschaltleistung bei Dauerkurzschluss entstehen, man beachte in dieser Hinsicht die im Beispiel auf Seite 222/13 der Richtlinien gerechneten Leistungen. Die Verkleinerung der Abschaltspannung gegenüber der Betriebsspannung ist auf die Armaturreaktion in den Generatoren zurückzuführen, näheres darüber enthält Abschnitt 4a der Richtlinien.

Seite 215/6. *Einfluss der Stromart.* Die Festlegung dieses Einflusses in der angegebenen Weise ist neu. Bisher wurde angenommen, dass drei einpolige Schalter zusammen, als dreiphasige Schaltergruppe verwendet, die 3fache Leistung abschalten können wie ein Schalter allein. Tatsächlich ist nur die 2fache Leistung zulässig. Diese Verschiedenheit in der Beanspruchung pro Pol ist besonders auch beim Vergleich von Abschaltversuchen oder Betriebserfahrungen mit Schaltern in Ein- und Dreiphasennetzen zu berücksichtigen. Sie erklärt sich folgendermassen:

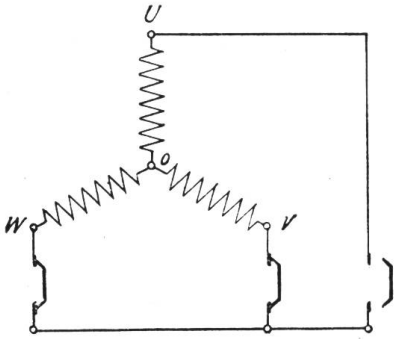

Fig. 2.
Schaltung im Moment der Löschung in Phase *U*.

Im Zeitpunkt des Nulldurchganges des Stromes in einer Phase, welcher nie gleichzeitig mit demjenigen in einer andern Phase auftritt, wird nach früherem der Lichtbogen in dieser Phase kurzzeitig löschen. In diesem Moment, welcher bei induktivem Strom mit dem Scheitelwert der Spannung in dieser Phase zusammenfällt, besteht also für die Stromquelle der Zustand des zweiphasigen Kurzschlusses nach Fig. 2, wofür das Spannungsdiagramm nach Fig. 3 gilt.

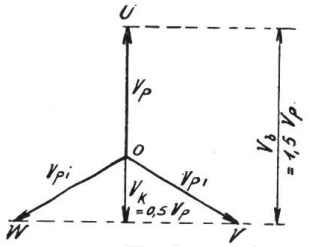

Fig. 3.
Spannungsdiagramm im Moment der Löschung in Phase *U*.
V_p = Phasenspannung.
V_{pi} = induzierte Spannnng in Phasen *V* und *W* = V_p.
V_k = bei Kurzschluss *V*-*W* bestehende Spannung zwischen *O* und *V*, resp. *W*.
V_b = Spannung am Schalter der Phase *U* = beanspruchende Spannung.

Da die Lichtbogenspannungen an den nicht gelöschten Phasen *V* und *W* klein sind und wegen ihrer umgekehrten Richtungen keinen Einfluss auf den betrachteten Vorgang ausüben, können die Schalter dieser beiden Phasen als geschlossen betrachtet werden. Das Diagramm, das für induktive Abschaltungen aufgestellt ist, weil diese allein interessieren, ergibt, dass die Spannung an Phase *U*

die 1,5fache Phasenspannung beträgt. Daraus geht hervor, dass nach jedesmaliger Löschung so lange ein Wiederzünden stattfindet, bis nach genügender Verlängerung des Lichtbogens die Zündspannung den 1,5fachen Betrag der Phasenspannung überschritten hat. Dies gilt naturgemäss für alle Phasen. Jeder Pol arbeitet demnach genau so, wie wenn er für sich allein im Einphasennetz den gleichen Strom bei der Spannung 1,5 V_p abschalten müsste. Die beanspruchende Leistung ist 1,5 $J_p V_p$, d. h. die Hälfte der gesamten Dreiphasenleistung $3 J_p V_p$. Nach Löschung der ersten Phase sinkt der Strom in den beiden andern auf $^1/_2 \sqrt{3}\, V_p$, sodass beim nächsten Nullwert des Stromes, welcher nach zirka $^1/_4$ Periode eintritt, Löschung in diesen Phasen mit Sicherheit erfolgt. Die Beanspruchung von zwei Schalterpolen ist also um den kleinen Betrag, der $^1/_4$ Periode Lichtbogendauer entspricht, grösser als im ersten Pol.

Da die Abschaltspannung definiert ist als Spannung nach Löschung aller Phasen, wird für die Bestimmung der Beanspruchung eines Schalters die Berücksichtigung der besprochenen Spannungserhöhung notwendig, dafür können die Tabellen I und II der Richtlinien verwendet werden.

Der oben angegebene und den Tabellen zu Grunde gelegte Faktor von 1,5 setzt sinusförmige Spannung und überdies bei Generatorkurzschlüssen genügende Querfelddämpfung voraus (siehe Fussnote Seite 215/6 der Richtlinien). Versuche mit Wasser- und Turbogeneratoren deuteten auf keinen höheren Wert als 1,5. Die Tabellen setzen ferner voraus, dass die Kontakte aller Schalter gleichzeitig öffnen, so dass z. B. bei zwei in Serie geschalteten Schaltern die Spannung sich auf beide gleichmässig verteilt.

Seite 216/7. *Zwei- und einpolige Kurzschlüsse in Dreiphasennetzen* (letzter Absatz des Beispiels). Zweipolig soll heissen ein Schluss zwischen zwei Aussenleitern, einpolig ein solcher zwischen einem Aussenleiter und Nullpunkt. In der Tabelle I

Beanspruchung eines Schalterpoles
bei zwei- und einpoligem Kurzschluss in Dreiphasennetzen, im Vergleich zur Beanspruchung bei dreipoligem Kurzschluss im gleichen Netz.

Tabelle I.

		Kurzschluss über Leitungen und Transformatoren (Netzkurzschlüsse)	Kurzschluss ohne wesentliche Leitungsimpedanzen (Generatorkurzschlüsse)	
Daten	Art des Kurzschlusses	Anfangs- und Dauerkurzschluss gleich	Anfangskurzschluss	Dauerkurzschluss
Abschaltstrom	3polig	1	1	1
	2polig	$\frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}87$	ca. 1	ca. 1,15 – 1,5
	1polig	1	ca. 1,15	ca. 1,5 – 2
Beanspruchende Spannung	3polig	1	1	1
	2polig	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}58$	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}58$	ca. 0,65 – 0,85
	1polig	$\frac{1}{1{,}5} = 0{,}67$	$\frac{1}{1{,}5} = 0{,}67$	ca. 0,85 – 1,15
Beanspruchende Leistung	3polig	1	1	1
	2polig	$^1/_2$	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}58$	ca. 0,75 – 1,25
	1polig	$\frac{1}{1{,}5} = 0{,}67$	ca. $\frac{1{,}15}{1{,}5} = 0{,}77$	ca. 1,25 – 2,3

Der Tabelle ist zu Grunde gelegt, dass die Impedanz von Generatoren pro Phase um ca. 15 % kleiner ist bei zwei- und einpoligem Kurzschluss als bei dreipoligem, wegen des Einflusses der gegenseitigen Verkettung der Phasen.

In der letzten Kolonne bezieht sich die erste Zahl auf langsamlaufende, die zweite auf Turbogeneratoren.

sind die Beanspruchungen zusammengestellt, welche ein Schalterpol erfährt bei Abschaltung zwei- und einphasiger Kurzschlüsse im Dreiphasennetz, im Vergleich zur Beanspruchung bei allpoligem Kurzschluss im gleichen Netz.

Die Angaben für die Berechnung der Kurzschlussdaten in Dreiphasennetzen im Absatz 4 der Richtlinien beziehen sich auf allpoligen Kurzschluss. Ist auf Grund dieser Angaben die Beanspruchung pro Pol bestimmt, so können diese Daten durch einfache Multiplikation mit den Faktoren der Tabelle I auf den Fall zweipoligen resp. einpoligen Kurzschlusses umgerechnet werden.

Bei Kurzschlüssen über *Dreieck/Stern* oder *Stern/Zickzack geschaltete Transformatoren* kann der zwei- oder einpolige Kurzschlusstrom etwas grösser werden als nach der Tabelle, weil zwischen Stromquelle und Transformatoren alle drei Phasen einen Beitrag an den Kurzschlusstrom leisten. Für genaue Rechnung kann dies berücksichtigt werden, indem die Impedanz aller Netzteile bis zum Transformator mit nur $^2/_3$ ihres wirklichen Wertes in Rechnung gesetzt wird.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Beanspruchung der Schalter im Dreiphasennetz im allgemeinen bei zwei- und einphasigen Kurzschlüssen kleiner ist als bei allpoligen. Eine Ausnahme besteht bei der Abschaltung des Dauerkurzschlusses direkt am Generator, besonders von Turbogeneratoren. Der schwerste Fall des einpoligen Kurzschlusses kann nur eintreten, wenn die Nullpunkte aller Generatoren fest geerdet sind, kommt also in der Schweiz kaum vor. Da man im allgemeinen Schalter in Turbozentralen so bemessen wird, dass sie etwas vor dem vollständigen Abklingen des Kurzschlusstromes abschalten können, spielt auch die 25prozentige Erhöhung bei zweipoligem Kurzschluss, welche sich auf den vollständig abgeklungenen Zustand bezieht, praktisch keine Rolle. Sind die Generatoren mit Stromreglern ausgerüstet, so wird der Dauerkurzschlusstrom in allen Fällen automatisch auf den gewünschten Betrag znrückgeführt. Die Bemerkung in den Richtlinien, dass der allpolige Kurzschluss für die Schalter stets die grösste Beanspruchung darstellt, wäre in diesem Sinne richtigzustellen.

Seite 216/7. *Berechnung der Abschaltstromstärke.* Dieselbe gilt für Kurzschlussabschaltungen.

Die Rechnung kann durch Messung ersetzt werden, wenn mit Hilfe einer Reihe verstellbarer Widerstände ein elektrisches Modell des Netzes hergestellt wird. Es sind für diesen Zweck besondere, praktisch zusammengestellte „Kurzschluss-Messtische" hergestellt worden (siehe z. B. Journal A. J. E. E., Dez. 1922, Seite 1003). Solche Einrichtungen vermögen besonders dann die Ermittlung der Daten sehr zu vereinfachen, wenn es sich um komplizierte Ringnetze handelt. Ob in der Praxis des Kraftwerkbetriebes starker Bedarf nach einer solchen Apparatur besteht, muss die Erfahrung zeigen, wenn ja, könnte eine dankbare Aufgabe für den V. S. E. daraus erwachsen, eine solche anzuschaffen und sich als Zentralstelle den Werken zur Verfügung zu stellen.

Seite 217/8. *Verlauf von Kurzschlusstrom und induzierter Spannung, Fig. 1÷3.* Ergänzende Erklärungen zu den Vorgängen in den Generatoren: Da der Kurzschlusstrom sehr stark phasenverschoben ist, wirken die Ampèrewindungen des Stators in der Hauptsache den Ampèrewindungen des Rotors direkt entgegen. Dadurch wird das Rotorfeld (Hauptfeld), welches die Spannung induziert, geschwächt. Die Schwächung kann aber nur langsam geschehen, weil durch die Feldabnahme in der über die Erregermaschine kurzgeschlossenen Rotorwicklung der Strom verstärkt wird bis auf zirka den 5fachen Normalwert und das Feld aufrecht zu erhalten sucht. Das Abklingen erfolgt dann in dem Masse, dass in der Rotorwicklung die Spannung induziert wird, welche zur Erzeugung des verstärkten Erregerstromes in jedem Moment erforderlich ist, es ist also vom Widerstand der Rotorwicklung, d. h. von deren Kupfergewicht abhängig. Das Abklingen geht theoretisch nach einer Exponentialkurve, welche praktisch, wegen Sättigungseinflüssen, nicht genau eingehalten wird. Die in jedem Moment vom vorhandenen Hauptfeld in der Statorwicklung

induzierte Spannung muss bei Klemmenkurzschluss in der Impedanz der Wicklung selbst verbraucht werden. Da diese Impedanz hauptsächlich aus der Streureaktanz der Wicklung besteht, heisst das, dass der Streuflux (das Querfeld), welcher grossenteils in Luft verläuft (Nutenstreuung, Stirnstreuung, Polstreuung), annähernd so gross werden muss wie das Hauptfeld. Der Kurzschlusstrom stellt sich in jedem Moment so gross ein, dass dies der Fall ist, er sinkt deshalb proportional dem Hauptfeld und der induzierten Spannung, so lange als der magnetische Widerstand der Streulinien konstant ist. Da am Anfang des Kurzchlusses das Streufeld fast die Grösse des normalen Hauptfeldes erreicht, bei bestehender Asymmetrie wird es sogar noch zirka 1,8 mal grösser, entstehen in den Streuwegen gewaltige Feldstärken. Die hohen Eisensättigungen in Zacken und Polschuhen können trotz des grossen Luftweges eine wesentliche Erhöhung des magnetischen Widerstandes für das Querfeld zur Folge haben, woraus der Sättigungsstoss entsteht. Dieser steht also nicht im Zusammenhang mit der Sättigung der Maschine für den Hauptflux, welche die Charakteristik derselben bestimmt, sondern mit den durch das Querfeld verursachten Sättigungen.

Das rasche Abklingen des Sättigungsstosses erklärt sich teils durch die Form der Sättigungskurve des Eisens mit ihrem Knie, teils durch die starken Verluste im hochgesättigten Eisen.

Die Impedanzen von Transformatoren zeigen keine Sättigungserscheinungen, da der magnetische Widerstand ihrer Streufelder fast rein durch Luftstrecken bedingt ist, Kurzschlüsse über Transformatoren verlaufen deshalb ohne Sättigungsstoss. Schon beim Vorschalten relativ geringer Impedanzen vor Generatoren (Grössenordnung die Hälfte der Anfangskurzschlussimpedanz der Generatoren) wird der Sättigungsstoss unbedeutend.

Seite 218/9. *Tabelle III.* Dass der einphasige Anfangskurzschlusstrom nicht gleich dem dreiphasigen und der zweiphasige nicht gleich dem $\frac{\sqrt{3}}{2}$ fachen Wert wird, wie er theoretisch sich ergibt, findet seine Erklärung darin, dass die Streureaktanz pro Phase kleiner ist, wenn die Verkettung der Streufelder aller drei Phasen fehlt.

Seite 219/10, 4. Absatz. *Abklingungskurven.* Bei mehreren Stromerzeugern, welche verschiedene Abklingungskurven haben, besonders wenn sie über verschiedene Impedanzen arbeiten, kompliziert sich die Rechnung. Nachdem der Anfangs- und der Dauerkurzschlusstrom gerechnet sind, ist es jedoch im allgemeinen mit genügender Genauigkeit möglich, unter Berücksichtigung der Verhältnisse des Einzelfalles eine mittlere Abklingungskurve aufzustellen, mit welcher dann gerechnet werden kann.

Seite 219/10. *Kurzschlussdaten von Stromerzeugern und Leitungen, Tabellen III und IV.* Dieselben können auch durch *Messung* ermittelt werden. Für konstante Impedanzen, Leitungen, Transformatoren, Drosselspulen, gestaltet sich dieselbe einfach und exakt, sie besteht im gewöhnlichen Kurzschlussversuch, d. h. das eine Ende wird kurzgeschlossen, am andern die aufgedrückte Spannung und der Strom gemessen. Die Impedanz pro Phase ist dann:

$$z = \frac{V}{\sqrt{3}\,J} \text{ für Dreiphasenstrom,} \qquad z = \frac{V}{J} \text{ im Einphasenstrom.}$$

Zur Kurzschlussmessung ist eine Stromquelle kleiner Spannung in der Grössenordnung von 1 ÷ 5 % der Betriebsspannung notwendig.

Die Impedanzmessungen *an Stromerzeugern* sind wegen den Einflüssen verschiedener Streuverhältnisse usw. weniger eindeutig. Der Dauerkurzschlusstrom kann direkt gemessen werden, indem die über ein Ampèremeter kurzgeschlossene Maschine erregt wird. Da die Messung nur kurze Zeit dauert, kann im allgemeinen mit der

Erregung gefahrlos bis zum Normalwert resp. Vollastwert gegangen werden, wenn nicht, wird der erhaltene Strom proportional der Erregung umgerechnet. Dieser Kurzschlusstrom und die Betriebsspannung zusammen ergeben, in die gleiche Rechnung wie oben eingesetzt, die Impedanz z_d für Dauerkurzschluss.

Die Impedanz für den Anfangskurzschlusstrom z_a ist schwieriger zu bestimmen. Eine Annäherungsmessung kann so ausgeführt werden, dass man dem langsamlaufenden Generator, dessen Erregerwicklung kurzgeschlossen ist, von einer fremden Stromquelle, z. B. einem zweiten Generator, eine kleine Spannung aufdrückt und die Stromaufnahme misst. Aus Strom und Spannung ergibt sich wie oben z_a. Der so erhaltene Wert gibt, wie Versuche (mit Turbogeneratoren) zeigten, eine gute Grundlage zur Berechnung des Anfangskurzschlusstromes.

Seite 220/11, 2. Absatz. *Parallele Stromerzeuger.* Dass parallel arbeitende Stromerzeuger, und zwar auch wenn sie über verschiedene Impedanzen arbeiten, gleich wie parallele Leitungen gerechnet werden können, beruht darauf, dass alle Generatoren in einem Netz Punkte gleicher Spannung darstellen, wobei die induzierte Spannung zu betrachten ist. Selbst im Dauerkurzschluss, wo die induzierte Spannung tatsächlich nicht mehr die gleiche ist, bleibt die Rechnung richtig, weil in der Rechnung für den Dauerkurzschlusstrom stets die volle Spannung eingesetzt und die tatsächliche Abnahme der Spannung durch Einführung einer grösseren Impedanz berücksichtigt wird.

Seite 220/11, zweitletzter Absatz. *Berechnung des Dauerkurzschlusstromes.* Es ist möglich, wenigstens in einfachen Fällen, den Einfluss der Sättigung (die Sättigung des Hauptfeldes ist massgebend) an Hand der Charakteristik des betreffenden Stromerzeugers zu berücksichtigen, wofür mehrere Methoden bestehen, siehe z. B. E. G. Merrick in General Electric Review 1916, Seite 470, sowie R. Rüdenberg in „Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemenskonzern", III. Band, 2. Heft 1924, Seite 197.

Bei Netzen mit mehreren Zentralen versagen aber alle diese Methoden, so dass die angenäherte Rechnung das Gegebene ist. Wenn nötig, kann der Einfluss der Sättigung durch eine nachträgliche Korrektur des erhaltenen Resultates berücksichtigt werden, wozu zuerst der Anteil jeder Zentrale am Kurzschlusstrom bestimmt werden muss.

Seite 221/12. *Impedanzen von Leitungen.* Für Dreiphasenkabel werden die Impedanzen im allgemeinen vom Hersteller angegeben. Wegen des kleinen Abstandes der Leiter ist die Induktivität gering und deshalb der Fehler nicht gross, wenn an Stelle der Impedanz der ohmsche Widerstand allein gesetzt wird. Für die genaue Berechnung der Induktivität von Leitungen siehe die Arbeit von Fischer-Hinnen im Bulletin des S. E. V. 1917, Seite 333. Siehe auch das zu Seite 219/10 über die Messung von Impedanzen Gesagte.

Seite 221/12, Mitte. *Grösse der Abschaltspannung.* In den Richtlinien ist nicht darauf hingewiesen, dass eine Erhöhung der Abschaltspannung über den gerechneten Wert möglich ist beim falschen Parallelschalten zweier Netze. Im ungünstigsten Falle, dass zwei gleich starke Stromquellen in Phasenopposition zusammengeschaltet werden, entsteht der gleiche Strom wie bei Kurzschluss eines Teiles allein, die Abschaltspannung und damit auch die Abschaltleistung des zuerst auslösenden Schalters ist aber die doppelte.

Seite 225/16. *Anmerkung zu den Beispielen.* Ueber die Zurückführung von Ringnetzen auf offene Netze siehe z. B. Strecker, Hilfsbuch für die Elektrotechnik. Für die Umwandlung eines beliebigen Leiterdreiecks in den entsprechenden widerstandstreuen Stern gelten mit den Bezeichnungen der Fig. 4, welche die Impedanzen darstellen, die Formeln:

$$\alpha = \frac{b\,c}{a+b+c}, \qquad \beta = \frac{a\,c}{a+b+c}, \qquad \gamma = \frac{a\,b}{a+b+c}.$$

Durch passende Aufteilung und eventuell mehrfache Umrechnung nach dieser Methode kann jedes beliebige Netz in ein offenes verwandelt werden, das dann analog den Beispielen behandelt werden kann. Mehrere speisende Zentralen werden als Punkte gleicher EMK betrachtet.

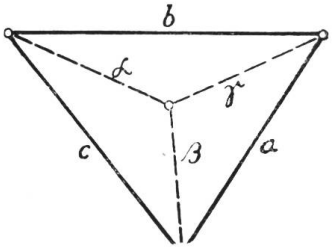

Fig. 4.
Umrechnung der Impedanzen dreier zum Dreieck zusammengeschalteter Leitungen in die entsprechende Sternschaltung.

Seite 226/17. Das *Beispiel* bezieht sich auf ein Einphasennetz, entgegen den Angaben für die Generatoren in Fig. 6 auf Seite 225/16. Für Dreiphasennetze müssten die Ströme noch durch $\sqrt{3}$ dividiert werden.

Seite 227/18. *Kurzschlusstrom von Asynchronmaschinen.* Bei grossen asynchronen Turbomotoren, welche zwar in der Schweiz kaum vorkommen, geschieht das Abklingen langsamer, so dass ein geringer Beitrag zur Erhöhung der Abschaltleistung möglich ist. Bei zwei- oder einpoligen Kurzschlüssen an Asynchronmaschinen klingt der Strom nicht bis auf 0 ab, sondern auf einen Wert ähnlich dem Dauerkurzschlusstrom der Synchronmaschinen, deshalb, weil der Motor von den gesunden Phasen aus weiter gespiesen wird und als Phasenumformer wirkt. Diese Möglichkeit ist aber praktisch ohne Bedeutung, weil die Beanspruchung eines Schalters bei nicht allpoligem Kurzschluss an und für sich kleiner ist gemäss Tabelle I, wobei direkte Generatorkurzschlüsse kaum in Betracht kommen. Ueberdies besitzen Stromverbraucher sehr oft Schalter mit Momentanauslösung, so dass sie im Dauerkurzschluss nicht mehr mitwirken. Stromverbraucher können nur dann die den Schalter durchfliessende Stromstärke erhöhen, wenn sie, vom Schalter aus gesehen, auf der speisenden Seite des Netzes liegen.

Seite 228/19. *Löschwiderstände.* Die Wirkung derselben ist von Bauer im Bulletin 1916, Seite 85 u. f. ausführlich behandelt und in den „Grundlagen für den Bau der Oelschalter" im vorliegenden Heft, Abschnitt IIIa 5, ergänzt; sie beruht auf einer Verzögerung des Spannungsanstieges am Lichtbogen im Löschmoment. Die Widerstände müssen so bemessen sein, dass sie, entsprechend der Forderung über die Schalthäufigkeit auf Seite 214/5 der Richtlinien, zweitletzter Absatz, dreimaliges Schalten in Abständen von einer Minute bei allen Betriebszuständen schadlos ertragen. Die grösste Beanspruchung des Widerstandes fällt übrigens nicht zusammen mit der grössten Abschaltleistung des Schalters.

Die theoretischen und praktischen Grundlagen für den Bau, die Wahl und den Betrieb von Oelschaltern.

Von *G. Brühlmann,* Ingenieur der A.-G. Brown Boveri, Baden.

Der Autor versucht einen Ueberblick über den heutigen Stand der Oelschalterfrage zu geben, als Grundlage für sein Referat an der Diskussionsversammlung des S.E.V. vom 3. April 1925 in Zürich[1]). Anknüpfend an die früheren Arbeiten des S.E.V. werden die Vorgänge im Oelschalter und ihr Verhalten im Betrieb beschrieben und die seither neu gewonnenen Kenntnisse besonders hervorgehoben.

[1]) *Einladung siehe Seite 111 des vorliegenden Bulletin.*

En vue de la conférence qu'il donnera à l'Assemblée de discussion de l'A.S.E. le 3 avril 1925 à Zurich l'auteur se propose de donner ici une vue d'ensemble de l'état actuel de la question des interrupteurs à huile[1]). Il décrit les phénomènes qui ont lieu à l'intérieur de ces appareils, et comment ceux-ci se comportent en exploitation. L'auteur se réfère aux travaux antérieurs de l'A.S.E. et insiste spécialement sur les résultats nouveaux obtenu depuis lors.

[1]) *Invitation voir page 111 du présent Bulletin.*

I. Allgemeines.

Der Oelschalter ist an und für sich ein recht einfacher Apparat. Nicht einfach sind dagegen die Vorgänge, die sich darin abspielen, besonders beim Ausschalten,