

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 56 (1965)
Heft: 26

Artikel: Kurzschlussleistung und transitorische wiederkehrende Spannung in schweizerischen 170-, 52- und 17,5-kV-Netzen
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916438>

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: 03.04.2026

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)

Kurzschlussleistung und transitorische wiederkehrende Spannung in schweizerischen 170-, 52- und 17,5-kV-Netzen

Bericht einer Arbeitsgruppe des Fachkollegiums 17A des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees

621.316.13.012.5

1. Einleitung

Im Bulletin des SEV 55(1964)20 wurde ein von der gleichen Arbeitsgruppe verfasster Bericht über die Kurzschlussleistung und transitorische wiederkehrende Spannung in den schweizerischen 245- und 420-kV-Netzen veröffentlicht [1]¹⁾. Die jetzt vorliegende Arbeit stellt eine Ergänzung jenes Berichtes dar, wobei nun noch die Nennspannungen von 170, 52 und 17,5 kV behandelt werden (CEI-Nennspannungen). Damit sind alle wichtigen in der Schweiz vorkommenden Betriebsspannungen erfasst. Der neue Bericht lehnt sich eng an den früheren [1] an und baut auf ihm auf. Inhalt und Gedankengänge des ersten Berichtes werden hier als bekannt vorausgesetzt.

2. Die 170-kV-Netze

Die Arbeitsgruppe hat die Verhältnisse bei 170 kV nicht besonders eingehend untersucht. In der Tat ist die Struktur der 150-kV-Netze ähnlich wie bei 245 kV. Unter Zugrundelegung einer ungefähr gleichen Anfangsteilheit der wiederkehrenden Spannung findet man, dass bei 100 % Kurzschlussleistung eine Eigenfrequenz der transitorischen wiederkehrenden Spannung von 1,3 kHz bei einem Amplitudenfaktor von 1,4 repräsentativ ist. Bei der Schalterprüfung ist dabei die sog. Seriedämpfung anzuwenden. Eine zusätzliche Prüfung für Abstandskurzschluss bei 75 % der vollen Klemmenkurzschlussleistung wird als nötig erachtet. Bei 50 % Leistung ist eine weitere Prüfung unter Einbezug aller nur durch lokale Transformatoren gespeisten bzw. begrenzten Klemmenkurzschlüsse, bei einer Eigenfrequenz von 6,5 kHz und einem Amplitudenfaktor von 1,4 zu empfehlen. Hierbei kann die Paralleldämpfung angewendet werden. Bei der 1poligen Schalterprüfung entsprechend 100 % und 50 % Klemmenkurzschlussleistung ist bei starr geerdetem Netz ein Erdungsfaktor von $\alpha = 1,3$ zu Grunde zu legen.

3. Die 52-kV-Netze

3.1 100 % Klemmenkurzschlussleistung

Die Untersuchungen wurden sowohl auf Grund statistischer Erhebungen in einem grossen Netz, als auch an sog. Grundtypen studiert. Fig. 1 zeigt die pro Netzpunkt vorkommende totale Leistung und die zugehörige Anzahl der vorhandenen und an die Sammelschiene angeschlossenen Leitungen. Daneben sind die für die Grundtypen A, B, C

angenommenen Werte eingetragen. Die Schemata und Daten für die Grundtypen sind in Fig. 2 angegeben. Ganz wesentlich für die Steilheit der transitorischen wiederkehrenden Spannung ist neben der Kurzschlussleistung die Anzahl der angeschlossenen Freileitungen. Diese Anzahl wurde für die Grundtypen folgendermassen ermittelt:

Die über eine 52-kV-Leitung übertragene Betriebsleistung beträgt in der Praxis höchstens 30...35 MVA. Wegen des Energieflusses aus dem übergeordneten Netz in das 52-kV-Netz ist die Anzahl der 52-kV-Leitungen auf die Transformatorleistung der betrachteten Station abzustimmen. Beim Grundtyp A wurde mit nur 2 Leitungen ein Fall gewählt, der bei Stationen kleiner Kurzschlussleistung auftreten könnte. Auf eine Leitung entfallen 50 MVA Betriebsleistung, d. h. die Station ist bezüglich Anzahl 52-kV-Abgängen noch nicht voll ausgebaut. Oder man kann sich bei diesem Grund-

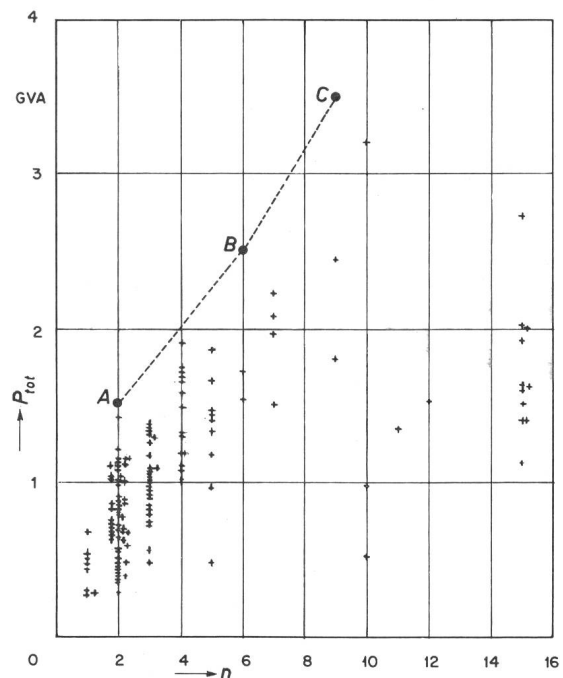


Fig. 1

Totale Kurzschlussleistung P_{tot} in verschiedenen Stationen eines grossen schweizerischen 50-kV-Netzes, in Funktion der Anzahl Leitungen n , die an die Sammelschiene der Stationen angeschlossen sind

A, B, C Grundtypen nach Fig. 2, die für die Berechnung von typischen Verläufen der transitorischen wiederkehrenden Spannung gewählt wurden

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

typ z. B. einen dritten und evtl. vierten 52-kV-Abgang denken, aber als Stichleitungen, die keinen Beitrag an die Kurzschlussleistung liefern. Wenn diese Stichleitungen aus irgend einem Grunde nicht angeschlossen, d. h. nur die beiden anderen Leitungen zugeschaltet sind, wäre das Schema gemäss Typ A verwirklicht. Bei den Grundtypen B und C entfallen auf eine Leitung durchschnittlich ungefähr 20 MVA, was dem Vollausbau entsprechen dürfte. Weniger Leitungen als 6 bzw. 9 sind aber grundsätzlich möglich, so dass bei Typ B und C noch etwas strengere Bedingungen bezüglich Anfangsteilheit der transitorischen wiederkehrenden Spannung entstehen könnten.

Der zeitliche Verlauf der transitorischen wiederkehrenden Spannung wurde mit Computer für die Grundtypen berechnet, während man für die wirklichen Netzpunkte lediglich die Anfangsteilheit ermittelte. Als Schaltfall wurde stets die erstlöschende Phase eines 3poligen isolierten Kurzschlusses im nicht starr geerdeten Netz betrachtet. Die transiente Spannung schwingt dann bekanntlich auf den 1,5fachen Wert der betriebsfrequenten Spannung Phase—Erde ein. Für die Anfangsteilheit ist zwar ein etwas kleinerer Faktor richtig, welcher etwa zwischen 1,2 und 1,4 liegt, je nach der Anzahl der angeschlossenen Leitungen und dem Verhältnis des Wellenwiderstandes des Mitsystems zum Wellenwiderstand des Nullsystems.

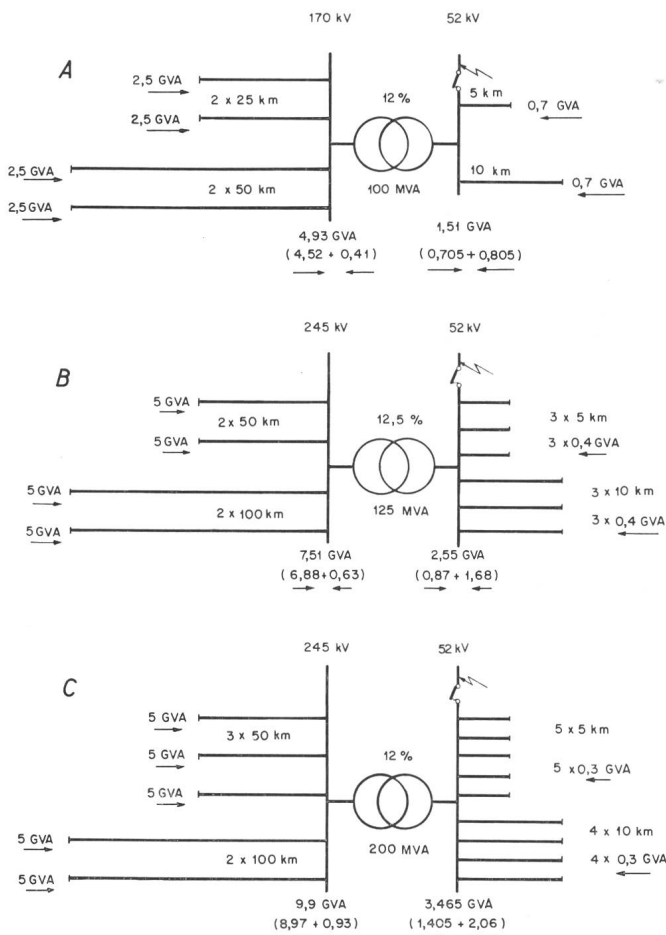


Fig. 2
Schemata der Stationsgrundtypen A, B und C

Die mit einem Pfeil unterstrichenen Werte sind die Teilkurzschlussleistungen, die an den betreffenden Netzstellen entstehen, wenn nur die hinter dem Pfeil liegenden Leistungsquellen anspeisen
GVA-Zahlen: Kurzschlussleistungen; MVA-Zahlen: Nennleistung der Transformatoren

Die transitorischen wiederkehrenden Spannungen für die Grundtypen sind in Fig. 3 dargestellt. Dabei entspricht die ausgezogene Linie 1 der Annahme, dass in jedem Einspeisepunkt der 52-kV-Zuleitungen eine weitere Leitung zu einer anderen Station vorhanden sei (vermaschtes Netz), während bei der gestrichelten Linie (O) die theoretische Annahme getroffen wurde, dass keine solche Leitung existiere. Daneben ist je strichpunktierter eine «seriegedämpfte» Einschwingkurve mit einer Eigenfrequenz von 4,5 kHz mit einem Amplitudenfaktor $k = 1,4$ gezeichnet. Die Darstellungen zeigen, dass die 4,5-kHz-Kurve beim Grundtyp A nicht ganz genügt, während sie bei den Grundtypen B und C gut «deckt». Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Kurve O unwirklich ist, und dass die Korrektur der Anfangsteilheiten nach unten in den Kurven 1 und O nicht durchgeführt wurde.

Ganz allgemein führt auch die vorhandene Tendenz zu vermehrter Verkabelung auf harmlosere Bedingungen. Demgegenüber besteht aber eine Tendenz zu grösserer Belastung der bestehenden Netze, was entsprechend härtere Verhältnisse schafft.

Die Arbeitsgruppe schlägt auf Grund dieser Untersuchungen für 100 % Leistung eine Eigenfrequenz von 4,5 kHz, Erdungsfaktor = 1,5, Amplitudenfaktor = 1,4 vor (Serie-dämpfung).

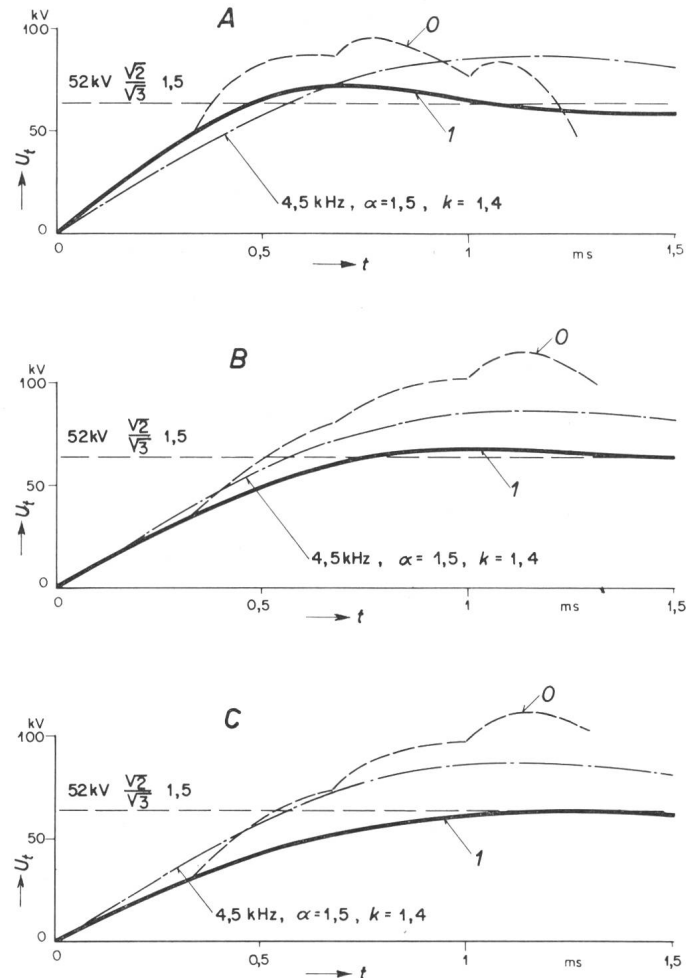


Fig. 3

Gerechnete zeitliche Verläufe der transitorischen wiederkehrenden Spannung im Falle der drei Grundtypen A, B und C nach Fig. 2

1 im Falle eines vermaschten Netzes (in den Stationen am Ende jeder Leitung ist je eine weitere in Fig. 2 nicht eingezeichnete Leitung angeschlossen); O im Falle eines streng auf Fig. 2 beschränkten Netzes
 u_t Spannung; t Zeit; α Erdungsfaktor; k Amplitudenfaktor

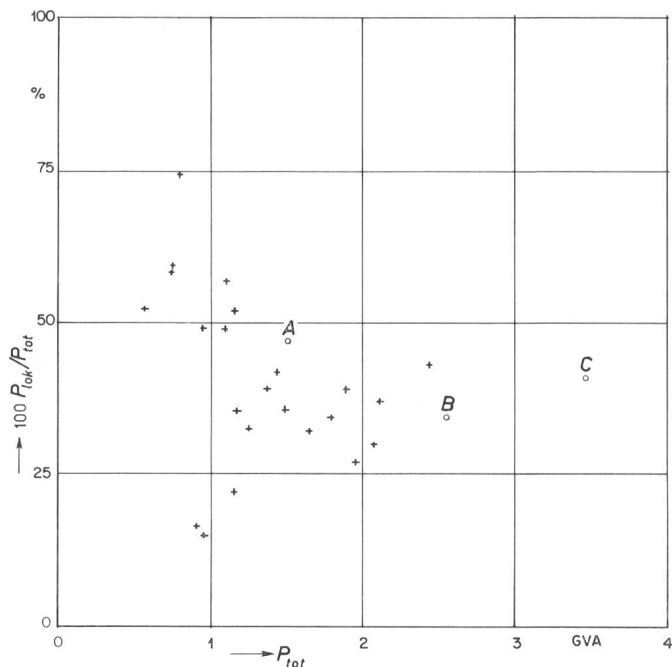


Fig. 4

Verhältnisse zwischen der durch lokale Transformatoren gebrachten Kurzschlussleistung $P_{lok.}$ und der totalen Kurzschlussleistung $P_{tot.}$ (= 100 %) in einem grossen schweizerischen 50-kV-Netz (+) sowie für die Grundtypen (Punkte A, B und C)

3.2 50 %/o Klemmenkurzschlussleistung

Fig. 4 gibt zunächst das Verhältnis der durch lokal vorhandene Transformatoren aufgebrauchten Kurzschlussleistung $P_{lok.}$ zur totalen Kurzschlussleistung $P_{tot.}$ (= 100 %) in jedem statistisch erfassten Netzpunkt, sowie für die Grundtypen an. Wie man sieht, übersteigt $P_{lok.}$ nur in wenigen Fällen, und zwar bei relativ kleiner totaler Kurzschlussleistung 50 %/o von $P_{tot.}$. Man kann also annehmen, dass der gelegentlich mit hohen Eigenfrequenzen vorkommende Transformatorkurzschluss, abgesehen von Sonderfällen, 50 %/o der vollen Kurzschlussleistung kaum überschreitet.

Zur Ermittlung der Transformator-Eigenfrequenzen wurden Messungen nach einer früher beschriebenen Methode

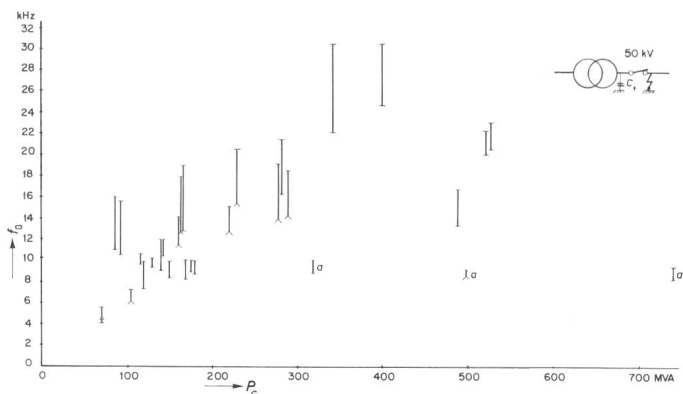


Fig. 5

Gemessene Transformator-Eigenfrequenzen f_0 in Funktion der dreiphasigen Durchgangskurzschlussleistung P_c

Es handelt sich um die 50-kV-Wicklung von verschiedenen Transformatoren

I in Versuchslokalen durchgeführte Messungen; a im Netz durchgeführte Messungen; a die Dreiphasen-Transformatorgruppe besteht aus drei Einphaseneinheiten

Alle übrigen Punkte beziehen sich auf Dreiphasen-Transformatoren. Der obere Punkt des jeweils angegebenen Frequenzbereiches wurde ohne künstliche Zusatzkapazität C_+ , der untere Teil mit einer Zusatzkapazität $C_+ = 2000$ pF ermittelt

durchgeführt [1; 2]. Die Resultate sind in Fig. 5 zusammengestellt. (Eigenfrequenz in Funktion der Durchgangs-Kurzschlussleistung bei unendlich starker Speisung.) Es wurde sowohl an Transformatoren ab Fabrik als auch im Netz gemessen. Die Resultate sind zu wenig umfangreich, um mit Sicherheit auf eine Gesetzmässigkeit zu schliessen. Immerhin hat man den Eindruck, dass die Eigenfrequenz der Dreiphasen-Transformator-Einheiten mit zunehmender Durchgangs-Kurzschlussleistung bzw. Nennleistung zunimmt. Andererseits scheinen die Transformatoren mit einer Einheit pro Phase kleinere Eigenfrequenzen zu haben als die Dreiphaseneinheiten (bei gleicher dreiphasiger Nennleistung). Auf Grund von Fig. 5 darf man, ohne die wenigen Fälle besonders grosser Frequenzen zu berücksichtigen, eine obere praktische Grenze von 20 kHz als vernünftig betrachten.

Um nun zu beurteilen, mit welcher resultierenden Frequenz z. B. bei 50 %/o Leistung zu prüfen sei, fehlen vor allem noch die Amplituden der hochfrequenten Transformator-schwingungen. Der Anteil dieser Amplituden an der Totalamplitude ist bei 52 kV im Mittel grösser als beispielsweise bei 245 kV.

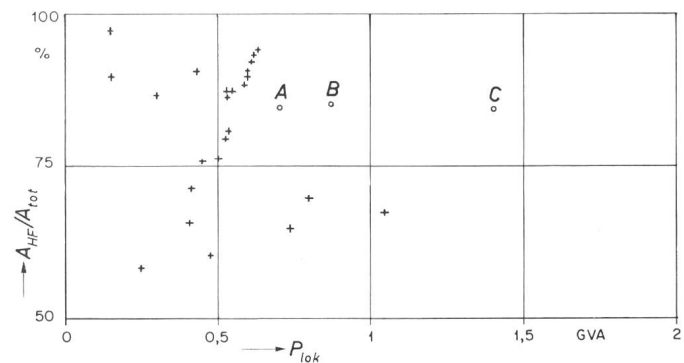


Fig. 6

Amplitude A_{HF} der hochfrequenten Komponente der transitorischen wiederkehrenden Spannung (lokale Transformatoren) in Prozent der Totalamplitude A_{tot} in Funktion der Kurzschlussleistung $P_{lok.}$ A, B, C Grundtypen (ungedämpfte Schwingungen vorausgesetzt)

In Fig. 6 sind einige diesbezügliche Werte aus statistisch erfassten Netzpunkten sowie für die Grundtypen angegeben. Besonders zu beachten ist, dass im isolierten Netz die hochfrequente Amplitude nicht nur auf den Scheitelwert der betriebsfrequenten Spannung Phase—Erde, sondern auf 1,5mal mehr zu beziehen ist. Der Amplitudenfaktor der hochfrequenten Schwingung beträgt laut Messungen ca. 1,85.

Die Arbeitsgruppe empfiehlt auf Grund ihrer Studien bei 50 %/o Klemmenkurzschlussleistung eine Prüfung bei 17,5 kHz, Erdungsfaktor = 1,5, Amplitudenfaktor = 1,5 durchzuführen (Paralleldämpfung). Dabei wird darauf aufmerksam gemacht, dass so hohe Eigenfrequenzen in Prüfstationen nicht ohne weiteres verwirklicht werden können.

3.3 Abstandkurzschluss

Hier wird eine Prüfung bei 75 %/o der vollen Klemmenkurzschlussleistung als repräsentativ und genügend vorgeschlagen. Ferner wird empfohlen, die Details der Prüfung gemäss den zur Zeit im Rahmen der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) diskutierten Vorschlägen durchzuführen.

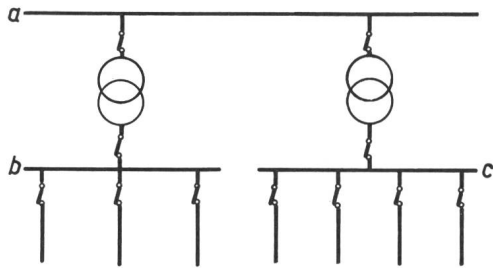


Fig. 7

Typisches Schema einer 16-kV-Verteilstation

a Hochspannungssammelschiene; b, c 16-kV-Sammelschienen

4. Die 17,5-kV-Netze

In der Schweiz werden zahlreiche Lokal- und Verteilnetze mit 16 kV betrieben. Folgende Verwendungsarten für Schalter kommen vor:

- Leitungsschalter
- Kabelschalter
- Transformatorschalter
- Generatorschalter
- Schalter für Kurzschlussbegrenzungs-Drosselspulen (selten).

Diese Fälle werden nachstehend kurz diskutiert.

4.1 Leitungsschalter

Das Schema eines typischen Einspeise-Netzpunktes ist in Fig. 7 gezeigt. Bei den 16-kV-Netzen handelt es sich fast immer um unvermaschte Strahlennetze, so dass die gesamte Kurzschlussleistung aus dem übergeordneten Netz stammt, da über die 16-kV-Leitungen keine Rückspeisung erfolgt. Wenn beim Ausschalten eines Kurzschlusses an der Schalterklemme Leitungen an die Sammelschienen angeschlossen bleiben, sind die transitorischen wiederkehrenden Spannungen im allgemeinen durch die Kurzschlussleistung und durch die Anzahl der angeschlossenen Leitungen und Kabel bestimmt. Die nach klassischen Methoden durchgeführte Berechnung der Anfangsteilheiten für Stationen mit verschiedenen Kurzschlussleistungen in Funktion der Anzahl der angeschlossenen Leitungen hat ergeben, dass die transitorischen wiederkehrenden Spannungen durch eine repräsentative Einschwingkurve mit 11 kHz, Erdungsfaktor = 1,5, Überschwüpfungsfaktor = 1,4 und Seriedämpfung gedeckt sind

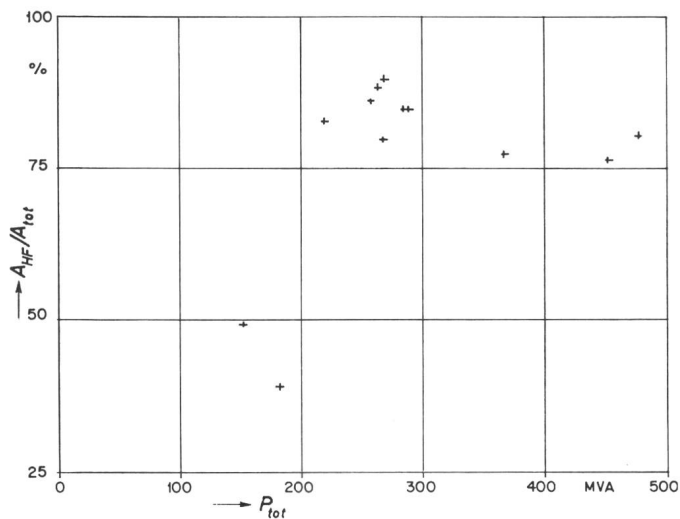


Fig. 8

Wie Fig. 6, aber für schweizerische 16-kV-Netzpunkte
Bezeichnungen siehe Fig. 6

bei weniger als ungefähr 150 MVA Kurzschlussleistung pro angeschlossene Leitung. Die dafür notwendige Anzahl Leitungen wird in der Praxis meistens erreicht aus Gründen der auf die thermische Grenzleistung der Leitungen abgestimmten Transformatorleistung. Strenger kann der Verlauf für den sog. letztlöschenden Schalter werden, sofern die Transformatoreigenfrequenz sehr gross und die Sammelschienenkapazität klein sind (siehe Transformatorschalter).

Der Abstandkurzschluss tritt hier in seiner Bedeutung zurück. Der auszuschaltende Strom und die Anfangsteilheit der hochfrequenten Leitungsschwingung nehmen mit zunehmender Leitungslänge viel rascher ab, als bei den höheren Nennspannungen und erreichen schon bei kurzen Fehlerdistanzen unbedeutende Werte. Diese kleine gefährdete Leitungslänge und die Tatsache, dass ein für 100% Kurzschlussleistung mit 11 kHz und voller Amplitude geprüfter Schalter bei den kleineren Strömen und kleineren Amplituden der wiederkehrenden Spannung beim Abstandskurzschluss gewisse Reserven aufweist, rechtfertigen den Verzicht auf eine spezielle Prüfung für Abstandskurzschluss bei 16 kV.

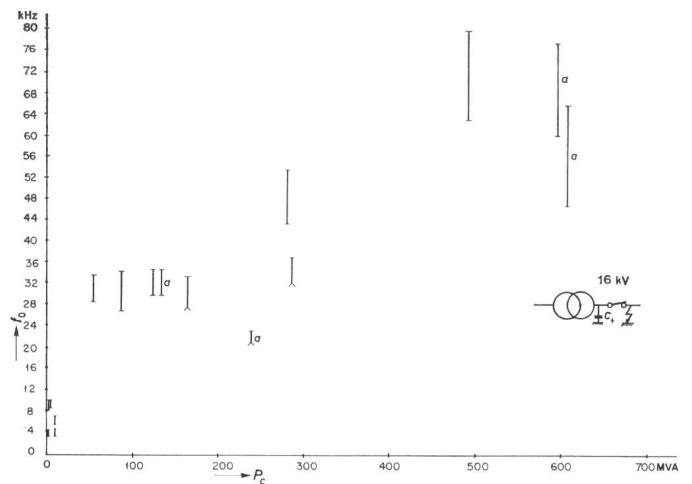


Fig. 9

Gemessene Transformator-Eigenfrequenzen f_0 in Funktion der Durchgangskurzschlussleistung, auf der 16-kV-Seite von Transformatoren
Erklärungen siehe Fig. 5

4.2 Kabelschalter

Beim Kabelschalter verläuft die transitorische wiederkehrende Spannung wegen der grossen Kabelkapazität bzw. dem kleinen Wellenwiderstand harmloser als beim Leitungsschalter.

4.3 Transformatorschalter

Zunächst ist festzustellen, dass die durch lokal vorhandene Transformatoren gelieferte Kurzschlussleistung P_{lok} , oft gleich gross sein kann wie die totale Kurzschlussleistung P_{tot} . Die hochfrequente Komponente der Einschwingspannung hat aber auch hier eine Amplitude, die im Verhältnis kleiner ist als die Totalamplitude. Einige aus 16-kV-Netzpunkten ermittelte diesbezügliche Werte sind in Fig. 8 zusammengestellt. Diese Darstellung zeigt allerdings nur das Verhältnis Transformator-Kurzschlussimpedanz zur totalen Kurzschlussimpedanz. Das Amplitudenverhältnis selbst kann wegen verschiedener Überschwüpfung-Bedingungen (Transformatorschwingung gegenüber der niederfrequenten Schwingung des speisenden Netzes) grösser sein.

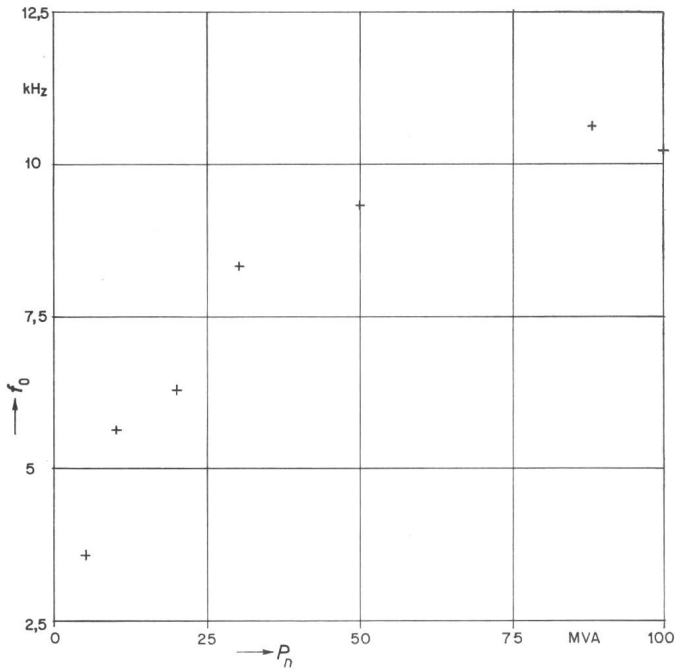


Fig. 10
Berechnete Eigenfrequenzen f_0 von Generatoren in Funktion der
Generatornennleistung P_n

Gemessene Werte von Transformator-Eigenfrequenzen sind in Fig. 9 angegeben. Wie man sieht, gibt es dabei zum Teil sehr hohe Werte.

Die Arbeitsgruppe verzichtet darauf, für diesen Schaltfall einen generellen Prüfvorschlag zu machen, weil die Prüfstationen so hohe Eigenfrequenzen meistens nicht realisieren können. Die Tatsache, dass im Betrieb mit guten handelsüblichen Schaltern kaum Versager wegen zu hoher Transformator-Eigenfrequenz bei Kurzschluss vorkommen, ist ein Anzeichen dafür, dass man diesen Schaltfall nicht überbewerten soll.

4.4 Generatorschalter

Berechnete Eigenfrequenzen von Generatoren sind in Fig. 10 angegeben. Die Amplitudenfaktoren ergaben sich aus diversen Messungen zu 1,6 bis 1,7. In der Regel sind zwischen dem Generator und seinem Schalter Kabel vorhanden, wodurch die Eigenfrequenz verkleinert wird. Aber auch ohne Kabel wäre der Generatorkurzschluss durch die schon beim Leitungsschalter erwähnte repräsentative Eigenfrequenz von 11 kHz gedeckt.

Anzahl der in Netzen vorkommenden Schalter
Tabelle I

	Anzahl der in Netzen vorkommenden Schalter %	
	Eigenfrequenz	
	≤ 11 kHz	> 11 kHz
Leitungs- und Kabelschalter	76	—
Transformatorschalter	15	5
Generatorschalter	3	—
Schalter für Kurzschlussdrosselspulen	—	1
Total	94	6

4.5 Schalter für Kurzschluss-Drosselspulen

Dieser in der Schweiz selten angewandte Schaltfall ist mit sehr hohen Eigenfrequenzen verbunden, ähnlich wie beim Transformator-Kurzschluss. Die Amplitude des hochfrequenten Schwingungsanteils ist jedoch stets kleiner als diejenige der betriebsfrequenten Spannung Phase—Erde, wobei allerdings noch ein Überschwingungsfaktor hinzukommt.

4.6 Häufigkeit der verschiedenen Schaltfälle bei 17,5 kV (16 kV) Netzspannung

In Tabelle I sind geschätzte prozentuale Anzahlen Schalter für die vorstehend behandelten Schaltfälle zusammengestellt, wobei aber die Tabelle nichts über die Häufigkeit der Schaltmanöver aussagt.

Hieraus folgt, dass weitaus die meisten Schalter für Aufgaben eingesetzt sind, bei denen die Eigenfrequenz unterhalb 11 kHz liegt.

Die Arbeitsgruppe schlägt für 17,5 kV vor, bei 100 % Leistung für alle normalen Fälle 11 kHz als repräsentative Eigenfrequenz, bei einem Erdungsfaktor von 1,5 und einem Amplitudenfaktor von 1,5 zu Grunde zu legen. Grundsätzlich wird «Seriedämpfung» im Prüfkreis vorgeschlagen. Es ist aber bei 11 kHz fraglich, ob die Prüfanlagen bei so hoher Eigenfrequenz noch Spielraum für Dämpfungsmassnahmen haben, da jede Dämpfung zwangsläufig auch eine Reduktion der Eigenfrequenz bewirkt. Für kleinere Leistungen (≤ 50 %) wird der gleiche Vorschlag gemacht. Der Abstandskurzschluss soll nicht durch Prüfung nachgewiesen werden. In Ausnahmefällen von Klemmenkurzschlüssen mit sehr grossen Eigenfrequenzen, bei voller und reduzierter Leistung ist die Frage der Schalterprüfung durch Vereinbarung zwischen Besteller und Fabrikant zu entscheiden.

4.7 Betriebsfrequenz $16^{2/3}$ Hz, Bahnbetrieb

Als wichtigste Tatsache ist zu erwähnen, dass die transitorische wiederkehrende Spannung bei $16^{2/3}$ Hz wesentlich harmloser verläuft als bei 50 Hz. Betrachtet man z. B. die Anfangsteilheit bei einem Netzpunktkurzschluss oder bei Abstandskurzschluss nach der bekannten Formel:

$$\left| \frac{du}{dt} \right|_{t=0} = \left| \frac{di}{dt} \right|_{t=0} \cdot Z \quad (1)$$

so ist bei gleichem Wert des Stromes i , $\frac{di}{dt}$ dreimal kleiner bei $16^{2/3}$ Hz als bei 50 Hz. Entsprechend wird nach der Formel auch die Steilheit des Spannungsanstieges dreimal kleiner, vorausgesetzt, dass der resultierende Wellenwiderstand Z in beiden Fällen gleich gross ist. Oder wenn man z. B. einen Klemmenkurzschluss, gespeist durch nur lokal vorhandene Generatoren bzw. Transformatoren betrachtet, so ist bei gleichem Effektivwert des Kurzschlussstromes die als konzentriert angenommene Induktivität L der Speisequelle bei $16^{2/3}$ Hz dreimal grösser als bei 50 Hz. Damit wird die Eigenfrequenz:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

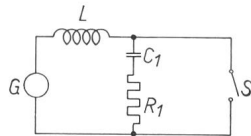
$\sqrt{3}$ mal kleiner bei $16^{2/3}$ Hz als bei 50 Hz, sofern die Kapazität C in beiden Fällen gleich gross ist. All dies gilt nicht nur für 16 kV, sondern auch für andere Spannungen.

Nennspannung kV	P=100%			P=75%	P=50%		
	KK ¹⁾			AK	KK ¹⁾		
	Eigenfrequenz f_0 kHz	Überschwingfaktor k	Erdungsfaktor $\alpha^2)$		Eigenfrequenz f_0 kHz	Überschwingfaktor k	Erdungsfaktor $\alpha^2)$
17,5	11	1,5	1,5	keine Prüfung	11	1,5	1,5
52	4,5	1,4	1,5	natürliche oder künstliche Leitung	17,5	1,5	1,5
170	1,3	1,4	1,3		6,5	1,4	1,3
245	1,0	1,4	1,3		5,0	1,4	1,3
300	0,8	1,4	1,3		4,0	1,4	1,3
420	0,7	1,4	1,3		3,5	1,4	1,3

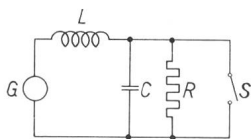
KK Klemmenkurzschluss; AK Abstandskurzschluss

¹⁾ Für die Einstellung der Eigenfrequenz und des Überschwingfaktors im Prüfkreis wird empfohlen, die Kapazität und den Dämpfungswiderstand wie folgt anzuordnen:

a) Für die Prüfung mit 100 % Ausschaltleistung, in Serie, nach folgendem Schema:



b) Für die Prüfung mit 50 % Ausschaltleistung parallel, nach folgendem Schema:



In den Schemata bedeuten:

G Stromquelle; L Induktivität zur Einstellung des Prüfstromes; C, C₁, R, R₁, künstliche Kapazitäten und Widerstände zur Einstellung der Einschwingspannung; S Prüfschalter.

²⁾ Bei einpoliger Prüfung soll mit einer betriebsfrequenten wiederkehrenden Spannung über den Schaltpol von $\frac{U_n}{\sqrt{3}} \propto$ geprüft werden.

5. Zusammenfassung der Prüfvorschläge

Auf Grund der im vorliegenden und in einem früheren Aufsatz [1] beschriebenen Resultate von Netzuntersuchungen werden für die Schalterprüfung Verläufe der transitorischen wiederkehrenden Spannung nach Tabelle II als repräsentativ und anwendbar vorgeschlagen.

Es wird allerdings darauf aufmerksam gemacht, dass die höchste spezifizierte Eigenfrequenz, nämlich 17,5 kHz, nicht ohne weiteres in Prüfstationen verwirklicht werden kann. Andererseits gibt es in 16-kV-Netzen (Schalterennennspannung 17,5 kV) Ausnahmefälle von Transformator-Kurzschlüssen, bei welchen eine höhere Eigenfrequenz als die spezifizierte, vorkommen kann. In solchen Fällen ist die Frage der Schalterprüfung durch Vereinbarung zwischen Besteller und Fabrikant zu entscheiden.

Für die Prüfung von 245-, 300- und 420-kV-Schaltern wurde im Aufsatz [1] ein Überschwingfaktor von $k = 1,3 \pm 10\%$ vorgeschlagen. Neuerdings wird in Anlehnung an die Empfehlungen der CEI die praktisch gleichwertige Empfehlung mit einem Überschwingfaktor $k = 1,4$ ohne Toleranzangabe festgelegt.

Das vorgeschlagene Prüfkonzept entspricht bei Klemmenkurzschluss ungefähr den bisherigen Regeln für Wechselstrom-Hochspannungsschalter (Publ. 0186.1959 des SEV) jedoch mit höheren Eigenfrequenzwerten. Dazu kommt neu eine Prüfung bei Abstandskurzschluss, die in den Einzelheiten z. B. gemäss den zur Zeit bei der CEI diskutierten Vorschlägen durchgeführt werden kann.

Literatur

- [1] H. Bader, P. Baltensperger, H. Hartmann und A. W. Roth: Kurzschlussleistung und transitorisch wiederkehrende Spannung in den schweizerischen 245-kV- und 420-kV-Netzen. Bull. SEV 55(1964)20, S. 1003...1016.
 [2] P. Geng: Verfahren zur Messung der Eigenfrequenz und des Überschwingfaktors der beim Ausschalten von Kurzschluss-Strömen auftretenden transitorisch wiederkehrenden Spannung. Bull. SEV 56(1965)11, S. 423...427.

Adresse der Autoren:

H. Bader, Suisselectra, 4000 Basel; Dr. P. Baltensperger, AG Brown Boveri & Cie., 5400 Baden; H. Hartmann, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, 5400 Baden; A. W. Roth, Sprecher & Schuh AG, 5000 Aarau.

Circulation avec les feux de position: l'opinion de l'utilisateur de la route

Conférence, donnée à l'Assemblée de discussion de la CSE le 6 avril 1965 à Berne

par J.-P. Marquart, Berne

656.057.883

Au cours des nombreux exposés présentés à l'Assemblée de discussion, il a souvent été question de l'utilisateur de la route qui est en définitive le principal sujet de toutes ces considérations. Le moment est venu d'en faire la synthèse et d'examiner rapidement, de ce point de vue, où nous en sommes avec le risque inévitable de certaines répétitions.

Deux constatations s'imposent d'emblée. D'une part, tout usager de la route est désireux de voir s'améliorer les conditions nocturnes de circulation et en particulier de voir s'éliminer les sources d'éblouissement dans la mesure où la règle «Voir et être vu» n'en souffre point. C'est dire qu'il a tout intérêt à pouvoir circuler avec les feux de position si les

routes sont «efficacement et uniformément éclairées». Mais, d'autre part, force est de constater qu'en l'état actuel des choses, la qualité de l'éclairage public est généralement très insuffisante et que l'application rigoureuse de l'obligation de circuler avec les feux de position sur une route subjectivement qualifiée d'«efficacement et d'uniformément éclairée» pourrait finalement conduire à une grande insécurité.

Du point de vue technique, l'éclairage public a fait des progrès considérables au cours de ces dix dernières années. Toutefois, les systèmes utilisés, les intensités nécessaires au gré de l'ambiance locale (enseignes lumineuses, vitrines, etc.)