

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 56 (1965)

Heft: 11

Artikel: Verfahren zur Messung der Eigenfrequenz und des Überschwingfaktors der beim Ausschalten von Kurzschluss-Strömen auftretenden transitorischen wiederkehrenden Spannung

Autor: Geng, P.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916368>

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: 23.02.2026

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

Falls kein Funk verfügbar ist, so darf gerechnet werden, dass das Verhältnis Netzfahrzeit/Leerfahrzeit von 0,85 auf 0,6 sinkt. Während im ersten Fall $0,85 \cdot 2000 = 1700$ Nutzfahrstunden pro Fahrzeug resultieren, ergeben sich beim Verhältnis 0,6 nur noch 1200 h. Voraussetzungsgemäß müssen total 3400 Nutzfahrstunden geleistet werden, was ohne Funk knapp 3 Fahrzeuge benötigt.

Es resultiert folgende Rechnung:

3 Plattformwagen à Fr. 22 000.—

Jährlicher Gewinn somit 66 000.—
— 49 000.—

Mit Funk werden also 26 % Kosten eingespart. Die Funkanlage amortisiert sich in ca. 3½ Monaten.

b) Gabelstapler

Brutto-Betriebskosten für 1 Fahrzeug Fr. 8.—/h inkl. Unterhalt und Amortisation

Jahreskosten (2000 h à Fr. 8.—)

Brutto-Entlohnung des Fahrers

Total Bruttokosten für 1 Fahrzeug, jährlich

Bei gegebener benötigter totaler Nutzfahrzeit von 6000 h sind 3 Gabelstapler erforderlich, gemäß beschriebenem, gegenwärtigem Einsatz im Werk. Die Kosten inkl. Funk lassen sich wie folgt errechnen :

Bruttokosten für 3 Gabelstapler

Brutto-Betriebskosten für das
Funkgerät (inkl. Amortisation, Unterhalt,
Konzessionsgebühren usw.)

Auf 3 Mobilstationen entfallender Kostenanteil für
Betrieb, Unterhalt und Amortisation der ortsfesten
Funkanlage

Total Kosten für 3 Gabelstapler

Falls kein Funk verfügbar ist, so darf gerechnet werden, dass statt 3 Gabelstapler deren 6 notwendig wären, da nur dank Funk je Stapler etwa 6 Einsatzplätze bedient werden können. (Ohne Funk wäre je für 3 Plätze ein Stapler erforderlich.)

Ohne Funk ergibt sich folgende Rechnung

6 Gabelstapler à Fr. 26 000.—

156 000.—

Jährlicher Gewinn somit

156 000.—

— 85 500.—

70 500.—

Mit Funk werden in diesem Fall also 45 % Kosten eingespart. Die Funkanlage amortisiert sich in weniger als 1,3 Monaten.

Ähnliche Rechnungen könnten für die übrigen Werkfahrzeuge aufgestellt werden. Aus den Zahlenbeispielen lässt sich unschwer herauslesen, dass der Funk, rein buchmässig erfasst, selbst in kleinen, mit wenig Fahrzeugen dotierten Betrieben augenfällige finanzielle Einsparungen ermöglicht. Es lohnt sich zweifellos, schon bei 2 bis 3 Werkfahrzeugen eine Rentabilitätsberechnung aufzustellen und wenigstens zu prüfen, welche Vorteile eine Funkanlage bietet.

Bei diesen Betrachtungen darf nie ausser acht gelassen werden, dass das Disponieren über Funk noch gewichtige psychologische Vorteile in sich birgt. Der Fahrer ist sich bewusst, dass der Disponent dauernd über seine Tätigkeit informiert ist. Durch den Funkkanal manifestiert sich ein persönlicher Kontakt, der über den Disponenten hinweg bis zum Betriebsleiter führt. Dieser kann denn auch bei Unregelmäßigkeiten sofort durch ein persönliches Gespräch seine Autorität geltend machen.

Die Erfahrungen, die bei der Einführung des Funks im Werkverkehr in verschiedensten Betrieben gemacht wurden, decken sich weitgehend. Eine straffere, raschere und reibungslose Abwicklung der Transportaufträge ist unverkennbar. Dabei empfindet der Fahrer die bessere Kontrolle über ihn kaum als Schikane. Vielmehr gewöhnt er sich bald an die wenigen notwendigen Bedienungshandgriffe und bedient das Funkgerät gern. Ja, er empfindet nicht selten einen gewissen Stolz, ein Werkfahrzeug mit Funk steuern zu dürfen, und fühlt sich sichtlich privilegiert gegenüber seinen Kameraden, die noch «stumme» Fahrzeuge führen müssen.

Adresse des Autors:

W. Glättli, Elektroingenieur, AG Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden.

Verfahren zur Messung der Eigenfrequenz und des Überschwingfaktors der beim Ausschalten von Kurzschluss-Strömen auftretenden transitorischen wiederkehrenden Spannung

Von P. Geng, Baden

621.317.361 : 621.311.153.2.018.782.3

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit einem neuen Verfahren zur Direktmessung des vom Schalter unbeeinflussten Verlaufes der transitorischen wiederkehrenden Spannung nach einer Kurzschlussunterbrechung, welches sich besonders im Falle von separaten Kraftwerken und Transformatorenstationen eignet. Aus den Messungen können die netzeigenen Werte der Eigenfrequenz und des Überschwingfaktors ermittelt werden. Das Messprinzip und einige ausgeführte Messungen werden beschrieben. Ein Vergleichsversuch wird angeführt, bei dem die nach dieser Methode ermittelte Eigenfrequenz und der Überschwingfaktor mit den entsprechenden Werten einer Leistungsausschaltung durch einen Druckluftschalter verglichen werden.

1. Einleitung

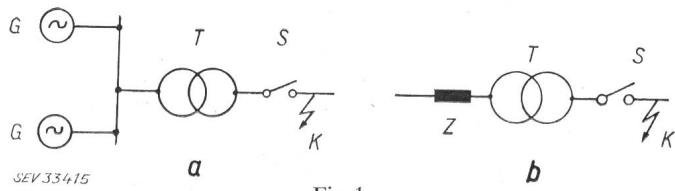
Es gibt bereits einige bekannte Methoden zur Bestimmung des transitorischen Spannungsverlaufes, z. B. Messungen bei direkten Kurzschlüssen, Current-Injector-Methode, Netzmodellmessungen und Berechnungsmethoden [1]¹). Auf die Vor- und Nachteile dieser Methoden wird hier nicht eingegangen; vielmehr wird eine neue Methode beschrieben, welche

¹) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

sich vor allem für die direkte Messung der transitorischen wiederkehrenden Spannung in Kraftwerken oder Transformatorenstationen eignet, insbesondere wenn keine Hochspannungsleitungen mit störenden Einflüssen angeschlossen sind.

2. Aufgabenstellung

Die nachstehenden Betrachtungen beziehen sich nur auf den netzeigenen, d. h. vom Schalter unbeeinflussten Verlauf

Fig. 1
Schaltschema

a selbständiges Kraftwerk; b Transformatorstation
G Generatoren; T Transformator; S Schalter; Z Kurzschlussimpedanz
des speisenden Netzes; K angenommener Kurzschlusspunkt

der transitorischen wiederkehrenden Spannung. Die hier beschriebene Methode benötigt spannungslose d. h. ausser Betrieb gesetzte Netzteile. Aus praktischen und betrieblichen Gründen können kaum grössere Netzteile für solche Messungen freigegeben werden. Daher ist die Methode besonders auf separate Kraftwerke (Fig. 1a) oder Transformatorstationen (Fig. 1b) sowie auch für einzelne Transformatoren anwendbar. Sie ist vor allem für die Messung der Eigenfrequenz und der Amplitude von Transformatoreigenschwingungen nützlich, weil man diese Daten nicht zuverlässig berechnen kann.

In den Beispielen in Fig. 1 treten transitorische Spannungsverläufe ungefähr gemäss Fig. 2a bzw. Fig. 2b auf. Bei Kraftwerken (Fig. 2a) gibt es in der Regel nur eine einfache gedämpfte Sinusschwingung, bei Transformatorstationen dagegen besteht die transitorische wiederkehrende Spannung aus einem harmlosen durch das übergeordnete Netz bedingten Verlauf, welchem aber eine hochfrequente Schwingung des Transformators mit reduzierter Amplitude überlagert ist (Fig. 2b).

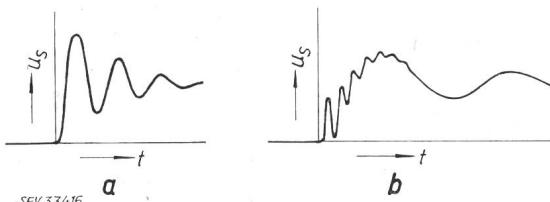


Fig. 2

Typischer Verlauf der transitorischen wiederkehrenden Spannung $u_s(t)$
a am Schalter S in einem Kraftwerk gemäss Fig. 1a; b am Schalter S
in einer Transformatorstation nach Fig. 1b

3. Messprinzip

Die Methode möge am Beispiel in Fig. 3 beschrieben werden. In einem reellen Kraftwerk, dessen Schema Fig. 3 entsprechen soll, sei der Kurzschluss K durch den Schalter S zu unterbrechen und die transitorische wiederkehrende Spannung am Schalter S zu bestimmen. Man trennt nun die Speisequelle des stillgelegten Kraftwerkzweiges d. h. die Generatoren G_1 und G_2 inklusive Sammelschiene z. B. durch Öffnen des Trenners D vom Kurzschlussstrang ab. Statt dessen speist man bei I mit einer betriebsfrequenten Spannung von 200...500 V auf den Kurzschlusskreis, wobei bei K der Kurzschluss eingelegt und der Schalter S geschlossen ist. Der hiebei fliessende Kurzschlussstrom beträgt je nach Stromkreisimpedanz 2...5 A. Dieser Kurzschlussstrom wird in seinem betriebsfrequenten Nulldurchgang unterbrochen. Die transitorische wiederkehrende Schalterspannung wird dabei durch einen Kathodenstrahlzosillographen gemessen. Um den Einfluss der Generatoren und der Sammelschiene zu erfassen, gibt man der Spannungsquelle Q die Impedanz der wirklichen Speisequelle, was durch Zufügen von Spulen und Kondensatoren ohne

weiteres möglich ist. Als Schalter S muss ein Gerät gesucht werden, welches keine Lichtbogenspannung und keine Löschspitze besitzt und überdies exakt im betreffenden Stromnull-durchgang geöffnet werden kann. Auf diese Art kann ein wirklicher Kurzschluss durchgeführt — bzw. unterbrochen werden, wobei lediglich Strom und Spannung (inklusive transistorischem Vorgang) genau verkleinert erscheinen.

Der Schalter S in Fig. 3 kann durch die Serieschaltung einer Schaltwalze und einer Siliziumdiode ersetzt werden. Der Synchronmotor dieser Schaltwalze wird von der Spannungsquelle Q oder einem Netz gleicher Frequenz gespeist; die Schaltwalzenkontakte müssen so einstellbar sein, dass die

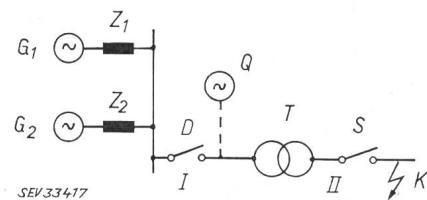


Fig. 3
Schalschema eines Kraftwerkes für die Erklärung des Messprinzips
G₁, G₂ Generatoren; T Transformator; S Schalter; D Trenner;
Z₁, Z₂ Kurzschlussimpedanzen der Generatoren; K Kurzschluss-
punkt; Q Spannungsquelle
I...II für die Messung benützter Netzteil

Kontaktdauer pro Walzumdrehung und der Einschaltzeitpunkt (gegenüber dem Nulldurchgang der Spannung von Q) verändert werden können. Bei richtiger Einstellung schliessen die Kontakte den Kurzschlusskreis im Moment des Scheitelwertes der speisenden Spannung und öffnen nach ca. 15 ms wieder. Der Strom fliesst 1/2 Periode und wird im natürlichen Null-durchgang durch die Diode unterbrochen²⁾.

Es entsteht ein periodischer Vorgang nach Fig. 4, der leicht oszillographiert werden kann. Die Spannung u über der Diode (\triangleq Schalterspannung) schwingt in jeder Periode einmal auf den Momentanwert der Speisespannung ein. a und b zeigen schematisch den Verlauf von Strom und Spannung; bei b ist die Zeitauflösung grösser. Die gemessenen Eigenfrequenzen liegen im Bereich 1...13 kHz; das Sperrintervall von 10 ms genügt daher, um die transitorische Spannung ausreichend

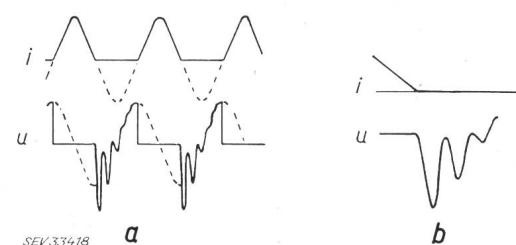


Fig. 4
Zeitlicher Verlauf von Strom i und Spannung u bei der Serieschaltung von
Schaltwalzenkontakt und Siliziumdiode
a mit kleiner Zeitauflösung; b mit grosser Zeitauflösung

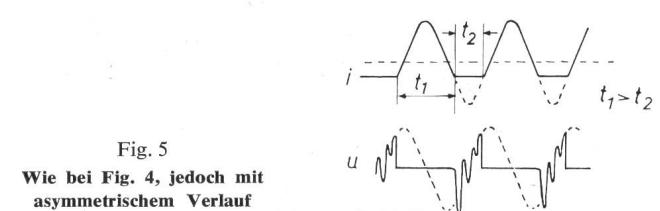


Fig. 5
Wie bei Fig. 4, jedoch mit
asymmetrischem Verlauf
2) Die Verwendung einer Siliziumdiode zum Stromunterbruch wurde
von Dr. E. Pirkle, AG Brown, Boveri & Cie., Baden, vorgeschlagen.

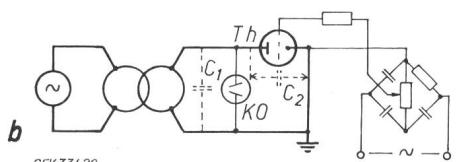
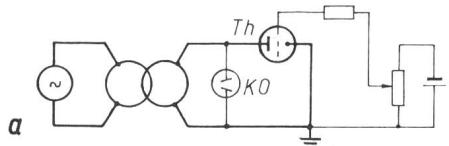


Fig. 6

Messanordnung mit Thyratron

Das Thyratron ersetzt den Schalter S in Fig. 3. Steuerung des Zündmomente: a durch Gleichspannung; b mit Wechselspannung; KO Kathodenstrahlzosillograph; Th Thyratron; C_1 resultierende natürliche Kapazität des Transformators; C_2 Kapazität des gesperrten Thytratrons

lange abzubilden. Wird der Stromkreis nicht im Zeitpunkt des Spannungsscheitelwertes geschlossen, dann enthält der Strom eine Gleichstromkomponente (Asymmetrie) nach Fig. 5. Hier ist die Stromleitdauer t_1 länger als die Sperrdauer t_2 und die transitorische Spannung schwingt nicht auf den Scheitelwert der speisenden Spannung ein.

Ein Thyratron kann die Aufgabe von Schaltwalze und Diode übernehmen, wobei mittels der Gittersteuerung nach Fig. 6 Zündung und Strombeginn in den richtigen Zeitpunkt gelegt werden können. Fig. 6a zeigt eine einfache Gleichstrom-Horizontalsteuerung; bei Fig. 6b wird das Gitter durch eine in Phase und Amplitude regelbare Wechselspannung gesteuert. Als gut geeignet erwies sich ein Thyratron mit 1500 V Sperrspannung, ca. 10 V Brennspannung, 6 A Dauerstrom und einem während 0,1 s zulässigen Strom von 1100 A. In Fig. 6b ist die für die transitorische Schwingung massgebende Kapazität C_1 (resultierende natürliche Kapazität des Transformators) und die parallel dazu liegende Kapazität C_2 des gesperrten Thytratrons eingezeichnet.

Bei dem verwendeten Thyratron ist C_2 die Gitter-Anoden-Kapazität mit einem Wert von $\approx 4,5 \text{ pF}$. Da C_1 erfahrungsgemäß Werte zwischen 2000 und 20 000 pF hat, kann die Thytronkapazität die transitorische Schwingung nicht beeinflussen.

Das Oszillosrogramm in Fig. 7 zeigt den Verlauf von Strom und Spannung auf der Schalterseite beim periodischen Aus-

schalten mit der Messanordnung in Fig. 6b. Dabei ist u die transitorische, u' die betriebsfrequente Spannung über dem Thyratron und i der zu unterbrechende Strom. Die kaum sichtbare Brennspannung des Thytratrons (ca. 8 V Mittelwert) hat keine Löschspitze und kann daher die transitorische Spannung nicht beeinflussen.

Die bisher beschriebene Messmethode — Speisung des Netzteiles auf der Unterspannungsseite und Messung der wiederkehrenden Spannung auf der Oberspannungsseite des Transformatoren — ist gut geeignet bei Transformatoren mittlerer und grosser Leistung und nicht zu grossen Übersetzungsverhältnissen. Bei grossem Übersetzungsverhältnis, z. B. bei Transformatoren in Kraftwerken mit der Übersetzung 13/220 kV, ist es meist schwierig, eine geeignete Hilfsstromquelle als Netzersatz zu finden. Eine solche Hilfsstromquelle auf der Unterspannungsseite müsste dann eine sehr kleine Kurzschlussimpedanz haben, und — wegen der auf der Messseite benötigten Spannungen und Ströme — bei sehr kleiner

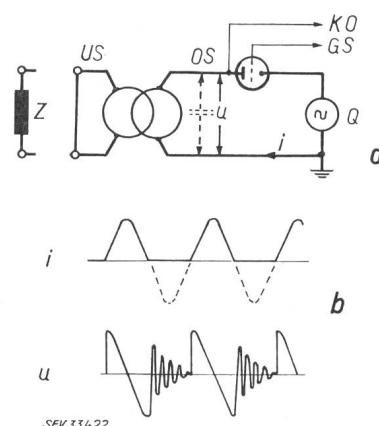


Fig. 8

Messanordnung mit Speisung und Messung auf der selben Transformatorseite
 a Schalschema; b zeitlicher Verlauf von Strom und Spannung auf der Schalter-(Thytron)-Seite des Transformatoren
 GS Gittersteuerung; KO Kathodenstrahlzosillograph; US Unterspannungsseite; OS Oberspannungsseite
Weitere Bezeichnungen siehe im Text

Spannung relativ grosse Ströme abgeben. Hier hilft eine Messanordnung nach Fig. 8 weiter, bei welcher Messung und Speisung auf der selben Seite (Oberspannungsseite) geschieht. Die Unterspannungsseite wird dabei entweder kurzgeschlossen oder durch die Impedanz Z (= Kurzschlussimpedanz des unterspannungsseitigen Netzes) abgeschlossen. Fig. 8b zeigt den jetzt auftretenden Verlauf von Strom und Spannung auf der Meßseite (Schalterseite); u ist die Spannung der transfor-

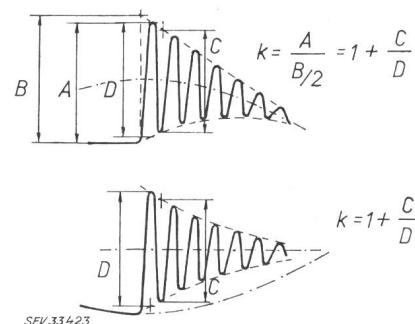


Fig. 9

Typischer Verlauf der transitorischen wiederkehrenden Spannung bei den beiden erwähnten Messmethoden und Beziehungen zur Berechnung des Überschwingfaktors k

matorseitigen Schalterklemme (Anode des Thyratrons) gegen Erde; sie ist während der Leitdauer des Thyratrons gleich der Klemmspannung der Hilfsstromquelle Q , vermindert um die kleine Brennspannung der Röhre. Diese Spannung klingt nach dem Stromnulldurchgang in Form einer gedämpften Schwingung gegen den Nullwert ab, wobei letztere die gesuchte eigenfrequente Schwingung darstellt, welche bei der zuerst erwähnten Methode der betriebsfrequenten Spannung überlagert ist. Die Kurzschlussimpedanz der Stromquelle Q hat hier keinen Einfluss auf das Messresultat.

Fig. 9 zeigt nochmals den typischen Verlauf der transitischen wiederkehrenden Spannung bei den beiden Messmethoden; es sind Beziehungen angegeben, mit denen der Überschwingfaktor k berechnet werden kann.

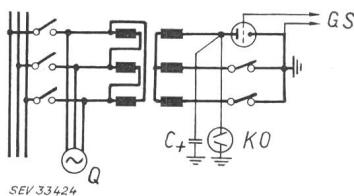


Fig. 10
3phasige Messanordnung
GS Gittersteuerung
KO Kathodenstrahlzosillograph
Weitere Bezeichnungen siehe im Text

Messungen an Netzteilen mit 3-Phasentransformatoren können entsprechend Fig. 10 ausgeführt werden, wobei Q eine 3-phasige Hilfsstromquelle ist. Hiemit können z. B. die Eigenfrequenzen und Amplitudenfaktoren k der erst- und zweitlöschen Phasen beim 3-phasigen isolierten Kurzschluss bestimmt werden. Durch verschiedene Werte der Zusatzkapazität C_+ kann hier und bei 1-phasigen Messanordnungen ferner beobachtet werden, wie sich der Verlauf der transitischen Spannung ändert, wenn auf der Meßseite anstatt der vorhandenen Anordnung ein längeres Freileitungsstück oder Kabel zwischen Transformator und Schalter eingeschaltet wird.

4. Ausgeführte Messungen

Im folgenden sollen einige ausgeführte Messungen beschrieben werden:

4.1 Vergleich mit den Messergebnissen bei Ausschaltungen mit einem Leistungsschalter

Fig. 11a zeigt einen 1-phasischen Kurzschluss-Stromkreis und die zugehörige Messanordnung bei einer Leistungsausschaltung durch einen Druckluftschnellschalter. Vom Schalter wurden dabei der Kurzschlußstrom $I_2 = 1130 \text{ A}$ bei einer wiederkehrenden Spannung $U_2 = 39,8 \text{ kV}$ ausgeschaltet.

Bei Fig. 11b wurde der Druckluftschnellschalter durch das Thyratron Th und der Kurzschlussgenerator durch eine am gleichen Ort aufgestellte Hilfsstromquelle Q_1 ersetzt; die übrigen Teile des Stromkreises blieben gleich. Der Kathodenstrahlzosillograph KO wurde jedoch nicht mehr am kapazitiven Spannungsteiler, sondern direkt an den Thyratrongleichtaktterminals angeschlossen. Der vom Thyratron periodisch unterbrochene Strom betrug $3,3 \text{ A}$ bei einer wiederkehrenden Spannung von 116 V .

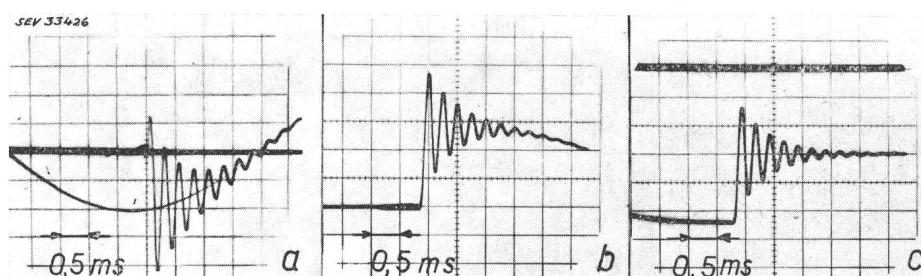


Fig. 12

Oszilloskopbilder der transitischen Spannungen der Messmethoden gemäß Fig. 11

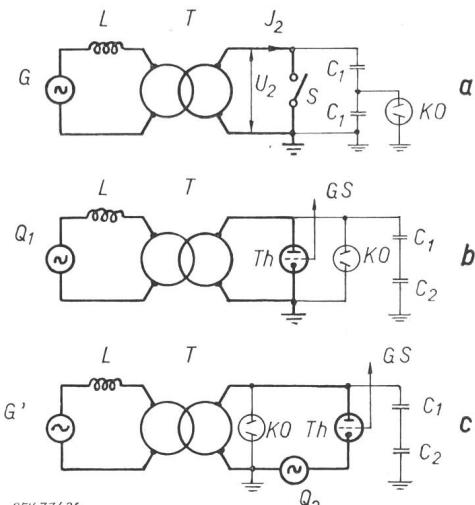


Fig. 11
Vergleich mit den Messergebnissen bei Ausschaltungen mit einem Leistungsschalter

a Messanordnung bei Stromunterbrechung durch einen Druckluftschnellschalter; b Messanordnung mit Thyratron und Hilfsstromquelle ohne Kurzschlussgenerator; c Messanordnung mit Thyratron, Hilfsstromquelle und stillstehendem Kurzschlussgenerator

C_1, C_2 kapazitiver Spannungsteiler; G Kurzschlussgenerator im Betrieb, Kurzschlussreaktanze $0,027 \Omega$; G' stillstehender Kurzschlussgenerator ohne Erregung, Kurzschlussreaktanze $0,025 \Omega$; L Drosselspule, Kurzschlussreaktanze $0,316 \Omega$; Q_1 Hilfsstromquelle, Kurzschlussreaktanze $0,06 \Omega$; Q_2 Hilfsstromquelle, Kurzschlussreaktanze $0,4 \Omega$; S Druckluftschnellschalter; T Einphasentransformator, Übersetzung $U_1/U_2 = 1/10$, $P = 150 \text{ MVA}$, $\epsilon = 2,4 \%$

Weitere Bezeichnungen siehe im Text

Fig. 11c zeigt schliesslich eine Messanordnung mit Speisung und Messung auf der Thyratrongeite; der Kurzschlussgenerator G war derselbe wie bei Fig. 11a, befand sich jedoch im Stillstand und ohne Erregung. Die übrigen Teile des Stromkreises waren dieselben wie bei Fig. 11a. Vom Thyratron wurden hier $4,85 \text{ A}$ bei einer wiederkehrenden Spannung von 170 V unterbrochen.

Messergebnisse

Tabelle I

Messanordnung	Oszillosgramm	Eigenfrequenz kHz	Überschwingfaktor $k = 1 + \frac{C}{D}$ (Auswertung nach Fig. 9)
Fig. 11a	Fig. 12a	3,93	1,83
Fig. 11b	Fig. 12b	4,0	1,80
Fig. 11c	Fig. 12c	4,0	1,81

Den Verlauf der wiederkehrenden Spannung bei den Messanordnungen nach Fig. 11 zeigen die Oszilloskopbilder Fig. 12a, b und c. In Tabelle I sind die gut übereinstimmenden Ergebnisse der 3 Messungen angegeben. Die Niederspannungs-Methode ergibt praktisch gleiche Eigenfrequenzen und Überschwingfaktoren wie der Direktkurzschluss und ist daher reell und voll anwendbar.

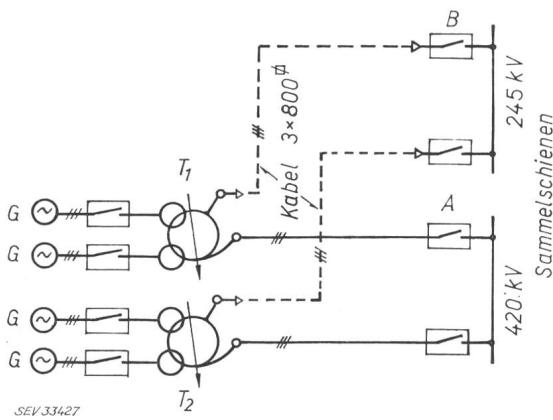


Fig. 13

Schalschema eines schweizerischen Kraftwerkes

G Generatoren; T₁, T₂ Transformatoren; A, B Schalter

4.2 Messungen in der Schaltstation eines Kraftwerk

Fig. 13 zeigt das Schalschema eines schweizerischen Kraftwerkes. Die Transformatoren übertragen die Leistungen der 4 Generatoren von je 60 MVA in die beiden Hochspannungsnetze und verbinden jene miteinander.

Bei den Transformatoren T₁ und T₂ bilden je 3 Einphasenregeltransformatoren in $\Delta/\perp/\perp$ Schaltung mit den Nennspannungen $2 \times 13,5 / \sqrt{3} / \frac{245}{\sqrt{3}} / \frac{420}{\sqrt{3}}$ kV eine 3-phägige Einheit von 400 MVA. An den transformatorseitigen Klemmen der Schalter A und B wurden die transitorischen wiederkehrenden Spannungen je einer Phase mit den Anordnungen nach Fig. 14 gemessen; dabei wurde zusätzlich an der Meßstelle eine von 0...100000 pF einstellbare Zusatzkapazität zwischen der trans-

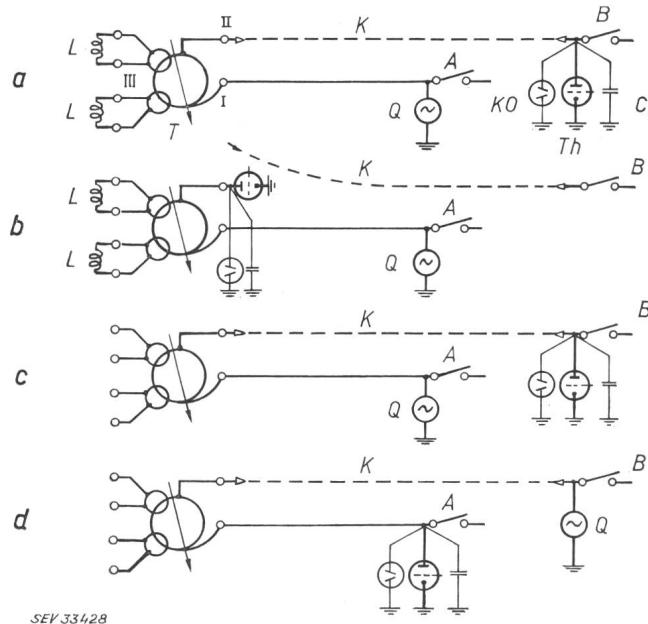


Fig. 14

Einphasige Messanordnungen zur Bestimmung der transitorischen wiederkehrenden Spannungen an den Schaltern A und B der Fig. 13

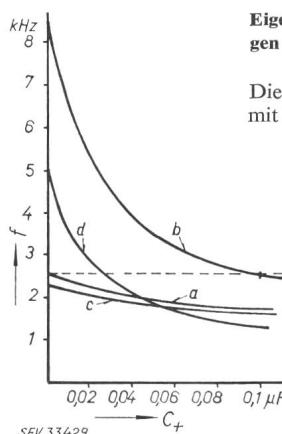
A, B Leistungsschalter; C₊ Kapazitätsdekade 0...100 000 pF; K Kabel, Kapazität gegen Erde ca. 100 000 pF/Phase; KO Kathodenstrahl- oszillograph; L Zusatzinduktivitäten, je 2,1 mH; Q Hilfsstromquelle; T Transformator, (1 Phase) I 420-kV-Seite, II 245-kV-Seite, III 13,5-kV-Seite; Th Thyatron

formatorseitigen Schalter- bzw. Thyatronklemme und Erde eingeschaltet. In Fig. 15 sind die daraus mit und ohne C₊ ermittelten Eigenfrequenzen der transitorischen Schwingungen als Funktionen von C₊ dargestellt; die Kurven a, b, c, d gehören jeweils zu den mit gleichen Buchstaben bezeichneten Messanordnungen der Fig. 14. Diese Darstellung zeigt, dass die Eigenfrequenzen kleiner werden, wenn die Erdkapazität des Leistungsstückes zwischen Transformator und Schalter zunimmt, was z. B. durch Einbau von Messwählern, Ersatz von Freileitungen durch Kabel oder durch Aufstellung des Schalters an einem anderen Ort geschehen kann. Dieser Einfluss wird deutlich durch Vergleich der Kurven a und b in Fig. 15. Bei b wurde das vom Transformator T₁ zum Schalter B führende Kabel am Transformator abgehängt und die Messung direkt an den Transformatorklemmen ausgeführt. Die Kurve b erreicht ca. bei C₊ = 100 000 pF denselben Wert wie Kurve a ohne Zusatzkapazität. Durch Vergleich der Kurven a und c ergibt sich, dass im vorliegenden Fall die Eigenfrequenzen der transitorischen Schwingung am Schalter B nur unwesentlich durch die Generatoren bestimmt wurden; bei c waren die Klemmen der zu den Generatoren führenden 13,5-kV-Wicklungen des Transformatoren offen, bei a wurden die Kurzschlussreaktanzen der Generatoren durch die Induktivitäten

Fig. 15

Eigenfrequenzen der transitorischen Schwingungen der Messanordnungen gemäß Fig. 14 in Funktion von C₊

Die Kurven a, b, c, d gehören jeweils zu den mit gleichen Buchstaben bezeichneten Messanordnungen der Fig. 14



L an den 13,5-kV-Klemmen nachgebildet. Die Eigenfrequenzen der transitorischen Schwingung am Schalter A werden durch Kurve d dargestellt.

4.3 Messungen an Transformatoren

Bei verschiedenen Transformatoren wurden Eigenschwingungen mittels der beschriebenen Methode bereits beim Hersteller gemessen. Die Speisung und Messung erfolgte dabei unmittelbar an den Transformatorklemmen. Auf Grund der dabei mittels Zusatzkapazitäten und -Induktivitäten analog zu Fig. 14 gewonnenen Resultate und vorhandenen Angaben über den vorgesehenen Aufstellungsort (Anordnung von Transformatoren, Sammelschienen, Messwählern und Schaltern, Kabel- und Leitungsdaten) kann oft im Voraus die Eigenfrequenz und der Überschwingfaktor der transitorischen wiederkehrenden Spannung für einen bestimmten Schalter bestimmt werden.

Literatur

- [1] CEI-Publication 56-1-A, Tabelle 1.

Adresse des Autors:

Peter Geng, AG Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden.