Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 62 (1971)

Heft: 13

Artikel: Automatische Messung und Auswertung der Stosskurzschlußströme bei Turbogeneratoren

Autor: Vrkljan, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915834

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: 09.07.2025

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

Automatische Messung und Auswertung der Stosskurzschlußströme bei Turbogeneratoren

Von *P. Vrkljan*, Birr

621.317.31

Durch die Anwendung eines Messwerterfassungs- und Auswertungssystemes für die «on line»-Messung und Auswertung des Stosskurzschlussvorganges wurde eine Zeitersparnis und eine genaue Ermittlung der Parameter eines Synchrongenerators erreicht. Es werden das Messwerterfassungssystem sowie das bei den durchgeführten Messungen verwendete Messprogramm beschrieben und schliesslich werden die automatisch ausgewerteten Ergebnisse des Stosskurzschlussvorganges mit den aus dem Stosskurzschlussoszillogramm ausgewerteten Ergebnissen verglichen.

Par l'application d'un système de mesure et d'évaluation pour les mesures «on line» et l'évaluation du phénomène de court-circuit impulsionnel, on réalisa un gain de temps et une détermination exacte des paramètres d'un générateur synchrone. On décrit des systèmes de détermination des valeurs de mesures, ainsi que le programme appliqué aux mesures exécutées, et les résultats évalués automatiquement du phénomène de court circuit impulsionnel sont enfin comparés aux résultats évalués à partir de l'oscillogramme du court circuit impulsionnel.

1. Einleitung

Bei der Ermittlung der Parameter von Synchrongeneratoren aus den Stosskurzschlussversuchen wird angenommen, dass sich der Stosskurzschlußstrom einer Phase zeitlich nach folgendem Ausdruck ändert [1][1]):

$$i = U_0 \left[\frac{1}{X_d} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-\frac{t}{T_d'}} + \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) e^{-\frac{t}{T_d''}} \right] \cos(\omega t + \vartheta_0) - \frac{U_0}{2} \left(\frac{1}{X_d''} + \frac{1}{X_q''} \right) \cos \vartheta_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} - \frac{U_0}{2} \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_q''} \right) e^{-\frac{t}{T_a}} \cos(2\omega t + \vartheta_0) \qquad (1)$$

Die Ergebnisse einer Analyse eines mit dem obigen Ausdruck gegebenen Stosskurzschlußstromes sind die in Gl. (1) enthaltenen subtransienten Reaktanzen X_d'' und X_q'', die transiente Reaktanz X_d', die Synchronreaktanz in Längsachse X_d sowie die subtransiente Zeitkonstante der Längsachse T_d'', die transiente Zeitkonstante T_d' und die Zeitkonstante T_a. Da der Unterschied zwischen den subtransienten Reaktanzen in Längs- und Querachse bei einem Turbogenerator klein ist, wird in Gl. (1) $X_q'' = X_d''$ gesetzt, weshalb das letzte Glied verschwindet. Dadurch geht Gl. 1 in folgenden Ausdruck über:

$$i = U_0 \left[\frac{1}{X_d} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-\frac{t}{T_d'}} + \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) e^{-\frac{t}{T_d''}} \right] \cos(\omega t + \vartheta_0) - \frac{U_0}{X_d''} \cos \vartheta_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \qquad (2)$$

Auf Grund der Gl. (2) wurden die Auswertungsmethoden der oszillographierten Stosskurzschlußströme von Turbogeneratoren festgelegt.

Die Ermittlung der schon erwähnten Reaktanzen und Zeitkonstanten aus den Stosskurzschlussoszillogrammen nach der von der CEI empfohlenen Methode [2] ist wie folgt:

Es wird zunächst um die Extremwerte des oszillographierten Stosskurzschlußstromes jeder Phase die Hüllkurve aufgetragen. Bei der Ermittlung der Zeitkonstante T_a bildet man die Mittelwerte aus den Extremwerten und den ihnen an der Hüllkurve gegenüberliegenden Werten (sog. Halbsummen) und trägt sie für ihre Zeitpunkte auf der logarithmischen Skala eines Blattes mit logarithmisch-linearer Aufteilung auf. Durch die aufgetragenen Punkte der gebildeten Halbsummen wird eine Kurve gelegt, nach der der Zeitabstand desjenigen Wertes vom Ausgangspunkt abgelesen wird, welcher e-mal kleiner als der Wert im Ausgangspunkt ist (Fig. 1, Kurve 1). Dieser Zeitabstand stellt die Zeitkonstante T_a dar.

Der Wert im Ausgangspunkt dieses Diagrammes ist der Anfangswert der Gleichstromkomponente in der betreffenden Phase (siehe Fig. 1, wo die Auswertung für die Phase R des Stosskurzschlussoszillogrammes aus Fig. 4 wiedergegeben ist).

Bei der Ermittlung der transienten Zeitkonstanten T_d' und der transienten Reaktanz X_d' werden anstatt der Halbsummenbildung, wie es bei der Ermittlung von T_a gemacht wurde, aus gleichen Wertpaaren die sog. Halbdifferenzen gebildet, und von ihren Absolutwerten wird der Absolutwert der Amplitude des Dauerkurzschlußstromes abgezogen. Diese Werte werden für ihre Zeitpunkte auf der log-Skala aufgetragen, danach wird durch diese Punkte eine Kurve gelegt (siehe Fig. 1, Kurve 2).

Durch den geraden Teil dieser Kurve wird eine Gerade gelegt und aus dieser Geraden wird die Zeitkonstante T_d' so ermittelt wie die Zeitkonstante T_a. Wenn es keinen geraden Teil der Kurve gibt, legt man eine Gerade durch jenen Punkt der Kurve, an dem die subtransienten Stosskurzschlussvorgänge bereits abgeklungen sind und den Punkt, in welchem die Ordinate der Kurve 2 e-mal kleiner als die Ordinate des erstgenannten Punktes ist. Aus der Summe des Wertes der gelegten Gerade für die Zeit $t = 0$ und der Amplitude des Dauerkurzschlussstromes (welche den transienten Strom i_d' darstellt) und der Amplitude der unmittelbar vor dem Stosskurzschluss gemessenen Phasenspannung U_0 wird die transiente Reaktanz X_d' ermittelt.

Für die Ermittlung der Reaktanz X_d'' und der Zeitkonstante T_d'' trägt man die Differenzen zwischen der Kurve 2 und der Geraden aus Fig. 1 separat auf und legt durch sie eine neue

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

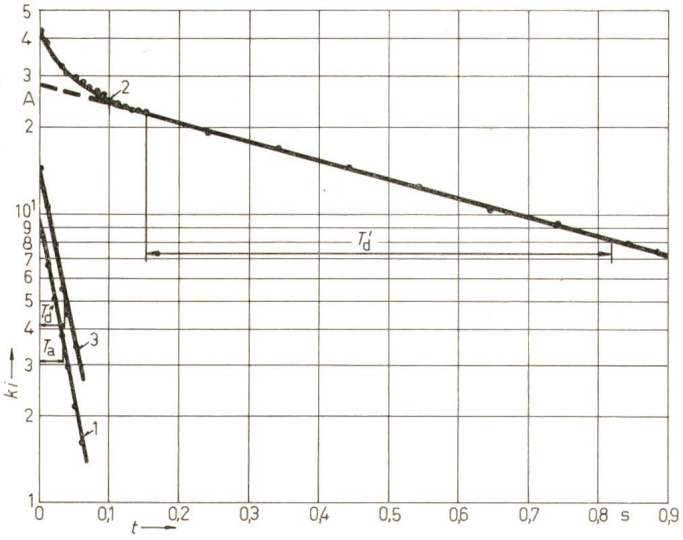

Fig. 1
Komponenten des Stosskurzschlußstromes in der Phase R nach dem Oszillogramm gemäss Fig. 4
1 Gleichstromanteil; *2* transienter und subtransienter Anteil; *3* subtransienter Anteil; T_a Ankerzeitkonstante; T_d' transiente Zeitkonstante der Längsachse; T_d'' subtransiente Zeitkonstante der Längsachse; $k = 0{,}01275$ Maßstabfaktor

Kurve (Kurve 3 in Fig. 1). Die Zeitkonstante T_d'' wird gleich wie die Zeitkonstante T_a ermittelt. Aus der Summe des Anfangswertes der Kurve 3 in Fig. 1 und des schon bestimmten i_d' (welche den subtransienten Kurzschlußstrom i_d'' darstellt), und der Amplitude der erwähnten Phasenspannung U_0 wird die subtransiente Reaktanz X_d'' ermittelt. Die Synchronreaktanz X_d ist dem Quotient der Spannung U_0 und des Dauerkurzschlußstromes gleich.

Die Ermittlung der erwähnten Reaktanzen und Zeitkonstanten eines Turbogenerators aus den oszillographierten Stosskurzschlußströmen ist eine zeitraubende und mühsame Arbeit. Die Genauigkeit der ermittelten Ergebnisse ist von der Ablesung der Extremwerte und der Bestimmung des geraden Teiles der Kurven sehr abhängig.

Mit der Anwendung eines Messwerterfassungs- und Auswertungssystemes werden die für die Ermittlung der Reaktanzen und Zeitkonstanten notwendigen Extremwerte automatisch aufgenommen und mit einem Computer ausgewertet. Die Anwendung eines Messwerterfassungs- und Auswertungssystems bietet eine viel genauere Aufnahme der Stosskurzschlußströme und eine schnelle und objektive Ermittlung der Reaktanzen und Zeitkonstanten eines Turbogenerators.

2. Prinzip der Arbeitsweise

Das Messwerterfassungssystem misst während des Stosskurzschlussvorganges in jeder Phase in sehr kurzen Zeitintervallen die Momentanwerte des Stosskurzschlußstromes. Aus den Momentanwerten, die dem Computer dicht hintereinander zugeführt werden, werden die Extremwerte der Stosskurzschlußströme, 200 aus jeder Phase, gesucht und gespeichert. Nach dem Abklingen der transienten Vorgänge werden die Amplituden der Dauerkurzschlußströme der drei Phasen gemessen und gespeichert. Nach der Aufnahme der Extremwerte werden diese mit dem Computer nach der bereits beschriebenen Methode ausgewertet. Die Auswertung ist rein numerisch, so dass die Hüllkurve stückweise durch das Interpolationspolynom und die Geraden durch die Regressionspolynome ersetzt werden. Aus den durch die Regressionspolynome dargestellten Kurven werden die Reaktanzen X_d'', X_d' und X_d, die Zeitkonstanten T_d'', T_d' und T_a, sowie der Anfangswert der Gleichstromkomponente I_a des Stosskurzschlussstromes der drei Phasen ermittelt.

3. Messwerterfassungssystem

Wie Fig. 2 zeigt, bestand das Messwerterfassungssystem, welches bei den Stosskurzschlussversuchen verwendet wurde, aus einem Computer, einem Analog-Digital Umsetzer, einem Eingabe-Ausgabegerät und einer elektronischen Uhr.

Als Kontrolleinheit für das Messwerterfassungssystem wurde ein Computer mit 8000 Wörter à 16 bit verwendet. Dieser steuert während des Stosskurzschlussversuches nach einem Messprogramm den Analog-Digital Umsetzer und die elektronische Uhr, sucht aus den vom Analog-Digital Umsetzer gelieferten Digitalmesswerten die Extremwerte heraus und speichert sie vorübergehend. Die Zeitdauer eines Grundbefehles von 2 µs wurde als Zeitbasis bei der Messung der Zeitabstände zwischen dem Schaltmoment und den ersten Extremwerten der Stosskurzschlußströme der drei Phasen angenommen. Die Genauigkeit der Computer-Zeitbasis wurde geprüft und hat sich für diese Zwecke als sehr genau erwiesen. Für die Messung der praktisch als Momentanwerte anzusprechenden

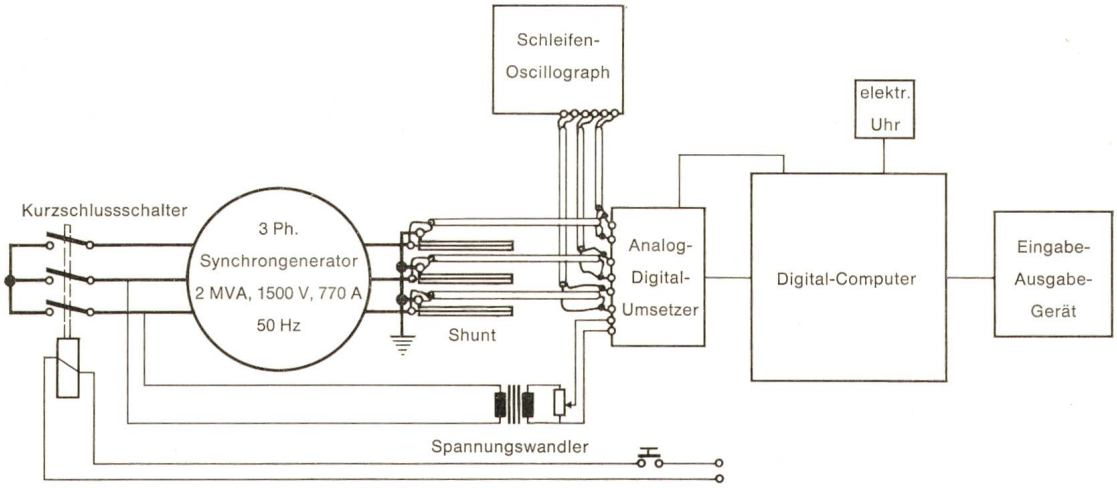

Fig. 2
Messeinrichtung zur Messung und Auswertung der Stosskurzschlussvorgänge

Stosskurzschlussignale wurde ein Analog-Digital-Umsetzer mit einer Umwandlungsgeschwindigkeit von 100000 Umwandlungen pro s und einer Messzeit von 50 ns verwendet. Die Genauigkeit des A—D-Umsetzers bei voller Eingansspannung war $\pm 0{,}2\,\%$ (Absolutfehler ± 1 bit). Die vom Computer gesteuerte elektronische Uhr wurde als Messzeitpunktgeber für die Dauerkurzschlußstrommessung verwendet.

4. Mess- und Auswertungsprogramm

Das Flussdiagramm des Mess- und Auswertungsprogrammes zeigt Fig. 3. Das Programm besteht aus einem Haupt- und einem Messunterprogramm. Die Extremwerte des Stosskurzschlußstromes, welche durch das Messunterprogramm aufgesucht und gespeichert werden, werden mittels des Hauptprogrammes ausgewertet. Der Hauptteil des Programmes zur Auswertung des Stosskurzschlussversuches wurde in FORTRAN- und sein Messunterprogramm, wegen genauer Zeitkontrolle bei Aufsuchen von ersten Extremwerten des Stosskurzschlußstromes der einzelnen Phasen, in Assembler-Programmiersprache programmiert.

Wie aus dem Flussdiagramm ersichtlich ist, springt der Computer nach dem Einlesen von Eingabedaten zum Messunterprogramm. Nachdem das Messunterprogramm (strichpunktiert eingerahmter Teil des Flussdiagrammes) seine Zähler und Kennziffer in den Anfangszustand gesetzt hat, wartet es in einer Programm-Warteschleife auf den Startimpuls für den Beginn der Messung. Das Starten des Messunterprogrammes muss man wenige Sekunden vor dem Zuschalten des Kurzschlußschalters veranlassen, so dass der Extremwert der Spannung kurz vor dem Beginn des Stosskurzschlussvorganges gemessen wird. Danach prüft das Messunterprogramm, ob ein Momentanwert des Strommesssignals aus einer der drei Phasen einen bestimmten Schwellwert (grösser als Rauschsignal) überschreitet, was für das Programm den Stosskurzschlussbeginn bedeuten soll. Wenn durch das Unterprogramm auf diese Weise festgestellt wurde, dass der Stosskurzschlussvorgang begonnen hat, startet es die elektronische Uhr und entnimmt zweimal in einem kurzen Zeitabstand bestimmter Länge aus jeder Phase je einen Momentanwert. Weil die Stosskurzschlussströme unmittelbar nach dem Schaltaugenblick praktisch linear steigen, können für jede Phase die Zeitabstände vom Stosskurzschlussbeginn bis zu den zweitgemessenen Momentanwerten gleicher Phase aus den gemessenen drei Momentanwertpaaren ausgerechnet werden.

Nach der Messung des zweiten Momentanwertes werden während eines kurzen Zeitintervalles, welches durch die Dauer der verwendeten Instruktionen bestimmt ist, die Unterprogrammabschnitte für die Extremwertsuche in den einzelnen Phasen abhängig von den Vorzeichen der Differenzen der drei Momentanwertpaare auf die Maximum- oder Minimumsuche vorbereitet. Diese Unterprogrammabschnitte sind auf dem Flussdiagramm durch Rahmen voneinander getrennt. Im Folgenden werden die Momentanwerte in den Unterprogrammabschnitten für die Extremwertsuche in den einzelnen Phasen laufend in sehr kurzen und konstanten Zeitintervallen gemessen, und nach dem Vergleich mit dem vorletzten Momentanwert gleicher Phase wird entschieden, ob dieser vorletzte Momentanwert ein Extremwert ist oder nicht.

Der gefundene Extremwert wird gespeichert, und der Sinn der Extremwertsuche wird gewechselt, d. h. in einer Phase wird nach einem Maximum ein Minimum gesucht und umgekehrt.

Beim Aufsuchen der ersten Extremwerte werden die kurzen und konstanten Zeitintervalle solange gezählt bis der Extremwert der betreffenden Phase gefunden ist. Aus der Anzahl dieser Zeitintervalle, aus den Angaben für die Berechnung der Zeitabstände vom Stosskurzschlussbeginn bis zu dem zweitgemessenen Momentanwert der einzelnen Phasen und aus dem Zeitintervall für die Vorbereitung der Unterprogrammabschnitte für die Extremwertsuche werden später die für die Auswertung des Stosskurzschlussvorganges notwendigen Zeitabstände von Stosskurzschlussbeginn bis zu den ersten Extremwerten der drei Phasen ermittelt.

Nachdem im Messunterprogammabschnitt für das Aufsuchen der Extremwerte in einer Phase 200 Extremwerte gefunden und im Computer gespeichert worden sind, wird beim nächsten Durchlauf des gleichen Programmabschnittes geprüft, ob in allen 3 Phasen die Extremwertsuche beendet ist.

Wenn in allen drei Messunterprogrammabschnitten für das Aufsuchen der Extremwerte aus den zugehörigen Phasen jeweils 200 Extremwerte aufgesucht und gespeichert sind, kommt das Messunterprogramm in eine «Warteschleife», wo der Computer auf den Messzeitpunkt für die Amplitudenmessung der Dauerkurzschlußströme wartet.

Die Amplitudenmessung der Dauerkurzschlußströme in den drei Phasen beginnt nach Ablauf der mit den Eingabedaten eingegebenen Zeit; danach stehen die zuvor gespeicherten Extremwerte für die Auswertung bereit.

Die Messergebnisse jeder Phase werden mit dem gleichen Auswertungsteil des Hauptprogrammes ausgewertet. Als erstes wird aus den gezählten kurzen Messintervallen und unter Berücksichtigung des schon bestimmten Zeitpunktes des zweitgemessenen Momentanwertes der für die Bestimmung von Reaktanzen X_d'' und X_d' notwendige Zeitabstand vom Schaltmoment bis zum ersten Extremwert berechnet. Danach werden — wie bei der Oszillogrammauswertung üblich — die Halbsummen aus den Extremwerten und aus den jedem Extremwert gegenüberliegenden Hüllpunkten gebildet. Die Hüllkurve wird dabei stückweise durch eine Parabel zweiten Grades angenähert. Dann werden die natürlichen Logarithmen der Halbsummenwerte durch ein Regressionspolynom zweiten Grades[2]) angenähert.

Der Anfangswert der Gleichstromkomponente I_a ist dann der Antilogarithmus des Anfangswertes des Regressionspolynoms, und die Zeitkonstante T_a ist gleich dem Zeitabstand desjenigen Polynomwertes vom Ausgangspunkt, welcher um eins kleiner als der Polynomwert im Ausgangspunkt ist, was der Zeit entspricht, in der die Gleichstomkomponente e-mal kleiner wird.

Bei der Ermittlung von X_d' und T_d' werden die Halbdifferenzen zwischen den Extremwerten und den ihnen gegenüberliegenden Hüllwerten gebildet und von ihnen die Amplitude des Dauerkurzschlußstromes abgezogen. Von den gewonnenen Differenzen werden die natürlichen Logarithmen gebildet und wieder mit einem Regressionspolynom dritten Grades[2]) angenähert.

[2]) Der Grad des Polynomes wurde auf Grund von praktischen Untersuchungen bestimmt.

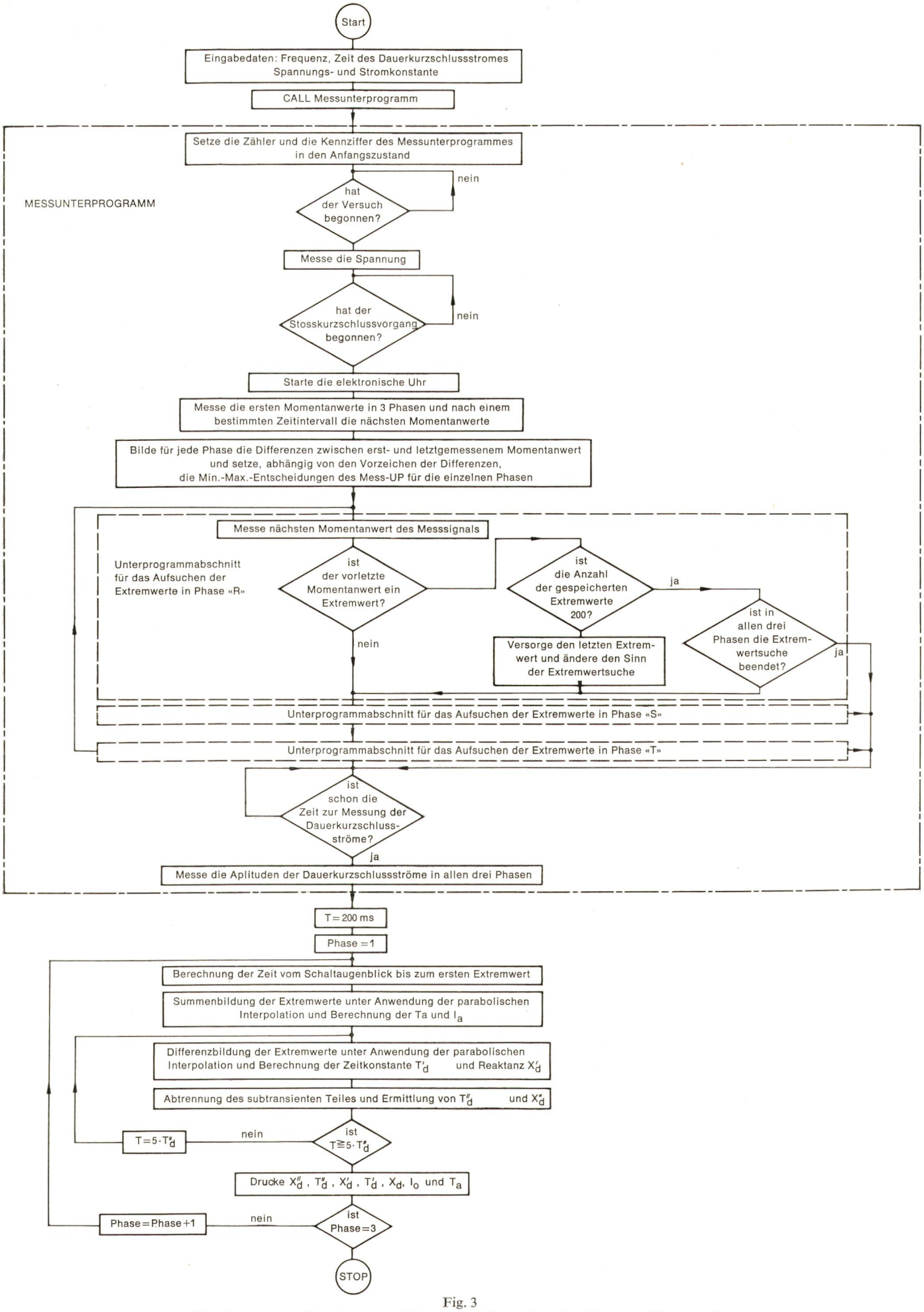

Fig. 3
Flussdiagramm des Programmes zur Messung und Auswertung des Stosskurzschlussversuches

Maschinenparameter, ermittelt aus einem Stosskurzschlussoszillogramm und durch einen Computer

Tabelle I

	X_d'' p.u.		T_d'' sek		X_d' p.u.		T_d' s		X_d p.u.		I_a p.u.		T_a s	
	Oszill.	Comp.	Oszill.	Comp.	Oszill.	Comp.	Oszill.	Comp.	Oszill.	Comp.	Oszill.	Comp.	Oszill.	Comp.
Phase R	0,255	0,246	0,033	0,0322	0,35	0,354	0,668	0,672	1,46	1,435	1,33	1,302	0,0351	0,0344
Phase S	0,223	0,243	0,03	0,0319	0,361	0,349	0,664	0,669	1,43	1,412	1,86	1,768	0,0988	0,0943
Phase T	0,225	0,239	0,031	0,032	0,367	0,355	0,682	0,669	1,40	1,433	3,37	3,422	0,0605	0,0644

Ähnlich wie die Zeitkonstante T_a wird auch die Zeitkonstante T_d' bestimmt, jedoch wird der Anfangswert des Polynoms nicht im Ausgangspunkt genommen, sondern nach der Zeit $T = 200$ ms, d.h. nach Abklingen der subtransienten Vorgänge.

Für die Berechnung von X_d' wird durch die Polynomwerte für die Zeiten T und $T + T_d'$ eine Gerade gelegt. Aus dem Antilogarithmus des Wertes dieser Gerade zur Zeit $t = 0$ und aus der Amplitude des Dauerkurzschlußstromes wird X_d' berechnet. Für die Ermittlung der X_d'' und T_d'' wird — gleich wie bei der Stosskurzschlussoszillogrammauswertung — die Trennung des subtransienten Teiles vom transienten Teil des Stosskurzschlußstromes durchgeführt. Die natürlichen Logarithmen der gewonnenen Werte des subtransienten Teiles werden wieder durch ein Regressionspolynom zweiten Grades[2]) angenähert. Die Zeitkonstante T_d'' wird analog wie die Zeitkonstante T_a bestimmt.

Die Reaktanz X_d'' wird aus dem Antilogarithmus des Anfangswertes des Regressionspolynomes, aus dem Antilogarithmus des Anfangswertes der schon bei der Ermittlung von X_d' erwähnten Geraden und aus der Amplitude des Dauerkurzschlußstromes berechnet.

Nachdem die Zeitkonstante T_d'' ausgerechnet wurde, wird kontrolliert, ob die subtransienten Vorgänge nach der angenommenen Zeit $T = 200$ ms tatsächlich vernachlässigt werden konnten. Es wird nämlich geprüft, ob die Zeit T gleich gross oder grösser als der fünffache Wert von T_d'' ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so wird die Zeit T korrigiert und die Rechnung von X_d', T_d', X_d'' und T_d'' wiederholt solange bis die Bedingung erfüllt wird.

Nach Ermittlung von X_d'', T_d'', X_d', X_d, T_d', I_a und T_a in einer Phase, werden diese Werte gleich ausgedrückt, und das Programm fängt mit der Ermittlung der gleichen Parameter für d e nächste Phase an.

Nachdem die Messwerte aller drei Phasen ausgewertet sind, hält der Computer an.

5. Messung

Mit dem beschriebenen Messwerterfassungssystem wurden an einem Synchrongenerator (2000 kVA, 1500 V, 770 A und 50 Hz) bei 0,474 U_n Stosskurzschlussversuche durchgeführt. Gleichzeitig wurde ein Oszillogramm des Stosskurzschlussvorganges aufgenommen, so dass man die auf zwei verschiedene Arten gemessenen und ausgewerteten Messergebnisse vergleichen kann.

Die mit dem Computer und die aus dem Oszillogramm (Fig. 4) ermittelten Maschinenparameter sind in Tabelle I wiedergegeben. Der Vergleich der auf zwei verschiedenen Arten gewonnenen Maschinenparameter zeigt eine maximale Abweichung von 7 %. Diese Diskrepanz wurde zum grössten Teil durch die Auswertungsfehler des Oszillogrammes verursacht, da schon bei kleinen Streuungen, bei der Auswertung mehrprozentige Fehler in den Endergebnissen entstehen. Anderseits wurde ein Teil der erwähnten Diskrepanz der Endergebnisse durch den Messfehler des Analog-Digital-Umsetzers verursacht.

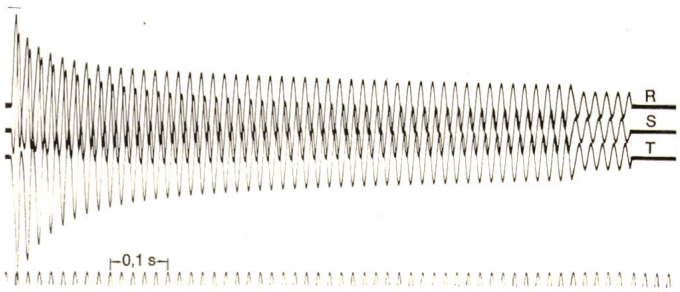

Fig. 4
Stosskurzschlussoszillogramm, aufgenommen an einem Synchrongenerator 2000 kVA, 1500 V, 770 A, 50 Hz bei 710 V

Maßstab: Phase R 1 mm = 253 A
Phase S 1 mm = 262 A
Phase T 1 mm = 250 A

Die Genauigkeit der ermittelten Maschinenparameter ist von der Messgenauigkeit der Dauerkurzschlußströme direkt abhängig. Da der Anfangswert des Stosskurzschlußstromes ein Vielfaches des Dauerkurzschlußstromes ist, wird die Messgenauigkeit des Dauerkurzschlußstromes auf dem gleichen Messbereich des A—D-Umsetzers im entsprechenden Verhältnis schlechter; in diesem Fall betrug diese Genauigkeit ca. 2 %.

Das beschriebene Verfahren für Messung und Auswertung von Stosskurzschlußströmen hat sich durchaus bewährt. Die Genauigkeit entspricht im allgemeinen dem Bedürfnis. Wenn eine noch bessere Genauigkeit gewünscht wird, z.B. für besondere Studien, wird man einen AD-Umsetzer mit grösserem Ausgang verwenden.

Literatur

[1] *T. Laible:* Die Theorie der Synchronmaschine im nichtstationären Betrieb mit Anwendungsbeispielen und unter Berücksichtigung der modernen amerikanischen Literatur. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer-Verlag, 1952.

[2] Recommandations pour les machines électriques tournantes (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction). Quatrième partie: Méthodes pour la détermination à partir d'essais des grandeurs des machines synchrones. CEI Publication 34–4, 1967.

Adresse des Autors:
P. Vrkljan, Dipl. Ingenieur, In den Wyden 6, 5242 Birr.