Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 25 (1934)
Heft: 25

Artikel: Ein neuer Drehmomentmesser für oszillographische Registrierung
Autor: Moser, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056591

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: 18.02.2026

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:
S. A. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zurich 4
Stauffacherquai 36/40

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXVe Année | N° 25 | Vendredi, 7 Décembre 1934

Ein neuer Drehmomentmesser für oszillographische Registrierung.[1])

Von *H. Moser*, Zürich.
(Mitteilung aus dem Laboratorium für Elektromaschinenbau an der ETH.)

621.317.381

Es wird ein neues Verfahren zur oszillographischen Messung rasch ändernder und stationärer Drehmomente mit eigenfrequent schwingender Stahlsaite beschrieben. Das Verfahren ist auch für die Registrierung von raschen Frequenz- und Dehnungsänderungen geeignet. Es beruht auf folgendem Prinzip:

Ein ungedämpft schwingender Körper, z. B. eine Stahlsaite, ändert seine Eigenfrequenz proportional der mechanischen Spannung, also unter Einfluss des Drehmomentes. Der Körper ist zugleich Anker eines Telephonmagneten und ruft beim Schwingen Induktivitätsänderungen bzw. Spannungsänderungen in der Magnetwicklung hervor, und zwar genau im Takte der Schwingungen. Diese Spannungsänderungen werden verstärkt und nun über einen Spannungsregler und über eine Drosselkette auf eine Frequenzmessbrücke geführt. Diese auf Spannungskonstanz geregelten Frequenzschwankungen werden in der Frequenzmessbrücke in Amplitudenschwankungen übergeführt. Letztere endlich werden von einer dynamometrischen Oszillographenschleife oder von einer normalen Meßschleife unter Zwischenschaltung eines Gleichrichters mit quadratischer Anfangscharakteristik registriert. Für rein statische Messungen kann an Stelle der Oszillographenschleife ein Zeigerinstrument gesetzt werden.

L'auteur décrit une nouvelle méthode pour relever oscillographiquement les variations rapides d'un couple à l'aide d'une corde d'acier, oscillant à sa fréquence propre. Cette méthode peut également servir à enregistrer des variations rapides de fréquence ou d'allongement. Elle repose sur le principe suivant:

La fréquence propre d'oscillation entretenue d'un corps, p. ex. d'une corde d'acier varie proportionellement avec sa tension mécanique qui, elle, dépend du couple. Le corps oscillant forme l'ancre d'un électro-aimant de téléphone; ses oscillations engendrent par induction des variations de tension dans l'enroulement de l'électro-aimant, et cela à la fréquence des oscillations. Ces variations de tensions, amplifiées, sont appliquées, par l'intermédiaire d'un régulateur de tension et d'un circuit filtre, à un pont à fréquence. Dans ce pont, les variations de fréquence, maintenues à une tension constante, sont transformées en variations d'amplitude qui sont enregistrées dans l'oscillographe à l'aide d'une boucle dynamométrique ou d'une boucle ordinaire avec interception d'un redresseur dont la partie inférieure de la caractéristique est quadratique. Pour des mesures stationnaires, on peut remplacer la boucle d'oscillographe par un instrument à aiguille.

I. Aufgabe.

In Zusammenhang mit Geräusch- und Anlaufuntersuchungen an Elektromotoren ergab sich die Aufgabe des Baues eines oszillographisch registrierenden Drehmomentmessers.

II. Wirkungsweise.

Es ist bekannt, dass die Eigenschwingungszahl einer transversal schwingenden Saite gegeben ist durch

$$f = \frac{\sqrt{\frac{K}{q \cdot \varrho}}}{2 \cdot l} \cdot n \ \mathrm{s}^{-1}$$

K Kraft in kg
q Saitenquerschnitt in cm²
ϱ Dichte kg · cm⁻⁴ · s²
l Saitenlänge in cm
n ganze Zahl 1, 2, 3 . . .

Demnach ist für die Grundschwingung ($n = 1$) f prop. $\frac{\sqrt{K}}{l}$ und nach Hook auch prop. $\frac{\sqrt{\varepsilon}}{l}$. Kraft bzw. Dehnungsänderungen bewirken also Aenderungen der Eigenfrequenz. Dasselbe gilt von Drehmomentsänderungen, wenn man die Saite, die Umfangskraft, übertragen bzw. die Dehnung infolge Winkelverdrehung der Welle messen lässt. Als Dehnungsmesser ist die Saite schon von Schäfer [1]) und für die Bestimmung von Schiffswellenleistungen von J. Krapf [2]) beschrieben worden. Eine als Dehnungsmesser gespannte Saite wird bei Bestimmung der Schiffswellenleistungen elektromagnetisch gezupft und die Saitenfrequenz akustisch mit einem geeichten Strom verglichen. Die Methode ist in der Handhabung relativ umständlich und gestattet nur statische Messungen.

Der Anwendung der Saite für die oszillographische Aufnahme von Torsions- bzw. Dehnungsschwankungen stehen folgende Schwierigkeiten im Wege:

1. Die Saite muss ungedämpft schwingen; eine Stossanregung genügt nicht.

2. Die der Drehmomentsschwankung ΔM entsprechende Frequenzschwankung Δf muss in einer Stromschwankung Δi der Meßschleife zum Ausdruck kommen. Eine oszillographisch registrie-

[1]) Z. VDI, Bd. 72 (1928), S. 1810.
[2]) Schweiz. Techn. Z. 1934, Nr. 6.

rende Frequenzmessbrücke existiert aber noch nicht [3]).

3. Für linearen Zusammenhang zwischen Schleifenstrom und Drehmoment muss Δi proportional $(\Delta f)^2$ sein, weil ΔM proportional $(\Delta f)^2$ ist.

Diese drei Schwierigkeiten wurden folgendermassen überwunden:

1. Durch Anwendung der mechanisch-elektrischen Rückkopplung. Der Vorgang ist folgender: Eine kleine, zufällige Transversalbewegung der Stahlsaite induziert in einem Telephon-Elektromagneten eine Wechselspannung, die einem Röhrenverstärker zugeführt wird. Die verstärkte Energie wirkt auf einen zweiten Elektromagneten, der bei richtiger Phasenlage die Saitenbewegung verstärkt. Als System mit «negativem Widerstand» schwingt die Saite aus der Ruhelage an. Massgebend für die Endamplitude sind Dämpfung und Aussteuerbereich des Verstärkers. Die Saite erregt sich in ihrer Eigenfrequenz, und zwar in Grund- oder in Oberwellen, je nach Phasenlage und Ort der Anregung. Die Saite erhält beim Drehmoment Null eine mechanische Vorspannung σ_o; dieser entspricht dann die Frequenz f_o.

2. Eine Art der Wien-Robinson-Brücke [4]) wird für Ausschlagsschaltung ausgebildet (Fig. 3). Sie wird auf die Frequenz der vorgespannten Saite f_o abgeglichen, so dass für diese Frequenz und bei Oberwellenfreiheit die Diagonalspannung $u_d = 0$ wird. Wirkt nun eine dem Drehmoment entsprechende Zusatzkraft auf die Saite ein, so ändert deren Eigenfrequenz und die Diagonalspannung steigt auf einen dem Drehmoment entsprechenden Betrag. In einem gewissen Frequenzbereich erhält man einen praktisch linearen Zusammenhang zwischen Frequenzänderung und Diagonalspannung, konstante Brückeneingangsspannung vorausgesetzt.

Die Konstanz der Brückeneingangsspannung erhält man

a) mit Eisen-Wasserstoffwiderständen. Diese Regelung ist zu träge;
b) mit Glimmröhren. Diese Methode ist unwirtschaftlich;
c) mit Exponentialröhrenregler;
d) mit gesättigter Wolfram-Kathodenröhre.

Die Methoden *c)* und *d)* haben sich für vorliegenden Zweck bewährt. Die bei der Rückkopplung und bei der Regelung nach Methode *d)* entstehende starke Oberwelligkeit stört den Nullabgleich der Brücke. Eine geeignet dimensionierte Drosselkette (4) und eine passende Brückenausgansimpedanz dämpfen die Oberwelligkeit weitgehend.

3. Für Linearität zwischen Drehmoment und Schleifenausschlag α muss α gleich dem Quadrat der Brückendiagonalspannung u_d sein. Hierfür sind folgende Wege möglich:

a) Die Aufzeichnung erfolgt mit einer dynamometrischen Oszillographenschleife. Der Ausschlag verläuft prinzipiell streng quadratisch mit dem Schleifenstrom. Siemens & Halske stellen auf Anfrage eine solche, allerdings nicht empfindliche (50 mA Endausschlag) dynamometrische Meßschleife her.

b) Verwendung des quadratischen Kennlinienbereiches von Röhren- oder Trockengleichrichtern. Im vorliegenden Fall kamen Selengleichrichter zur Anwendung.

c) Gewöhnliche, u_d-proportionale Aufzeichnung und Auswertung des Oszillogramms mit quadratisch geteiltem «Ableselineal». Diese Methode ist einfach, aber unelegant.

Der Drehmomentverlauf ergibt sich nun als Umhüllungskurve der Saiteneigenschwingungen. Der Vorgang entspricht der Sprachfrequenzmodulation eines Hochfrequenzsenders. Will man z. B. 300-periodige Drehmomentschwankungen aufnehmen, so muss die Saiteneigenschwingungsfrequenz um ein Mehrfaches höher liegen, damit die Drehmomentschwankung gut durchgezeichnet wird. Die Ablaufgeschwindigkeit der Kassette wird so gewählt, dass die Umkehrpunkte der Saitenschwingung einen Abstand von 0,5 bis 1 mm erhalten.

Bei der Verwendung eines Gleichrichters wird die eine Hälfte des schraffierten Diagramms abgeschnitten. Schaltet man noch einen Kondensator passender Grösse parallel zur Meßschleife, so erhält man statt der Schraffur einen relativ glatten Linienzug des Drehmomentverlaufs (Fig. 6). Der Kondensator darf natürlich nicht so gross sein, dass er auch die Schwankungen der Umhüllungskurve, also die des Drehmomentes, glättet.

III. Apparate.

1. Einbau der Stahlsaite. Für die Messung des Drehmomentes stehen zwei Einbaumöglichkeiten zur Verfügung:

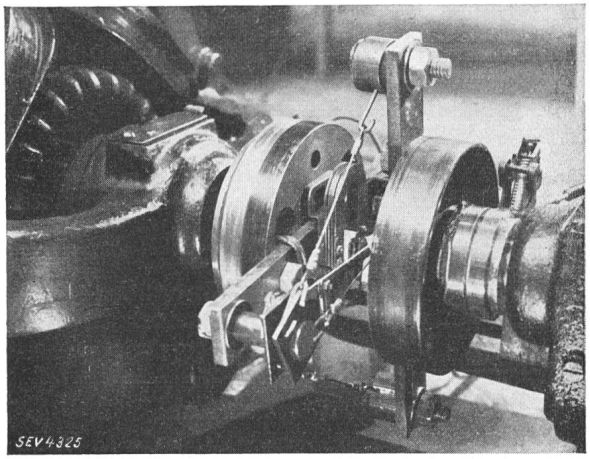

Fig. 1.
Einbau der Mess-Saite für die Messung des Drehmomentes. Ansicht bei abgenommener Verschalung.

a) für kleine Drehmomente (wenige mkg) ist es vorteilhaft, die Umfangskraft direkt durch die Saite übertragen zu lassen;

[3]) Arch. Techn. Messen (ATM), V 132—1, IV.
[4]) Arch. Techn. Messen (ATM), J 921—8.

b) für grosse Drehmomente kommt nur eine Dehnungsmessung infolge Wellenverdrehung in Frage. Die Saite selbst soll dabei möglichst wenig an der Drehmomentübertragung beteiligt sein.

Bei der Versuchsanordnung (Fig. 1) wurde eine Asynchronmotor-Gleichstromgeneratorgruppe, 5 PS, 1500 U/m nach Methode *a)* gekuppelt. Jeder

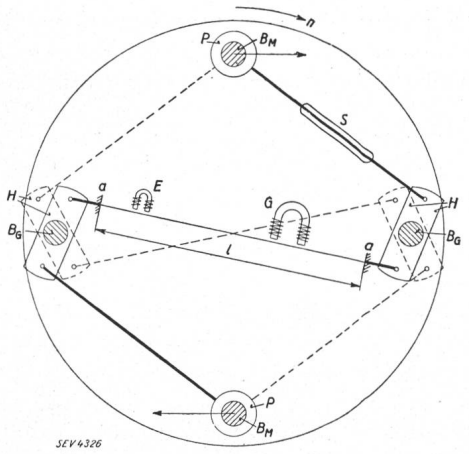

Fig. 2.
Einbauschema der Mess-Saite *a—a*.

BM Motorflanschbolzen. *G* Gebermagnet.
BG Generatorflanschbolzen. *P* Gummipufferung.
S Spannschloss. *H* Hebel.
E Empfängermagnet.

Kupplungsflansch (Fig. 2) trägt je zwei diametral befestigte Bolzen B_M und B_G. Die Bolzen des einen Flansches (B_M) besitzen eine Gummipufferung (in der üblichen Art der elastischen Kupplung), die des andern (B_G) je zwei drehbare Hebel H. Zwei gegenläufige S-Form-Stahldrahtverspannungen kuppeln die beiden Flanschen, wobei mit Spannschloss S die mechanische Vorspannung der Stahldrähte, somit auch die der (dünnern) Meßsaite a—a, eingestellt werden kann.

Die Daten der Meßsaite sind folgende: Länge $l = 200$ mm, Draht $\varnothing = 0{,}7$ mm, gehärteter Federstahl, Bruchspannung oberhalb 20 000 kg/cm², Streckgrenze 13 000, Proportionalitätsgrenze 8000 kg/cm². Die Saitenvorspannung wurde auf 7200 kg/cm² festgelegt, entsprechend einer Saitengrundfrequenz von 750 Per./s. Die Drehrichtung wird sicherheitshalber so gewählt, dass Drehmomente die Saite entlasten! Die ganze Apparatur ergibt einen praktisch linearen Drehmoment-Schleifenstrom-Zusammenhang im Gebiet von 750 bis 550 Per./s. Dies entspricht einer Saitenspannungsänderung von 7200 bis 3850 kg/cm² und einer Drehmomentsänderung von 0 bis 3,25 mkg, also 0 bis 6,5 PS bei 1500 U/m. — Die Saite ist leicht auswechselbar, so dass auch andere Drehmomentbereiche erfasst werden können. Zentrifugalkräfte sind infolge der zentrischen Saitenanordnung einflusslos. Exzentrizitäten zwischen Motor- und Generatorwellen bewirken im Lauf kleine Frequenzschwankungen der Saite; die konstruktiv geänderte, definitive Kupplungskonstruktion vermeidet diesen Einfluss aber.

2. *Die Magnete.* Als Empfänger- und Gebermagnete dienten die Magnetsysteme eines Kopfhörers und eines elektromagnetischen Lautsprechers. Da sie mitrotieren, sind sie an drei Schleifringe und an die Masse angeschlossen. Die Gefahr der gegenseitigen Beeinflussung der Magnete (rein elektrische Rückkopplung, d. h. Pfeifen des Verstärkers) war klein. Sie könnte durch magnetische Abschirmung zudem noch weiter herabgesetzt werden.

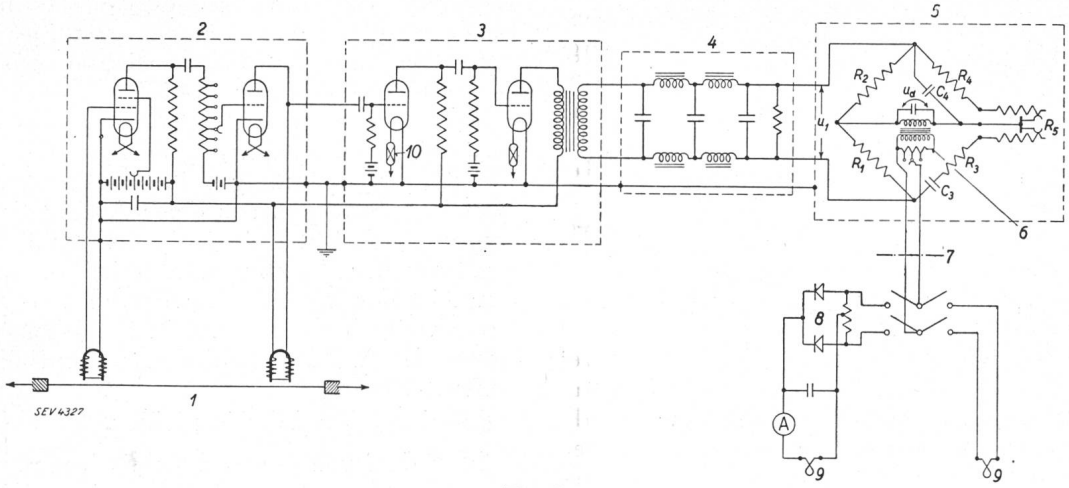

Fig. 3.
Prinzipschema der Versuchsanordnung.

1 Saite.
2 Verstärker.
3 Regler.
4 Drosselkette.
5 Brücke.
6 Potentiometer.
7 Einrohr-Verstärker.
8 Gleichrichter.
9 Oszillographen-Schleife.
10 Eisen-Wasserstoff-Widerstände.

3. *Verstärker.* Für die mechanische Rückkopplung genügt im allgemeinen ein zweistufiger Widerstandsverstärker. Für die erste Stufe empfiehlt sich

eine Schirmgitterröhre (z. B. Philips E 452 T), für die zweite Stufe eine mittlere, dem Gebermagneten angepasste Lautsprecherröhre. Da es sich nicht um einen Messverstärker handelt, ist der Verstärkungsgrad und daher die Aenderung von Heiz- und Anodenspannungen in weiten Grenzen einflusslos. Bei der Versuchsanordnung war die Ausgangswechselspannung in der Grössenordnung von 50 bis 70 V. Da die Saitendämpfung mit der Frequenz wächst, änderte diese Spannung im Arbeitsfrequenzbereich im Verhältnis 1 : 1,5 bis 1 : 2 maximal.

4. Spannungsregler. Die Spannungskonstanz für die Brücke bewirkten zwei Wolframkathodenröhren, wie sie früher in Radioempfängern verwendet wurden. Eventuell genügt schon eine Stufe. Die modernen Röhren mit thorierter Kathode kommen hierfür nicht in Betracht, weil ihr Sättigungsstrom nicht eindeutig ist. Bei Verwendung eines Fe-H-Widerstandes als Heizstromregler liess sich eine Regelgenauigkeit von 1 % bei Spannungsschwankungen von 1 : 2 erzielen. Die zweite Regelmöglichkeit mit der Exponentialröhre Philips E 447 und der Tungsramröhre AR 4100 für Gittergleichrichtung ergab Regelgenauigkeiten von ca. 4 %. Bei geeigneter Anordnung dürfte sich die Genauigkeit aber noch erheblich steigern lassen.

5. Drosselkette. Sie wurde bei der Exponentialröhrenregelung eingliedrig, bei der Wolfrahmröhrenregelung zwei- bis dreigliedrig gewählt. Der Klirrfaktor der Ausgangsspannung lag unter 1,1. Die Grenzfrequenz wurde zu 900 Per./s festgesetzt.

6. Frequenzbrücke. Sie ist normalerweise auf 750 Per./s abgeglichen. Den Feinabgleich auf die

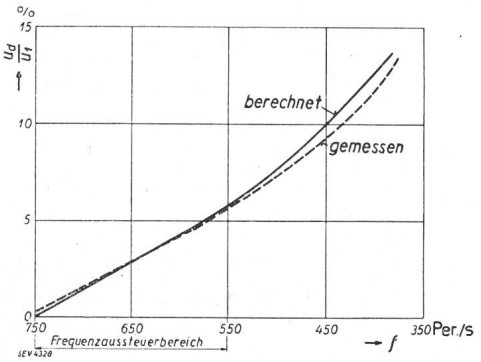

Fig. 4.
Frequenzbrücke: Diagonalspannung u_d als Funktion der Frequenz bei konstanter Eingangsspannung u_1.

Saitenfrequenz bewirkt der Doppelwiderstand R_5 (Fig. 3).

Für die Brücke (Wien-Robinson-Brücke ATM J 921-8) gilt:

$$R_1 = \left(\frac{1}{R_4} + j\,\omega\,C_4\right) \cdot \left(R_3 - \frac{j}{\omega\,C_3}\right) \cdot R_2$$

hieraus

$$\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} = \frac{C_4}{C_3} \text{ und } \omega^2 = \frac{1}{C_3 \cdot C_4 \cdot R_3 \cdot R_4}$$

$$\text{für } R_1 = 2 \cdot R_2 \text{ und } C_3 = C_4 = C$$

$$\text{ist } R_3 = R_4 = R \text{ und } \omega = \frac{1}{C \cdot R}$$

Wie erwähnt, konnte im Bereich 750 bis 550 Per./s ein praktisch linearer Spannungsanstieg in der Brückendiagonale u_d erzielt werden (Fig. 4). Messung und graphische Berechnung ergaben gute Uebereinstimmung.

7. Anpassung an den Oszillographen. Bei der Versuchsanordnung wurde die Spannung u_d über einen Einrohrverstärker entweder direkt oder über

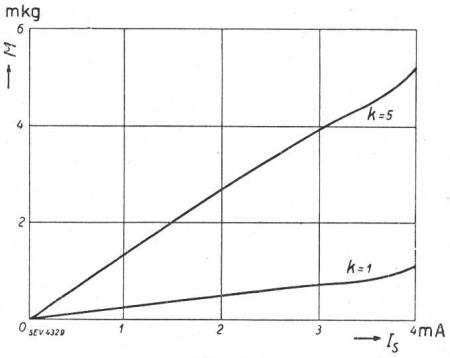

Fig. 5.
Drehmoment M in Funktion des Schleifenstromes I_s bei 2 Potentiometerstellungen.
Stahlsaite $l = 200$, $d = 0{,}7$, $\sigma_0 = 7200$.

einen Einweg- bzw. Doppelweg-Selengleichrichter zur Oszillographenschleife (Schleifen IV und V des Siemens-Universal-Oszillographen) geführt. Bei Verwendung einer hochempfindlichen Schleife erübrigt sich der Ausgangsverstärker; es ist dabei aber der schlechte Frequenzgang hochempfindlicher Schleifen zu beachten. Statt des magnetischen Oszillographen ist natürlich auch der Kathodenstrahloszillograph verwendbar. Dieser erfordert aber noch einen zusätzlichen Spannungsverstärker. In der Versuchsausführung erfolgte die Quadratur der Ausgangsspannung mit Trockengleichrichter. Man ist gezwungen, aus einer Anzahl Selen- oder Cuproxgleichrichter denjenigen mit möglichst gut quadratischer Anfangscharakteristik auszuwählen. Dann ist der Verlauf: Drehmoment — Schleifenstrom weitgehend linear. Ein Potentiometer P gestattet die Wahl verschiedener Empfindlichkeitsstufen.

IV. Messfehler.

Man darf von einem dynamisch messenden Gerät selbstverständlich nicht die Genauigkeit eines statischen Torsionsmessers verlangen. Meist interessiert man sich nur für den Charakter und die Frequenz der Schwingung, seltener für den genauen Wert der Amplitude. Bei der Versuchsanordnung lag die Genauigkeit etwas unter 5 %.

Die Fehlerquellen liegen in

1. nachgiebiger Saiteneinspannung (leicht zu vermeiden);
2. der Regelungenauigkeit;
3. Eichfehlern;

4. Temperatureinflussfehlern;
5. Aufzeichnungsfehlern, bedingt durch Einschwingvorgänge und schlechten Meßschleifenfrequenzgang.

Der Temperatureinfluss auf die Stahlsaite bewirkt eine Dehnung pro Grad Celsius von $1{,}17 \cdot 10^{-5}$. Dies entspricht einer Frequenzänderung von 1,18 Per./s, d. h. etwas mehr als ½ % Fehler pro Grad, bezogen auf den Frequenzaussteuerbereich. Dieser Fehler kann auch bei länger dauernden Messungen dadurch vermieden werden, dass man die Saitenvorspannung wieder auf den Sollwert bringt oder (einfacher), indem man die Brücke mit R_5 auf die neue Saitenfrequenz abgleicht.

Die Eichung erfolgt statisch gemäss bekannter Methoden.

Die Aufzeichnungsfehler durch Einschwingvorgänge nehmen mit der Frequenz der Drehmomentschwankung zu. Ein Oszillogramm einer stossartigen Frequenzänderung zeigte, dass langsamere Aenderungen als $^1/_{800}$ s richtig wiedergegeben werden; bei rascheren Vorgängen ergab die Meßschleife Ueberschwingungen. Die experimentelle Untersuchung der Stahlsaiteneinschwingung ist noch nicht abgeschlossen. Die Rechnung lässt jedoch erwarten, dass infolge der hohen akustischen Fortpflanzungsgeschwindigkeit ($c = \sqrt{\frac{E}{\varrho}} = 5000$ m/s für Stahl) keine grosse Verzögerung im Kraft—Frequenz-Verlauf entsteht. Für gute Hüllkurvenschreibung darf bei $f_o = 750$ die Frequenz der Drehmomentschwankung bei Einweggleichrichtung 200 Per./s und bei Doppelweggleichrichtung 400 Per./s nicht überschreiten. Für raschere Schwankungen ist f_o zu erhöhen, z. B. durch Saitenverkürzung oder durch Oberwellenerregung.

V. Gang der Messung.

Nach dem Anlegen der Hilfsspannungen wird die Frequenzbrücke mit R_5 auf die Saitenfrequenz f_o abgeglichen. Der Abgleich zeigt sich im Ausschlag Null der Schleife oder eines Ampèremeters im Schleifenkreis. Mit Potentiometer 6 (Fig. 3) wird die Empfindlichkeit gewählt. Eine Nacheichung der Apparatur ist im allgemeinen nicht nötig; es ist nur der schon erwähnte Temperatureinfluss durch Aenderung von R_5 von Zeit zu Zeit zu kompensieren.

VI. Beispiele, Anwendungsbereich.

Fig. 6 zeigt den Anlaufvorgang eines Asynchronmotors, wobei ein Parasitär-Moment des Motors und Torsionsschwingungen des Systems Motorträgheitsmoment — Kupplungselastizität — Generatorträgheitsmoment zum Ausdruck kommen. Die Drehmomentschwankungen zeigen sich im Drehzahlverlauf deshalb nicht, weil die Tachometerdynamo mit Riemen angetrieben werden musste. Der Drehmomentkurvenzug ist glatt durch die Anwendung eines elektrolytischen Kondensators parallel zur Schleife. Fig. 7 zeigt den Kurzschluss eines Gleichstromgenerators bei reduzierter

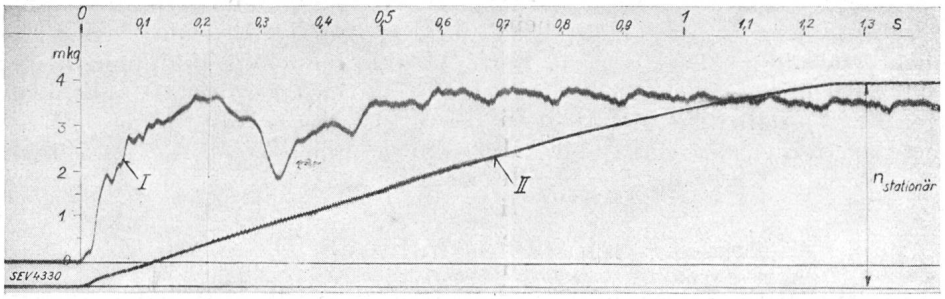

Fig. 6.
Drehmoment *I* und Drehzahlverlauf *II* eines anlaufenden Asynchronmotors.

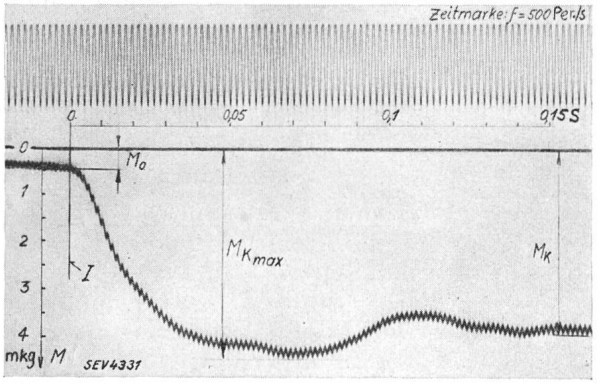

Fig. 7.
Kurzschluss eines Gleichstromgenerators nach Leerlauf.
I Beginn des Kurzschlusses.

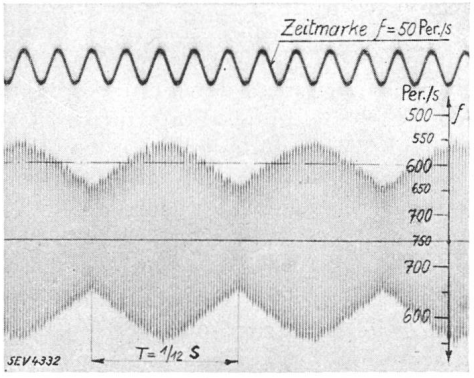

Fig. 8.
Frequenzschwankung eines Heultones. $f = 600 \pm 50$ Per./s.

Erregung (nach Leerlauf). Der Charakter der Hüllkurve kommt besser zum Ausdruck durch die Wahl eines kleineren Kondensators.

Als Beispiel für die Verwendung der Brücke zur Frequenzänderungsoszillographie diene Fig. 8. Sie zeigt das «Frequenzoszillogramm» des «Heultones» einer Meßschallplatte. Die Frequenz schwankt zwischen 550 und 650 Per./s sinusförmig mit 12 Perioden hin und her.

Das beschriebene Verfahren lässt auch die Registrierung rasch ändernder Drucke, Dehnungen und Erwärmungen zu. Vorteilhaft ist die Möglichkeit der Fernmessung, ferner der geringe Raumbedarf für den Einbau der Saite. Gegenüber andern Verfahren ist hier wie beim Hochfrequenz-Kondensator-Verfahren eine Aufnahme rasch verlaufender *und* stationärer Vorgänge möglich. Dabei lässt sich für mehr qualitative Messungen die Apparatur wesentlich vereinfachen. Es bleiben dann nur Saite, Rückkopplungsverstärker, eine Wolframröhre, Brücke, Einwegtrockengleichrichter, Kondensator und Oszillograph.

Herrn Prof. E. Dünner und Herrn dipl. ing. A. Wälti bin ich für die Unterstützung dieser Arbeit sehr zu Dank verpflichtet. Mit dem Studium einer handelsfertigen Ausführung befasst sich die Firma Trüb, Täuber & Co. A.-G. in Zürich.

Schutzmassnahmen zur Vermeidung elektrischer Unfälle in den Hausinstallationen.

Von *M. Wettstein*, Zürich.

621.316.99

(Fortsetzung von Seite 666.)

D. Die Anwendung des Nullungssystems.

Bei der Anwendung der Nullung zum Schutze von Menschen und Tieren gegen die Gefahren des elektrischen Stromes, die bei Isolationsdefekten in Niederspannungsanlagen entstehen können, werden die Metallteile der Maschinen und Apparate, unter Umständen auch die Metallteile der Installationen (Metallmäntel von Isolierrohren), die nicht zur Stromführung dienen, die aber bei Isolationsdefekten unter Spannung kommen können, an den Nullleiter angeschlossen.

Kommt infolge eines Isolationsfehlers ein stromführender Leiter mit einem normalerweise nicht stromführenen Metallteil, der an den Nulleiter angeschlossen ist, in Berührung, so tritt ein Fehlerstrom auf, der vom Transformator aus über den betreffenden Polleiter zur Fehlerstelle und von da über den Nulleiter zum Transformator zurückfliesst.

Ist in einem Drehstromnetz nur der Nullpunkt des Transformators an Erde gelegt, so besteht zwischen diesem Punkt und der Erde keine Spannungsdifferenz, weil kein Strom zur Erde fliesst. Dagegen muss zwischen der Fehlerstelle und der Erde eine dem Spannungsabfall auf dem Nulleiter entsprechende Spannungsdifferenz bestehen. Ist aber nicht nur der Nullpunkt des Transformators, sondern auch der Nulleiter desjenigen Leitungsstranges, an dem das fehlerhafte Objekt angeschlossen ist, in der Nähe der Fehlerstelle ebenfalls geerdet, so fliesst ein Teil des Fehlerstromes von der Fehlerstelle zur Erde und über die Erdung des Nullpunktes zum Transformator zurück. In einem solchen Fall treten sowohl zwischen der Fehlerstelle und der Erde als auch zwischen dem Transformatornullpunkt und der Erde Spannungsdifferenzen auf, deren Höhe von der Grösse des über die Erde fliessenden Teilstromes und von der Grösse der Erdwiderstände abhängig ist. Diese Spannungen können unter Umständen gefährliche Werte annehmen. Da aber alle nicht stromführenden Metallteile der Maschinen und Apparate mit dem Nulleiter verbunden sind, so können auch an andern fehlerfreien Objekten gefährliche Berührungsspannungen entstehen. Im nachstehenden soll nun an Hand von Beispielen gezeigt werden, welche Mittel zur Vermeidung gefährlicher Berührungsspannungen oder zur raschen Beseitigung dieser gefährlichen Zustände zur Verfügung stehen. Dabei zeigt es sich, dass ein wesentlicher Unterschied darin besteht, ob die Nulleiter der Netze an künstliche Elektroden oder an ausgedehnte Wasserleitungsnetze geerdet werden. Die Untersuchung wird deshalb für die beiden Erdungsarten gesondert durchgeführt. Ausserdem können die Nulleiter eines Netzes und damit alle genullten Objekte eine Spannung gegen Erde annehmen, ohne dass an irgendeinem Objekt selbst ein Fehler aufgetreten wäre, was z. B. dann der Fall ist, wenn der Nulleiter irgendwo unterbrochen wird (Drahtbruch, unrichtige Schaltungen usw.), oder wenn ein Polleiter direkt mit dem Nulleiter oder mit der Erde in Berührung kommt (Drahtbruch, Isolationsfehler an geerdeten und nicht genullten Objekten usw.), oder wenn ein Uebertritt von Hochspannung auf Niederspannung erfolgt.

Auch diese Gefahrenquellen müssen bei der Anwendung der Nullung in Betracht gezogen werden. Die Mittel, die für die Vermeidung dieser Gefahren in Betracht kommen, werden im nachstehenden ebenfalls näher beschrieben.

1. Strom- und Spannungsverhältnisse beim Auftreten von Fehlern an genullten Objekten.

a) Nulleiter an künstliche Elektroden geerdet.

Die einfachsten Verhältnisse ergeben sich, wenn der *Nulleiter* eines Leitungsstranges *nur in der*