

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 28 (1937)

Heft: 2

Artikel: Direktes Messen von Vektoren und Ortskurven der Wechselstromtechnik

Autor: Krondl, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059824>

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: 09.01.2026

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

teilt³⁶). Das Komitee hat unter anderem einer von Dr. Abraham, Sekretär der UIP, vorgelegten Resolution folgenden Inhalts zugestimmt:

In Anbetracht, das die elektromagnetischen Einheiten des praktischen Systems anlässlich ihrer Schöpfung als genaue dezimale Vielfache der elektromagnetischen CGS-Einheiten definiert worden sind,

in Anbetracht, dass diese ursprünglichen Definitionen mehr experimentelle Genauigkeit und grössere Sicherheit bieten als Definitionen, die, sei es auf der Aufbewahrung gewisser Normale, sei es auf besondern Verfahren beruhen (Quecksilbersäulen, Elektrolyse),

äussert das Komitee die Meinung:

Es besteht keine Veranlassung, die ursprünglichen Definitionen der elektrischen Einheiten des praktischen Systems abzuändern, Definitionen, die für diese Einheiten genaue dezimale Vielfache der Einheiten des elektromagnetischen CGS-Systems als Werte festlegen.

Das Schreiben endet mit folgender Zusammenfassung:

In Beantwortung der Anfrage der CEI empfiehlt deshalb das SUN-Komitee, dass die «vierte Einheit» im MKS-System 10^{-7} Henry pro Meter sein möge, der Wert (im rationalisierten Maßsystem wird er $4\pi \cdot 10^{-7}$) nämlich, der in diesem System der Vakuumpermeabilität zugeschrieben wird³⁷.

Die gegenwärtige Lage ist damit etwa folgende: Das Giorgi-System ist von der CEI einstimmig angenommen worden. Es ist aber noch nicht festgesetzt, welches seine vierte Grundeinheit ist. Die angefragten Komiteen des CIPM und der UIP haben vorgeschlagen, die Vakuumpermeabilität zur Vervollständigung der Grundlagen zu verwenden. Die CEI hat diese dagegen als für die vierte Grundeinheit ungeeignet erachtet. Aus einigen vorliegenden Aeusserungen³⁸) geht hervor, dass eine Reihe von Physikern noch heute nicht damit einverstanden ist, dass man aus rein praktischen Erwägungen, nämlich um — ohne Störung der Symmetrie der Gleichungen des elektrischen und des magnetischen Feldes — die Mehrdimensionalität vieler Grössen zu beseitigen, eine vierte Grundeinheit (Dimension) einführen will.

Die Vorteile des Giorgi-Systems können erst dann wirksam zur Geltung kommen, wenn es allgemein

³⁶) Unveröffentlichter Brief von Sir R. T. Glazebrook, Präsident des SUN-Komitees, vom 30. 11. 35.

³⁷) Diese Stelle ist offenbar so aufzufassen, dass das SUN-Komitee die Permeabilität als vierte Grundeinheit und das H/m (Henry pro Meter) als vierte Grundeinheit empfiehlt. Im nichtrationalisierten System ist dann $\mu_0 = 10^{-7}$ H/m, im rationalisierten System $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

angewendet wird. Zur Zeit stellt das neue Massensystem noch insofern eine Mehrbelastung dar, als es zu den bekannten Systemen noch neu hinzutritt. An seine allgemeine Verwendung ist wohl erst dann zu denken, wenn es einmal auf sichern Füssen steht und fertig ausgebaut ist. Die verschiedenen internationalen Organe erweisen der Gesamtheit aller, die mit elektrischen und magnetischen Einheiten zu tun haben, einen grossen Dienst, wenn sie das Giorgi-System nun rasch vollenden. Hiezu sind vor allem folgende Entscheidungen zu treffen:

1. *Die vierte Grundeinheit ist auszuwählen.* Mit Rücksicht auf die bequeme Verbindung mit den andern Einheiten und die Einfachheit der Dimensionsausdrücke eignet sich besonders das Ampere als vierte Grundeinheit.

2. *Das vierte Grundnormal ist zu definieren.* Hierfür eignet sich mit Rücksicht auf die Konstanz wohl nur die Vakuumpermeabilität, obwohl eine starke Gruppe das internationale Ohm vorzieht. Diese befindet sich im Widerspruch mit der Generalkonferenz für Mass und Gewicht, die 1933 beschlossen hat, die praktischen Einheiten von den internationalen Normalen zu lösen und ihnen die absoluten, das heisst die auf dem elektromagnetischen CGS-System fussenden Werte zu erteilen³⁹). Ein interessanter Vermittlungsvorschlag von Hans König⁴⁰) will der Vakuumpermeabilität den Wert $\mu_0 = \frac{4\pi}{1,000500} \cdot 10^{-7}$ ⁴¹) erteilen, damit das hieron abgeleitete absolute Ohm gleich dem heutigen internationalen Ohm wird und die heutigen Ur-Widerstands-Normale ihren Nennwert behalten können. Eine voraussichtlich auf den Widerstand der Physiker und Nichtrationalisten stossende Folge dieser Festsetzung ist, dass die neuen absoluten praktischen Einheiten, entgegen der ursprünglichen Definition, nicht mehr ganzzahlige Vielfache der CGS-Einheiten sind.

3. *Die Krafteinheit ist zu benennen.* Die Krafteinheit wird so häufig gebraucht, dass der zusammengesetzte Name Joule pro Meter ($= 10^5$ Dyn ≈ 102 Gramm-Kraft) nicht genügen kann.

³⁸) Siehe Anm. 33, S. 323 der Procès-verbaux³³), ferner: Rev. gén. Electr. Bd. 39 (1936), S. 751 u. 752.

³⁹) Bulletin SEV Bd. 27 (1936), S. 589.

⁴⁰) Bulletin SEV Bd. 27 (1936), S. 621.

⁴¹) Den Rationalisten würde der rationale Wert $1,256000 \cdot 10^{-6}$ H/m wohl als zweckmässiger erscheinen.

Direktes Messen von Vektoren und Ortskurven der Wechselstromtechnik.*)

Von M. Krondl, Brünn.

621.317.6

Es wird eine Messmethode und ein Messgerät zur direkten Messung und photographischen Aufnahme von Vektoren und Ortskurven der Wechselstromtechnik beschrieben. Mit dem gleichen Messgerät können auch allgemein Abhängigkeitskurven zweier elektrischer oder nichtelektrischer Grössen aufgenommen werden. An einigen Beispielen werden die Vorzüge dieser Messmethoden für Demonstrationen beim Unterricht, für Forschung sowie für laufende Messungen in Versuchsstätten gezeigt.

L'auteur décrit une méthode et un instrument pour la mesure directe et l'enregistrement photographique de vecteurs et de lieux géométriques dans la technique du courant alternatif. Avec le même instrument on peut aussi enregistrer, d'une manière générale, des relations entre deux grandeurs électriques ou non électriques. Quelques exemples démontrent les avantages de cette méthode pour l'enseignement (démonstrations), pour les recherches et pour les mesures courantes dans les stations d'essai.

*) Vorgetragen am 9. Oktober 1936 im Tschechoslowakischen Elektrotechnischen Verein in Brünn.

Es wäre überflüssig, die Wichtigkeit der Vektorbilder und der Ortskurven für die Wechselstromtechnik zu betonen; sie sind schon längst unentbehrliche Hilfsmittel des Elektroingenieurs geworden. Die Theorie der Vektoren und der Ortskurven, ihre zeichnerischen und rechnerischen Methoden sind zu grosser Vollkommenheit entwickelt worden.

Die experimentelle Aufnahme der Vektoren und Ortskurven mit den heute üblichen Methoden ist jedoch recht mühsam. Z. B. müssen bei der Messung der Ortskurve einer Wechselstrommaschine Spannung, Strom und Leistung auf mindestens drei Messgeräten gleichzeitig abgelesen werden, und zwar bei verschiedenen Drehzahlen der Maschine; die gemessenen Werte müssen meistens umgerechnet werden, und es muss der Leistungsfaktor berechnet werden. Dann werden die Vektoren punktweise aufgetragen und ihre Endpunkte durch eine Kurve verbunden, welche die gesuchte Ortskurve ist. Bei dieser punktweisen Messung können allenfalls verschiedene Feinheiten im Verlaufe der Ortskurve verlorengehen. Für Demonstrationen ist dieses Verfahren recht wenig anschaulich.

Im Institut für theoretische Elektrotechnik der tschechischen technischen Hochschule in Brünn wurde eine Messmethode entwickelt, mit welcher man den Vektor einer Wechselgrösse direkt misst, und zwar durch die Lage einer Lichtmarke auf einer Projektionsfläche. Diese Projektionsfläche ist also als komplexe Gaußsche Ebene zu betrachten. Das bei den Messungen verwendete Messgerät wurde im Institut zusammengestellt und ist dem Siemens-Koordinatenschreiber ähnlich, besteht aber (zum Unterschied vom Siemens-Koordinatenschreiber) nicht aus zwei Drehspulmesswerken¹⁾, sondern aus zwei ferrodynamischen Wattmetermesswerken (1, 2 in Fig. 1). Die Axen dieser Messwerke sind um 90°

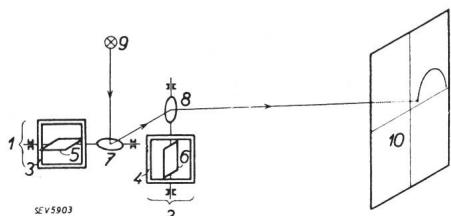


Fig. 1.

Schematische Darstellung des verwendeten Messgerätes.
1, 2 ferrodynamische Messwerke; 3, 4 feste Spulen; 5, 6 Drehspulen; 7, 8 Spiegelchen; 9 Lichtquelle; 10 Projektionsfläche.

gekreuzt. Das Messwerk 1 mit waagrechter Axe ist als Wirkleistungsmesser, dasjenige mit senkrechter Axe 2 als Blindleistungsmesser geschaltet. In Fig. 2 ist das Schaltbild des Messgerätes in einem Wechselstromkreis dargestellt. Die Zahlen 1 bis 6 haben die gleiche Bedeutung wie in Fig. 1, 11 ist der Vorschaltwiderstand des Wirkleistungsmessers, 12 eine

¹⁾ Arch. techn. Messen I 036—3, Juni 1934. Siemens-Halske bemerkt dort allerdings, dass anstatt der Drehspulmesswerke «andere Meßsysteme eingebaut werden können». M. W. wurde aber ein Koordinatenschreiber mit ferrodynamischen oder elektrodynamischen Messwerken noch nicht beschrieben, noch wurde auf die grossen Vorteile eines solchen Messgerätes hingewiesen.

Drosselpule, 13 ein Widerstand; 12 und 13 zusammen mit der Drehspule 6 ergeben die Kunstschaltung nach Hummel²⁾, bei der durch die Drehspule 6 ein genau um eine Viertelperiode hinter der Netzzspannung nacheilender Strom fließt (allerdings nur bei Nennfrequenz), so dass das Messwerk 2 die Blindleistung misst. Selbstverständlich kann das Messwerk 2 auch nach jeder anderen bekannten Schaltung für Blindleistungsmesser, für Ein- oder Mehrphasenstrom, geschaltet sein.

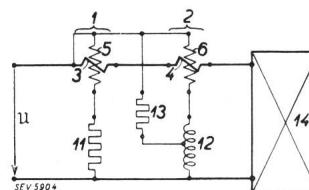


Fig. 2.
Schaltbild des Messgerätes bei der Messung eines einphasigen Wechselstromkreises.

Die Axen beider Messwerke (1, 2) tragen je ein Spiegelchen (7, 8 in Fig. 1), welche den von einer Lichtquelle 9 kommenden Lichtstrahl sukzessive reflektieren und auf die Projektionsfläche 10 werfen. Die Lichtmarke auf der Projektionsfläche verschiebt sich also in senkrechter Richtung bei Verdrehung des Wirkleistungsmessers (1) und in waagrechter Richtung bei Verdrehung des Blindleistungsmessers (2). Die senkrechten, «reellen» Koordinaten der Lichtmarke auf der Projektionsfläche entsprechen der gemessenen Wirkleistung P_W , die waagrechten, «imaginären» der Blindleistung P_B . Die Lage der Lichtmarke auf der Projektionsfläche gibt also die komplexe Scheinleistung $\mathfrak{P} = P_W + j P_B$ an. Die Scheinleistung \mathfrak{P} ist bei konstanter Spannung U (bzw. bei konstantem Strom I) dem Strom \mathfrak{J} (bzw. der Spannung U) proportional. Man kann daher mit dem beschriebenen Messgerät bei konstanter Spannung (bzw. bei konstantem Strom) Vektoren und Ortskurven des Stromes (bzw. der Spannung) oder auch der Scheinleitfähigkeit (bzw. des Scheinwiderstandes) aufnehmen. Die Vektoren und Ortskurven können auf einem auf die Projektionsfläche 10 aufgelegten, durchsichtigen Papier nach der Lage der Lichtmarke nachgezeichnet werden, oder es wird an Stelle der Projektionsfläche eine Kassette mit lichtempfindlichem Papier eingelegt und das Messgerät registriert dann photographisch die Lage der Lichtmarke, also auch die gemessenen Vektoren und Ortskurven.

Das beschriebene Messgerät hat sich bei Demonstrationen und Unterricht ausgezeichnet bewährt. Die ganze Wechselstromtechnik lässt sich anschaulich erläutern, die Zahl lehrreicher Versuche mit dem Messgerät ist sehr gross. Im folgenden werden nur einige davon beschrieben und die entsprechenden photographischen Aufnahmen ohne jegliche Retouche wiedergegeben.

1. Als einführenden Versuch in die Wechselstromtheorie werden die Stromvektoren im Wirkwider-

²⁾ Siehe z. B. Fraenkel, 1930, S. 55.

stand, in der Induktivität und in der Kapazität demonstriert (Fig. 3) (Netzspannung und Netzfrequenz sind dabei konstant). Weiter wird das Addieren der Vektoren gezeigt, indem zur Drosselspule der Widerstand und dann die Kapazität parallel geschaltet wird. Es ist vorteilhaft, bei diesen einführenden Versuchen gleichzeitig die entsprechenden Oszillogramme der Spannung und des Stromes zu demonstrieren³⁾.

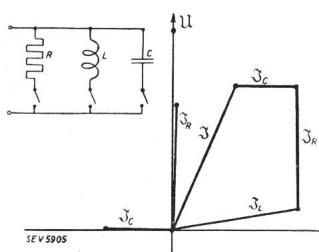


Fig. 3.
Photographische Aufnahme des Stromvektors J_R' in einem Ohmschen Widerstand, J_L in einer Induktivität, J_C in einer Kapazität. Addition dieser drei Vektoren: $J = J_R + J_L + J_C$. (Die Lichtmarke registriert die Endpunkte der Vektoren auf dem photographischen Papier durch einen schwarzen Punkt. Die Linien wurden nachher gezogen.)

2. Die Reihenschaltung eines Wirkwiderstandes, einer Kapazität und einer *veränderlichen* Induktivität (Fig. 4) wurde mit dem Messgerät einmal punktweise bei konstant gehaltenem Strom, das andere Mal kontinuierlich bei konstanter Netzspannung gemessen. Im ersten Falle erhält man die Ortskurve des Scheinwiderstandes, und zwar eine Gerade, im zweiten Falle die Ortskurve der Scheinleitfähigkeit, die Inversion der Geraden, also einen Kreis durch den Ursprung der Koordinaten⁴⁾.

3. Auf einem Kettenleiter, einer sogenannten *künstlichen Leitung*, welche aus Kondensatoren (C , Fig. 5) und Induktivitäten (L) besteht, wurden mit dem Messgerät die Eigenschaften langer, mit

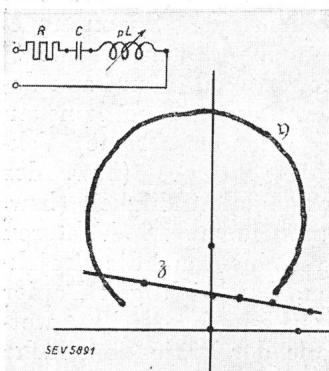


Fig. 4.
Photographische Aufnahme der Ortskurve des Scheinwiderstandes δ und der Scheinleitfähigkeit γ einer Reihenschaltung von Widerstand R , Kapazität C und veränderlicher Induktivität pL .

Der Scheinwiderstand δ wurde punktweise bei konstantem Strom, die Scheinleitfähigkeit γ kontinuierlich bei konstanter Netzspannung aufgenommen⁴⁾.

Wechselstrom gespeister Leitungen demonstriert. Die Stromspulen (Klemmen II) des Messgerätes werden über einen ohmschen Widerstand mit einem konstanten Wechselstrom gespeist. Dieser Strom ist mit der Netzspannung phasengleich. Werden die beiden Spannungsspulen (Klemmen UU) sukzessive an die Klemmen (0) , (1) , (2) , (3) des Kettenleiters gelegt, misst unser Messgerät die Vektoren der Querspannungen an diesen Punkten. — Die Belastung β_B am Ende (3) der künstlichen Leitung wurde zuerst dem Wellenwiderstand β angepasst. Dabei wurden die Spannungsvektoren 0 , 1 , 2 , 3 (Fig. 6) gemessen. Sie liegen annähernd auf einer logarithmischen Spirale⁵⁾ und entsprechen einer fortschreitenden, nicht reflektierten, schwach gedämpften

Welle. Der Kettenleiter wurde so ausgelegt, dass Spannung und Strom entlang dem Kettenleiter (bei der Frequenz 50 Hz) annähernd mit einer Halbwelle schwingen. — Die Spannungsvektoren $0'$, $1'$, $2'$, $3'$

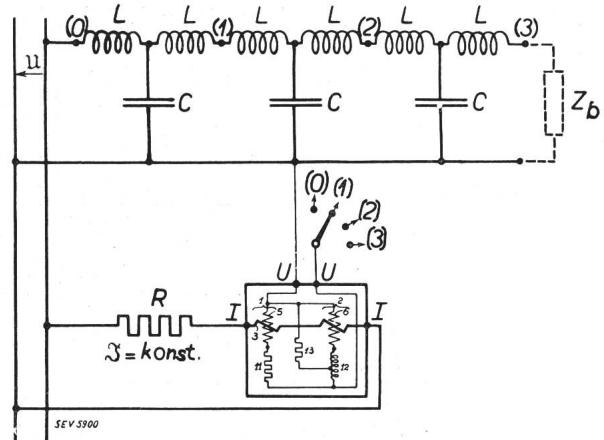


Fig. 5.
Schaltbild einer künstlichen Leitung: L Induktivitäten, C Kapazitäten, Z_B Bürde am Ende der künstlichen Leitung. 1 ... 6 , 11 ... 13 hat die gleiche Bedeutung wie in Fig. 1 bzw. 2. II sind die Stromklemmen, UU die Spannungsklemmen des Messgerätes.

Welle. Der Kettenleiter wurde so ausgelegt, dass Spannung und Strom entlang dem Kettenleiter (bei der Frequenz 50 Hz) annähernd mit einer Halbwelle schwingen. — Die Spannungsvektoren $0'$, $1'$, $2'$, $3'$

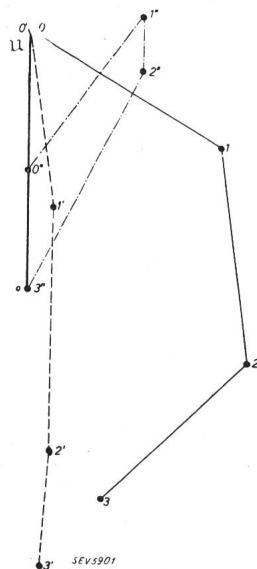


Fig. 6.

Photographische Aufnahme des Vektorbildes der Querspannungen an den Punkten (0) , (1) , (2) , (3) der künstlichen Leitung nach Fig. 5 bei

- nichtreflektierendem Leitungsende, Vektoren 0 , 1 , 2 , 3 ;
- Leerlauf, Vektoren $0'$, $1'$, $2'$, $3'$;
- Kurzschluss, Vektoren $0''$, $1''$, $2''$, $3''$.

(Fig. 6) wurden im *Leerlauf*, $0''$, $1''$, $2''$, $3''$ im *Kurzschluss* der künstlichen Leitung gemessen. Bei diesen beiden Betriebsarten werden die zum Ende der künstlichen Leitung fortschreitenden Wellen reflektiert und es entstehen stehende, gedämpfte Wellen. Laut Theorie⁶⁾ ist die Ortskurve der Span-

⁵⁾ Uebereinstimmend mit der Theorie, siehe z. B. Fraenckel, 1930, S. 162, Fig. 194.

⁶⁾ Siehe z. B. Fraenckel 1930, S. 157, Gl. (22), (23).

³⁾ Der beim Versuche verwendete Schiebe-Widerstand hat, wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, auch einen kleinen Blindwiderstand.

⁴⁾ Die beim Versuche verwendete veränderliche Induktivität hatte einen gezahnten magnetischen Kreis mit Luftspalt. Die Eisenverluste verursachen einen kleinen Wirkwiderstand der Induktivität, die Zahzung des Eisens kleine Abweichungen der Ortskurve vom idealen Kreisdiagramm.

nungsvektoren bei Leerlauf: $U_{Lx} = U_{L3} \cos \nu x$ und bei Kurzschluss $U_{Lx} = \mathfrak{J}_{k3} \cdot \mathfrak{J} \sin \nu x$, wo x die vom Ende des Kettenleiters gezählte Nummer des Gliedes, ν die komplexe Fortpflanzungskonstante, \mathfrak{J} der Wellenwiderstand, $U_{L3}, \mathfrak{J}_{k3}$ die Leerlaufspannung und der Kurzschlußstrom am Ende (3) der künstlichen Leitung sind.

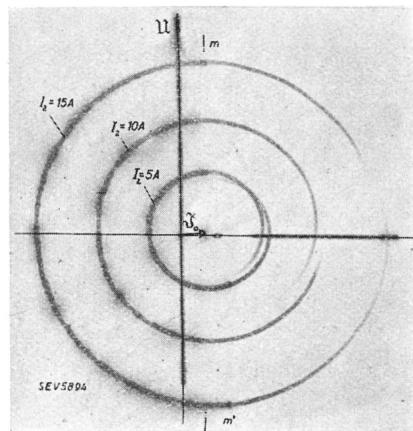


Fig. 7.

Photographische Aufnahme der Ortskurven des Ständerstromes einer synchronisierten Drehstrominduktionsmaschine bei konstanter Netzspannung, Netzfrequenz, konstantem Erregerstrom, aber veränderlichem Drehmoment.

4. An einer *synchronisierten* Drehstrom-Induktionsmaschine wurden die Ortskurven des Ständerstromes der Synchronmaschinen bei konstanter Erregung, Netzspannung⁷⁾ und Netzfrequenz, aber veränderlichem Drehmoment aufgenommen.

In Fig. 7 ist \mathfrak{J}_0 der Magnetisierungsstrom, welcher bei geöffneter Läuferwicklung gemessen wurde. Die Kreisdiagramme des Ständerstromes haben ihren Mittelpunkt in dem Endpunkt des Vektors \mathfrak{J}_0 , und ihr Radius ist dem Erregerstrom I_2 proportional. Links von den Punkten m, m' ist der Betrieb stabil, rechts von ihnen labil. Sehr schön kann man bei diesen Versuchen auch die Pendelungen der Synchronmaschine demonstrieren.

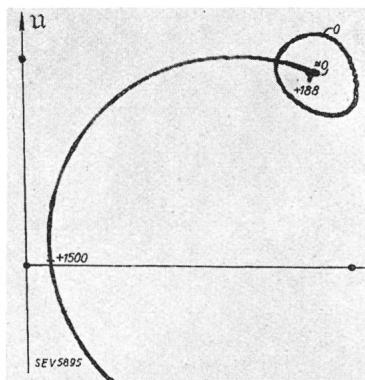


Fig. 8.

Photographische Aufnahme der Ortskurve des Ständerstromes eines 4-poligen Drehstrom-Kurzschlussmotors mit 36 Nuten im Ständer und 32 Nuten im Läufer. Der kleine Kreis ($n = 0/\text{min}$) wurde bei sehr langsamem Verdrehen des Läufers um eine Läufernutteilung aufgenommen.

5. Bei der Aufnahme der Ortskurven von *Induktionsmaschinen* wurden interessante Abweichungen vom idealen Kreisdiagramm bemerkt, welche theo-

⁷⁾ Die Netzspannung wurde bei diesem Versuche und bei den folgenden, s. Fig. 8, 9, 10, 13, 14, auf etwa 25–30 % der Nennspannung reduziert.

retisch erklärt werden können, aber bisher m. W. noch nicht gemessen wurden. Das verwendete Messgerät eignet sich also nicht nur für Demonstrationen und Unterricht, sondern hat sich auch als gutes Hilfsmittel der Forschung bewährt. Die Deformationen der idealen Kreisdiagramme wurden an einem vierpoligen Drehstrommotor mit 36 Ständer-

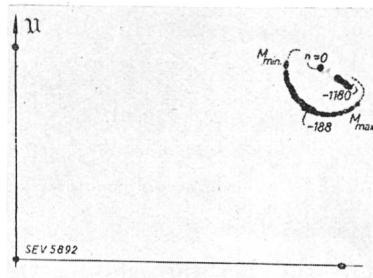


Fig. 9.

Wie Fig. 8, aber beim Lauf gegen das Drehfeld. Der Halbkreis ($n = -188/\text{min}$) entspricht einem synchronen parasitären Drehmoment bei dieser Drehzahl.

Nuten und verschiedenen, auswechselbaren Käfigankern untersucht. Der Verfasser behält sich vor, die gemachten Beobachtungen theoretisch und experimentell eingehender zu verfolgen; in diesem Aufsatz werden nur zwei Messungen kurz beschrieben:

a) Bei einem Kurzschluss-Läufer mit 32 unverzerrten Nuten ist laut Theorie das Auftreten von sehr starken parasitären Drehmomenten der «synchronen»⁸⁾ Art zu erwarten. Tatsächlich wurden solche besonders bei Stillstand und bei $1/8$ der synchronen Drehzahl in der Gegen-Drehfeldrichtung beobachtet. Auch auf der Ortskurve des Ständerstromes sind die parasitären Drehmomente in auffallender Weise bemerkbar. Im Stillstand des Läufers, aber bei langsamem Verdrehen desselben, beschreibt der Strom-Vektor annähernd einen Kreis (Fig. 8, $n = 0/\text{min}$), dessen Mittelpunkt auf dem idealen Heylandschen Kreise liegt. Bei der Drehzahl $n = -1/8 n_{\text{syn}}$ kann das Drehmoment des Motors in weiten Grenzen vom motorischen ins generatorische geändert werden, ohne dass der Läufer

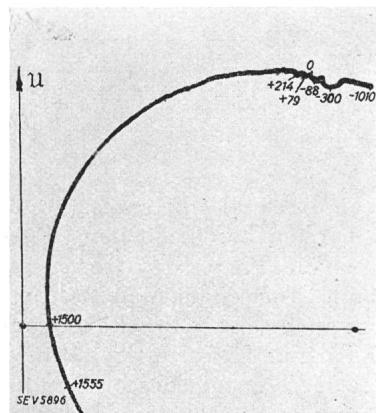


Fig. 10.

Photographische Aufnahme der Ortskurve des Ständerstromes eines 4poligen Drehstromkurzschluss-Motors mit 36 Nuten im Ständer und 60 Nuten im Läufer. Den Ausbuchungen der Ortskurve bei 214, 79, -88, -300 U/min entsprechen asynchrone parasitäre Drehmomente.

aus dieser synchron-parasitären Drehzahl fällt. Der Strom-Vektor beschreibt bei dieser Änderung des Drehmomentes einen Halbkreis (Fig. 9, $n = -188 \text{ pro min}$), dessen Mittelpunkt wieder auf dem idealen

⁸⁾ Siehe z. B. Krondl, Bull. Oerlikon 1931, S. 654.

Kreisdiagramm liegt. Dieser Halbkreis entspricht dem stabilen Teil des Kreisdiagrammes einer Synchronmaschine mit konstanter Erregung, aber veränderlichem Drehmoment (s. z. B. Fig. 7).

b) Der beschriebene Ständer mit einem 60nugigen Käfiganker weist starke parasitäre Drehmomente der «asynchronen»⁹⁾ Art auf, die sich ebenfalls auf der Ortskurve des Ständerstromes als auffallende Ausbuchtungen widerspiegeln (Fig. 10).

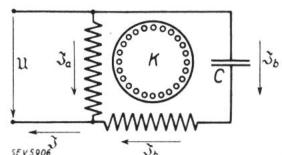


Fig. 11.
Schaltbild eines einphasigen Kondensatormotors.

6. Sehr interessant sind bekanntlich die Ortskurven des nach Fig. 11 geschalteten einphasigen Kondensatormotors. Die Ortskurve des Stromes der Hauptwicklung J_a und der Hilfswicklung J_b sind bizirkulare Quartiken, der Netzstrom J hat als Ortskurve eine zum Kreis degenerierte bizirkulare Quartik. Fig. 12 zeigt die laut Theorie konstruierten Ortskurven eines derartigen Motors¹⁰⁾. Fig. 13 und 14 zeigen die mit dem Messgerät aufgenommenen Ortskurven. (Bei $n = \pm 500$ /min sieht man in allen Ortskurven des gemessenen Kondensator-Motors typische Deformationen, welche einem parasitären Drehmoment asynchroner Art, verursacht vom dritten Ständer-Oberfeld, entsprechen.)

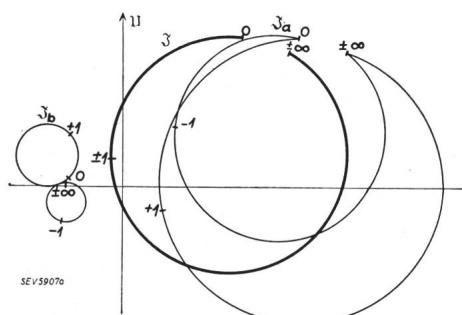


Fig. 12.

Theoretisch abgeleitete Ortskurven des Stromes der Hauptwicklung J_a , der Hilfswicklung J_b und des Netzstromes J eines nach Fig. 11 geschalteten Einphasen-Kondensator-Motors.¹⁰⁾ Die angeschriebenen Parameter sind die relativen

$$\text{Drehzahlen} = \frac{n}{n_{\text{syn}}}.$$

7. An einem weiteren Beispiel soll gezeigt werden, dass man mit dem oben beschriebenen Messgerät auch Zeit-Vektoren von *magnetischen Wechselfeldern* aufnehmen kann. Verwendet man Röhrenverstärker, so kann man auch sehr schwache magnetische Größen messen. In Fig. 15 ist das Schaltbild dargestellt, welches bei der Messung des bekannten Görgesschenen Durchflutungspolygons einer Drehstromwicklung verwendet wurde. In die Bohrung eines normalen Drehstrommotors (15) mit entferntem Läufer wurde der magnetische Spannungsmesser nach Rogowski (16) eingelegt und bei dreh-

⁹⁾ Siehe z. B. Krondl, Bull. Oerlikon 1. c.

¹⁰⁾ Nach Jelinek, Elektrotechnicky Obzor 1929, S. 649.

stromerregter Ständerwicklung die Durchflutung zwischen zwei, jeweils um eine Polteilung entfernten Punkten der Ständerbohrung gemessen. Die im magnetischen Spannungsmesser induzierte, sehr ge-

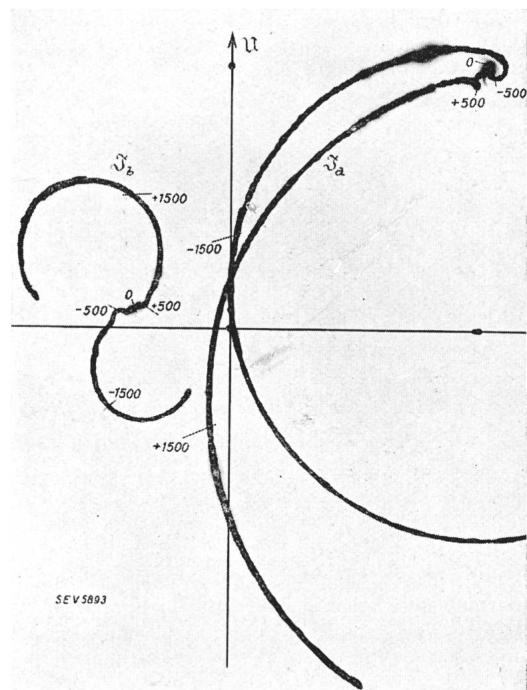


Fig. 13.
Photographisch aufgenommene Ortskurven eines nach Fig. 11 geschalteten Einphasen-Kondensator-Motors. J_a Strom der Hauptwicklung, J_b Strom der Hilfswicklung.

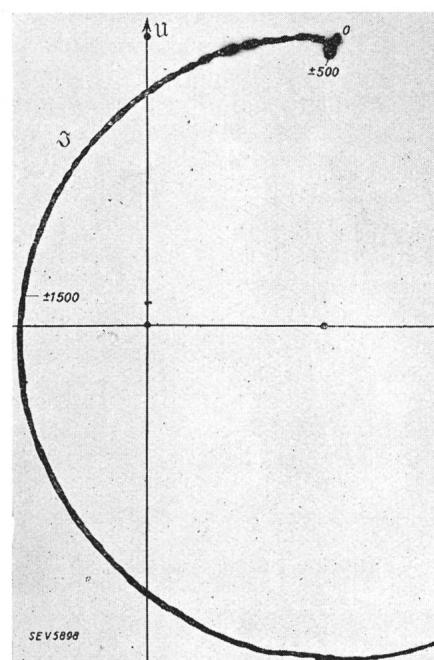


Fig. 14.
Wie in Fig. 13. Netzstrom $J = J_a + J_b$.

ringe Spannung wurde in einem Röhrenverstärker (17) verstärkt und an die Spannungsklemmen (U U) des Messgerätes gelegt, wobei die Stromspulen (Klemmen II) von einem konstanten Wechselstrom

der Netzfrequenz gespeist wurden. Die Lichtmarke gibt, wie ausgeführt wurde, bei konstantem Strom in den Stromspulen den Vektor der im magnetischen Spannungsmesser induzierten Spannung an, also auch — blos in einem anderen Maßstab — den Zeit-Vektor der entsprechenden Wechseldurch-

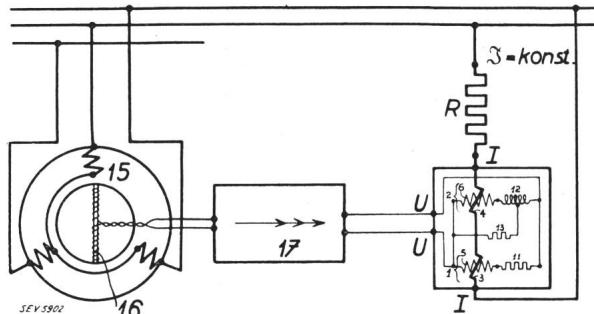


Fig. 15.

Schaltbild der Versuchsanordnung zur Aufnahme des Görgesschen Durchflutungspolygons einer Drehstromwicklung. 15 Ständer eines Drehstrommotors. 16 magnetischer Spannungsmesser nach Rogowski. 17 Röhrenverstärker. 1...6, 11...13 hat die gleiche Bedeutung wie in Fig. 1, bzw. 2. 19 Nebenschlusswiderstand der Drehspule 5. 20 Nebenschlusswiderstand der Drehspule 6. 20 der Gleichstromverbraucher.

flutung. Verdreht man den magnetischen Spannungsmesser langsam um eine Polpaarteilung, so beschreibt die Lichtmarke das Görgessche Durchflutungspolygon (Fig. 16).

Fig. 16.

Photographische Aufnahme des Görgesschen Durchflutungspolygons einer Drehstromwicklung, aufgenommen mit der Versuchsanordnung nach Fig. 15.

Grösse erregt, so entsteht im Bereich der Verdrehung der Drehspule ein konstantes magnetisches Feld, welches auf die stromdurchflossene Drehspule ein Drehmoment ausübt, ähnlich wie in einem Drehspulmessgerät mit permanentem, magnetischem Felde. Das ferrodynamische Wattmetermesswerk lässt sich also in einfacher Weise in ein Millivolt- oder Milliamperemeter für Gleichstrom umwandeln. In Fig. 17 ist beispielsweise das Messwerk 1 als Millivoltmeter mit Vorschaltwiderstand, das Messwerk 2 als Milliamperemeter mit Nebenschluss-

widerstand geschaltet, so dass das Messgerät die Abhängigkeit der Spannung des Gleichstromverbrauchers (20) von dessen Strom aufnehmen kann.

In Fig. 18 ist die auf ähnliche Weise aufgenommene Magnetisierungscharakteristik einer fremderregten Gleichstromdynamomaschine dargestellt.

Fig. 17.

Schaltbild des Messgerätes zur Aufnahme der Abhängigkeit der Spannung vom Strom eines Gleichstromkreises. 1...6 hat die gleiche Bedeutung wie in Fig. 1 und 2. 18 Vorschaltwiderstand der Drehspule 5. 19 Nebenschlusswiderstand der Drehspule 6. 20 der Gleichstromverbraucher.

In der folgenden Uebersicht sind die hauptsächlichen Schaltmöglichkeiten des ferrodynamischen Messwerkes zusammengestellt (die Kombination der Schaltungen *beider* Messwerke kann dabei frei gewählt werden):

1. als Wattmeter für Wirkleistung;
2. als Wattmeter für Blindleistung;
3. als Millivolt- oder Milliamperemeter für Gleichstrom;
4. als Millivolt- oder Milliamperemeter mit einem geeigneten Gleichrichter, also als Voltmeter oder Amperemeter für Wechselstrom.
5. Zusammen mit einem Hilfsgerät, welches eine *nichtelektrische* Grösse in eine elektrische umwandelt. Man kann heute auf einfache Art fast alle nichtelektrischen Grössen in elektrische umwandeln, so z. B. Zeit, Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Temperatur, Beleuchtungsstärke usw.

Fig. 18.

Photographische Aufnahme der Magnetisierungscharakteristik einer fremderregten Gleichstromdynamomaschine.

Aus dieser Uebersicht folgt eine sehr allgemeine Verwendungsmöglichkeit des Messgerätes zur Aufnahme der Abhängigkeit zweier elektrischer oder nichtelektrischer Grössen (welche sich nicht allzu rasch mit der Zeit ändern), wofür noch einige praktische Beispiele angeführt werden sollen:

a) Werden beide Messwerke als Wirkleistungsmesser geschaltet, so kann die Abhängigkeit der nützlichen Leistung von der zugeführten Leistung bei verschiedenen Betriebszuständen eines Umformers gemessen werden.

b) Werden beide Messwerke als Volt- oder Amperemeter für Gleich- oder Wechselstrom geschaltet, so können mit

dem Messgeräte Charakteristiken von Gleich- und Wechselstromdynamos oder Elektronenröhren usw. aufgenommen werden.

c) Wird ein Messwerk an eine Photozelle, das andere an die Spannung einer Glühlampe geschaltet, kann die Abhängigkeit der Lichtstärke der Glühlampe von der speisenden Spannung gemessen werden.

Zusammenfassung.

Die beschriebenen Messmethoden, bei denen die Abhängigkeit zweier elektrischer oder nichtelektrischer Größen und insbesondere auch die Ortskurven der Wechselstromtechnik durch die Lage und

Bewegung einer Lichtmarke auf einer Projektionsfläche direkt gemessen werden, haben sich beim Unterricht sehr gut bewährt.

Bei den angestellten Versuchen hat man neue, bisher nicht beobachtete Erscheinungen festgestellt, was den Wert der beschriebenen Messmethoden für Forschung beweist.

Schliesslich bietet die photographische Aufnahme der Ortskurven und der Charakteristiken grosse Vorteile für laufende Messungen von elektrischen Maschinen und Geräten in Versuchsstätten.

Die elektrische Trester-trocknungsanlage der OVA.

Von W. Werdenberg, Kilchberg (Zürich).

621.364.6 : 663.3

Aufbau und Wirkungsweise der elektrischen Trester-trocknungsanlage in Affoltern a. A. werden beschrieben. Sie kann in automatischem Betrieb in der Stunde 2000 kg Nasstreter trocknen, d. h. dessen Feuchtigkeitsgehalt von 70 % auf 10 % reduzieren. Der elektrische Luftheritzer kann 1500 kW aufnehmen. Die Anlage verbrauchte in 50 Betriebsstagen 850 000 kWh. Für 1000kg Nasstreter sind ca. 800 kWh nötig; bei Ausnutzung aller Möglichkeiten dürfte der spezifische Energieverbrauch noch um etwa 10 % sinken.

L'auteur expose l'agencement et le fonctionnement d'une installation pour le séchage électrique des marcs à Affoltern a. A. En marche automatique, cette installation peut sécher à l'heure 2000 kg de marc, c'est-à-dire en réduire la teneur en eau de 70 à 10 %. Le chauffe-air électrique peut absorber jusqu'à 1500 kW. Pendant 50 jours d'exploitation, l'installation a consommé 850 000 kWh; le séchage de 1000 kg de marc exige environ 800 kWh. En utilisant toutes les possibilités, on pourrait encore réduire la consommation spécifique de 10 % environ.

1. Zweck der Anlage.

Bisher wurde in der Schweiz der Obsttrester zum grössten Teil auf Alkohol verarbeitet. Die Obstverwertungsgenossenschaft Affoltern a. A. (OVA) ist nun daran gegangen, den Trester anders zu verarbeiten, nämlich ihn nach einem im Ausland schon längere Zeit bekannten und auch in der Schweiz seit kurzem angewandten Verfahren zu trocknen. Dabei wurde aber, dank der Unterstützung der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), erstmals die für die Trocknung nötige Wärme nicht mehr, wie sonst üblich, in einem Koksofen, sondern elektrisch erzeugt.

Der Zweck der Trocknung ist, die normalerweise nach etwa acht Stunden Lagerung eintretende Gärung des nassen Tresters zu verhindern, indem der ursprüngliche Wassergehalt von etwa 70 % auf etwa 10 % herabgesetzt wird. Dadurch können wertvolle Nährstoffe erhalten und der Trester kann haltbar und transportfähig gemacht werden. Der getrocknete Trester wird nach zwei verschiedenen Richtungen verwertet:

Der Birnentrester ist in erster Linie ein Futtermittel für Mastvieh, eignet sich aber wegen seiner Nährstoffzusammensetzung auch besonders als Futtermittel für Pferde.

Der Apfeltrester wird vor allem zur Gewinnung von Pektin verwendet. Pektin ist ein kohlehydratähnlicher Bestandteil des Zellgerüstes, das nach verschiedenen, patentierten Verfahren gewonnen wird. Es findet als Nahrungsmittel für den Menschen Absatz in der Konservenindustrie und ist ein begehrter Ausfuhrartikel.

2. Aufbau und Arbeitsweise der Anlage.

Die Anlage (siehe Fig. 1, 2 und 3) ist zum Trocknen von 2000 kg Nasstreter pro Stunde gebaut. Sie besteht in grossen Zügen aus einer wärmeisolierten, rotierenden Eisentrommel (1) von etwa 1,2 m Durchmesser und etwa 9 m Länge, in welcher Schikanen den Trester langsam vorwärts bewegen. An

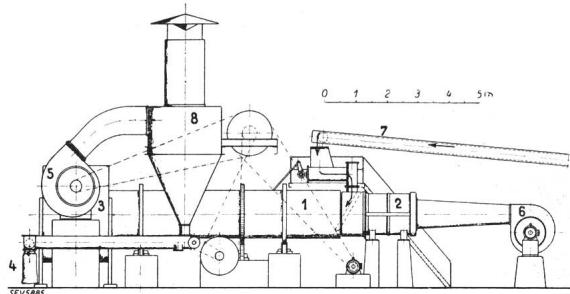


Fig. 1.
Trester-Trocknungsanlage.
1 Trockentrommel. 2 Luftheritzer. 3 Abkühleinrichtung.
4 Sackabfüllung. 5 Saugventilator. 6 Druckventilator.
7 Transportband. 8 Zyklon.

der Eintrittsseite steht der elektrische Luftheritzer (2) mit 1500 kW Maximalleistung. Dieser liefert die nötige heisse Luft von ca. 650° C. An der Austrittsseite befindet sich eine Einrichtung zum Abkühlen des warmen, trockenen Tresters (3) und eine Sackabfüllvorrichtung (4). Ein Saugventilator (5) hat den nötigen, der Tresterart anzupassenden Luftstrom in der Eisentrommel zu erzeugen. Ein Druckventilator (6) vor dem Luftheritzer dient dazu, die kalte Luft durch die einen grossen Luftwiderstand bildenden Heizspiralen zu treiben. Es werden etwa 6800 m³ Luft pro Stunde gefördert.