

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 13

Artikel: Vielfachmessinstrumente für die Starkstromtechnik

Autor: Oehler, R.J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916733>

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: 14.01.2026

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

angeschlossenen Getriebe abhängig. Die Angaben über die spezifische Leistung in mW/cm³ erlaubt einen Vergleich über die Ausnützung des Motorvolumens.

Literatur

- [1] Jaeschke H.E.: Der Hysteresemotor, in E. und M. 60(1942).
- [2] Göddecke H.: Der Hysteresemotor, in Techn. Mitt. Krupp, Forschungsber. Bd. 20, Nr. 3.
- [3] Frank S.: Kleinstmotoren für den Leistungsbereich unter 1 W. Siemens Z. 1956, Heft 8.

- [4] Renelt W.: Selbstanlaufende Synchronmotoren. Techn. Rdsch. Nr. 19, 1956.
- [5] Krumnow W.: Selbstanlaufende Synchron-Kleinmotoren. Feinwerktechnik Bd. 54, H. 4 (1950).
- [6] Hotop W. und Brinkmann K.: Anwendung von Bariumferrit-Magneten ETZ-A, Bd. 80, H. 17.
- [7] Wögerbauer H.: Zur Berechnung des synchronen Impulsfeldmotors. E. und M. 55 Jahrg., H. 49.

Adresse des Autors:

H. Gerber, Champ de la vigne, Courgevaux (FR).

Vielfachmessinstrumente für die Starkstromtechnik

Von R. J. Oehler, Meilen

621.317.791

Einleitend werden die Anforderungen aufgezählt, die ein ideales Universalmessgerät erfüllen müsste. Da sich diese z. T. widersprechen, ist jedes Universal- oder auch nur Vielfachinstrument das Resultat eines Kompromisses. Welchen Anforderungen man dabei den Vorrang gibt, hängt vom Verwendungszweck des Instrumentes ab. Es werden daher die Anforderungen an ein Vielfachinstrument für die Starkstromtechnik näher betrachtet. Die Praxis verwendet hauptsächlich zwei verschiedene Messprinzipien, nämlich die Messung von Strom und Spannung mittels eines Drehspulmesswerks mit Gleichrichter, wobei der Phasenwinkel indirekt aus einer Stromsumme oder -Differenz bestimmt wird, und die direkte Messung von Strom, Spannung und Leistung mittels eines elektrodynamischen Messwerks. Vor- und Nachteile beider Methoden und der dazu verwendeten Messwerke werden an Hand von Ausführungsbeispielen besprochen.

1. Das ideale Universalinstrument

Unter Universalinstrumenten versteht man elektrische Messinstrumente mit mehreren Messbereichen zur Strom-, Spannungs- und, eventuell, Leistungsmessung von Gleich- und Wechselstrom (Mehrbereichs-Instrumente für nur eine Stromart werden als Vielfachinstrumente bezeichnet). Um einen Überblick zu erhalten, ist es nützlich, sich die Anforderungen zu vergegenwärtigen, die ein ideales Universalinstrument erfüllen müsste.

a) *Vielseitigkeit*. Verwendbarkeit, nach Definition, für Gleich- und Wechselstrom, für diesen mit einem möglichst ausgedehnten Frequenzbereich. Anzeige aller wünschbaren Messgrößen: Strom, Spannung, Wirk- und Blindleistung, $\cos \varphi$ und Frequenz; Anzeige, ob eine gemessene Blindleistung induktiv oder kapazitiv ist. Zahlreiche, zweckmäßig abgestufte Messbereiche für Ströme und Spannungen von der grösstmöglichen Empfindlichkeit bis zu den höchsten aus Sicherheitsgründen noch zulässigen Spannungen und den stärksten Strömen, die einem Instrument von beschränkten Abmessungen noch zugeleitet werden dürfen.

b) *Genauigkeit*. Möglichst hohe Genauigkeit auf sämtlichen Anzeigebereichen, unbeeinflusst von Temperatur, Frequenz, Kurvenform oder anderen Störfaktoren; grosse Skalenlänge.

c) *Kleiner Eigenverbrauch*. Möglichst kleine Stromaufnahme bei den Spannungsmessungen; möglichst kleiner Spannungsabfall bei den Strommessungen, und zwar auf allen Messbereichen.

d) *Einfache Handhabung*. Direkte Ablesung aller Messgrößen auf einer zweckmäßig unterteilten und bezifferten Skala ohne die Notwendigkeit von Umrechnungen. Jedem — auch dem idealen — Vielfachinstrument haftet der prinzipielle Nachteil an, dass gleichzeitig auftretende Messgrößen — z. B. Strom, Spannung und Leistung oder $\cos \varphi$ — nur nacheinander gemessen werden können. Bei rasch ändernden Betriebsbedin-

L'auteur énumère tout d'abord les exigences auxquelles un appareil de mesure universel idéal devrait satisfaire. Ces exigences étant en partie contradictoires, chaque appareil universel est le résultat d'un compromis et son emploi dicte celles qui sont prioritaires. L'auteur considère les exigences posées à un appareil de mesure universel utilisable dans le domaine des courants forts. En pratique, deux principes de mesure sont appliqués, à savoir la mesure de courant et de tension à l'aide d'un équipage à cadre mobile avec redresseur, l'angle de déphasage étant déterminé indirectement par une somme ou une différence de courants, et la mesure directe du courant, de la tension et de la puissance, à l'aide d'un équipage électrodynamique. L'auteur discute des avantages et des inconvénients de ces deux méthodes, en donnant des exemples d'exécutions.

gungen führt dies zu Unzukämmlichkeiten. Umsomehr muss gefordert werden, dass die einzelnen Messungen rasch durchgeführt werden können, und dass der Übergang von einer zur anderen Messgröße einfach ist. In Drehstromnetzen sollten Messungen in allen drei Phasen ohne umständliche Schaltungsänderungen möglich sein.

Der Begriff der einfachen Handhabung umfasst schliesslich auch ein nicht zu hohes Gewicht und nicht zu grosse Abmessungen.

e) *Robustheit*. Unempfindlichkeit gegen rauhe Behandlung, Erschütterungen beim Transport, Witterungseinflüsse. Ferner hohe Überlastbarkeit: Wer ein einzelnes Instrument mit einem einzigen Messbereich in einer Messanordnung anschliesst, vielleicht noch diesen Bereich durch Vorschaltung eines geeigneten Messwandlers oder Widerstandes dem Messzweck anpassen muss, läuft weniger Gefahr, dabei einen Fehler zu begehen, als wer durch einfache Drehung eines Wahlschalters den Strom im Messwerk um einige Zehnerpotenzen hinaufjagen kann. Dies ganz abgesehen von der schlechten Gewohnheit vieler Leute, die Bereichumschalter nach beendeter Messung nicht auf den höchsten Messbereich zurückzustellen.

f) *Möglichst niedriger Preis*.

Es ist kein Geheimnis, dass ein solches Idealinstrument nicht existiert. Der Grund ist der, dass sich die aufgezählten Anforderungen zum Teil gegenseitig ausschliessen, wenn man sie in letzter Konsequenz erfüllen will, selbst dann, wenn man berücksichtigt, dass in der Aufzählung die Einschränkung «möglichst» öfters wiederkehrt, und wenn man vom Preis zunächst ganz absieht. Jedes auf dem Markt befindliche Universal- oder auch nur Vielfachinstrument ist denn auch das Resultat eines Kompromisses, zu dem sich sein Hersteller im Widerstreit dieser verschiedenartigen Anforderungen entschliessen musste.

2. Mögliche Kompromisse und unabdingbare Anforderungen

Die Antwort auf diese Frage von Kompromissen und unabdingbaren Anforderungen ist zwar nicht eindeutig — sie kann es auch gar nicht sein —, sie ist trotzdem nicht schwer zu finden. Man muss die Frage nur der einzigen zuständigen Instanz vorlegen, nämlich dem Benutzer des Instrumentes. «Den» Benutzer schlechthin gibt es allerdings nicht, wohl aber verschiedene Gruppen von Benutzern, deren jede wieder andere Anforderungen in den Vordergrund stellen wird. Eine erste, grobe, aber recht brauchbare Einteilung ist durch die etwas aus der Mode gekommenen Begriffe «Starkstrom» und «Schwachstrom» gegeben. Es sei später näher auf die hiedurch bedingten Unterschiede eingegangen; zunächst seien diejenigen Anforderungen betrachtet, die mehr oder weniger für alle Benutzerkategorien gelten.

Ein Punkt, dessen Wichtigkeit nicht unterschätzt werden darf, ist die Genauigkeit. Nur wenn diese gleich gross ist wie die eines anderenfalls verwendeten Einzelinstrumentes (bei einigermassen gleicher Skalenlänge), kann wirklich von gleichwertigen Instrumenten gesprochen werden. Dabei sind auch die durch die Art des Messwerkes bedingten zusätzlichen Fehler, d. h. Einflüsse von Temperatur, Frequenz, Kurvenform etc., gebührend zu berücksichtigen. Und schliesslich wird jeder Benutzer dankbar anerkennen, wenn man ihm eine für jede Messgrösse und jeden Messbereich zweckmässig unterteilte und bezifferte Skala zur Verfügung stellt, die die Ablesung nicht zu einer Denksportaufgabe macht. Gerade gegen diese Forderung, die doch leichter als manche andere ohne grosse Kompromisse erfüllt werden könnte, wird noch vielfach mehr als nötig gesündigt.

3. Anforderungen an Wechselstrom-Vielfachinstrumente für Starkstrom

Eine erste Einteilung der Vielfachinstrumente ergab sich aus dem Anwendungsgebiet. Eine weitere folgt zwangsläufig aus der Art des verwendeten Messwerkes und der dadurch bedingten Schaltung des Geräts. In der Folge seien nur Vielfachmessgeräte für Wechselstrom behandelt, bei deren Auslegung in erster Linie an die Verwendung in der Starkstromtechnik gedacht wurde. Bei einem solchen Instrument spielt der Eigenverbrauch des Messwerks nicht jene ausschlaggebende Rolle, die ihm in der Fernmelde- und Nachrichtentechnik zukommt, wo unter Umständen ein weniger genaues, aber hochohmigeres Instrument ein besseres Messergebnis liefern kann, als ein genaueres mit kleinerem Eingangswiderstand. Ebensowenig muss hier höchste Empfindlichkeit verlangt werden. Auch die Frequenzunabhängigkeit der Anzeige ist weniger wichtig als es auf den ersten Blick scheinen mag. Praktisch kommen in der Starkstromtechnik nur noch einige ganz bestimmte Frequenzen — 50, 60 und allfällig 400 Hz — in Frage. Dank der in den letzten Jahren erzielten Fortschritte der Regeltechnik ist die Frequenzkonstanz unserer Versorgungsnetze heute so gut, dass die noch vorkommenden Schwankungen bei den Messungen keine entscheidende Rolle mehr spielen. Abgesehen von kurzzeitigen Abweichungen bei Störungen und plötzlichen starken Laständerungen bewegt sich die Frequenz der schweizerischen Netze im Alleinbetrieb etwa im Rahmen von 49,9...50,1 Hz; im Parallelbetrieb mit dem Ausland treten Schwankungen bis zu 49,8...50,2 Hz auf. Es muss also nur verlangt werden, dass Frequenzabweichungen von $\pm 0,4\%$ keine unzulässige Änderung der Anzeige hervorrufen.

Ein Einfluss, von dessen Grösse man sich oft zu wenig Rechenschaft gibt, ist derjenige der Kurvenform. Auf Unabhängigkeit vom Oberwellengehalt der gemessenen Grösse ist daher grosser Wert zu legen.

Robustheit wird für ein Starkstrominstrument in noch höherem Masse erwünscht sein, als bei einem solchen für Schwachstromzwecke. Von besonderer Wichtigkeit aber ist die Vielseitigkeit, nicht nur bezüglich der Messbereiche, sondern auch bezüglich der Messgrössen: neben Strom und Spannung muss auf irgend eine Weise auch der Phasenwinkel zwischen beiden erfasst werden, da anders kein vollständiges Bild der Verhältnisse im Messobjekt gewonnen wird.

In der Starkstromtechnik wird mit einer ganzen Reihe von Grössen operiert, die vom Phasenwinkel φ abhängen. Man verwendet den Cosinus und den Sinus dieses Winkels, vor allem aber die Wirkleistung, die Blindleistung, den Wirk- und den Blindstrom. Kein auf dem Markt befindliches Vielfachinstrument zeigt alle diese Grössen direkt an. Welche davon direkt oder indirekt gemessen werden können, hängt vom Messwerk und der angewandten Meßschaltung ab. Welche Grössen dagegen der Benutzer in erster Linie zu kennen wünscht, geht am deutlichsten daraus hervor, was für Einzelinstrumente für die Messung der von φ abhängigen Grössen am meisten im praktischen Gebrauch stehen. Hier findet man nun an erster Stelle den Wirkleistungsmesser, dann den Blindleistungsmesser und das $\cos \varphi$ -Meter. Eine Anzeige, ob ein bestimmter Phasenwinkel vor- oder nachelend ist, ist erwünscht. Zur Vielseitigkeit oder zur bequemen Handhabung eines Instruments gehört schliesslich noch die Möglichkeit, dieses nicht nur einphasig, sondern auch in Dreiphasennetzen, und zwar sowohl mit als auch ohne Nulleiter verwenden zu können.

4. Ausführungsbeispiele

Es sind zahlreiche Verfahren zur Bestimmung des Phasenwinkels bzw. der davon abgeleiteten Grössen bekannt. Für die Anwendung in Vielfachinstrumenten haben nur zwei davon grössere praktische Bedeutung erlangt, nämlich die Ermittlung des Phasenwinkels aus einer Stromsumme bzw. -differenz einerseits, und aus einer Leistungsmessung mit einem elektrodynamischen Meßsystem andererseits. Beide Verfahren sollen jetzt näher betrachtet werden, wobei auch auf die Eigenheiten der verwendeten Messwerke eingegangen werden soll.

4.1. Vielfachinstrumente die den Phasenwinkel aus einer Stromsumme bzw. -differenz ermitteln

Die Instrumente dieser Gruppe sind ausnahmslos mit Drehspulmesswerken ausgerüstet, deren Vorteile — linearer Skalenverlauf und kleiner Leistungsverbrauch — allgemein bekannt sind. Dank diesem Vorzug könnten Shuntwiderstände für die Abstufung der Strommessbereiche verwendet werden, wodurch das Instrument auch für Gleichstrom brauchbar, und dadurch zum eigentlichen Universalinstrument würde. Praktisch wird allerdings von dieser Möglichkeit nur bei einfachen Instrumenten zur reinen Strom- und Spannungsmessung Gebrauch gemacht.

Zur Messung von Wechselstromgrössen müssen dem Drehspulmesswerk Halbleiter-Gleichrichter vorgeschaltet werden, die leider die guten Eigenschaften dieses Messwerks merklich beeinträchtigen. Abgesehen von der Unempfindlichkeit gegen Überlastungen, die durch die Hinzufügung eines zusätzlichen Bauelementes nicht gerade erhöht wird, wurden die hier mass-

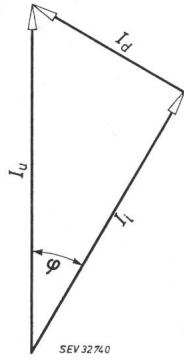


Fig. 1
Vektordiagramm des Stromdifferenz-Messprinzips

I_d Differenzstrom; I_i stromproportionaler Messwerkstrom; I_u spannungsproportionaler Messwerkstrom; φ Phasenwinkel

gebenden Zusammenhänge von Eckhardt [1]¹⁾ in übersichtlicher Weise behandelt.

Der nichtlineare Verlauf der Gleichrichterkennlinie $I = f(U)$ in Durchlassrichtung verzerrt den an sich linearen Skalenverlauf des Drehspulmesswerkes. Bei der Vorschaltung verschiedener Widerstände zur Abstufung der Spannungs-Messbereiche entstehen dadurch Skalendeckungsfehler. Störend ist auch der relativ grosse negative Temperaturkoeffizient. Eckhardt beschreibt die schaltungstechnischen Massnahmen, mit denen diese Fehler korrigiert werden können, durch die jedoch gleichzeitig der Leistungsverbrauch des Messwerkes nicht unerheblich vergrössert wird. Die Frequenzabhängigkeit des Drehspulmesswerkes mit Gleichrichter ist zwar in dem in Frage kommenden Frequenzbereich vernachlässigbar; eine Fehlerquelle, für die keinerlei Korrekturmöglichkeit besteht, ist dagegen der Einfluss der Kurvenform. Das Drehspulmesswerk zeigt dank seiner Trägheit den Mittelwert der Messgröße an; in der Wechselstromtechnik wird jedoch notwendigerweise mit Effektivwerten gerechnet. Abweichungen des Formfaktors, d. h. des Verhältnisses von Mittelwert zu Effektivwert vom bekannten Wert 1,11, die durch die nichtlineare Gleichrichtung bedingt sind, lassen sich bei der Eichung nur berücksichtigen, solange die gleichzurichtende Größe sinusförmig ist. Bei einer Verzerrung der Messgröße durch Oberwellen treten jedoch Fehler auf, die nicht mehr vernachlässigt werden dürfen. Die so entstehende Anzeigeänderung kann leider nicht einfach auf den Klirrfaktor bezogen werden, weil nicht nur die Amplitude, sondern auch die Phasenlage der höheren Harmonischen von Einfluss ist.

Es sind verschiedene Schaltungen bekannt, mit denen der Phasenwinkel φ , bzw. bestimmte von diesem abhängige Größen, allein aus Strom- und Spannungsmessungen ermittelt werden können. Überlagert man zwei Wechselströme gleicher Frequenz, aber verschiedener Phasenlage I_i und I_u gemäß Fig. 1, so ergibt sich ein resultierender Differenzstrom I_d . Es lässt sich leicht ableiten, dass

$$I_d^2 = I_i^2 - I_u^2 - 2I_i I_u \cos \varphi$$

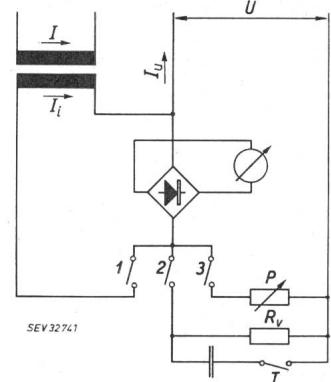
oder

$$\cos \varphi = \frac{I_i^2 + I_u^2 - I_d^2}{2I_i^2 I_u}$$

Da in diese Gleichung nur die Absolutwerte der drei Ströme eingehen, genügt ein Gleichrichterinstrument zu deren Messung.

Auf Grund dieser, ursprünglich von Lutz [2] angegebenen Beziehung wurde durch Blamberg [3] ein Vielfachinstrument «Ucosi» entwickelt. Das Prinzip der verwendeten Schaltung zeigt Fig. 2. Ist Schalter 1 geschlossen, so wird die Gleichrichterbrücke vom (dem Strom I proportionalen) Strom I_i durchflossen, bei geschlossenem Schalter 2 von I_u und, wenn beide Schalter geschlossen sind, vom Differenzstrom I_d . Durch Rechnung oder mit Hilfe eines dem Instrument beigegebenen Aus-

Fig. 2
Meßschaltung zur Bildung des Differenzstroms (Ucosi und Multavi φ)
 P Potentiometer; R_v Vorwiderstand; T Taste; I Strom; U Spannung
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1



wertgerätes erhält man aus den drei abgelesenen Werten den $\cos \varphi$. Bei Multiplikation des $\cos \varphi$ mit Strom und Spannung erhält man die Wirkleistung. Durch Drücken der Taste T wird eine Phasendrehung von I_u erzeugt; aus der dadurch bewirkten Änderung von I_d kann geschlossen werden, ob der ermittelte Phasenwinkel φ induktiv oder kapazitiv ist.

Das «Multavi φ » [4] stellt eine Weiterentwicklung dieses Messprinzips dar. Neben dem Vorwiderstand R_v in Fig. 2 ist hier noch ein Potentiometer P vorgesehen, das durch den Schalter 3 eingeschaltet werden kann. Zur Spannungsmessung wird wieder Schalter 2 geschlossen, zur Bestimmung des $\cos \varphi$ die Schalter 1 und 3. Durch P kann dann die Grösse von I_u verändert werden. Wie aus Fig. 3 ersichtlich, hat I_d dann ein Minimum, wenn die Vektoren I_d und I_u senkrecht zueinander stehen. Bei dieser Einstellung ist $I_d = I_i \sin \varphi$. Wird nun ohne Änderung von P der Schalter 1 geöffnet, so kann auf der Skala des Instruments direkt der Wirkstrom $I_{\text{cos}} \varphi$ abgelesen werden. Durch entsprechende Division bzw. Multiplikation erhält man den $\cos \varphi$ und die Wirkleistung. Es ist allerdings zu beachten, dass schon bei einer geringfügigen Fehleinstellung des Minimalwertes von I_d der Fehler von $I_{\text{cos}} \varphi$ erheblich ist. Für genaue Messungen berechnet man deshalb besser den Wirkstrom aus der Beziehung:

$$I \cos \varphi = \sqrt{I^2 - (I \sin \varphi)^2}$$

Bildet man durch eine geeignete Schaltung nicht nur die vektorielle Differenz $\bar{I}_d = \bar{I}_u - \bar{I}_i$, sondern auch die Summe $\bar{I}_s = \bar{I}_u + \bar{I}_i$, so ergibt sich eine weitere Methode zur Bestimmung von $I_{\text{cos}} \varphi$. Wie aus dem Vektordiagramm in Fig. 4 ersichtlich, ist die Differenz der Absolutwerte $I_s - I_d$ annähernd gleich gross wie die Projektion des Vektors $+I_i - (-I_i)$ auf die Richtung des Vektors \bar{I}_u , d. h. wie $2I_i \cos \varphi$. Die Übereinstimmung wird umso besser, je grösser I_u gegenüber I_i ist. Grave [5] hat gezeigt, dass der durch die Meßschaltung allein verschuldete Messfehler unter 1% des Skalenendwertes bleibt, wenn $I_u > 4,5 I_i$ ist. Die Spannung selber fällt dabei aus dem Messergebnis ganz heraus und I_u dient nur noch dazu, die Gleichrichter der in Fig. 5 wiedergegebenen Meßschaltung zu steuern. Die Sekundärwicklung des Stromwandlers ist hier durch eine Mittelanzapfung in zwei bifilar gewickelte Hälften aufgeteilt, die ausser vom Sekundärstrom I_i von den beiden

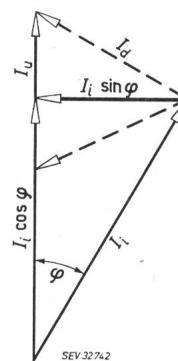


Fig. 3
Vektordiagramm des Stromdifferenz-Messprinzips mit einstellbarem Strom I_u
Bezeichnungen siehe Fig. 1

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

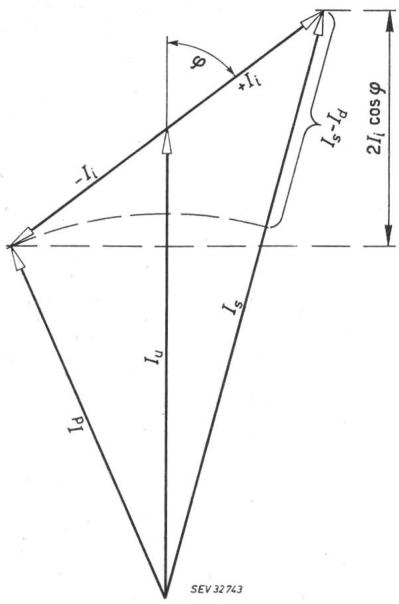


Fig. 4

Vektordiagramm des Stromdifferenz- und Summen-Messprinzips I_s Summenstrom

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

gleich grossen Teilströmen I_{u1} und I_{u2} gegenläufig durchflossen werden. An den beiden Widerständen $R_1 = R_2$ treten die Spannungsabfälle $R_1(I_i - I_{u1})$ und $R_2(I_i + I_{u2})$ auf; der gesamte Spannungsabfall zwischen a und b ist also proportional $I_s - I_d = 2I_i \cos \varphi$. Das geschilderte Messprinzip ist im «Elavi φ » und im «Uphi»[6] verwirklicht. Zur Messung des $\cos \varphi$ wird zunächst in der Strom-Meßstellung des Wahlschalters der Messwerkzeiger mittels des Potentiometers P auf seinen Endausschlag gebracht; in der $\cos \varphi$ -Stellung des Wahlschalters wird dann der Leistungsfaktor direkt auf einer linearen $\cos \varphi$ -Skala angezeigt. Wird dagegen das Potentiometer, das durch den Widerstand R auf einen festen Wert abgeglichen ist, in seine Endlage gebracht, so zeigt das Instrument auf der Stromskala den Wirkstrom $I \cos \varphi$ an. Zur Feststellung der Phasenlage dient eine ähnliche Hilfsschaltung wie beim Multavi φ .

Ausser den beschriebenen Möglichkeiten der Strom-, Spannungs-, $\cos \varphi$ - und Wirkstrommessung gestatten die beiden Instrumente noch Frequenzmessungen von 40...4000 Hz und, mit Hilfe einer eingebauten Batterie, Widerstandsmessungen in 3 Bereichen.

4.2. Vielfachmessgeräte mit elektrodynamischem Messwerk

Der Preis eines elektrodynamischen Messwerkes ist wesentlich höher als derjenige eines Drehspulmesswerkes; der Leistungsverbrauch beträgt, bei gleicher Güteziffer, ein Mehrfaches. Für Starkstrommessungen fällt dieser Nachteil zwar an sich nicht stark ins Gewicht; immerhin verbietet er von vorneherein die Abstufung der Strom-

frequenz. Für Starkstrommessungen fällt dieser Nachteil zwar an sich nicht stark ins Gewicht; immerhin verbietet er von vorneherein die Abstufung der Strom-

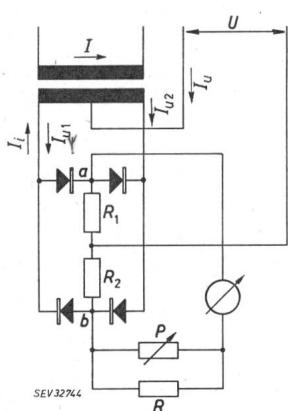


Fig. 5
Meßschaltung zur Bildung des Differenz- und Summenstroms
(Uphi und Elavi φ)
 I_{u1}, I_{u2} Teilströme; R, R_1, R_2 Widerstände
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1 und 2 und im Text

messbereiche durch Shuntwiderstände. Der Schritt vom Vielfach- zum Universalmessgerät für Gleich- und Wechselstrom ist damit bei diesem Messwerk ausgeschlossen. Dieser Einschränkung steht aber eine ganze Reihe von Vorzügen gegenüber, deren grösster eindeutig darin besteht, dass das elektrodynamische Messwerk Wirk- und Blindleistung direkt und ohne zeitraubende Kunstgriffe misst, und erst noch durch seine Ausschlagrichtung die Richtung des Energieflusses bzw. der Phasenverschiebung anzeigen.

Auch sonst präsentiert sich das elektrodynamische Messwerk recht vorteilhaft. Die Frequenzabhängigkeit des Messwerks an sich ist in dem in Frage kommenden Bereich vernachlässigbar. Vom Drehspulmesswerk mit Gleichrichter unterscheidet es sich sehr zu seinem Vorteil durch den Wegfall des Kurvenformeneinflusses und des Skalendeckungsfehlers. Unabhängig von irgendwelchen Verzerrungen zeigt das Elektrodynamometer in allen Fällen direkt den Effektivwert der Messgröße an. Skalendeckung, unabhängig vom Messbereich, ist von vorneherein gegeben. Dank diesen Vorzügen, zu denen noch bei entsprechender Auslegung eine gute Unempfindlichkeit gegen Überlastungen kommt, eignet sich das elektrodynamische Messwerk hervorragend zum Anzeigegerät hochwertiger Vielfachmessgeräte, die insbesondere auch bezüglich Genauigkeit den eingangs gestellten Anforderungen genügen sollen.

Der Skalenverlauf ist in erster Annäherung für Leistungen linear, für Strom und Spannung quadratisch. Beim eisenlosen elektrodynamischen Messwerk bewirken das Cosinusgesetz und die endlichen Spulenabmessungen eine Verzerrung dieses Verlaufs in der Weise, dass die Leistungsskala schwach gekrümmmt verläuft — was nicht weiter stört — und die Strom- und Spannungsskalen in ihrem untersten Teil stark gedrängt sind, im oberen Teil dagegen nahezu linear verlaufen. Die oberen zwei Drittel des Messbereichs entfallen dadurch auf rund 85% der Skalenlänge (Fig. 8). Für ein Vielfachinstrument mit Messbereichsprüfungen von 1:3:10 oder, noch besser von 1:2:5:10, ist ein solcher Verlauf sehr erwünscht.

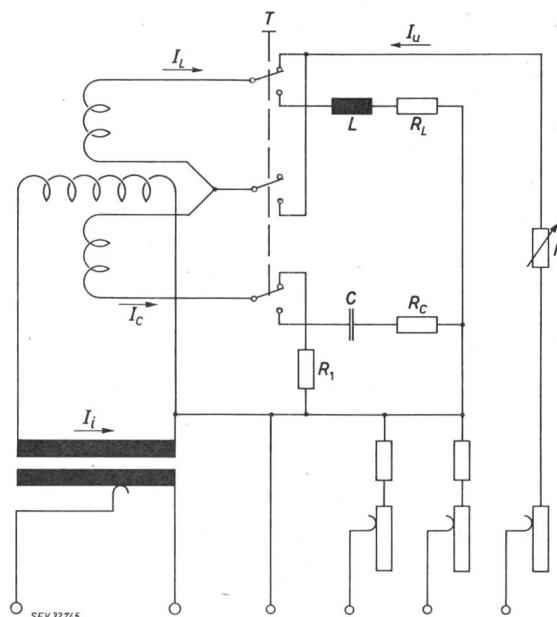


Fig. 6
Meßschaltung zur Blindleistungs- und $\cos \varphi$ -Messung mittels Elektrodynamometer

C Kondensator; I_c Teilstrom durch C ; I_L Teilstrom durch L ; L Induktivität; R_1, R_C, R_L Widerstände
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1 und 2

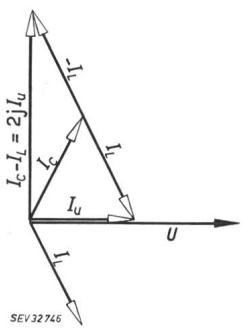


Fig. 7
Vektordiagramm der Meßströme in der
Schaltung Fig. 6
Bezeichnungen siehe Fig. 6

Elektrodynamische Vielfachinstrumente für Strom, Spannung und Wirkleistung liefern in direkter Messung bereits alle unbedingt notwendigen Angaben. Blindleistung und $\cos \varphi$ können, wenn nötig, aus diesen drei Größen berechnet werden. Allerdings ist bei dieser einfachsten Auslegung nur die Richtung des Energieflusses, jedoch nicht die der Phasenverschiebung feststellbar. Mit geringem Mehraufwand kann aber das Messprogramm stark erweitert und damit dem Benutzer ein in jeder Hinsicht hochwertiges Instrument in die Hand gegeben werden.

Dieser Weg wurde beim «Vancos» der EMA AG konsequent beschritten. Fig. 6 zeigt das vereinfachte Prinzipschema in der für Leistungs- und $\cos \varphi$ -Messungen benützten Schaltung. Die Drehspule ist in der Mitte angezapft. Durch einen Druck auf die Taste T können die beiden Hälften in einen Parallelschwingkreis eingeschaltet werden. Dieser ist bei Nennfrequenz so abgeglichen, dass sein Wirkwiderstand gleich R_1 ist, und dass die beiden Teilströme I_C und I_L um einen Winkel von $63,4^\circ = \arctg 2,0$ gegenüber der Spannung gedreht werden (Fig. 7). Die Wirkkomponenten von I_C und I_L addieren sich, während sich die Blindkomponenten aufheben. Der resultierende Strom $\overline{I}_u = \overline{I}_C + \overline{I}_L$ ist nach Größe und Richtung gleich wie bei ungedrückter Taste, d. h. wie bei der Wirkleistungsmessung, und zugleich in Phase mit der angelegten Spannung. Hierin unterscheidet sich die Schaltung des Vancos von den gebräuchlichen Phasendrehschaltungen für einphasige Blindleistungsmesser, bei denen der Messwerkstrom wohl um 90° gegen die angelegte Spannung verdreht wird, der Gesamtstrom I_u aber irgend eine zwischen 0 und 90° liegende Richtung gegenüber der Spannung annimmt. Bei einer derartigen Schaltung könnten dann nicht mehr die Messbereiche durch einfache Vorwiderstände abgestuft werden; um dies trotzdem zu ermöglichen, wurde die beschriebene Schaltung gewählt.

In der Drehspule, deren beide Hälften im entgegengesetzten Sinn von den Teilströmen durchflossen werden, heben sich die Wirkkomponenten auf, während sich die Blindkomponenten addieren. Der resultierende Strom $\overline{I}_C + (-\overline{I}_L) = 2j\overline{I}_u$ erzeugt mit der halben Windungszahl ein um 90° voreilendes, dem Betrag nach gleich grosses elektrisches Feld wie \overline{I}_u . Bei gedrückter Taste wird somit die Blindleistung $I_u \sin \varphi$ gemessen, und gleichzeitig durch die Ausschlagrichtung die Art der Belastung — induktiv oder kapazitiv — angezeigt.

Zur $\cos \varphi$ -Messung wird bei ungedrückter Taste der Messwerkzeiger mittels des Potentiometers P auf eine rote Marke auf der Skala eingestellt. Die dabei angezeigte Leistung sei $P' = I_u I'_u \cos \varphi$. Beim Drücken der Taste zeigt das Instrument dann eine Blindleistung von $Q' = I_u I'_u \sin \varphi = P' \operatorname{tg} \varphi$ an. Der Zeigerausschlag ist also proportional dem $\operatorname{tg} \varphi$, die Skala des Instruments ist jedoch direkt entsprechend dem zugehörigen $\cos \varphi$ geeicht. Da für kleine $\cos \varphi$ -Werte der Tangens gegen ∞ geht, kann der ganze Bereich von $\cos \varphi = 1 \dots 0$ nicht auf einem einzigen Skalenbereich untergebracht werden. Welcher Wert von $\cos \varphi$ dem Endausschlag entspricht, hängt nur

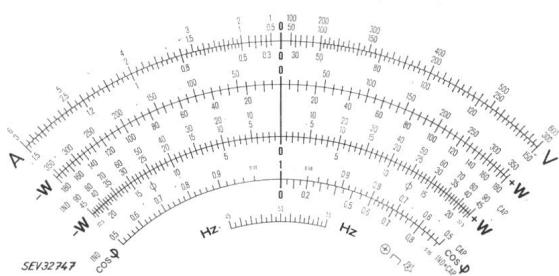


Fig. 8
Vancos-Skalenbild

von der Lage der roten Marke ab; sie wurde so gewählt, dass die $\cos \varphi$ -Skala von $1,0 \dots 0,5$ reicht. Bei $\cos \varphi < 0,5$ wird der Zeiger bei gedrückter Taste auf die Marke gebracht, und nach Loslassen der Taste abgelesen. Der Zeigerausschlag ist jetzt proportional dem $\operatorname{ctg} \varphi$; der zugehörige $\cos \varphi$ -Wert kann auf einer zweiten Skala, die von $0 \dots 0,866$ geht, abgelesen werden. Die beiden einander gegenüberstehenden Skalenteilungen gestatten nebenbei, zu jedem $\cos \varphi$ auch den zugehörigen $\sin \varphi$ abzulesen. Auch bei der $\cos \varphi$ -Messung wird der Sinn der Phasenverschiebung durch die Ausschlagrichtung angezeigt.

Bei der Strom- und Spannungsmessung sind Feld- und Drehspule in Serie geschaltet. Ein Umpolen der Drehspule zwischen diesen beiden Messschaltungen bewirkt, dass das Instrument vom in der Mitte liegenden Nullpunkt bei Spannungsmessungen nach rechts, bei Strommessungen nach links ausschlägt. Irrtümer bei der Ablesung werden dadurch nach Möglichkeit ausgeschlossen.

Zur Frequenzmessung dient die gleiche Prinzipschaltung wie für die Spannungsmessung. Bei gedrückter Taste ergibt sich ein Ausschlag des Messwerks, der der angelegten Spannung und der Abweichung von der Nennfrequenz des Parallelschwingkreises proportional ist. Dabei sind die Widerstände R_C und R_L , um die Frequenzempfindlichkeit zu erhöhen, auf das durch den Wirkwiderstand von L gegebene Minimum reduziert. Die Spannungsabhängigkeit der Messung wird dadurch behoben, dass vorgängig der Zeiger gleichfalls auf die rote Marke eingestellt wird. Die Frequenz kann im Bereich Nennfrequenz $\pm 10\%$ gemessen werden, was für die eigentliche Starkstromtechnik völlig ausreichen sollte.

Durch den Parallelschwingkreis wird ein frequenzabhängiges Element in die Messschaltung hereingebracht. Bei der Frequenzmessung ist diese Abhängigkeit beabsichtigt; bei der praktisch wichtigeren Blindleistungs- und $\cos \varphi$ -Messung wirkt sie dagegen störend. Es ist deshalb nicht ungewöhnlich, wie stark dadurch das Messergebnis beeinflusst wird. Bei gegenüber der Nennfrequenz f_0 z. B. erhöhter Frequenz f wird I_C in Fig. 7 grösser, I_L kleiner werden. Die Vektoren $\overline{I}_C + \overline{I}_L$ und $\overline{I}_C - \overline{I}_L$ werden gegen ihre korrekte Phasenlage bei Nennfrequenz verdreht. Befinden sich außer Schwingkreis und Drehspule noch weitere Widerstände im Spannungspfad (was, insbesondere bei höheren Messbereichen, der Fall ist), so entsteht wegen der Verdrehung von $\overline{I}_C + \overline{I}_L$ auch eine Verdrehung der über Schwingkreis und Drehspule liegenden Spannung gegenüber der gesamten Klemmenspannung. Insgesamt wird der Vektor $\overline{I}_C - \overline{I}_L$ gegen den Vektor der Klemmenspannung um einen Fehlwinkel δ verschoben. Die angezeigte Blindleistung ist dann nicht mehr $Q_0 = I_u \sin \varphi$, sondern:

$$Q_f = I_u \sin(\varphi + \delta) = I_u (\sin \varphi \cos \delta + \cos \varphi \sin \delta)$$

Da δ klein ist, kann man setzen:

$$Q_f = Q_0(1 + \operatorname{ctg} \varphi \sin \delta)$$



Fig. 9
Ansicht eines Vancos

oder, für $\cos \varphi \approx 1$, wo Q gegen 0 und $\operatorname{ctg} \varphi$ gegen ∞ streben:

$$Q_f = IUC \cos \varphi \sin \delta$$

Bei kleinen Frequenzabweichungen ist δ proportional der relativen Frequenzabweichung $(f - f_0)/f_0$, und zwar wird mit den im Vancos verwendeten Werten von L , C und R im höchsten, d. h. ungünstigsten Spannungsmessbereich:

$$\sin \delta = 1,93(f - f_0)/f_0$$

Eine Abweichung von 0,2 Hz oder 0,4% der Nennfrequenz von 50 Hz, bewirkt also eine Änderung der Blindleistungsanzeige von höchstens 0,78% der Scheinleistung und damit auch des Skalenendwertes. Diese bleibt also innerhalb des für ein Instrument der Genauigkeitsklasse 1,0 zulässigen Rahmens. Wird Wert auf höchste Genauigkeit gelegt, so kann entweder die Netzfrequenz gemessen und die entsprechende Korrektur vorgenommen werden, oder man berechnet die Blindleistung nach der Beziehung:

$$Q = \sqrt{(IU)^2 - P^2},$$

da ja die Strom-, Spannungs- und Wirkleistungsanzeige frequenzunabhängig sind.

Besonderer Wert wurde beim Vancos (Fig. 9) auf einfache Handhabung gelegt. Ein einziges Klemmenpaar für den Strompfad bietet zweckmässige Anschlussmöglichkeiten für alle vor-

geschenen Strombereiche. Die dreifach vorhandenen Vorwiderstände des Spannungspfades sind in einem künstlichen Sternpunkt zusammengeführt, der die Messung der Phasenspannung nicht nur in Einphasen- und Dreiphasennetzen mit Nulleiter, sondern auch in solchen ohne Nulleiter ermöglicht. Ein zusätzlicher Phasenumschalter ermöglicht den raschen Übergang von einer Phase zur anderen, z. B. in ungleich belasteten Dreiphasennetzen, ohne jedesmaliges Wechseln der Anschlüsse und ohne Unterbrechung des Stromes beim Umschalten. Der allen Vielfachinstrumenten eigene Nachteil, dass die einzelnen Messungen nur nacheinander vorgenommen werden können, wird dadurch so weit wie möglich behoben.

Ein Problem für sich bildet bei Vielfachinstrumenten die bequeme Ablesbarkeit auf allen vorhandenen Messbereichen. Auch wer eine Multiplikation oder Division mit 2 nicht scheut, wird es auf die Dauer schätzen, wenn er wie beim Vancos für jeden Skalenendwert eine eigene Skala mit passender Bezifferung der Hauptstriche vorfindet, — dies insbesondere auch bei den Leistungsskalen. (Aus der Kombination von 9 Strombereichen von 0,15...60 A und 4 Spannungsbereichen von 60...600 V ergeben sich insgesamt 18 Leistungs-Messbereiche mit 5, nur noch durch Zehnerpotenzen unterschiedenen, Skalen-Endwerten (siehe Fig. 8).

Es darf daher zum Schluss noch einmal daran erinnert werden, dass gerade bei den Skalen mancher Vielfachinstrumente mit relativ wenig Aufwand noch einiges zur Bequemlichkeit ihrer Benutzer getan werden könnte.

Literatur

- [1] G. Eckhardt: Die Eigenschaften von Universalmessern mit Halbleiter-Gleichrichtern. ATM-Blatt J 821-1 (Juni 1962), S. 131.
- [2] W. Lutz: Direkte Phasenmessung mit der Braunschen Röhre. ENT 14(1937), S. 307.
- [3] E. Blamberg: Ein Universal-Messgerät für Starkstrom. Bull. SEV 41(1950), S. 917.
- [4] E. Karg: Meßschaltungen bei Vielfachinstrumenten der Starkstromtechnik. Elektromeister 1953, S. 505.
- [5] H. F. Gräve: Der grundsätzliche Fehler bei der Messung mit fremdgesteuerten Trockengleichrichtern. ATM-Blatt Z 52-10 (September 1957).
- [6] M. Sangl: Vielfachinstrumente zur Messung von Wechselstromgrössen nach Betrag und Phase. ATM-Blatt V 3631-9 (Juni 1959), S. 113.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. R. J. Oehler, EMA AG, Meilen (ZH).

Die Leitsätze der SBK für öffentliche Beleuchtung¹⁾

3. Teil: Autobahnen und Expreßstrassen

Von R. Walther, Bern

628.971.6.625.711.3

und ihre technische Vervollkommenung hat ein hohes Mass erreicht. Aber auch der Strassenverkehr, insbesondere der Motorfahrzeugverkehr, ist gewaltig gestiegen.

Diese neue Situation hat die SBK veranlasst, das Gebiet der öffentlichen Beleuchtung durch ihre Fachgruppe 5 neu bearbeiten zu lassen. Aus den neuen Erkenntnissen und Erfahrungen sollen Empfehlungen herausgearbeitet und in Leitsätzen zusammengefasst werden.

Der 1. Teil dieser Leitsätze, der die *öffentliche Beleuchtung auf Strassen und Plätzen* umfasst, ist im Jahre 1960 erschienen. Ihm voran gingen viele statische und dynamische

¹⁾ Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung der Schweiz. Beleuchtungs-Kommission vom 15. November 1963 in Zürich.