

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 24 (1933)
Heft: 4

Artikel: Prüfung von Präzisionswattmetern
Autor: König, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057220>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.01.2025

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:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A., Zurich 4
Stauffacherquai 36/38

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

XXIV^e Année

N^o 4

Vendredi, 17 février 1933

Prüfung von Präzisionswattmetern.

Von Dr. Hans König, Bern.

(Mitteilung aus dem Eidgen. Amt für Mass und Gewicht.)

621.317,784—187.0014

Es ist möglich, durch eine beschränkte Anzahl von Messungen einen vollständigen Ueberblick über die Fehler eines eisenfreien Einphasen-Wattmeters zu gewinnen, wodurch der Anwendungsbereich eines solchen Instrumentes hinsichtlich der Frequenz stark erweitert wird.

Par un nombre restreint de mesures, il est possible de se faire une idée complète des erreurs inhérentes à un watt-mètre monophasé sans fer, ce qui permet d'élargir sensiblement le champ d'application d'un tel instrument au point de vue de la fréquence.

Die Erfahrungstatsache, dass die Angaben moderner Präzisionswattmeter bei Gleichstrom und niederfrequentem Wechselstrom gewöhnlich um weniger als 0,2 Teilstriche voneinander abweichen, hat zur Folge, dass man sich häufig mit der Bestimmung der Gleichstromfehler mit Hilfe des Kompensationsapparates begnügt. Ist man damit nicht zufrieden, so verschafft man sich gewöhnlich einen ersten Einblick in das Verhalten des Instrumentes gegenüber Wechselstrom durch Bestimmung des gesamten Wechselstromfehlers bei $\cos \varphi = 0$ mit Hilfe einer künstlichen 90°-Schaltung¹⁾, oder häufiger durch Vergleich mit einem derart bereits geprüften Standard-Wattmeter.

Sowohl das Bedürfnis einer vollständigen direkten Prüfung der zu untersuchenden Instrumente, als auch die Notwendigkeit der Prüfung der eventuell als Standard-Instrumente dienenden Wattmeter, und nicht zuletzt der Wunsch, ein für Niederfrequenz gebautes Wattmeter gelegentlich bei Mittelfrequenz, wo die Wechselstromfehler sicher nicht mehr zu vernachlässigen sind, brauchen zu können, lässt den Wunsch sowohl nach einer den gesamten Fehler des Wattmeters bei beliebiger Belastung darstellenden, möglichst hypothesenfreien Formel, als auch nach einem einfachen Rezept zur möglichst unabhängigen Bestimmung der einzelnen Konstanten dieser Formel rege werden.

Die Verwirklichung dieses Zieles erscheint nur aussichtsreich, wenn man sich auf eisenfreie Wattmeter beschränkt, wodurch eine Reihe von Fehlern²⁾ in Wegfall kommen. Ferner sollen die nachstehenden Ausführungen den Charakter einer ersten Näherung haben; ein Versuch zur Berück-

sichtigung der Wechselwirkung zwischen verschiedenen Fehlerquellen wäre ein aussichtsloses und auch sinnloses Unterfangen.

Wir denken uns den Fehler $\delta\alpha$ im Ausschlag

$$\alpha = \alpha_N \cdot \frac{U I}{U_N I_N} \cos \varphi \quad \begin{array}{l} \alpha_N = \text{Endausschlag} \\ U_N = \text{Nennspannung} \\ I_N = \text{Nennstrom} \end{array}$$

nach U und I entwickelt:

$$\delta\alpha = \xi_1 + \xi_2 U + \xi_3 I + \xi_4 U^2 + \xi_5 U I + \xi_6 I^2 + \xi_7 U^3 + \dots + \xi_8 U^4 \dots,$$

worin die ξ_k Funktionen von ω ($= 2\pi f$); φ ; α ; T (Temperatur) etc., *nicht aber von U und I sind*. Die in U linearen Glieder (ξ_2 ; ξ_5 ; ...) enthalten den Fremdfeldeinfluss; er muss durch Kommutieren beseitigt werden. Glied $\xi_2 U$ fällt dadurch weg³⁾. Es liegt ferner unter der oben gemachten Voraussetzung kein physikalischer Grund zur Annahme der Existenz von Gliedern $\xi_3 I$; $\xi_7 U_3$; ... vor; alle bekannten Wirkungen⁴⁾ lassen sich auf die Glieder mit ξ_1 , ξ_4 , ξ_5 und ξ_6 zurückführen, wie Tab. I zeigt. Dabei sind im Hinblick auf die theoretische und praktische Vorzugsstellung der Gleichstromprüfung die noch übrig bleibenden ξ_k in $\xi'_k + \xi''_k$ zerlegt worden, worin die ξ'_k die von ω unabhängigen Anteile darstellen. Also:

$$\delta\alpha = (\xi'_1 + \xi''_1) + (\xi'_4 + \xi''_4) U^2 + (\xi'_5 + \xi''_5) U I + (\xi'_6 + \xi''_6) I^2$$

³⁾ Es wird vorausgesetzt, dass die Spannungsspule beweglich, die Stromspule fest ist. Im entgegengesetzten Fall sind alle Ausführungen sinngemäss abzuändern.

⁴⁾ Keinath, I. c. S. 240 ff.; Arch. techn. Messen 1932-T89, J 741-2.

¹⁾ Orlich, Helios 1909, S. 373.

²⁾ Keinath, Die Technik elektrischer Messgeräte I, S. 269 (Oldenbourg, 1928).

Tabelle I.

| | Zuordnung | Gemesene Grössen | Proportionalität mit |
|---|---------------------|---------------------|----------------------|
| a) Fehler infolge statischer Anziehung | ξ_4 | $\delta\alpha_s$ | U^2 |
| b) Skalenerfehler | ξ_1 od. ξ_6 | $\delta\alpha_g$ | |
| c) Abgleichungsfehler | | | |
| d) Temperaturfehler | | | |
| e) Erwärmungsfehler | | | |
| f) Fehler infolge Wechselinduktion auf feste Systemteile | ξ_4 und ξ_5 | $\delta\alpha_{ei}$ | U^2 |
| g) Fehler infolge Wechselinduktion auf bewegliche Systemteile | ξ_5 | $\delta\alpha_{ie}$ | I^2 |
| h) Phasenfehler | ξ_6 | $\delta\alpha_{ph}$ | $UI \sin \varphi$ |
| i) Amplitudenfehler | ξ_1 | $\delta\alpha_A$ | $UI \cos \varphi$ |

In Tab. I ist unter i) der infolge Abweichung des Verhältnisses $\frac{H_e \cdot H_i}{U \cdot I}$ vom Gleichstromwert bewirkte Fehler gemeint.

H_e und H_i bedeuten die Beträge der wirksamen magnetischen Felder. Dass die Zuordnung der Grössen $\xi_1 \dots \xi_6$ zu den verschiedenen Fehlerquellen bis zu einem gewissen Grade willkürlich ist, ist in Tab. I durch die Angabe: ξ_1 oder ξ_6 zum Ausdruck gebracht. Auf das Resultat ist dieser Mangel an Eindeutigkeit natürlich ohne Einfluss. Indem wir die experimentell zusammengehörigen Fehler weiter zusammenfassen und für die Teilfehler die in der Kolonne «gemessene Grössen» angegebenen definitiven Bezeichnungen einführen, folgt für den Gesamtfehler:

$$\delta\alpha = \delta\alpha_s + \delta\alpha_g + \delta\alpha_{ei} + \delta\alpha_{ie} + \delta\alpha_{ph} + \delta\alpha_A$$

$\delta\alpha_g$ stellt den Gleichstromfehler im engeren Sinn (also ohne die statische Anziehung), $\delta\alpha_s + \delta\alpha_g$ den gesamten Gleichstromfehler und $\delta\alpha_{ei} + \delta\alpha_{ie} + \delta\alpha_{ph} + \delta\alpha_A$ den gesamten Wechselstromfehler dar. Die Art der Abhängigkeit von U, I und φ ist in der letzten Kolonne angedeutet. Es sei hierzu bemerkt, dass der Phasenwinkel φ nur im Glied UI , und zwar, wie durch Differenzieren von $UI \cos \varphi$ folgt, nur in den zwei Formen $\cos \varphi$ und $\sin \varphi$ auftreten kann. Bei Wechselstrom sind für U und I Effektivwerte zu setzen; bei nicht sinusförmiger Kurve wären wie üblich die Summen über die verschiedenen Harmonischen zu bilden.

Die Art der Abhängigkeit der $\delta\alpha_s \dots$ von $U; I$ und φ gestattet nun, wie Tab. II zeigt, eine Kombination von Versuchen anzugeben, welche ermöglicht, dieselben praktisch unabhängig voneinander zu bestimmen.

Tabelle II.

| Versuch | $\delta\alpha_s$ | $\delta\alpha_g$ | $\delta\alpha_{ei}$ | $\delta\alpha_{ie}$ | $\delta\alpha_{ph}$ | $\delta\alpha_A$ |
|-------------------------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| Gleichstrom: | | | | | | |
| 1) $U = U_m, I = 0$ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2) $U = U_m, I = I_m$ | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Wechselstrom: | | | | | | |
| 3) $U = U, I = 0$ | | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 4) $U = 0, I = I_m$ | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| 5) $\sin \varphi = \pm 1$ | | 0 | | | | 0 |
| 6) $\cos \varphi = 1$ | (0) | 0 | | (0) | 0 | |

1. Bestimmung von $\delta\alpha_s$. Man befasse sich zuerst mit der statischen Anziehung, weil ihre Wirkung unter Umständen für die Art des Anschlusses des Wattmeters von Bedeutung ist. $\delta\alpha_s$ hängt vom Ausschlag und vom Quadrat einer gewissen mittleren Spannungsdifferenz zwischen beweglichem und festem Teil ab.

Vorversuch 1a gemäss Fig. 1a: Gleichspannung zwischen Strom- und Spannungswicklung. Diese Hilfsmessung gebe $\bar{\delta a}$ bei U_h Volt, wobei U_h von der Grössenordnung der Nennspannung bzw. der x-fachen Nennspannung sein soll, wenn eine x-fache Ueberlastung im Spannungskreis vorgesehen ist. Wenn δa zu vernachlässigen ist, braucht man im Gebrauch auf allfällige Potentialdifferenzen zwischen beweglichem und festem Teil nicht zu achten. Ist $\bar{\delta a}$ merklich, so ist der drehspulseitige Pol des Spannungspfad (einpolig) mit dem Strompfad zu verbinden. Ist

$$\gamma = \left(\frac{|\Delta U_e| + |\Delta U_i|}{U_h} \right)^2 \cdot \bar{\delta a}$$

zu vernachlässigen, so wird für alle Belastungen $\delta\alpha_s = 0$ sein. Hierbei bedeutet der Zähler die zwischen Strom- und Spannungsspule, $|\Delta U_e|$ die unter Berücksichtigung einer eventuell vorgesehenen Ueberlastung an der Spannungsspule und $|\Delta U_i|$ die an der Stromspule höchstens auftretende Spannung. Die Bauart der Instrumente bedingt, dass $\delta\alpha_s$ bei 0 (und Endausschlag) am grössten ist, also durch γ qualitativ genügend charakterisiert ist. Ist γ nicht zu vernachlässigen, so ist es ratsam, davon abzusehen, die etwas komplizierte Abhängigkeit von $U; I$ und φ in Rechnung

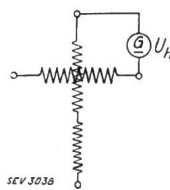


Fig. 1a.

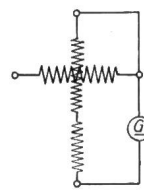


Fig. 1b.
 $\Delta \alpha_s$.

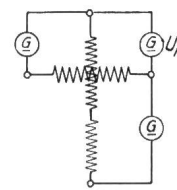


Fig. 1c.
 $F_s(\alpha)$.

setzen zu wollen, und das Instrument ist nur bei Frequenzen, bei denen $|\Delta U_i|$ nicht zum Fehler beiträgt, zu benutzen. In diesem letzten Fall hat $\delta\alpha_s$ in Abhängigkeit von α und U die Form:

$$\delta\alpha_s(\alpha, U) = \frac{F_s(\alpha)}{F_s(0)} \left(\frac{U}{U_N} \right)^2 \cdot \Delta \alpha_s$$

(worin $\Delta \alpha_s = \delta\alpha_s(0, U_N)$) (1)

und wird bestimmt durch

Hauptversuch 1b gemäss Fig. 1b: Meßspannung U_m ; Meßstrom $I_m = 0$; gemessen: $\delta a = \delta\alpha_s(0, U_m)$. Hieraus

$$\Delta \alpha_s = \left(\frac{U_N}{U_m} \right)^2 \delta\alpha_s(0, U_m)$$

$F_s(\alpha)$ kann durch

Versuch 1c gemäss Fig. 1c mit einer konstanten, gegen ΔU_e grossen Hilfsspannung U_n bestimmt werden. Dies hat sich in keinem Falle als nötig erwiesen.

Von ca. 20 untersuchten Präzisionsinstrumenten zeigten mehrere $\delta\alpha \neq 0$, aber nur eines (ein empfindliches mit Bandaufhängung) zeigte $\Delta\alpha_s = -0,1$; bei den übrigen war $\Delta\alpha_s = 0$. Die erwähnte Verbindung der beiden Kreise war demnach bei mehreren *notwendig*.

2. Bestimmung von $\delta\alpha_g \cdot \delta\alpha_g$ enthält die Temperatur- und Erwärmungsfehler, hat also etwa die Form:

$$\delta\alpha_g = F(\alpha, T) + \left(\frac{U}{U_N}\right)^2 \cdot \eta + \left(\frac{I}{I_N}\right)^2 \xi$$

Man pflegt zwei Messreihen auszuführen: Kalt (innerhalb 15 Minuten) und warm (nach halbstündigem Vorwärmen mit $U = U_N$ und $I = I_N$). Dies liefert eine obere und eine untere Grenze für $\delta\alpha_g$. Sie sollen sich bei einem guten Instrument nur wenig unterscheiden. Auf die Bestimmung von η und ξ verzichte man. Nachstehend wird für $\delta\alpha_g$ einfach

$$\delta\alpha_g = F_g(\alpha) \tag{2}$$

gesetzt mit der stillschweigenden Annahme, dass $F_g(\alpha)$ unter denjenigen Bedingungen bestimmt worden sei, unter denen das Instrument nachträglich gebraucht werden soll.

Versuch 2 gemäss Fig. 2 ist die normale Prüfung mit dem Kompensationsapparat.

3. Bestimmung von $\delta\alpha_{ei}$. Die vom Spannungsspulenstrom (e) in den festen Metallteilen (i) einschliesslich der Stromspule induzierten mit ω proportionalen Wechselspannungen bewirken Sekundärströme, deren Blindkomponenten mit dem Spannungsspulenstrom in Phase sind, also zum Drehmoment beitragen. Der Aussenwiderstand r_a des Stromkreises wird als sehr gross gegenüber dem Widerstand r der Stromspule vorausgesetzt. $\delta\alpha_{ei}$ hat die Form

$$\delta\alpha_{ei}(\alpha U \omega) = \frac{F_{ei}(\alpha \omega)}{F_{ei}(0 \omega_m)} \cdot \left(\frac{U}{U_N}\right)^2 \cdot \Delta\alpha_{ei} \tag{3}$$

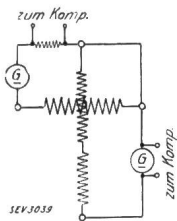


Fig. 2.
 $F_g(\alpha)$.

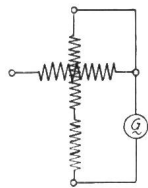


Fig. 3a.
 $\Delta\alpha_{ei}$.

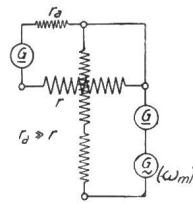


Fig. 3b.
 $F_{ei}(\alpha, \omega_m)$.

$$\delta\alpha = \delta\alpha_s + \delta\alpha_{ei} = \left(\frac{U_m}{U_N}\right)^2 \Delta\alpha_s + \delta\alpha_{ei}(0, U_m, \omega_m),$$

woraus mit (3)

$$\Delta\alpha_{ei} = \delta\alpha_{ei}(0, U_m, \omega_m) \cdot \left(\frac{U_N}{U_m}\right)^2$$

Im Falle eines ungenügend grossen Aussenwiderstandes oder (was fast nie vorkommt) im Falle der Verwendung eines Shunts kann $\Delta\alpha_{ei}$ schon bei Niederfrequenz merklich werden, wovon man sich durch Kurzschliessen der Stromspule überzeugen kann. Für $r_a \ll r$ war bei 50 Per./s für *mehr als die Hälfte* der untersuchten Instrumente $\Delta\alpha_{ei} \neq 0$ (+ 0,1 bis + 0,5 p); für $r_a \gg r$ war sowohl bei 50 Per./s als auch bei 800 Per./s für alle Instrumente $\Delta\alpha_{ei} = 0$. Wenn nachstehend der Fall $\Delta\alpha_{ei} \neq 0$ trotzdem besprochen wird, so geschieht dies nicht nur der Vollständigkeit halber, sondern weil er für Versuch 4b von Bedeutung ist.

Versuch 3b gemäss Fig. 3b: $\Delta\alpha_{ei} \neq 0$, Kenntnis von $F_{ei}(\alpha)$ notwendig. Es ist möglich, $\delta\alpha_s + \delta\alpha_{ei}$ bzw. $\delta\alpha_{ei}$ bei *verschiedenen* Ausschlägen *direkt* zu bestimmen durch Ueberlagerung von Gleich- und Wechselstrom. Die Gleichstrombelastung bewirkt den gewünschten Ausschlag a ; die zusätzliche Speisung des Spannungskreises mit Wechselspannung (U_m) verändert α um $\delta\alpha_s + \delta\alpha_{ei}$, wobei nach früherem:

$$\delta\alpha_s = \frac{F_s(\alpha)}{F_s(0)} \left(\frac{U_m}{U_N}\right)^2 \Delta\alpha_s$$

zu setzen ist.

4. Bestimmung von $\delta\alpha_{ie}$. Die sub 3 gemachten Bemerkungen lassen sich fast wörtlich übertragen. Es handelt sich hier um die Wirkungen der festen Spule auf die Gesamtheit der beweglichen Metallmassen. Der Aussenwiderstand R_a des Spannungspfades ist nun aber als gegen den Widerstand R des letzteren verschwindend zu betrachten, was wohl stets gerechtfertigt ist. Bei Instrumenten mit Nebenschluss im Spannungspfad⁵⁾ zwecks Temperaturkompensation und Möglichkeit der Abgleichung auf einen geraden Wert von R kann $\delta\alpha_{ie}$ beträchtlich werden. $\delta\alpha_{ie}$ ist von der Form

$$\delta\alpha_{ie}(\alpha I \omega) = \frac{F_{ie}(\alpha \omega)}{F_{ie}(0 \omega_m)} \cdot \left(\frac{I}{I_N}\right)^2 \Delta\alpha_{ie} \tag{4}$$

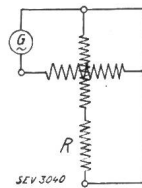


Fig. 4a.
 $\Delta\alpha_{ie}$.

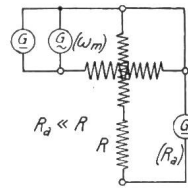


Fig. 4b.
 $F_{ie}(\alpha, \omega_m)$.

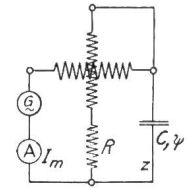


Fig. 5.
 $\Delta\alpha_{Ph}$.

Versuch 3a gemäss Fig. 3a bei $\alpha = 0$; $\omega = \omega_m$; $U = U_m$; $I = 0$ liefert

⁵⁾ Keinath, l. c. S. 255.

$\Delta \alpha_{ie}$ ist vom Spannungsmessbereich abhängig und bestimmt sich durch *Versuch 4a*, gemäss *Fig. 4a*, ausgeführt mit $U = 0$; $\omega = \omega_m$; $I = I_m$ aus $\delta \alpha_{ie}$ zu

$$\Delta \alpha_{ie} = \delta \alpha_{ie} (0, I_m, \omega_m) \left(\frac{I_N}{I_m} \right)^2$$

Versuch 4b gemäss *Fig. 4b* mit Ueberlagerung von Gleich- und Wechselstrom in der Stromspule gestattet, $F_{ie}(\alpha \omega)$ aus dem durch Zuschalten des Wechselstromes bewirkten $\delta \alpha = \delta \alpha_{ie}(\alpha)$ zu berechnen:

$$\frac{F_{ie}(\alpha, \omega_m)}{F_{ie}(0, \omega_m)} = \frac{\delta \alpha_{ie}(\alpha)}{\Delta \alpha_{ie}}$$

F_{ie} ist positiv für $\alpha = 0$, ca. 0 für Skalenmitte und negativ für Endausschlag. Da im Spannungspfad die Blindkomponente des induzierten Stromes proportional ω ist, hängt, wie das Experiment bestätigt, F_{ie} quadratisch von ω ab:

$$F_{ie}(\alpha \omega) = \omega^2 A_{ie}(\alpha)$$

Bei 50 Per./s war für alle Instrumente $\Delta \alpha_{ie} = 0$. Beispiele für Ergebnisse bei Mittelfrequenz: siehe Tab. III.

Bei den Versuchen 3a bis 4b ist der Erwärmungsfehler infolge der zusätzlichen Wechselstrombelastung durch rasches Ein- und Ausschalten des Wechselstromes zu eliminieren.

5. Bestimmung von $\delta \alpha_{ph}$. Für die charakteristische Grösse $\Delta \alpha_{ph}$ ist die Differenz $\Delta \varphi$ der Phasenverschiebungen zwischen Feld von I und I bzw. Feld von U/R und U massgebend. $\Delta \varphi$ ist mit $\Delta \alpha_{ph}$ bei $\omega = \omega_m$ durch $\alpha_N \Delta \varphi = \Delta \alpha_{ph}$ verbunden. $\delta \alpha_{ph}$ muss die Form haben:

$$\begin{aligned} \delta \alpha_{ph}(UI\varphi\omega) &= UI \sin \varphi \cdot \Delta \varphi \cdot \frac{\alpha_N}{U_N I_N} \\ &= \frac{F_{ph}(\omega)}{F_{ph}(\omega_m)} \cdot \frac{UI}{U_N I_N} \cdot \sin \varphi \cdot \Delta \alpha_{ph} \quad (5) \end{aligned}$$

unabhängig von α , aber abhängig vom Spannungsmessbereich. Der Umstand sowohl, dass $\Delta \varphi$ eine Differenz zweier Grössen ist, als auch die häufig verwendete Kunstschaltung im Spannungskreis haben zur Folge, dass $\delta \alpha_{ph}$ im allgemeinen in ziemlich unübersichtlicher Weise von ω abhängt. Die häufig gemachte Annahme, dass $F_{ph}(\omega)$ proportional ω sei, ist also im allgemeinen nicht am Platze. Die Messung von $\Delta \alpha_{ph}$ pflegt man mit einer künstlichen 90°-Verschiebung, z. B. unter Verwendung eines Quadrantelektrometers⁶⁾ vorzunehmen. Einfacher, sofern I_N/U_N nicht zu gross ist, ist die Messung des Wattverbrauches eines Kondensators, dessen Fehlwinkel ψ man bereits kennt.

Versuch 5 gemäss *Fig. 5*: Von dem bei $U = U_m$; $I = I_m$; $\omega = \omega_m$; $\sin \varphi = -1$ ($\varphi = -\pi/2$) gemessenen Ausschlag α ist der durch den Verbrauch im Kondensator (C), in den Zuleitungen (z) und im Spannungskreis des Wattmeters verursachte Anteil

⁶⁾ Orlich, Z. Instrumentenkde. 1909, Bd. 39, S. 33.

$$\alpha' = \frac{\alpha_N}{U_N I_N} \cdot U_m I_m \left(\psi + \omega_m C z + \frac{1}{\omega_m C R} \right)$$

abzuziehen. Dann ist

$$\alpha - \alpha' = \delta \alpha = \delta \alpha_s + \delta \alpha_{ei} + \delta \alpha_{ie} + \delta \alpha_{ph},$$

woraus mit (5) und den Ergebnissen der Ueberlegungen 1 bis 4

$$\Delta \alpha_{ph} = - \frac{U_N I_N}{U_m I_m} \delta \alpha_{ph}(U_m, I_m - \pi/2, \omega_m)$$

folgt. Von den ca. 20 Instrumenten (Hartmann & Braun; Siemens & Halske; Trüb, Täuber & Co.; Weston; $U_N = 12$ bis 150 V, $I_N = 0,5$ bis 25 A) zeigten bei 50 Per./s 3 ein $\Delta \alpha_{ph} > 0,2$ p, die übrigen im Mittel $\Delta \alpha_{ph} = \pm 0,1$ p. Beispiele für Ergebnisse bei Mittelfrequenz: siehe Tab. III.

6. Bestimmung von $\delta \alpha_A$. Dieser letzte von uns zu betrachtende Fehler ist komplexer Natur (Wirkung von Wirbelströmen einschliesslich Hautwirkung, Selbstinduktion der Spannungsspule) und man kann nicht sagen, ob man ihn als Fehler erster oder zweiter Ordnung ansehen soll. Man erwartet wegen der Proportionalität mit $UI \cos \varphi$ die Form

$$\delta \alpha_A(\alpha \omega) = \frac{\alpha}{\alpha_N} \cdot \Delta \alpha_A(\omega) \quad (6)$$

Versuch 6 gemäss *Fig. 6*, der sich von Versuch 5 im wesentlichen nur dadurch unterscheidet, dass der Kondensator durch einen hoch belastbaren, einigermaßen winkelfehlerfreien Widerstand (z. B. Schieberwiderstand mit Kreuzwicklung) ersetzt ist, an welchen mit Hilfe eines frequenzunabhängigen Spannungsmessers (statisches Voltmeter) nacheinander die gleiche Wechsel- und Gleichspannung eingestellt wird, gibt, wenn man gerade im Punkt $\delta \alpha_{ie} = 0$ (ca. Skalenmitte), wo stets auch $\delta \alpha_s = 0$ sein dürfte, arbeitet:

$$\delta \alpha(\omega) = \delta \alpha_{ei}(\omega) + \delta \alpha_A(\omega)$$

woraus nach (6) $\Delta \alpha_A(\omega)$ folgt. Bei 50 Per./s wurde in keinem Fall $\Delta \alpha_A$ von 0 verschieden gefunden. Einige Ergebnisse bei Mittelfrequenz: siehe Tab. III.

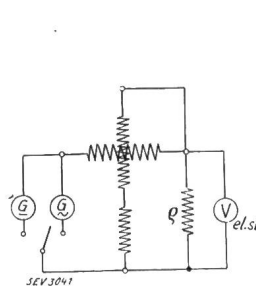


Fig. 6.
 $\Delta \alpha_A$.

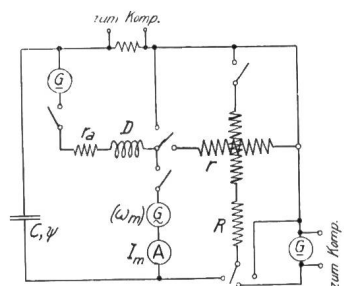


Fig. 7.

Die Proportionalität von $\delta \alpha_A$ mit α hat sich durch Messung von $\delta \alpha_A$ bei verschiedenem α recht gut (auf 10 % des Höchstwertes) bestätigen lassen.

Tab. III gibt die Wechselstromfehlerkonstanten dreier Präzisionsinstrumente verschiedener Provenienz wieder:

Hartmann & Braun Nr. 778 642: Empfindliches, überlastbares, astatisches Spezialinstrument mit Bandaufhängung, $U_N = 12; 60; 120$ V, $I_N = 1; 2$ A.

Siemens & Halske Nr. 771 009: Normale Form, für Niederfrequenz, mit Nebenschluss im Spannungskreis, $U_N = 30; 150$ V, $I_N = 2,5; 5$ A; äusserer Vorwiderstand Nr. 370 739.

Trüb, Täuber & Cie. Nr. 85 806: Normale Form, ebenfalls mit Nebenschluss im Spannungskreis, $U_N = 150$ V, $I_N = 2,5; 5$ A.

Für alle drei Instrumente ist $\Delta\alpha_s = \Delta\alpha_{ei} = 0$.

Tabelle III.

| | Fre- quenz Per./s | $\Delta\alpha_s$ | $\Delta\alpha_{Ph}$ | $\Delta\alpha_A$ |
|-------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| H & B Nr. 778642 . . . | 50 | 0,0 | +0,0 ₅ | 0,0 |
| $U_N = 120$ V | 500 | 0,0 | +0,6 ₄ | 0,0 |
| $I_N = 2$ A | 800 | +0,0 ₃ | +0,9 | 0,0 |
| S & H Nr. 771009 . . . | 50 | 0,0 | +0,0 ₅ | 0,0 |
| $U_N = 150$ V | 500 | +0,8 | +0,5 | -0,6 |
| $I_N = 2,5$ A | 800 | +1,9 | +0,5 | -1,0 |
| TTC Nr. 85806 | 50 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| $U_N = 150$ V | 500 | +0,2 | +0,9 | 0,0 |
| $I_N = 2,5$ A | 800 | +0,5 | +1,4 | 0,0 |

Beim Instrument TTC Nr. 85 806 sind neben dem Verschwinden von $\Delta\alpha_A$ die durch spezielle Formung der Stromspule bedingte besondere statische Unempfindlichkeit und die Gesetzmässigkeit

im Anwachsen von $\Delta\alpha_{Ph}$ (Proportionalität mit ω) als Vorzüge zu bewerten.

Die vollständige Prüfung eines Wattmeters scheint nach vorstehendem eine recht komplizierte Angelegenheit zu sein. Berücksichtigt man aber die Tatsache, dass $\Delta\alpha_s$ und $\Delta\alpha_{ei}$ gewöhnlich verschwinden, so lässt sich die Prüfung wesentlich vereinfachen, und es wird

$$\delta\alpha = \delta\alpha_g + \delta\alpha_{ie} + \delta\alpha_{Ph} + \delta\alpha_A$$

Nur noch bei Versuch 5 erscheinen dann zwei Fehlerquellen nicht experimentell getrennt. Die praktische Prüfung schrumpft derart auf folgende Versuchsreihe zusammen:

- 1a. Feststellung, ob elektrische Verbindung von Strom- und Spannungskreis nötig ist;
- 1b. Feststellung, dass $\Delta\alpha_s = 0$;
2. Bestimmung von $F_g(\alpha)$, kalt und warm, mit Kompensationsapparat;
3. Feststellung, dass $\Delta\alpha_{ei} = 0$ (für $r_a \gg r!$);
- 4a und 4b. Bestimmung von $\Delta\alpha_{ie}$ und F_{ie} (α) ohne und mit übergelagertem Gleichstrom;
5. Messung von $\Delta\alpha_{Ph}$ bei $\alpha \approx 0$;
6. Messung von $\Delta\alpha_A$ bei $\alpha \approx \frac{\alpha_N}{2}$, wo $\delta\alpha_{ie} = 0$.

Hiervon lassen sich die sieben Versuche 1a bis 5 mit einer Schaltung gemäss Fig. 7 ausführen. Für C wurden drei Einheiten zu je $70 \mu F$, $\psi = 0,0020$ benutzt; die Drosselspule D zwingt den Wechselstrom, durch die Stromspule des Wattmeters zu fliessen. Versuch 6 erfolgt nach Schema Fig. 6.

Jedenfalls gibt das beschriebene Verfahren die Möglichkeit, sich ein sicheres Urteil über die Güte eines eisenfreien Wattmeters zu verschaffen.

Grundlagen der Energieversorgung der Stadt Strassburg i. E.

Von W. Schaertlin, Muri bei Bern.

621.311(44)

Die Versorgung mit elektrischer Energie und insbesondere die Energieverteilung wird in den grösseren Städten der Schweiz als Aufgabe der öffentlichen Verwaltung betrachtet. Das Elektrizitätswerk, das die erforderlichen Anlagen erstellt und betreibt, stellt in diesen Städten einen Verwaltungsweig dar, dessen Rechnung einen Teil der allgemeinen Verwaltungsrechnung bildet. Die Stadt ist Eigentümerin des Werkes, seine Ertrünisse fallen der Stadt zu und die Rechnungstrennung ist im wesentlichen Formsache.

Eine grundsätzlich andersartige Regelung hat die Energieversorgung mancher Städte im Ausland gefunden, wo vielfach die Erstellung und der Betrieb der elektrischen Anlagen von Privatgesellschaften durchgeführt wird. Als Beispiel einer solchen Ordnung wird in der vorliegenden Studie die Energieversorgung der Stadt Strassburg herangezogen. Die Stadt Strassburg hat mit der Aktiengesellschaft Electricité de Strasbourg (E.S.) am 30. Dezember 1908 einen Konzessions- und Energielieferungsvertrag abgeschlossen, der mit einigen Nachträgen heute noch in Kraft steht und dessen Inhalt und Auswirkung im folgenden Artikel dargestellt und begründet wird.

Dans la plupart des villes suisses de quelque importance, on considère l'approvisionnement en énergie, en particulier la distribution d'énergie électrique, comme une des tâches des administrations publiques. Le service d'électricité qui établit et exploite les installations nécessaires est, dans ces villes, un service administratif dont la comptabilité n'est qu'une partie de la comptabilité générale. La ville est propriétaire de l'entreprise dont les recettes sont versées à la caisse publique; la séparation des comptes n'est qu'une question de forme.

A l'étranger, dans beaucoup de villes, la distribution de l'énergie électrique est basée sur un principe totalement différent: l'établissement et l'exploitation des installations y sont aux mains de sociétés privées. Dans le présent article, l'auteur expose comme exemple de ce système, la distribution d'énergie à Strasbourg. La Ville de Strasbourg a conclu le 30 décembre 1908 avec la société anonyme par actions Electricité de Strasbourg (E.S.) un contrat relatif à la concession et à la livraison d'énergie. Ce contrat, encore en vigueur aujourd'hui avec quelques adjonctions, fait, avec ses suites, l'objet de l'article ci-dessous.

I. Zweck und Inhalt des Vertrages Strassburg/Electricité de Strasbourg (E. S.).

Die Stadt Strassburg gewährt der E. S. mit gewissen Einschränkungen grundsätzlich das alleinige

Recht zur Benutzung des öffentlichen Grund und Bodens für den Bau ihres elektrischen Leitungs- und Verteilnetzes. Die E. S. übernimmt die Versorgung der Stadt Strassburg (Stadtnetz) sowie des