

Sonderabdruck

aus

Archiv für Elektrotechnik.

Herausgegeben unter Beteiligung
des Verbandes Deutscher Elektrotechniker und des Elektrotechnischen Vereins

von

Professor Dr.-Ing. **W. Rogowski**, Aachen.

XXVII. Band — 1933 — 12. Heft.

(Im Buchhandel durch Julius Springer in Berlin W 9)

Printed in Germany

PRZEDSTAWICIELSTWO
BIURO TECHNICZNE INŻ. A. Z. JASTKOWSKI
KRAKÓW, UL. BRDZIAK 11
WARSZAWA, UL. KOLLET 1

W. Hohle,

Eine tragbare Stromwandler-Prüfeinrichtung hoher Genauigkeit.

Eine tragbare Stromwandler-Prüfeinrichtung hoher Genauigkeit.

Von

W. Hohle, Berlin-Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

(Eingegangen am 23. September 1933.)

Inhalt: Es wird ein Stromwandler-Prüfverfahren beschrieben, bei dem der Prüfling und ein Normalstromwandler von gleicher Nennübersetzung zu einer Differenzschaltung vereinigt sind. Der Differenzstrom ruft in einem Widerstand einen Spannungsabfall hervor, der über ein Nullinstrument durch 2 regelbare aufeinander senkrecht stehende Spannungen kompensiert wird, die der Sekundärstrom des Normalwandlers liefert. Es wird gezeigt, daß sich nach diesem Prinzip eine tragbare Einrichtung von großer Einfachheit und Genauigkeit herstellen läßt. Meßergebnisse werden mitgeteilt. Die fabrikmäßige Herstellung der Prüfeinrichtung wird vorbereitet.

In der Praxis macht sich das Bedürfnis nach einer tragbaren Stromwandler-Prüfeinrichtung geltend, die es gestattet, Messungen am Betriebsort durchzuführen, um den Zeit- und Geldaufwand für den Transport der Wandler zu ersparen. Grundsätzlich läßt sich für diesen Zweck die seit Jahren in Prüffeldern und Laboratorien bewährte Methode nach Schering und Alberti¹, die am genauesten und vielseitigsten ist, anwenden. So ist sie von der Reichsanstalt gelegentlich bei auswärtigen Prüfungen benutzt und bereits von verschiedenen Firmen zu tragbaren Apparaturen umgebaut worden². Nachstehend wird ein Stromwandler-Prüfverfahren beschrieben, das auf einem anderen Meßprinzip beruht und aus dem sich eine tragbare Einrichtung großer Einfachheit und Genauigkeit entwickeln läßt. Mit der Einführung der hochpermeablen Legierungen war die Möglichkeit geschaffen, einfache Wandler hoher Genauigkeit zu bauen. Dadurch gewannen diejenigen Prüfmethode an Bedeutung, die sich solcher Normalwandler speziell in einer Differenzschaltung bedienen. Aus einer solchen Schaltung ist das neue als Nullmethode ausgebildete Verfahren entwickelt.

Die Grundschaltungen.

Wir gehen aus von der Differenzschaltung, die in Bild 1 wiedergegeben ist. X sei der zu prüfende Wandler, N ein Normalwandler von gleichem Nennübersetzungsverhältnis. Der Einfachheit halber sollen die Fehler des Normalwandlers zunächst vernachlässigt werden. Die primären Wicklungen sind in Reihe geschaltet, die sekundären Wicklungen gemäß dem Bilde 1 derart verbunden, daß in dem Diagonalzweig die Differenz der sekundären Ströme fließt. Größe und Phasenlage dieses Differenzstromes bestimmen die Abweichung des Sekundärstromes J_X vom Sollwert J_N . Diejenige Komponente des Differenzstromes, die in Richtung von J_N liegt, bestimmt den Stromfehler und die dazu senkrechte Komponente den Winkelfehler.

Wenn man den Widerstand des Diagonalzweiges genügend klein hält, sind die beiden Wandler voneinander unabhängig, und jeder von ihnen arbeitet mit der ihm zugeordneten Bürde. Einen Überblick über die zulässige Größe des Diagonalwiderstandes gewinnt man durch folgendes Beispiel. Bei einem Diagonalwiderstand von 1Ω und einem Fehlerstrom von $50 \text{ mA} = 1\%$ von 5 Amp. herrscht an seinen Enden

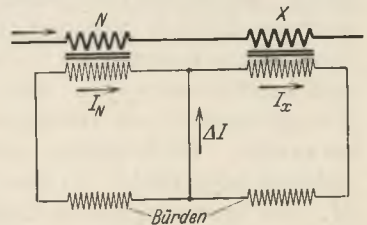


Bild 1. Differenzschaltung.

¹ Arch. Elektrotechn. Bd. 2, 1914, S. 263.

² S. z. B. Bull. S. E. V. 24. Jahrg. 1933, S. 105.

eine Spannung von 50 mV. Diese Spannung wirkt so, als ob sich die Wandlerbürde im Betrage von $50 \text{ mV} \times 5 \text{ Amp.} = 0,25 \text{ VA}$ verändert hätte; und zwar wird die Bürde des Wandlers mit dem größeren Sekundärstrom um diesen Betrag vergrößert, die des anderen um etwa ebensoviel verringert. Die Bürdenverschiebung wächst mit zunehmenden Fehlern und zunehmendem Diagonalwiderstand. Ein Widerstandsbetrag von der Größenordnung 1Ω ist für praktische Prüfzwecke noch als zulässig anzusehen.

Die beschriebene Schaltung bildet den Ausgangspunkt für verschiedene bekannte Prüfverfahren, die sich im wesentlichen in 2 Gruppen teilen lassen, in solche, die den Differenzstrom direkt messen und in solche, die ihn zum Verschwinden bringen. Zur ersteren Gruppe gehört die von Folger und von Silsbee angegebene Methode, den Differenzstrom nach seinen beiden Komponenten mit einem fremderregten Wattmeter zu ermitteln^{1, 2}. Hier ist wohl zum ersten Male die Differenzschaltung für Wandlerprüfzwecke angewandt worden. Bei der tragbaren Einrichtung von Siemens & Halske wird der im Diagonalwiderstand auftretende Spannungsabfall des Differenzstromes über Schwingkontakt-Gleichrichter mit Drehspulinstrumenten ausgemessen³.

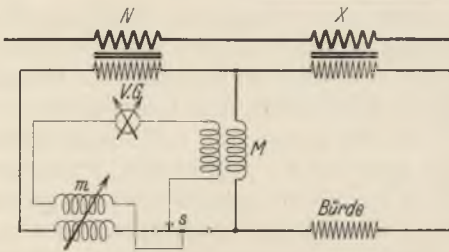


Bild 2. Kompensationsschaltung mit fester Gegeninduktivität im Differenzweig.

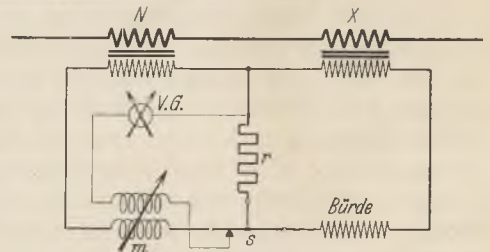


Bild 3. Kompensationsschaltung mit Widerstand im Differenzweig.

Den Differenzstrom zum Verschwinden bringt eine Methode von Koch & Sterzel dadurch, daß der Fehler des Normalwandlers in meßbarer Weise verändert wird. Auch die Nullmethode von Silsbee kann man wohl hierher rechnen, der über einen Parallelzweig zum Sekundärkreise des Normalwandlers einen entgegengesetzt gerichteten Strom durch die Diagonale schiebt⁴.

Das Wesen der hier zu beschreibenden neuen Schaltungen besteht darin, daß der Differenzstrom im Diagonalzweig aufrecht erhalten bleibt und daß sein Spannungsabfall, den er dort an einem Wechselstromwiderstand hervorruft, mit einer Nullmethode durch 2 veränderliche Kompensationsspannungen ausgemessen wird. Diese Spannungen lassen sich z. B. einem Wechselstromkompensator entnehmen. Einfacher und handlicher werden aber die Schaltungen, wenn man den Sekundärstrom des Normalwandlers zur Erzeugung der erforderlichen Kompensationsspannungen selbst heranzieht. Im folgenden werden 2 solche Schaltungen beschrieben. Die eine Anordnung zeigt Bild 2. In dem Diagonalzweig liegt eine feste Gegeninduktivität (G.I.) M . Die Spannung an der Sekundärspule von M steht senkrecht zum Differenzstrom und wird mittels eines Schleifdrahtes s und einer regelbaren G.I. m über ein Vibrationsgalvanometer (V.G.) als Nullinstrument kompensiert. Schleifdraht und Primärspule der regelbaren G.I. m werden vom Sekundärstrom des Normalwandlers durchflossen. Die Spannung am Schleifdraht liegt in Phase mit dem Strom und bildet jetzt wegen der Verschiebung um 90° durch die feste Gegeninduktivität M ein Maß für den Winkelfehler, die Sekundärspannung der regelbaren G.I. m entsprechend ein Maß für den Stromfehler. Im abgeglichenen Zustande sind die Sekundärspulen der beiden

¹ B. Silsbee, Sci. Pap. Bur. Stand. Nr. 309, 1917.

² W. A. Folger, Proc. Pennsylvania Electr. Assoc. 1916.

³ Sieber, Siemens-Z. 9, 1929, S. 845, ATM Z. 224—1, 1932, ATM Z. 224—3, 1932.

⁴ Siehe Fußnote 1.

G.I. stromlos, ihre sekundären Induktivitäten sind also ohne Einfluß auf das Meßergebnis. Man kann mit dieser Schaltung Spannungen an der festen G.I. M kompensieren, die beliebige Phasenlage zum Bezugsstrom haben können.

Eine zweite Schaltung, die sich besser für die praktische Ausführung eignet und die Grundlage für die neue Prüfeinrichtung abgegeben hat, zeigt Bild 3. Im Diagonalzweig liegt ein Widerstand r , dessen eines Ende an die Mitte eines Schleifdrahtes führt. Der Spannungsabfall an r wird über ein V.G. gegen die Schleifdrahtspannung und die Sekundärspannung einer regelbaren G.I. m kompensiert, deren Primärspule vom Strom des Normalwandlers durchflossen wird. Die Spannung an r liegt in Phase mit dem Differenzstrom; die am Schleifdraht abgelesene Komponente in Richtung J_N gibt also den Stromfehler, die Stellung der regelbaren G.I. entsprechend den Winkelfehler. Diese Schaltung zeigt, abgesehen von der verschiedenen Größenordnung der verwandten Widerstände und G.I. eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Nullverfahren von Silsbee. Der Vorteil hier liegt aber darin, daß die G.I. so geschaltet ist, daß ihre Sekundärspule nicht vom Differenzstrom durchflossen wird, sondern im abgeglichenen Zustande stromlos ist. Dadurch ist die sekundäre Induktivität ohne Einfluß auf das Meßergebnis.

Die Gleichgewichtsbedingungen sind leicht abzuleiten. Es seien s und m die jeweilig eingestellten Werte am Schleifdraht und an der regelbaren G.I. in Ω bzw. H. Bei einem positiven Stromfehler von f in Prozenten und einem Fehlwinkel δ in Minuten ergeben sich nach einfacher Rechnung die Beziehungen:

$$f = \frac{s + r(1 - \cos \delta)}{r \cdot \cos \delta} \cdot 100\%; \quad \sin \delta = \frac{\omega m}{r \left(1 + \frac{f}{100}\right)}.$$

Mit erlaubten Vernachlässigungen erhält man:

$$f \approx \frac{s}{r} \cdot 100\%; \quad \delta \approx \frac{\omega m}{r} \cdot \frac{1}{0,291 \cdot 10^{-3}} \text{ in Min.}$$

Der bei Stromlosigkeit des V.G. abgegriffene Schleifdrahtwiderstand s ist also ein Maß für den Stromfehler. Der Schleifdraht kann direkt in Prozenten geeicht werden. Die G.I. m ist ein Maß für den Fehlwinkel und kann für eine bestimmte Frequenz f_0 in Minuten geeicht werden. Bei einer anderen Frequenz f sind die abgelesenen Werte mit f_0/f zu multiplizieren.

Der Fall, daß negative Stromfehler zu messen sind, ist noch besonders zu betrachten. Um nämlich solche negativen Stromfehler abgleichen zu können, muß der Schleifdraht über den Diagonaleckpunkt hinaus verlängert werden und in die Bürde des Prüflings hineinreichen. Unter Beachtung der Tatsache, daß dieser Schleifdrahtteil nicht mehr vom Bezugsstrom J_N , sondern von dem fehlerhaften Strom J_X durchflossen wird, ergeben sich die Beziehungen:

$$f = -\frac{s \cos \delta - r(1 - \cos \delta)}{(r + s) \cos \delta} \cdot 100\%; \quad \text{tg } \delta = \frac{\omega m}{r}.$$

Mit erlaubten Vernachlässigungen erhält man:

$$f \approx -\frac{s}{r+s} \cdot 100\%; \quad \delta \approx \frac{\omega m}{r} \cdot \frac{1}{0,291 \cdot 10^{-3}} \text{ in Min.}$$

Auf der negativen Seite muß also der Schleifdraht etwas anders kalibriert werden, doch ist der Unterschied nur von zweiter Größenordnung. Z. B. muß für $r = 1 \Omega$ und einen Fehlerbereich von $\pm 1\%$ auf der positiven Seite $s = 0,01 \Omega$ und auf der negativen Seite $0,0101 \Omega$ sein. Die zusätzliche Bürde für den Prüfling beträgt etwa $0,25 \text{ VA}$.

Das Arbeiten mit der beschriebenen Schaltung ist sehr einfach. Man stellt die gewünschte Stromstärke ein und regelt abwechselnd den Schleifdraht und die G.I., bis das V.G. Stromlosigkeit anzeigt. Die Wandlerfehler können dann unmittelbar abgelesen werden. Gegebenenfalls berücksichtigt man die Fehler des Normalwandlers, indem man zu den abgelesenen Fehlern diejenigen des Normalwandlers algebraisch

addiert. Als reine Nullmethode sind hier die gleichen Vorzüge wie bei der Scheringbrücke vorhanden: Man kann bei jedem Bruchteil des Nennstromes messen, da die Stromstärke in die Messung nicht unmittelbar eingeht; mit der Benutzung eines gegen Oberwellen unempfindlichen Nullinstrumentes werden die Fehler für die Grundwelle ermittelt, auf deren Kenntnis es praktisch allein ankommt. Außerdem lassen sich die Meßbereiche der Schaltung sehr einfach durch den Diagonalwiderstand verändern.

Über die Genauigkeit der Methode ist folgendes zu sagen. Wir wollen eine von äußeren Störungen freie Messung und eine genügende Empfindlichkeit des V.G. voraussetzen, so daß die Einstellgenauigkeit genügend groß ist. Die später angeführten Versuche zeigen auch, daß sich eine genügende Einstellgenauigkeit mühelos erreichen läßt. Der Meßfehler im Absolutwert hängt dann einmal von der Genauigkeit ab, mit der die Fehler des Normalwandlers bekannt sind, und zweitens von der Genauigkeit der Widerstände und der G.I. Da diese letzteren Schaltelemente nur die Differenz der Ströme ausmessen, geht ihr Fehler erst in der 2. Größenordnung in das Meßresultat ein. Die Ansprüche an ihre Genauigkeit brauchen also nicht allzu hoch gestellt zu werden. Bei einer Genauigkeit von z. B. 1%, die sich mühelos erreichen läßt, wird ein zu messender Stromfehler von 1% erst um 0,01% falsch angezeigt werden. Solche Abweichungen sind noch als zulässig anzusehen. Sie wachsen mit zunehmenden Wandlerfehlern. Es ergibt sich die wünschenswerte Eigenschaft, daß Präzisionswandler mit kleinen Fehlern genauer gemessen werden als Betriebswandler mit absolut großen Fehlern. Dieselben Toleranzen von etwa 1% sind auch für die Fehlwinkel der Schaltelemente zulässig.

Ausführung des Apparates.

Nach den oben gegebenen Gesichtspunkten ist eine Apparatur entworfen und gebaut worden. Die Widerstände mit der gewünschten Genauigkeit herzustellen, bereitet keine Schwierigkeiten. Der konstruktiv heikelste Punkt ist zweifellos die regelbare G.I. Von der Verwendung

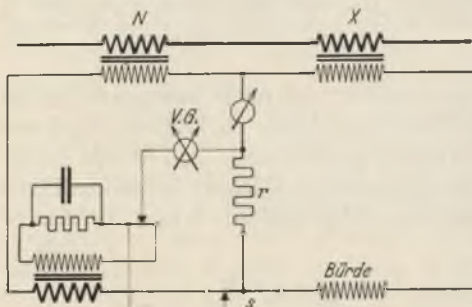


Bild 4. Ausgeführte Schaltung.

von Luftinduktivitäten wurde Abstand genommen, einmal weil sie verhältnismäßig viel Raum beanspruchen und zweitens, weil sie selbst bei astatischer Anordnung doch noch durch inhomogene Fremdfelder störend einfließen werden können. Es wurde daher grundsätzlich ein Eisenkern verwandt. Zwei Wege sind dabei beschritten worden. Es handelt sich beidesmal weniger um regelbare G.I. im eigentlichen Sinne als um Anordnungen, die es gestatten, veränderliche um 90° verschobene Spannungen abzunehmen. Bild 4 zeigt die gesamte Meßschaltung, wie sie in einem Kasten zusammengebaut wurde. Im Diagonalzweig liegt ein Strommesser, der bei falscher Polung der Wandler ausschlägt, da er die Summe der Ströme anzeigt.

Die Verschiebung um 90° wurde folgendermaßen hergestellt. Auf dem Mittelschenkel des Kernes eines Klingeltransformators wurde zunächst eine Sekundärwicklung, darüber die bis 5 Amp. führende Primärwicklung gelegt. Die Sekundärwicklung ist praktisch wenig belastet, ihre Spannung wird durch einen Vorwiderstand und einen Schleifdraht unterteilt. Parallel zum Vorwiderstand liegt ein Papierkondensator. Die Eisenspule stellt in erster Annäherung eine feste G.I. dar. Die zur Kompensation dienende Spannung wird von der Mitte des Schleifdrahtes und einem beweglichen Kontakt abgenommen. Die Verwendung des Eisens bringt folgende 2 Nachteile: Abhängigkeit von der Stromstärke und einen Fehlwinkel durch die

Eisenverluste. Durch geeignete Bemessung des Parallelkondensators kann man für eine bestimmte Frequenz, z. B. 50 Hz die gewünschte Verschiebung um 90° erreichen. Die Stromabhängigkeit wird in folgender Weise beseitigt bzw. auf ein zulässiges Maß herabgedrückt. Einmal wird in den Mittelkern ein Luftspalt eingefügt und zweitens dem Eisen ein versuchsmäßig ermittelter sich verjüngender Querschnitt gegeben. Während der größte Teil des Eisens im schwach gesättigten Gebiet arbeitet, werden die engen Querschnitte hoch magnetisiert. Durch die Überlagerung der verschiedenen μ -Charakteristiken, die das Eisen im Gebiete niedriger und hoher Sättigung hat, wird erreicht, daß in einem Stromgebiet von 0,5 bis 5 Amp. die resultierende G.I. sich nicht mehr als um etwa $\pm 0,8\%$ ändert. Dieses Mittel der Beeinflussung der Magnetisierungskurve durch Zusammenwirken einzelner Teile des magnetischen Kreises, die bei verschiedener Sättigung arbeiten, wird im Stromwandlerbau zur Erzielung fehlerloser Wandler benutzt¹.

Es wurde noch ein zweiter Weg eingeschlagen, der in Bild 5 dargestellt ist. Ein kleiner Spannungswandler von der Größe eines Klingeltransformators übersetzt etwa 1:10 Volt. Seine primäre Spannung wird von einem Ohmschen Widerstande abgenommen, der vom Bezugsstrom J_N durchflossen wird. Die Sekundärspannung, die noch etwa in Phase mit J_N ist, schiebt einen angenähert um 90° verschobenen Strom durch Kondensator und Schleifdraht. Am Schleifdraht wird die gewünschte Span-

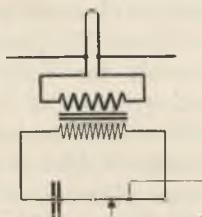


Bild 5. Phasenverschiebung um 90° mit Spannungswandler und Kapazität.



Bild 6. Ansicht der ersten Ausführung des Meßkoffers.

nung abgenommen. Unter Zuhilfenahme der oben beschriebenen Querschnitts-abstufung ist es leicht, den Spannungswandler so zu bauen, daß er in einem Bereich von 0,1 bis 1 Volt sich um weniger als 0,2% bzw. 15 Minuten ändert. Die Versuche haben gezeigt, daß man die einzelnen Schaltungselemente so wählen kann, daß am Schleifdraht eine gegen J_N um 90° verschobene Spannung auftritt. Stromabhängigkeit und Fehlwinkel liegen dann in erlaubten Grenzen, da sie nur durch das Verhalten des Spannungswandlers bedingt sind.

Es sei erwähnt, daß man wahrscheinlich auch durch Verwendung von Speziallegierungen, die über einen gewissen Feldstärkebereich konstante Permeabilität aufweisen, zum gewünschten Ziele gelangen kann.

Die in Bild 4 skizzierte Schaltung wurde als Erstaussführung in einen Kasten von $46 \times 32 \times 15$ cm eingebaut. Es war der Diagonalwiderstand $r = 1 \Omega$. Eine umschaltbare Anzapfung bei $0,2 \Omega$ konnte den Skalenmeßbereich verfünffachen. Die beiden Schleifdrähte, von denen die Kompensationsspannungen abgenommen werden, waren auf nebeneinander liegenden kreisrunden Scheiben aufgezogen. Je ein durch Drehknopf bewegter Zahntrieb verstellte die Schleifkontakte. Die Stromfehlerteilung umfaßte etwa $\pm 1\%$, die Fehlwinkelteilung $+ 73$ Minuten bis $- 15$ Minuten. $0,1\%$ Stromfehler entsprach auf der Skale einem Abstand von 20 mm, 1 Minute einem Abstand von 4,5 mm. Man sieht, daß die Teilungen noch reichlich weit sind

¹ A. C. Schwager, Bull. S.E.V. 23. Jahrg. 1932, S. 514.

und verkleinert werden können. Da die Durchmesser der Schleifdrahtscheiben im wesentlichen die Kastengröße bestimmen, wird die endgültige Ausführung also noch gedrängter gebaut werden können. Der Eisenquerschnitt des bei der 90° -Schaltung verwandten Mantelkernes betrug 2,5 qcm, die Windungszahl primär 120, sekundär 340. Der Schleifdrahtwiderstand war 4Ω , der Vorwiderstand $80,7 \Omega$, der Parallelkondensator $1,7 \mu\text{F}$. Die Bürde für den Normalwandler betrug etwa $9 \text{ VA } \cos \beta = 0,7$. Bild 6 zeigt die Ansicht des Apparates. Der Deckel enthält die Anschlüsse für den Normalwandler und den Prüfling; für die Bürde, die nicht mit in den Kasten eingebaut ist, für das V.G., ferner eine Erdungsklemme. Der Strommesser in der Mitte zeigt bei Ausschlag falsche Polung an; darunter ist der Meßbereichstöpsel. Links und rechts die Drehknöpfe und Skalenausschnitte für Strom- und Winkelfehler.

Das Vibrations-Galvanometer.

Eine entscheidende Rolle für die Brauchbarkeit der Methode spielt das Nullinstrument. Am geeignetsten ist ein abstimmbares V.G., weil es die Oberwellen unberücksichtigt läßt. Für stationäre Messungen ist das Nadel-V.G. nach Schering und Schmidt ohne weiteres geeignet und die damit erzielbare Genauigkeit ausreichend. Das zeigt folgende Überlegung. Bei der Stromwandler-Prüfeinrichtung nach Schering und Alberti herrscht bei Nennstrom am Primärnormal, wenn es voll ausgenutzt ist, eine Spannung von 2 Volt und am Schleifdraht von 0,5 Volt, die für die Empfindlichkeit maßgebend ist. Die vergleichbare Spannung in der Differenzschaltung beträgt das Zehnfache, denn $100\% J_N$ würden am Diagonalwiderstand einen Spannungsabfall von 5 Volt verursachen. Für ambulante Messungen ist dieses V.G. dagegen nicht besonders zweckmäßig. Inzwischen ist in der Reichsanstalt das V.G. weiter entwickelt worden¹. Es ist gelungen, bei wesentlicher Verringerung der Baugröße die Empfindlichkeit etwa auf das 20fache zu steigern; die Fremdfeldbeeinflussung hat nicht zugenommen. Eine Sonderkonstruktion mit verkürztem Lichtweg kann mit Empfindlichkeitsregler und Umschalter in einen tragbaren Kasten mäßiger Größe eingebaut werden. Die Abstimmung erfolgt rein magnetisch durch Verstellen eines Knopfes. Die Ausführung ist so robust und erschütterungsunempfindlich, daß das Instrument den Transport wie jedes andere Betriebsinstrument ohne weiteres aushält.

Meßergebnisse.

Praktische Messungen mit der Apparatur bestätigten ihre Brauchbarkeit. Mit dem tragbaren V.G. gaben bei $\frac{1}{10} J_N$ ein Stromfehler von 0,01% einen Ausschlag von über 10 mm und ein Winkelfehler von 1 Minute einen Ausschlag von 35 mm. Die Empfindlichkeit ist also überreichlich und kann ohne weiteres um ein Mehrfaches herabgesetzt werden. Zweckmäßigerweise verringert man sie durch den Diagonalwiderstand r , was sich noch günstig auf die zusätzliche Bürdenverschiebung und die Belastung des Normalwandlers auswirkt. Eine Grenze wird der Herabsetzung der Meßspannung gezogen durch die Fremdfeldbeeinflussung. Um diesen Einfluß festzustellen, wurde der Apparat in die Mitte einer Spule von 65 cm Durchmesser gestellt, die ein Wechselfeld von 5 Gauß_{eff.} erzeugte. Das V.G. befand sich außerhalb des Feldeinflusses. Die Änderungen der Fehlerangaben gegenüber abgeschaltetem Spulenstrom betragen bei $\frac{1}{10} J_N$ in der ungünstigsten Lage von Spule zum Kasten etwa 3 Minuten und 0,16%, bei wachsendem Strom war der Einfluß entsprechend geringer. Dieser Fehler ist unerheblich, wenn man bedenkt, daß man an der Meßstelle mit einem solchen Feld, das ein 2000 Amp_{eff.} führender Leiter in 80 cm Abstand verursacht, nicht zu rechnen hat. Man kann also getrost durch eine Herabsetzung der Empfindlichkeit noch eine etwas größere Beeinflussung in Kauf nehmen. Es ist natürlich zweckmäßig, die ganze Apparatur immer so aufzustellen, daß Fremdfeldstörungen

¹ Eine Arbeit über das neue V.G. erscheint demnächst.

vermieden werden. Derartige Störungen erkennt man am Vorausschlag des V.G. Durch Messungen mit vertauschten Galvanometeranschlüssen läßt sich der Einfluß des Vorausschlages eliminieren. Ist der Vorausschlag des V.G. in erträglichen Grenzen, so sind Fehler durch magnetische Beeinflussung des Kastens nicht zu befürchten.

Nach den besprochenen Eigenschaften der Methode ist eine hohe Genauigkeit zu erwarten. Kontrollierende Vergleichsmessungen mit der Schering-Brücke ergaben für Wandler der Klasse 0,5 größte gegenseitige Differenzen von 0,03% und 0,7 Minuten, sofern die Korrekturen des Normalwandlers angebracht wurden. Der mittlere Fehler der einzelnen Beobachtung betrug bei 48 Messungen 0,01₁% und 0,3₂ Minuten. Geringe Frequenzänderungen von einigen Prozent sind ohne wesentlichen Einfluß auf das Meßergebnis. Für Betriebswandler der Klasse 1, die größere Fehler haben, kann man etwa mit maximalen Abweichungen doppelter Größe rechnen.

Zusammenfassung.

Die Meßergebnisse zeigen, daß das Verfahren durchaus den Erwartungen gerecht wird. Es ist hinsichtlich des Einflusses der Oberwellen prinzipiell einwandfrei, von großer Einfachheit und Genauigkeit. Die Prüfeinrichtung läßt sich preiswert herstellen, besitzt keine Zeigerinstrumente und benötigt nur eine Hilfsspannung von 6 Volt für die Beleuchtung des Vibrationsgalvanometers, die eine Batterie oder ein Klingeltransformator liefert. Die eingebauten Schaltungselemente sind für den vorliegenden Zweck von hinreichender Konstanz, auch stellen die neueren Normalwandler durchaus verlässliche und genaue Apparate dar, sodaß eine zeitliche Zuverlässigkeit der Einrichtung gegeben ist. Wegen all dieser Eigenschaften eignet sich die neue Prüfeinrichtung auch für genaue Messungen im Laboratorium und für elektrische Prüfämter. Die Methode nach Schering und Alberti hat nach wie vor als absolute Methode ihre besondere Bedeutung.

Zu einem vollständigen Meßwandlerprüfsatz gehört auch eine Einrichtung zum Messen von Spannungswandlern. Über eine solche nach ähnlichen Grundsätzen entwickelte Methode soll demnächst berichtet werden.