

LEHR- UND HANDBÜCHER
DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN

DIE MESSWANDLER

IHRE THEORIE UND PRAXIS

VON

DR. J. GOLDSTEIN, DIPL.-ING.

BERATENDER INGENIEUR, ZÜRICH

**ZWEITE, VERBESSERTE UND ERWEITERTE AUFLAGE
MIT 210 ABBILDUNGEN**

Springer Basel AG

ISBN 978-3-0348-4095-8 ISBN 978-3-0348-4170-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-0348-4170-2

Nachdruck verboten. Alle Rechte, insbesondere
das der *Übersetzung in fremde Sprachen und der Reproduktion*
auf photostatischem Wege oder durch Mikrofilm, vorbehalten
Copyright Springer Basel AG 1952
Ursprünglich erschienen bei Verlag Birkhäuser AG Basel 1952.
Softcover reprint of the hardcover 2rd edition 1952

INHALTSVERZEICHNIS

A. Stromwandler	1
I. Theoretische Unterlagen	1
1. Die Wirkungsweise	1
2. Das Diagramm	2
3. Die Anforderungen an Stromwandler	3
4. Die Gleichungen für Stromfehler und Fehlwinkel	5
5. Die Umkehrung der Fehlergleichungen	8
6. Der Eisenkern	9
7. Die Streuung und die Anordnung der Wicklung	22
8. Die Messung der Streuung	33
9. Die Amperewindungszahl	41
10. Die Mittel zur Verbesserung der Fehler	43
11. Ersatzschaltung, Kennlinien des Stromwandlers und Belastungsfragen	48
12. „Kunstschaltungen“	56
13. Vormagnetisierte Stromwandler	64
II. Die verschiedenen Stromwandlerausführungen	85
1. Allgemeines	85
2. Wicklungsstromwandler	85
3. Schleifenstromwandler	96
4. Kaskadenstromwandler	102
5. Einleiterstromwandler	103
III. Wichtige charakteristische Größen und Zustände beim Stromwandler	112
1. Dynamische Kurzschlußsicherheit	112
2. Thermische Kurzschlußsicherheit	115
3. Wanderwellenschutz	117
4. Frequenz und Kurvenform. Stromwandler bei geöffnetem Sekundärkreis	126
5. Kombinationsstromwandler. Umschaltbare Stromwandler. Windungs- abgleichung	129
IV. Besondere Arbeitsgebiete bei Stromwandlern	131
1. Fehler bei hohen Strömen. „Überstromziffer“	131
2. Fehler bei geringen Strömen und großer Netzphasenverschiebung	137
3. Summenschaltung von Stromwandlern	143
4. Stromwandler für Schutzzwecke und Schutzschaltungen	145
V. Gleichstrom-Meßwandler	148
B. Spannungswandler	150
I. Theoretische Unterlagen	150
1. Allgemeines	150
2. Das Diagramm und die Gleichungen für Fehlwinkel und Spannungsfehler	152
3. Fehlerklassen. Vorausberechnung der Fehler eines Spannungswandlers	156
4. Wandler mit und ohne magnetischen Eisen-Rückschluß. Erdschluß- Schutzwandler	164

II. Verschiedene Spannungswandler-Ausführungen	168
1. Trockenspannungswandler	169
2. Kaskaden-Spannungswandler	172
3. Isoliermantelwandler	176
4. Meßdrosselpulen, Kapazitive Meßeinrichtungen	180
III. Meßtechnisches und Betriebssicherheit	187
1. Messungen mit Spannungswandlern, Leistungsmessung	187
2. Prüfung von Spannungswandlern und Betriebssicherheit	190
C. Meßwandleruntersuchungen und wichtige Meßgeräte	193
I. Materialuntersuchung	193
II. Röhrenvoltmeter.	194
III. Brückenschaltungen	196
Tabelle der Maßeinheiten	208
Literaturverzeichnis	209

VORWORT ZUR ERSTEN AUFLAGE

Die deutsche Fachliteratur über Meßwandler ist sehr dürftig. Die Lehrbücher über Transformatoren behandeln die Meßwandler überhaupt nicht oder tun dies ganz stiefmütterlich. Insbesondere gilt letzteres für Stromwandler. Der Grund dafür liegt nicht in der geringen Bedeutung, die den Meßwandlern in der Elektrizitätswirtschaft zukommt, sondern in der Eigenart der hier auftretenden Fragen, die etwas abseits der sonst im Transformatorenbau zu behandelnden Fragen liegen. Die Lehrbücher über Meßtechnik befassen sich schon mehr mit den Meßwandlern. Mit wenigen Ausnahmen werden aber hier die Eigenschaften der Wandler als fertige Tatsachen hingenommen. Die Fäden, die von hier zum Entwurf und Berechnung des Wandlers führen, werden in den meßtechnischen Abhandlungen nicht aufgedeckt. Es liegen einige Spezialarbeiten vor, die der Leser ohne Mühe im Verzeichnis der Arbeiten über Meßwandler finden wird, die einen Versuch darstellen, eine wissenschaftliche Grundlage für die Eigenschaften der Wandler zu entwickeln. Soweit der Verfasser in seiner langjährigen Praxis auf diesem Gebiet beobachten konnte, haben die in den Spezialarbeiten angegebenen Methoden für die Berechnung der Wandler in Kreisen der Meßwandlerfachleute wenig Anklang gefunden. Dies ist wohl auf die wenig zugängliche Darstellung, die Spezialarbeiten in der Regel haben, zurückzuführen. Eine ältere Arbeit vom Jahre 1909, „Untersuchungen an Meßtransformatoren“ von Dr.-Ing. GEORG KEINATH, soll als wertvoller Beitrag auf diesem Gebiet hier besonders erwähnt werden.

Ich habe versucht, die Theorie der Meßwandler auf eine geringe Anzahl physikalischer Tatsachen zu stützen. Es werden die heute im Transformatorenbau üblichen Betrachtungsmethoden sinngemäß auf den Wandlerbau übertragen. Das Buch ist nicht bloß für Fachkreise, die mit dem Entwurf und der Berechnung der Wandler sich befassen, bestimmt. Vielmehr soll es ein Nachschlagebuch sein für Betriebsleiter, Meßtechniker und Laboratoriumsingenieure, die in der Praxis mit Wandlern zu tun haben. Aus diesem Grunde sind auch die praktischen Fragen im Hinblick auf die Anwendungsgebiete der Wandler eingehend erörtert. Soweit die Wandlerfrage in das Gebiet der Meßtechnik hineinspielt, werden die wichtigsten hierzu gehörenden Punkte behandelt. Die Leistungsmessung über Wandler bzw. die Zählung elektrischer Energie ist für jedes Elektrizitätswerk von größter Wichtigkeit.

Das Interesse für Wandler hat auch von einer anderen Seite her zugenommen. Der Übergang zu immer höheren Leistungen und Spannungen, wie auch der Zusammenschluß der Netze, hat die Frage der Sicherheit des Strombezuges in den Vordergrund gerückt. Die neueren Schutzsysteme, wie Distanzschutz, Erdschlußschutz, hochempfindlicher Differentialschutz, sind wattmetrischer Art, und die entsprechenden Relais werden über Strom- und Spannungswandler angeschlossen. Es werden die Eigenschaften der Wandler von diesem Standpunkt untersucht und die Anforderungen an die Wandler formuliert.

Den Bedürfnissen der Elektrizitätswerke folgend, haben die meisten Firmen neue Bauarten von Stromwandlern entwickelt. Ich habe die Untersuchung angestellt, inwiefern diese neuen Formen auf das magnetische Verhalten der Wandler zurückwirken und welche Momente besonders zu beachten sind, damit diesen Stromwandlern die Eigenschaften der Präzision der alten Topfwandler erhalten bleiben.

Was die Untersuchungs- und Prüfungsmethoden der Wandler betrifft, so habe ich die Methoden, die dem heutigen Stand der Meßtechnik auf diesem Gebiet entsprechen, kurz auseinandergesetzt.

Wenn es mir gelungen ist, das ganze Material über Meßwandler zusammengefaßt und den Berufskollegen ein Mittel zur Lösung der in der Praxis an sie herantretenden Fragen über Meßwandler in die Hand gegeben zu haben, so wird das Ziel dieser Arbeit erreicht sein. Daß fast ausschließlich AEG-Material zur Darstellung gelangt ist, ist infolge meiner Stellung begreiflich. Die Leser werden darin keine Bevorzugung erblicken können, da ich stets bemüht war, die Objektivität zu wahren.

Den Herren Direktor Dr. STERN und Chefelektriker BIERMANN, die mir die langjährige Erfahrung der Transformatorenfabrik der AEG auf diesem Gebiete zugute kommen ließen, möchte ich auch an dieser Stelle meinen herzlichen Dank aussprechen.

Ich verdanke ferner den Firmen Siemens & Halske und Koch & Sterzel die freundliche Überlassung von Druckstöcken.

Berlin, Januar 1928.

J. GOLDSTEIN

VORWORT ZUR ZWEITEN AUFLAGE

Mehr als 20 Jahre sind nach dem Erscheinen der ersten Auflage vergangen. Der Verfasser hat während seiner langjährigen Praxis auf dem Meßwandlergebiet feststellen können, daß die erste Auflage ihren im Vorwort beschriebenen Zweck erfüllt hat.

Kurz nach dem Erscheinen des Buches im Verlage Julius Springer, Berlin, ist eine Übersetzung ins Russische vom Staatsverlag (Gostechisdat) in Moskau in einer Auflage von 5100 Exemplaren herausgegeben worden. Bei einem Besuch der großen russischen Transformatorenwerke im Auftrage der AEG in den Jahren 1930—31 wurde ich gefragt, ob der Verfasser des in russischer Sprache erschienenen Buches über Meßwandler mit mir verwandt sei. Nach einer Einsichtnahme in das mir vorgelegte Buch mußte ich zur Antwort geben, daß der Verfasser mir sehr nahesteht und daß ich es selbst bin. Ich hatte die Genugtuung zu erfahren, daß ein großer Leserkreis von meinem Buch Gebrauch machen kann.

Die deutschsprachige Literatur hat sich seit 1928 auf diesem Gebiete nicht stark vermehrt, und immer mehr dokumentierte sich das Bedürfnis nach einer neuen Auflage. Daß die zweite Auflage erst jetzt erscheint, ist auf den Krieg und die Ungunst der abgelaufenen Epoche zurückzuführen.

In der neuen Auflage wurden viele Kapitel geändert und dem neuesten Stand der Technik auf diesem Gebiete angepaßt. Erfahrungen weiterer 20 Jahre (1928–1948) meiner Praxis auf dem Meßwandlergebiet wurden zur Kontrolle der Darstellungen der ersten Auflage herangezogen. Einige Kapitel mußten neu bearbeitet werden. Die neue Auflage wurde durch die Behandlung der vormagnetisierten Stromwandler ergänzt. Die meßtechnischen Probleme wurden durch die Erfahrungen der letzten Zeit richtiggestellt. Die Darstellung der Transformatoren-Diagramme in der alten Auflage ist heute nicht mehr als stichhaltig anzusehen, und die meisten modernen Lehrbücher der Elektrotechnik haben eine physikalisch richtige Darstellung gewählt. Ich habe dieser Erkenntnis Rechnung getragen und in der neuen Auflage die Stromwandlerdiagramme berichtigt.

Die theoretischen Unterlagen sind durch eine Darstellung der Ergebnisse einiger wichtiger amerikanischen Arbeiten ergänzt worden. Es war dem Verfasser eine Genugtuung festzustellen, daß im wesentlichen eine Übereinstimmung in den Auffassungen besteht. Es muß aber zugegeben werden, daß die Forscher auf diesem Gebiete in den USA auch andere Lösungen als wir in Europa ausfindig gemacht haben.

Ein großer Teil der zur Veranschaulichung gewählten Wandlerausführungen sind aus naheliegenden Gründen Erzeugnisse der schweizerischen Elektroindustrie. Den Firmen, die mich mit Unterlagen unterstützt haben, möchte ich hier meinen Dank aussprechen. Insbesondere gilt mein Dank der Firma Moser-Glaser & Co., A.G., die mir die Ausführung vieler Versuche ermöglicht hat. Während einer 15jährigen beratenden Tätigkeit bei dieser Firma war ich in der Lage, die Behandlung der aktuellen Probleme auf dem Meßwandlergebiet zu fördern.

Mit meinem früheren langjährigen Mitarbeiter bei der AEG, Herrn Dr. G. M. STEIN, jetzt bei der Westinghouse Electr. Co. in Sharon (Pa.), habe ich die Forschungsarbeit auf dem Gebiet der vormagnetisierten Stromwandler während der Zeit 1933–1940 fortgesetzt und der im Text angedeutete Abschnitt kann als Produkt unserer Zusammenarbeit betrachtet werden. Ich spreche ihm auch an dieser Stelle für seine Mitarbeit meinen Dank aus. Der Kontakt mit Herrn Dr. WILLHEIM, der wiederholt wegen Abklärung verschiedener Fragen, die Meßwandlerprobleme tangieren, stattgefunden hat, darf nicht unerwähnt bleiben. Ich bin ihm für die Unterstützung, die er meiner Arbeit angedeihen ließ, zu Dank verpflichtet.

Im Literaturverzeichnis finden die Leser neben den von mir im Text erwähnten Quellen auch weitere Arbeiten auf dem Meßwandlergebiet thematisch geordnet.

Meinem Sohn Dr. sc. techn. A. GOLDSTEIN danke ich an dieser Stelle für die Bereinigung des Textes und das Lesen der Korrekturen.

Ich danke auch dem Verlag Birkhäuser A.G., Basel, für die technische Ausstattung der Abbildungen und die sorgfältige Ausführung des Buches.

Zürich, April 1951.

J. GOLDSTEIN