

Messungen an elektrischen Maschinen

Apparate, Instrumente, Methoden, Schaltungen

von

Rudolf Krause

Vierte, gänzlich umgearbeitete Auflage

von

Georg Jahn

Ingenieur

Mit 256 Textfiguren und einer Tafel



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1920

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>

ISBN 978-3-662-23294-1 ISBN 978-3-662-25327-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-25327-4

Copyright 1920 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1920.
Softcover reprint of the hardcover 4th edition 1920

Vorwort zur dritten Auflage.

Auch bei dieser dritten Auflage der „Messungen an elektrischen Maschinen“ war der Grundgedanke, Studierenden im Laboratorium und jüngeren Ingenieuren ein Hilfsmittel für die Schaltungen und Messungen auf dem Prüffeld und bei Abnahmeversuchen zu geben. Es konnten deshalb die Grundgesetze und Erzeugungsarten des elektrischen Stromes als bekannt vorausgesetzt werden und es wurde, um den Umfang des Buches handlich zu erhalten, nur das zum Verständnis der Meßmethoden unbedingt Notwendige über die Vorgänge in elektrischen Maschinen und ihre Wirkungsweise gesagt.

Eine durchgreifende Umarbeitung erfuhr der erste Abschnitt, weil sich inzwischen wesentliche Verbesserungen und Neukonstruktionen auf dem Gebiet der elektrischen Meßinstrumente ereignet haben. Es sei auch hier den Firmen, die dem Verfasser Unterlagen über ihre Instrumente gaben und Druckstöcke für Abbildungen hergeliehen haben, bestens gedankt.

In den übrigen Abschnitten sind weniger Änderungen nötig gewesen, denn die meisten Meßmethoden sind heute so gut durchgebildet, daß sie wie z. B. die Leerlaufarbeiten, kaum noch Verbesserungen erfordern. Andere Messungen wieder, wie die zur Bestimmung des Wirkungsgrades und der Belastungsfähigkeit, bleiben im Prinzip immer dieselben, es ändern sich höchstens die Apparate zur Aufnahme und da sind namentlich die Wirbelstrombremsen noch verbessert, die heute auch für Maschinen bis zu 30 PS anwendbar sind. Der Abschnitt über die Aufnahme von periodischen Vorgängen ist erweitert durch Einfügung des Oszillographen. Eine erschöpfende Behandlung sämtlicher Maschinenmessungen sollte allerdings das kleine Buch nicht geben,

wohl aber nach Möglichkeit mehrere Methoden für ein- und denselben Endzweck, damit man bei vorkommenden Fällen Auswahl hat und die Methode nach der Art der Maschine wählen kann.

Eine Erweiterung erfuhr auch die Zahl der Abbildungen, die von 178 in der zweiten Auflage auf 207 in der dritten Auflage zugenommen hat.

Hellerau bei Dresden, Januar 1916.

Rudolf Krause.

Vorwort zur vierten Auflage.

Bei der Neuausgabe des vorliegenden Buches behielt ich den Grundgedanken bei, der den verstorbenen Verfasser ehemals geleitet hatte (s. Vorwort zur dritten Auflage). Ich war mir der schwierigen Aufgabe, das so große Gebiet auf beschränktem, vorgeschriebenem Umfange behandeln zu müssen, wohl bewußt. Die Abschnitte des Werkchens wurden fast durchgehends umgearbeitet, insbesondere legte ich dabei Wert auch auf eine übersichtliche Einteilung des Stoffes.

Bezüglich einiger Abschnitte möchte ich noch das Folgende erwähnen. Den Teil „Elektrische Meßinstrumente“ gedachte ich ursprünglich wegzulassen, behielt ihn aber mit Rücksicht darauf, daß das Buch in erster Linie für Studierende und jüngere Ingenieure bestimmt ist. Gerade für letztere dürfte es erwünscht sein in einer Einführung in die Prüffeldtechnik nicht nur die Messungen, sondern auch die zu der Ausführung derselben verwendeten Hilfsmittel, Instrumente usw. behandelt zu finden.

An die Stelle des 7. Abschnittes der dritten Auflage sind in vollkommen neuer Gestalt die Abschnitte 7÷13 getreten, welche nunmehr in breiterer Form die Messungen an elektrischen Maschinen selbst erläutern. Von der Behandlung einiger Maschinen-

gattungen (Wechselstromkommutatormotoren usw.) mußte mit Rücksicht auf den begrenzten Umfang des Buches abgesehen werden. Aus dem gleichen Grunde konnte zu meinem Bedauern ein Kapitel über Transformatoren nicht eingefügt werden. Nötig erschien es mir, einen Abschnitt über Einankerumformer zu bringen, da gerade diese von den mittleren technischen Lehranstalten etwas stiefmütterlich behandelt werden, sowie einen Abriß über Theorie und experimentelle Untersuchung der Kommutierung von Gleichstrommaschinen. Im Vergleich mit der früheren Auflage ist ferner das Kreisdiagramm des Drehstrommotors nach Heyland durch das Ossannadiagramm ersetzt, das in der angegebenen, in der Praxis viel gebräuchlichen Form den Vorzug großer Einfachheit hat.

Für die freundliche Überlassung von Druckstöcken möchte ich den Firmen an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Berlin, Januar 1920.

Georg Jahn.

Inhalt.

Einleitung	Seite 1
----------------------	------------

Erster Abschnitt.

Elektrische Meßinstrumente.

Allgemeine Angaben	2
Einteilung	2
Mechanische Eigenschaften	3
Ablesung des Winkelausschlages	4
Dämpfung	4
Beeinflussung der Angaben eines Instrumentes	5
Strom- und Spannungsmessung	6
Strommessung	6
Spannungsmessung	6
Erweiterung des Meßbereiches	7
Bei Strommessern	7
Bei Spannungsmessern	9
Ausführungen von Meß- und Vorschaltwiderständen	10
Meßwiderstände	10
Vorschaltwiderstände	13
Meßtransformatoren: Allgemeines, Schaltregeln, Ausführungen	13, 16, 17
Berechnung der Instrumentkonstanten	18
Eichung von Ampere-, Volt- und Wattmetern	19
Elektromagnetische Drehspulinstrumente	21
Allgemeines	21
Ausführungen	24
Vorzüge und Nachteile	27
Elektromagnetische Instrumente mit Weicheisenkern	27
Allgemeines	27
Ausführungen	28
Vorzüge und Nachteile	29
Elektrodynamische Instrumente	31
Allgemeines	31
Eisenlose und eisengeschlossene Elektrodynamometer	35
Ausführungen	37
Innere Schaltung der Instrumente	43
Direkt zeigende Phasenmesser	44

	Seite
Hitzdrahtinstrumente	46
Allgemeines	46
Ausführungen	47
Vorzüge und Nachteile	49
Ferrarisinstrumente	50
Allgemeines	50
Ausführungen	52
Vorzüge und Nachteile	54
Elektrostatische Instrumente	54
Allgemeines	54
Erweiterung des Meßbereiches	55
Ausführungen	56
Vorzüge und Nachteile	59

Zweiter Abschnitt.

Messung der elektrischen Leistung.

Bei Gleichstrom	60
Bei Wechselstrom	60
Allgemeines	60
Arnometer	60
Schaltung der Wattmeter	60
Innere Schaltung	61
Schaltregeln	62
Vermeidung von Fehlerquellen	63
Korrekturen bei Messung kleiner Leistungen	64
Messung der Leistung von Mehrphasensystemen	66
Sternschaltung und Dreieckschaltung	67, 68
Leistungsmessung in Dreiphasensystemen mit zwei Wattmetern	68
Beliebige Belastung der Phasen in Stern- und Dreieckschaltung	68
Ausführung der Zweiwattmetermethode mit einem Wattmeter und Umschalter	70
Gleiche Belastung der drei Phasen	70
Bestimmung des Leistungsfaktors	74
Bestimmung des Leistungsfaktors durch Zweiwattmetermessungen	74

Dritter Abschnitt.

Widerstandsbestimmung, Messung von Leitfähigkeiten und Temperaturkoeffizienten.

Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung	76
Widerstandsbestimmung durch Vertauschung	77
Nullmethoden zur Widerstandsbestimmung	80
Wheatstonisches Viereck (Allgemeines, Ausführungen usw.)	80
Brückenmessung nach Hockin und Matthiessen (Allgemeines usw.)	82
Doppelbrücke von Thomson (Allgemeines, Ausführungen usw.)	83
Bestimmung der Leitfähigkeit	86
Bestimmung des Temperaturkoeffizienten	87

Vierter Abschnitt.

**Widerstandsmessungen an elektrischen Maschinen.
Prüfung der Isolierung.**

	Seite
Messung von Magnetwiderständen	88
Bei Stillstand der Maschinen.	88
Während des Betriebes	89
Messung von Ankerwiderständen.	91
Bei Gleichstrommaschinen. Allgemeines	91
Wicklungen ohne Äquipotentialverbindungen	93
Wicklungen mit Äquipotentialverbindungen	98
Bei Synchronmaschinen	101
Bei Asynchronmotoren	102
Messung des Bürstenübergangs-, Bürsten- und Gesamtankerwiderstandes	103
Der Bürstenübergangswiderstand	103
Der Bürstenwiderstand	104
Der Gesamtankerwiderstand	104
Prüfung der Isolierung	104
Allgemeines	104
Prüfung fertiger Maschinen	105
Prüfung einzelner Teile	106

Fünfter Abschnitt.

Messung von Umlaufs-, Wellen-, Wechsel- und Schlupfzahlen.

Bestimmung der Umlaufzahl	110
Umlaufzähler, Tachometer, Ferntachometer.	110
Stroboskopische Zählung der Umläufe	111
Bestimmung der Wechsel- und Wellenzahl von Wechselströmen	112
Allgemeines	112
Frequenzmesser (Systeme Kempf und Frahm)	113
Voltmeter als Frequenzmesser	114
Messung der Schlüpfung asynchroner Drehfeldmotoren	115
Allgemeines	115
Verschiedene Methoden zur Schlupfbestimmung	116

Sechster Abschnitt.

Magnetische Messungen. Bestimmung des Streuungskoeffizienten und der Feldverteilung, sowie der Wellenform von Wechselströmen.

Streuung und Streuungskoeffizienten	119
Allgemeines Regeln für die Messung	119
Ballistische Methode	122
Methode von Goldschmidt.	124
Prüfpule von Veprek.	125

	Seite
Bestimmung des Streuungskoeffizienten bei Asynchronmotoren . . .	126
Allgemeines	126
Bestimmung durch Messung des Übersetzungsverhältnisses . . .	126
Bestimmung aus Leerlauf- und Kurzschlußstrom	127
Feldverteilung unter den Polen	128
Allgemeines	128
Aufnahme mittels Wismutspirale	129
Aufnahme mittels schmaler Prüfspule	132
Aufnahme mittels rotierender Prüfspule	133
Aufnahme durch Messung der Spannung zwischen den Kommu- tatorlamellen	134
Ermittlung aus der Potentialkurve des Kommutators	137
Bestimmung der Wellenform von Wechselströmen	137
Allgemeines	137
Analyse von Kurven	138
Apparate zur Kurvenaufnahme	139
Joubertsche Scheibe	139
Aufnahme von Strom- und Spannungskurven	140
Apparat von R. Franke	141
Oszillograph	142
Weitere Methoden	144
Berechnung des Form- und Scheitelfaktors	144

Siebenter Abschnitt.

**Belastungsarten und Parallelschalten elektrischer
Maschinen.**

Belastungsarten	147
Allgemeines	147
Belastung von Generatoren	147
Belastung von Motoren	147
Widerstandsbelastung	148
Glimmlampenwiderstände	148
Metallwiderstände	149
Wasserwiderstände	150
Belastung von Synchronmaschinen	151
Parallelschaltung von Gleichstrommaschinen	151
Parallelschaltung von Synchronmaschinen	152
Allgemeines	152
Parallelschaltung	152
Hilfsmittel zum Parallelschalten	154
Parallelbetrieb von Synchronmaschinen	155
Anwendung des Energiekreislaufes zur Belastung von Maschinen. Ermittlung des Wirkungsgrades	158
Allgemeines	158
Gleichstrommaschinen	159
Synchronmaschinen	161

Achter Abschnitt.

Aufnahme charakteristischer Kurven.

	Seite
Gleichstromgeneratoren	163
Allgemeines (Einstellung der neutralen Zone usw.)	163
Leerlaufscharakteristik	164
Magnetisierungskurve	166
Kurzschlußcharakteristik	166
Belastungscharakteristik	167
Äußere Charakteristik	169
Spannungsänderung	174
Regulierungskurve	175
Bestimmung der Serienwicklung	175
Gleichstrommotoren	176
Allgemeines	176
Drehzahlcharakteristiken	176
Synchrongeneratoren	180
Leerlaufs- und Kurzschlußcharakteristik	180, 181
Belastungscharakteristik	182
Äußere Charakteristik	183
Spannungsänderung	184
Regulierungskurve	185
Synchronmotoren	185
V-Kurven	186
Asynchronmotoren	186
Leerlaufscharakteristiken	187
Kurzschlußcharakteristiken	189
Belastungscharakteristiken	189
Bestimmung von Anzugsmomenten	190
Allgemeines	190
Schaltungen zur Aufnahme von Anzugsmomenten	191
Größe des Anlaufstromes	192

Neunter Abschnitt.

Bestimmung des Wirkungsgrades, Messung und Trennung
der Verluste elektrischer Maschinen.

Verluste in elektrischen Maschinen	192
Methoden zur Bestimmung des Wirkungsgrades	194
Allgemeines	194
Die direkte elektrische Methode	196
Die direkte mechanische Methode (Bremsmethode)	197
Die indirekte mechanische Methode	203
Die Leerlaufs- und Trennungsmethode	204
Die Hilfsmotormethode	208
Beispiele zur Wirkungsgradbestimmung	210
Bestimmung des Wirkungsgrades nach der Bremsmethode	210
Vollständige Untersuchung eines Maschinenaggregates (zwecks Vergleich verschiedener Methoden)	210

	Seite
Bestimmung des Wirkungsgrades eines Asynchronmotors nach der Leerlaufmethode	218
Weitere Beispiele	219
Trennung der Verluste bei Gleichstrommaschinen	219
Allgemeines	219
Auslaufmethode	220
Anwendung der Auslaufmethode auf kleine Maschinen	223
Trennungsmethode	226
Hilfsmotormethode	227
Trennung der Verluste bei Synchronmaschinen und Asynchronmotoren	227

Zehnter Abschnitt.

Indirekte Methoden zur Bestimmung der Belastungsfähigkeit elektrischer Maschinen.

Analytisch-graphische Bestimmung der Spannungsänderung bei Synchrongeneratoren	229
Allgemeines	229
Vektordiagramme	230
Gleichungen zur Bestimmung der Erregerstromstärke	237
Beispiel	237
Das Kreisdiagramm des Drehstrommotors.	240
Allgemeines	240
Aufzeichnung des Kreises	241
Anwendung des Kreisdiagramms	243
Der Asynchronmotor als Generator	246
Maximale Punkte im Diagramm	247
Beispiel	247

Elfter Abschnitt.

Messungen an Einankerumformern.

Übersetzungsverhältnis	249
Anlassen	251
Gleichstromseitiges Anlassen	251
Anlassen mittels Anwurfmotors	251
Asynchrones Anlassen	252
Spannungsregulierung	254
Mit Zusatzmaschinen	255
Mit Drehtransformator.	255
Mit Drosselspulen	257
Messungen an Einankerumformern	258
Bestimmung des Wirkungsgrades.	259
Beispiel	261

Zwölfter Abschnitt.

Bestimmung der Temperaturerhöhung von Maschinen.

	Seite
Allgemeines	262
Temperaturzunahme von Wicklungen	263
Rechnerische Ermittlung der Temperaturzunahme großer Maschinen	266
Bestimmung der Temperaturzunahme aus Leerlaufs- und Kurzschluß-	
versuch	267
Bei Synchronmaschinen	267
Bei Asynchronmotoren	267
Methode von Goldschmidt	267

Dreizehnter Abschnitt.

Experimentelle Untersuchung der Kommutierung von Gleichstrommaschinen.

Allgemeine Angaben	269
Beziehungen	270.
Der Kommutierungsvorgang	271
Aufstellung der Gleichungen	272
Aufnahme von Bürstenpotentialkurven	275
Beurteilung der Kommutierung	276
Allgemeines	276
Kommutierung bei wendepollosen Maschinen	278
Kommutierung bei Wendepolmaschinen	278

Vierzehnter Abschnitt.

Schlußbemerkungen: Vornahme von Messungen und Protokollführung.

Vornahme von Messungen	279
Protokollführung	279

