

WICKLUNGEN
ELEKTRISCHER MASCHINEN
UND IHRE HERSTELLUNG

VON

DR.-ING. F. HEILES

MIT 221 TEXTABBILDUNGEN



BERLIN
VERLAG VON JULIUS SPRINGER
1936

ISBN 978-3-642-52540-7 ISBN 978-3-642-52594-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-52594-0

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN.

COPYRIGHT 1936 BY JULIUS SPRINGER IN BERLIN.
SOFTCOVER REPRINT OF THE HARDCOVER 1ST EDITION 1936

Vorwort.

Das Buch ist in erster Linie bestimmt für die große Gruppe von Elektrotechnikern, welche die Wicklungen elektrischer Maschinen im wesentlichen von der praktischen Seite her kennen müssen. Dazu gehören z. B. der Gestaltungs- und Fertigungsingenieur sowie der Wickelmeister und bis zu einem gewissen Grade auch der Wickler selbst.

Für diesen Zweck ist die Darstellung möglichst einfach gehalten: auf tiefere theoretische Zusammenhänge (Spannungstern, Spannungsvieleck, Wicklungsfaktor) konnte nicht eingegangen werden. Daraus ergibt sich von selbst, daß Ausgleichsverbindungen, Gesetze der Parallelschaltung und Bruchlochwicklungen nur in ihren Grundzügen behandelt werden konnten.

Bei der Auswahl des Stoffes sind alle Wicklungen ausgeschieden, die nicht allgemein in der Praxis Verwendung finden. Ringwicklungen sind nicht erwähnt; sie gehören der Vergangenheit an und sind auch kein notwendiges Zwischenglied, um die Trommelwicklungen zu verstehen. Bei der Polumschaltung wurde nur die Schaltung von Dahlander und Lindström (für Umschaltung im Verhältnis 1 : 2) behandelt, der bei weitem die größte praktische Bedeutung zukommt.

Ein verhältnismäßig breiter Raum ist der praktischen Herstellung der Wicklungen, ihrer Isolierung, Befestigung und Prüfung sowie einer Beschreibung der hierbei verwendeten Einrichtungen und Werkstoffe eingeräumt. Dabei sind auch Besonderheiten in der Herstellung kleiner Anker behandelt, die heute in vielen kleineren Werkstätten hergestellt werden, in denen der Wickelmeister häufig auf sich selbst angewiesen ist. Für Instandsetzungswerkstätten ist ein Anhang über Umschalten und Umwickeln beigelegt.

Die Wicklungen bilden ein besonders sprödes Wissensgebiet; das erste Einarbeiten in dieses Gebiet sollte immer im Zusammenhang mit der Praxis erfolgen. Für den zukünftigen Ingenieur bietet sich diese Gelegenheit während seiner praktischen Tätigkeit vor dem Studium. Hierbei wird ihm die Benutzung des Buches die Arbeit erleichtern. Auch für das eigentliche Studium wird der behandelte Stoff im allgemeinen ausreichen, sofern es sich um Studierende der Höheren Technischen Staatslehranstalten für Elektrotechnik und ähnlicher Anstalten

handelt. Für Studierende der Technischen Hochschulen stehen zur weiteren Vertiefung die im gleichen Verlag erschienenen „Ankerwicklungen“ von Richter zur Verfügung.

Zu großem Dank verpflichtet bin ich den Herren Dr. Bödefeld, München, und Sieber und Vilsmeier, Aachen, die mir wertvolle Ratschläge gegeben, die Urschrift durchgesehen und mich auch beim Lesen der Korrekturen unterstützt haben. Ferner danke ich den Firmen, die mir in entgegenkommender Weise Bilder und sonstige Unterlagen zur Verfügung gestellt haben. Ein Verzeichnis dieser Firmen befindet sich am Schluß des Buches.

Magdeburg, Juni 1936.

F. Heiles.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung:	Seite
Die elektrischen Maschinen	1
A. Allgemeines	1
B. Die Gleichstrommaschine	5
C. Der Einankerumformer	9
D. Die Synchronmaschine	10
E. Die Asynchronmaschine (Induktionsmaschine)	14
F. Die Wechselstrom-Stromwendermaschinen	16
Erster Teil.	
I. Stromwenderwicklungen	18
A. Allgemeines	18
B. Anordnung der Spulenseiten in der Nut	18
C. Schaltpläne, Wicklungsarten	20
1. Schleifenwicklung	21
2. Wellenwicklung	22
D. Darstellung und Entwurf der Wicklungen	23
1. Eingängige Schleifenwicklung (Parallelwicklung)	23
2. Eingängige Wellenwicklung (Reihenwicklung)	27
3. Zweigängige Schleifenwicklung	31
4. Zwei- und mehrgängige Wellenwicklung (Reihenparallelwicklung)	32
5. Unsymmetrische Wellenwicklungen	35
a) Wellenwicklung mit blinden Spulen	35
b) Künstlich geschlossene Wellenwicklung	37
6. Grundsätzliches über die Anwendung von Schleifen- und Wellenwicklungen	38
7. Ausgleichsverbindungen	40
E. Wicklungen für Einankerumformer und Dreileitermaschinen	44
F. Herstellung der Stromwenderwicklungen	46
1. Drahtwicklungen	46
2. Formspulenwicklungen	47
3. Stabwicklungen	52
4. Verbindung der Wicklung mit dem Stromwender	56
5. Herstellung der Ausgleichsverbindungen	58
6. Herstellung kleiner Anker	60
7. Wickelmaschinen für kleine Anker	66
II. Gleichstrom-Feldwicklungen	69
A. Feldwicklungen für Gleichstrommaschinen und Einankerumformer	69
B. Feldwicklungen für Schenkelpol-Synchronmaschinen	72
C. Feldwicklungen für Turbomaschinen	74

	Seite
III. Hilfswicklungen	75
A. Wendepolwicklungen	75
B. Kompensationswicklungen	76
C. Käfigwicklungen als Dämpfer- und Anlaufwicklungen	78
Zweiter Teil.	
IV. Einphasige Wechselstrom-Ständerwicklungen	80
A. Allgemeines	80
B. Einschichtwicklungen	80
C. Zweischichtwicklungen	86
D. Bruchlochwicklungen	88
V. Zweiphasige Wechselstrom-Ständerwicklungen	89
VI. Dreiphasige Wechselstrom-Ständerwicklungen	92
A. Allgemeines	92
B. Einschichtwicklungen	92
1. Wicklungen mit Spulen verschiedener Weite	94
a) Drei-Etagen-Wicklungen	94
b) Zwei-Etagen-Wicklungen	96
2. Wicklungen mit Spulen gleicher Weite	101
C. Zweischichtwicklungen	101
D. Bruchlochwicklungen	108
E. Schaltung der Spulen und Stränge	112
F. Wicklungen für Polumschaltung	115
G. Maßnahmen zur Unterdrückung zusätzlicher Stromwärmeverluste	120
H. Herstellung der Wechselstrom-Ständerwicklungen	122
1. Drahtwicklung	122
2. Eingeträufelte Wicklung	122
3. Eingefädelte Wicklung	126
4. Wicklungen mit Formspulen	127
5. Wicklungen mit Halbformspulen	131
6. Stabwicklungen	133
VII. Mehrphasige Läuferwicklungen	135
A. Drahtwicklungen	135
B. Stabwicklungen	136
C. Käfigwicklungen	138
Dritter Teil.	
VIII. Isolierung der Wicklungen	140
A. Isolierstoffe	140
1. Allgemeines	140
2. Glimmer und Glimmererzeugnisse	141
3. Asbest	144
4. Zellstofferzeugnisse	144
5. Faserstofferzeugnisse	145
6. Isolierlacke	145
7. Füllmassen (Kompondmassen)	145
B. Isolation der Drähte und Stäbe	145
C. Isolation von Feldspulen	149
D. Isolation von in Nuten liegenden Wicklungsteilen	150
1. Stromwenderwicklungen	150
a) Drahtwicklung	150
b) Stabwicklung	152

	Seite
2. Wechselstrom-Ständerwicklungen	153
a) Drahtwicklung	153
b) Stabwicklung	155
3. Läuferwicklungen von Asynchronmaschinen	155
E. Isolation der Wicklungsköpfe	155
F. Herstellung von Spulen mit Füllmasse (kompoundierten Spulen).	157
G. Trocknen und Lackieren der Wicklungen	159
IX. Sichern der Wicklungen gegen mechanische Kräfte	160
A. Sichern gegen Kurzschlußkräfte	160
B. Sichern gegen Fliehkräfte	161
X. Prüfen der Wicklungen	164
A. Prüfung der fertigen neuen Wicklungen	164
1. Wicklungsprobe	164
2. Sprungwellenprobe	166
3. Windungsprobe	167
4. Klemmenprobe	167
B. Prüfung teilweise erneuerter Wicklungen	167
C. Prüfung während der Herstellung der Wicklungen	168
1. Prüfung von Stromwendern und Schleifringen	168
2. Prüfung von Spulen und Wicklungen	168
3. Aufsuchen von Fehlerstellen	171
Anhang:	
Umschalten und Umwickeln	172
A. Gleichstromwicklungen	172
1. Änderung der Spannung bei gleichbleibender Drehzahl	172
a) Ankerwicklung	172
b) Feld-, Wendepol- und Kompensationswicklung	174
2. Änderung der Drehzahl bei gleichbleibender Spannung	175
B. Wechselstromwicklungen	176
1. Änderung der Spannung bei gleichbleibender Drehzahl und Frequenz	176
2. Änderung der Frequenz bei gleichbleibender Polzahl	178
3. Änderung der Polzahl bei gleichbleibender Spannung und Frequenz	179
Sachverzeichnis	180
Firmenverzeichnis	186

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen.

(Die in eckigen Klammern beigefügten Zahlen geben die Seiten an, auf denen die Zeichen oder die Begriffe zum erstenmal vorkommen.)

- a = Zahl der parallelen Ankerzweigpaare (halbe Zahl der parallelen Ankerzweige) [21].
 D = Durchmesser [5].
 e = mittlere Spannung eines Ankerleiters [38].
 f = Frequenz (in Hz) [10].
 k = Zahl der Stromwandlerstege (meistens = Zahl der Spulen) [22].
 m = Zahl der Gänge (bei Stromwenderwicklungen) [34].
 n = Drehzahl (in U/min) [10].
 n_s = synchrone Drehzahl (in U/min) [14].
 N = Zahl der Nuten [4, 27].
 p = Zahl der Polpaare [4].
 q = Zahl der bewickelten Nuten bei einphasigen Wechselstromwicklungen [81],
= Zahl der Nuten je Pol und Strang bei mehrphasigen Wechselstromwicklungen [89].
 s = Schlupf (Schlüpfung) [14].
 u = Zahl der Spulenseiten quer zur Nut [19].
 U = Spannung (einer Maschine) [39].
 W = Spulenweite (bei Wechselstromwicklungen) [87].
 y = Gesamtschritt [22].
 y_1 = Spulenweite (bei Stromwenderwicklungen) [22].
 y_2 = Schaltschritt [22].
 y_v = Verbindungsschritt (bei Ausgleichsverbindungen) [40].
 z = Zahl der gesamten Ankerleiter (bei Stromwenderwicklungen) [39].
 η_1 = Nutenschritt [23].
 τ = Polteilung [5].