Arnold - la Cour

Die Gleichstrommaschine

Erster Band

Theorie und Untersuchung

Dritte Auflage

Arnold-la Cour

Die Gleichstrommaschine

Ihre Theorie,
Untersuchung, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise

Erster Band

Theorie und Untersuchung

von

I. L. la Cour

Dritte, vollständig umgearbeitete Auflage

Mit 570 Textfiguren

Berlin
Verlag von Julius Springer
1919

Alle Rechte,
insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Copyright by Julius Springer, Berlin 1919

Inhaltsverzeichnis.

Erstes Kapitel.

Erzeugung eines Gleichstromes.

Seite

1. Erzeugung eines Gleichstromes durch unipolare Induktion 1
2. Erzeugung eines Gleichstromes durch Kommutierung eines Wechselstromes 9
3. Die in einer Gleichstrommaschine induzierte elektromotorische Kraft 18
4. Die Gleichstrommaschine als Generator und als Motor 22

Zweites Kapitel.

Offene Ankerwicklungen.

5. Offene Ankerwicklungen 24

Drittes Kapitel.

Geschlossene Trommelwicklungen.

6. Allgemeine Symmetriebedingungen der geschlossenen Ankerwicklungen 28
7. Nutenschritt und Kommutatorschritt 33
8. Einteilung der Wicklungen 37
9. Einfache Schleifenwicklung (Parallelwicklung) 39
10. Mehrfache Schleifenwicklungen 43
11. Einfache Wellenwicklung (Reihenwicklung) 49
12. Mehrfache Wellenwicklung (Reihenparallelwicklung) 55
13. Unsymmetrische Wellenwicklungen 60
14. Wellenwicklungen mit vermehrter und verminderter Lamellenzahl . . 66
15. Ankerwicklungen mit zwei Kommutatoren 71

Viertes Kapitel.

Ausgleichverbindungen.

16. Ausgleich- und Äquipotentialverbindungen 73
17. Anzahl und Schritt der Ausgleichverbindungen 75
18. Ausgleichverbindungen der einfachen Schleifenwicklung 76
19. Äquipotentialverbindungen der mehrfachen Schleifenwicklung 80
20. Äquipotentialverbindungen der mehrfachen Wellenwicklung 83

Fünftes Kapitel.

Wicklungstabellen und Reduziertes Schema.

21. Wicklungstabellen 91
22. Reduziertes Schema 93

Sechstes Kapitel.

Das magnetische Feld einer Gleichstrommaschine.

Seite
23. Form und Anordnung der Magnetgestelle 106
24. Zweipolige Magnetgestelle 107
25. Mehrpolige Magnetgestelle 110
26. Material der Magnetgestelle 112

Siebentes Kapitel.

Erregung des magnetischen Feldes einer Gleichstrommaschine.

27. Arten der Felderregung 114
28. Hauptschluß- und Serienerregung 115
29. Nebenschlußerregung 116
30. Doppelschlußerregung 116
31. Erregung mit Hilfsbürste 118

Achtes Kapitel.

Polarität und Drehrichtung einer Gleichstrommaschine.

32. Polarität eines selbsterregten Generators 120
33. Drehrichtung der Gleichstrommaschine als Motor 122
34. Klemmenspannung und Ankerstrom eines Generators und eines Motors 124

Neuntes Kapitel.

Magnetfeld und Feldamperewindungen bei Leerlauf.

35. Magnetische Kreise einer Dynamomaschine und die Magnetisierungskurve derselben 125
36. Berechnungen der Amperewindungen (AW_l) für den Luftspalt . . . 131
37. Feldkurven und Feldpulsationen bei Nutenankern 139
38. Berechnung der Amperewindungen (AW_z) für die Ankerzähne . . . 141
39. Berechnung der Amperewindungen (AW_a) für den Ankerkern 145
40. Berechnung der Amperewindungen für die Magnetkerne (AW_m) und das Joch (AW_j) 146
41. Magnetisierungskurve und Leerlaufcharakteristik 147
42. Berechnung der Feldstreuung 148

Zehntes Kapitel.

Magnetische Untersuchung einer Gleichstrommaschine.

43. Aufnahme der Feldkurven 156
44. Messung des Streukoeffizienten einer Dynamomaschine 161

Elftes Kapitel.

Ankerfeld und Feldamperewindungen bei Belastung.

45. Die Ankerrückwirkung 164
46. Längsmagnetisierende und quermagnetisierende Wirkung des Ankerstromes 166
47. Form des Ankerfeldes 169
48. Experimentell ermittelte Feldkurven 176
49. Berechnung der Ankerrückwirkung und der Feldamperewindungen bei Belastung 179
50. Genaue Berechnung der Feldamperewindungen bei Belastung 185

Zwölftes Kapitel.

Potentialkurven des Kommutators.

Seite
51. Potentialkurve bei Leerlauf 195
52. Potentialdiagramm 197
53. Lamellenspannung 205
54. Zulässige Lamellenspannung 210
55. Einfluß der Bürstenlage auf die Lamellenspannung 212
56. Verschiebung der Potentialkurve mit der Belastung 216

Dreizehntes Kapitel.

Das kommutierende Feld.

57. Kommutierung 217
58. Das für eine geradlinige Kommutierung erforderliche Kommutierungsfeld 221
59. Das für eine spannungslose Bürstenkante erforderliche Kommutierungsfeld 230
60. Günstigstes Kommutierungsfeld 231
61. Die von Nutenfeldern und Kommutierungsfeldern in den kurzgeschlossenen Spulen induzierten EMKe 234

Vierzehntes Kapitel.

Kurzschlußzeit.

62. Kurzschlußzeit T einer Ankerspule 244
63. Kommutierungszeit T_n des Stromvolumens einer Nut 247
64. Zahl der kurzgeschlossenen Spulen und ihre gegenseitige Lage . . . 249

Fünfzehntes Kapitel.

Nutenfelder und Induktionskoeffizienten.

65. Zerlegung des Ankerfeldes 253
66. Leitfähigkeit des Nutenfeldes bei nur einer kurzgeschlossenen Spulenseite pro Nut 254
67. Leitfähigkeit des Nutenfeldes bei mehreren übereinander liegenden kurzgeschlossenen Spulenseiten pro Nut 257
68. Nutenfelder 260
69. EMK-Faktoren f_s und f_m 268
70. Leitfähigkeit λ_s der Stirnverbindungen 272
71. Leitfähigkeit eines glatten Ankers 275
72. Induktionskoeffizienten der Kurzschlußstromkreise 275

Sechzehntes Kapitel.

Übergangswiderstand bzw. Übergangsspannung zwischen Kommutator und Bürste.

73. Widerstände des Kurzschlußstromkreises 282
74. Abhängigkeit der Übergangsspannung von der Stromdichte und Stromrichtung bei verschiedenen Bürstensorten 286
75. Abhängigkeit der Übergangsspannung von der Temperatur 294
76. Abhängigkeit der Übergangsspannung von der chemischen Beschaffenheit der Übergangsflächen 296
77. Abhängigkeit der Übergangsspannung vom Auflagedruck 297

Seite

78. Abhängigkeit der Übergangsspannung von der Umfangsgeschwindigkeit, den Erschütterungen und dem Zustand des Kommutators . 298
79. Übergangsspannung und Übergangswiderstand bei rasch veränderlichen Stromdichten 300
80. Praktische Angaben über zulässige Stromdichten und Übergangsspannungen 305

Siebzehntes Kapitel.

Kommutierungsdiagramme und Kurzschlußstromkurven.

81. Potentialkurve des Kommutators in der Kommutierungszone . . . 309
82. Deformierung der Potentialkurve unter den Bürsten 310
83. Vorausberechnung des Kommutierungsdiagrammes 318
84. Ableitung der Kurzschlußstromkurve aus dem Kommutierungsdiagramm 322
85. Charakteristische Kommutierungsdiagramme und Kurzschlußstromkurven 326
86. Übergangsverluste am Kommutator 328

Achtzehntes Kapitel.

Analytische Berechnung einiger Kurzschlußstromkurven.

87. Elektrische und magnetische Verkettung der Kurzschlußstromkreise 332
88. Kurzschlußstromkurve bei einer Bürstenbreite kleiner als die Lamellenbreite ($b_1 \leq \beta$) 334
89. Beispiele für die Kommutierung bei einer Bürstenbreite $b_1 \leq \beta$ . . 343

Neunzehntes Kapitel.

Zusätzliche Ströme in den kurzgeschlossenen Spulen bei einer Bürstenbreite größer als die Lamellenbreite ($b_1 > \beta$).

90. Zusätzliche Ströme in den kurzgeschlossenen Spulen 350
91. Maximale Stromdichten und Spannungen an den Bürstenkanten . . 354
92. Experimentelle Bestimmung von Öffnungsspannungen zwischen Bürsten und Kommutatorlamellen 358
93. Einfluß der zusätzlichen Ströme auf die Funkenbildung 361
94. Rückwirkung der zusätzlichen Ströme auf das Hauptfeld 364

Zwanzigstes Kapitel.

Experimentelle Untersuchung der Kommutierung.

95. Untersuchung der Symmetrie einer Gleichstrommaschine 368
96. Praktische Untersuchung der Kommutierung 370
97. Meßanordnung zur theoretischen Untersuchung der Kommutierung . 375
98. Experimentelle Aufnahme von Feldkurven, Kurzschlußstromkurven und örtlichen Kommutatorspannungen 379
99. Experimentelle Aufnahme von Lamellenspannungs- und Lamellenstromkurven 386

Einundzwanzigstes Kapitel.

Bedingungen für eine gute Kommutierung bei Maschinen ohne Wendepole.

100. Hauptbedingung für eine gute Kommutierung 389
101. Einfluß der Hauptabmessungen einer Maschine auf die Kommutierung 391
102. Weitere Bedingungen für eine gute Kommutierung 399

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Hilfsmittel zur Förderung einer guten Kommutierung.

Seite

103. Einleitung 403
104. Besondere Polkonstruktionen zur Erzeugung eines günstigen Kommutierungsfeldes 404
105. Erzeugung des kommutierenden Feldes mittels einer Hauptschlußwicklung auf den Hauptpolen oder auf einem Teil derselben . . 407
106. Wendepole und Kompensationswicklungen 409
107. Besondere Ankerwicklungen zur Verkleinerung der zusätzlichen Ströme 414
108. Besondere Bürstenkonstruktionen zur Verkleinerung der zusätzlichen Ströme 417
109. Besondere Anordnungen zur Dämpfung der Öffnungsspannungen . . 419

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Wendepole und Kompensationswicklungen.

110. Feldkurven bei Wendepolmaschinen und kompensierten Maschinen . 421
111. Feldstärke der Wendepole 426
112. Magnetische Kreise einer Wendepolmaschine 432
113. Streuflüsse einer Wendepolmaschine 437
114. Berechnungen der Feldamperewindungen einer Wendepolmaschine . 443
115. Rückwirkung der Wendepole auf das Hauptfeld 447
116. Bedingungen für eine gute Kommutierung bei Wendepolmaschinen 449

Vierundzwanzigstes Kapitel.

Die charakteristischen Kurven der Gleichstrommaschine.

117. Die charakteristischen Kurven des fremderregten Generators . . . 455
118. Die charakteristischen Kurven des Hauptschlußgenerators 467
119. Die charakteristischen Kurven des Nebenschlußgenerators 470
120. Die charakteristischen Kurven des Doppelschlußgenerators 477
121. Strom und Spannung eines Generators als Funktion des äußeren Belastungswiderstandes 483
122. Die Gleichstrommaschine als Motor 484
123. Die charakteristischen Kurven des Hauptschlußmotors 487
124. Die charakteristischen Kurven des Nebenschlußmotors 492
125. Die charakteristischen Kurven des Doppelschlußmotors 497
126. Gleichstrommaschinen für konstanten Strom 501

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

Eigenschwingungen in Gleichstrommaschinen.

127. Pendeln von Gleichstrommaschinen, herrührend von äußeren periodischen Störungen 508
128. Pendeln von elektrisch unstabilen Gleichstrommaschinen 513
129. Pendelerscheinungen beim Betrieb mit Hauptschlußgeneratoren . . 524
130. Elektrische Eigenschwingungen in Gleichstrommaschinen 528
131. Die eine plötzliche Belastungsänderung begleitenden Vorgänge . . . 539

Sechsundzwanzigstes Kapitel.

Verluste der Gleichstrommaschine.

132. Feldverteilung im Anker und in den Polschuhen 551
133. Hysteresisverluste 557

Seite
134. Wirbelstromverluste 566
135. Zusätzliche Wirbelstromverluste 580
136. Berechnung der gesamten Eisenverluste 585
137. Stromwärmeverlust durch den Nebenschlußstrom 590
138. Stromwärmeverlust durch den Ankerstrom 590
139. Mechanische Verluste 601
140. Zusammenstellung der Formeln für die Verluste 612

Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Wirkungsgrad der Gleichstrommaschine.

141. Wirkungsgrad der Gleichstrommaschine und seine Abhängigkeit von der Belastung 614
142. Verfahren zur experimentellen Bestimmung des Wirkungsgrades und der Verluste 621
143. Direkte Bestimmung des Wirkungsgrades durch Messung der zugeführten und abgegebenen Leistung 623
144. Indirekte Bestimmung des Wirkungsgrades durch Messung der Gesamtvorluste, Zurückarbeitungsmethode 632
145. Indirekte Bestimmung des Wirkungsgrades durch Messung der im Leerlauf und Kurzschluß auftretenden Verluste 641
146. Indirekte Bestimmung des Wirkungsgrades durch Messung und Berechnung der einzelnen Verluste je für sich, Leerlaufmethode . . 642
147. Experimentelle Trennung der Verluste einer Gleichstrommaschine . 651

Achtundzwanzigstes Kapitel.

Erwärmung der Gleichstrommaschine.

148. Zulässige Erwärmung einer Gleichstrommaschine 666
149. Erwärmung und Abkühlung eines homogenen Körpers 668
150. Gesetze der Wärmeabfuhr bei elektrischen Maschinen 671
151. Erwärmung der Magnetspulen 678
152. Erwärmung des Ankers 685
153. Erwärmung des Kommutators 689
154. Erwärmung der Lager 690
155. Erwärmung und Kühlung gekapselter Maschinen 692
156. Erwärmung einer Maschine bei aussetzendem Betrieb 694
157. Messung der Temperaturerhöhung 703
158. Ermittlung der Temperaturerhöhung bei Maschinen mit veränderlicher Belastung 707
Namen- und Sachregister 715
Erklärung der in den Formeln verwendeten Buchstaben 720

Berichtigung.

Es muß heißen:

S. 76 in der Abschnittsüberschrift und den betreffenden folgenden Seitenüberschriften:

18. Ausgleichverbindungen der einfachen Schleifenwicklung.

S. 158 in den beiden Formeln: l statt l_i.

S. 426 in der ersten und in den vier letzten Formeln: B_{cg} statt B_c.