Lehrbuch der Elektrotechnik

von

Emil Stöckhardt

Leipzig
Verlag von Veit & Comp.

Inhalt.

Erstes Kapitel.

Einige Begriffe aus der allgemeinen Technik.

		Seite
1.	Kraft und Weg	1
2.	Die mechanische Arbeit	2
3.	Das Maass für die mechanische Arbeit	2
4.	Die Arbeit bei Anwendung des Kräfteparallelogrammes	2
5.	Kraft und Gegenkraft	4
6.	Arbeit und Gegenarbeit	4
7.	Aufspeicherung von Arbeit durch höhere Lage	5
8.	Arbeit in Form von Geschwindigkeit eines Körpers	5
9.	Arbeit in Form von Wärme	5
10.	Arbeitsinhalt von Materialien durch ihre chemische Zusammensetzung	6
11.	Der Begriff der Leistung	7
12.	Der Begriff der Pferdestärke	7
13.	Der Wirkungsgrad	8

Zweites Kapitel.

Einige Begriffe aus der Elektrizitätslehre.

14.	Arbeit in Form von Elektrizität	9
15.	Der Begriff des elektrischen Potentials	10
16.	Experimente aus dem Gebiet der Reibungselektrizität	10
17.	Leiter und Nichtleiter	12
18.	Zersetzbare Leiter	12
19.	Grundbegriff des Galvanismus	13
20.	Der elektrische Stromkreis	13
21.	Der Begriff des Ausschalters	14

Drittes Kapitel.

Einige Wirkungen des elektrischen Stromes.

22.	Beschreibung der verwendeten Schaltung	16
23.	Beobachtungen bei dem Stromschluss	17
24.	Umkehr der Stromrichtung	18

Seite

25. Zusammenfassung: Wärmewirkung, chemische und magnetische Wirkung 18
26. Die Ampère'sche Schwimmregel 19
27. Erweiterung der Ampère'schen Schwimmregel 19
28. Hintereinanderschaltung mehrerer Elektrizitätsquellen 19
29. Gegeneinanderschaltung von Elektrizitätsquellen 20
30. Der Begriff der Stromstärke und des Maasses „Ampère“ 21
31. Der Begriff des Strommessers 22
32. Die Wirkung von Strömen aufeinander 23
33. Der elektrische Lichtbogen 24
34. Die Wirkungen des Wechselstromes 26

Viertes Kapitel.

Das Ohm'sche Gesetz.

35. Vorbereitung für das Ohm'sche Gesetz (Wasserleitung) 27
36. Von welchen äusseren Umständen hängt die elektrische Stromstärke ab? 29
37. Der Begriff der Spannung und des Maasses „Volt“ 30
38. Der Begriff des Spannungsmessers 31
39. Der Begriff des Widerstandes und das Ohm'sche Gesetz 32
40. Der Druckabfall bei einer Wasserleitung 33
41. Der Spannungsabfall in einem Teil der elektrischen Leitung . . 34
42. Zusammenfassung des Bisherigen 37

Fünftes Kapitel.

Betrachtungen im Anschluss an das Ohm'sche Gesetz.

43. Der Begriff des spezifischen Widerstandes 38
44. Der Begriff des Temperatur-Koeffizienten 39
45. Spezifischer Widerstand und Temperatur-Koeffizient einiger Materialien 39
46. Die Festlegung von 1 Ohm und 1 Volt 40
47. Beispiele für die Berechnung von Drahtwiderständen 40
48. Die Strombelastung von Drähten 41
49. Kunstmaterialien mit geringem Temperatur-Koeffizient 43
50. Ausführungsformen von Widerständen 43
51. Kurbelwiderstände 44
52. Stöpselrheostate 47
53. Normalwiderstände der Reichsanstalt 49
54. Flüssigkeitswiderstände 50
55. Der innere und der äussere Widerstand eines elektrischen Kreises 51
56. Der Widerstand der elektrischen Leitungen 52
57. Der Kurzschluss 55
58. Der Begriff des Leitvermögens und des spezifischen Leitvermögens 56

Sechstes Kapitel.

Die Gesetze der Stromverzweigungen.

59. Der Begriff der Stromverzweigung 57
60. Die Kirchhoff'schen Regeln 57

Seite

61. Die Gesetze der Stromverzweigungen unter Zuhilfenahme des Leitvermögens 59
62. Der Ersatzwiderstaud einer Stromverzweigung 60
63. Erweiterung der Gesetze bei Einschaltung von Spannungen in den einzelnen Zweigen 60

Siebentes Kapitel.

Die Anwendung der Gesetze von den Stromverzweigungen.

64. Beispiel für die Justierung eines Normalwiderstandes durch einen Nebenschluss 61
65. Nebenschlusswiderstände bei einem Strommesser zur Veränderung des Messbereichs 62
66. Die Wirkungsweise eines Spannungsmessers 63
67. Veränderung des Messbereichs bei Spannungsmessern 64
68. Messen von Widerständen mit der Wheatstone'schen Brücke . 65

Achtes Kapitel.

Wärmemenge, Arbeit und Leistung des elektrischen Stromes.

69. Abhängigkeit der erzeugten Wärmemenge von Stromstärke und Widerstand. (Experimente) 67
70. Zusammenstellung der Beobachtungen. Das Joule'sche Gesetz . 70
71. Die Arbeitsmenge des elektrischen Stromes 70
72. Betrachtung einer Wasserleitung in Hinsicht auf Arbeit und Leistung 71
73. Die Leistung des elektrischen Stromes und das „Watt“ 72
74. Der Leistungsverlust in einer Wasserleitung 73
75. Der Leistungsverlust in einer elektrischen Leitung 74

Neuntes Kapitel.

Die Verteilung der Leistung.

76. Der Einfluss der Spannung auf die zu übertragende Leistung . . 76
77. Die Gefahr bei elektrischen Betrieben 76
78. Schwierigkeiten in der Herstellung sehr hoher Spannung 77
79. Geringe direkte Verwendbarkeit hoher Spannungen zu Betrieben . 77
80. Parallelschaltung der Abnahmestellen 78
81. Das Leitungsnetz 79
82. Das Dreileiter-System 79

Zehntes Kapitel.

Die Ausrüstung der Leitungen.

83. Leitungen in geschlossenen Räumen 80
84. Die Verlegung in Rohren 81
85. Die Freileitungen 82
86. Kabelleitungen 82
87. Die Sicherungen. Allgemeines 83
88. Ausführungsform einer Streifensicherung 84
89. Die Stöpselsicherung 84
90. Die Patronensicherung von Siemens & Halske 85

Seite

91. Die neue Stöpselsicherung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft 87
92. Hochspannungs-Sicherungen 88
93. Stöpselausschalter 89
94. Einfache Kontakthebel 89
95. Die Schnapp-Ausschalter 90
96. Automatische Maximal-Ausschalter 91
97. Automatische Minimal-Ausschalter 92

Elftes Kapitel.

Die elektrische Beleuchtung.

98. Die Glühlampen. Allgemeines 93
99. Die Herstellung der Glühlampen 93
100. Die Schaltung der Glühlampen 95
101. Die Lichtstärke der Glühlampen 96
102. Die Beanspruchung der Glühlampen 97
103. Berechnung der elektrischen Leistung einer Glühlichtanlage . . 98
104. Die Prüfung einer Glühlampe 99
105. Die elektrischen Bogenlampen. Allgemeines 100
106. Vorbetrachtung für die selbstthätige Regulierung von Bogenlampen 100
107. Die Regulierung der Nebenschlusslampen 101
108. Die Nebenschlusslampe von Körting & Mathiesen 102
109. Nachstellvorrichtung mittels Wagner'schen Hammers 103
110. Der Bogenbilder 105
111. Die Regulierung der Differentiallampen 105
112. Die Differentiallampe von Schuckert & Co. 106
113. Die Lampe der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft „Helios" 107
114. Schaltungsweise der Bogenlampen 109
115. Die Dauerbrand-Bogenlampen 109

Zwölftes Kapitel.

Die Elemente.

116. Die galvanischen Elemente. Allgemeines 111
117. Die Polarisation 111
118. Das Daniell-Element 112
119. Erklärung der chemischen Vorgänge im Daniell-Element . . . 113
120. Das Leclanché-Element 113
121. Die Trockenelemente 114
122. Batterieschaltungen 114
123. Normalelemente 115

Dreizehntes Kapitel.

Die Akkumulatoren.

124. Die Akkumulatoren. Allgemeines 116
125. Die Wirkungsweise der Akkumulatoren (Experimente) 117
126. Das Formieren der Platten nach Planté 119
127. Das Verfahren nach Faure 120
128. Das Verfahren nach Tudor 121

Seite

129. Die Zusammensetzung der Akkumulatoren und die Aufstellung einer Batterie 121
130. Das Laden und das Entladen eines Akkumulators 124
131. Die Behandlung einer Akkumulatorenbatterie 127
132. Die chemischen Vorgänge im Akkumulator 127
133. Die Ampèrestundenzahl bei Akkumulatoren, die Wattstundenzahl und der Wirkungsgrad 128
134. Plattengrösse und Stromstärke, Plattengewicht und Ampèrestundenzahl 130
135. Die Pufferbatterie 131

Vierzehntes Kapitel.

Magnetismus und Elektromagnetismus.

136. Der Begriff des Magnetismus 131
137. Nordmagnetismus und Südmagnetismus 131
138. Die Gesetze der Anziehung und Abstossung zweier Magnetpole . 132
139. Das magnetische Feld, die Kraftlinien und die Feldstärke . . . 132
140. Die Zerteilung von Magneten und die Vorstellung der Molekularmagnete 134
141. Das Feld eines geraden Magneten 135
142. Das Verhalten des weichen Eisens im magnetischen Felde. Permeabilität und magnetische Induktion 136
143. Die Hysteresiserscheinung 139
144. Das Feld eines geraden Leiters 141
145. Das Feld zweier paralleler und gleichgerichteter Ströme 143
146. Das Feld zweier paralleler und entgegengesetzt gerichteter Ströme 144
147. Das Feld eines kreisförmigen Leiters 144
148. Das Feld einer Spule. Die Ampèrewindungszahl 145
149. Der geschlossene magnetische Kreis und der offene magnetische Kreis 146
150. Die Grösse der magnetischen Zugkraft im Vergleich mit der Kraftlinienzahl 147
151. Experimentelle Untersuchungen der Kraftlinienzahl eines Kreises durch Abreiss-Versuche 147
152. Die Ampèrewindungszahl eines magnetischen Kreises im Vergleich mit der Kraftlinienzahl 148
153. Die Berechnung magnetischer Kreise 149
154. Die Polschuhe 150
155. Die magnetische Streuung 151

Fünfzehntes Kapitel.

Die Induktionserscheinungen.

156. Der Begriff der Induktions-Elektrizität 152
157. Erstes Experiment. Die Induktions-Elektrizität an einem geraden Draht 152
158. Zweites Experiment. Beobachtungen bei einer einfachen Schleife 154
159. Drittes Experiment. Die Schleife mit mehreren Windungen . . 155
160. Viertes Experiment. Gegeneinanderschaltung zweier Drähte . . 156

Seite

161. Fünftes Experiment. Die Magnetisierungsspule im Vergleich mit der Induktionsspule 157
162. Sechstes Experiment. Die Arbeit und die Gegenarbeit bei der Induktionselektrizität 158
163. Siebentes Experiment. Die induzierte Kraft und die induzierte Bewegung 158
164. Die Grösse der Induktionserscheinungen 159
165. Die Wirbelströme 161

Sechzehntes Kapitel.

Die Messinstrumente.

166. Allgemeines über Strom- und Spannungsmesser 162
167. Die Klassen der Instrumente 163
168. Arretier-Vorrichtungen 163
169. Bussolen 164
170. Das Montage-Galvanoskop 164
171. Die Tangenten-Bussole 165
172. Die Galvanometer 166
173. Die Weicheisen-Instrumente nach Kohlrausch 168
174. Die Weicheisen-Instrumente System Hummel 169
175. Hitzdrahtspannungsmesser nach Cardew 170
176. Die Hitzdraht-Instrumente von Hartmann & Braun 171
177. Das Weston-System 173
178. Das Elektro-Dynamometer 174
179. Die Wattmeter: Allgemeines 176
180. Das Wattmeter von Ganz & Comp. 176
181. Das Präzisions-Wattmeter von Siemens & Halske 179
182. Die Elektrizitätszähler. Allgemeines 180
183. Das System Aron 180
184. Die Motorzähler 182

Siebzehntes Kapitel.

Die Dynamomaschinen für Gleichstrom.

185. Grundgedanke der Dynamomaschinen 183
186. Die Ringwicklung 184
187. Die Trommelwicklung 186
188. Einige Vorzüge und Nachteile beider Wicklungsarten 187
189. Das Ankereisen und seine Befestigung 188
190. Die einfachsten Ausführungen der Wicklung 189
191. Der Kollektor 190
192. Die Bürsten 192
193. Die Bürstenhalter 192
194. Die Bürstenbrücke 193
195. Die Erzeugung des Magnetfeldes 194
196. Nebenschluss- und Hauptschlussmaschinen 195
197. Das Verhalten der Hauptschlussmaschine 196
198. Das Verhalten der Nebenschlussmaschine 197
199. Die Compound-Maschine 199

Seite

200. Die Ankerrückwirkung 200
201. Wirbelströme in den Ankerdrähten 202
202. Die Bilanz der Dynamomaschinen 202
203. Spannung und Tourenzahl 204
204. Die Belastungsgrenze der Dynamomaschinen 204
205. Die Nutenanker 205
206. Ausführungsformen zweipoliger Maschinen 206
207. Das Gestell der mehrpoligen Maschinen 207
208. Einfache Ringwicklung bei mehrpoligen Maschinen 208
209. Mehrpolige Trommelanker mit Parallelschaltung 208
210. Ströme innerhalb mehrpoliger Maschinen 209
211. Anker mit Serienwicklung 210
212. Mit Schablonen gewickelte Trommeln 210
213. Ausführungsformen mehrpoliger Maschinen 213
214. Die Vorausberechnung der Dynamomaschinen 215
215. Beispiel für die Berechnung einer Nebenschlussmaschine . . . 217
216. Das Parallelschalten von Nebenschlussmaschinen 221

Achtzehntes Kapitel.

Die Motoren für Gleichstrom.

217. Allgemeines 223
218. Die Anker der Gleichstrommotoren 223
219. Die elektromotorische Gegenkraft 225
220. Die elektromotorische Gegenkraft bei einem Gleichstrommotor . 226
221. Das Verhalten eines Motors von konstanter Feldstärke 226
222. Der Nebenschlussmotor und sein Verhalten 227
223. Regulierung der Tourenzahl eines Nebenschlussmotors 229
224. Anlasswiderstände für Nebenschlussmotoren 230
225. Die Umsteuerung eines Nebenschlussmotors 233
226. Automatische Anlasser 233
227. Der Hauptschlussmotor und sein Verhalten 235
228. Vergleichende Diagramme beider Motoren 237
229. Die Bilanzgleichung der Motoren 239
230. Die Überlastung beider Motoren 240
231. Anwendungsgebiete beider Motoren 240
232. Die Regulierung der Hauptschlussmotoren 241
233. Die elektrische Bremsung 241
234. Ausführungsformen von Gleichstrommotoren 242
235. Der Kontroler 245
236. Der Kompoundmotor und sein Verhalten 248
237. Die Ankerreaktion bei den Gleichstrommotoren und die Bürstenverstellung 249
238. Rechnungen an Gleichstrommotoren 250
239. Allgemeine Anforderungen bei Dynamomaschinen und Motoren . 251

Neunzehntes Kapitel.

Der Wechselstrom.

240. Begriff über die Entstehung eines Wechselstromes 252
241. Die Kurve der Spannung 253
242. Die Spannungskurve bei der Bewegung einer Spule 254

Seite

243. Die Rotation einer Schleife in einem homogenen Feld 255
244. Erregermaschinen 257
245. Wechselstrommaschinen mit Ring- und Trommelanker 258
246. Wechselstrommaschinen mit feststehendem Anker 260
247. Die effektive Spannung und die effektive Stromstärke 264
248. Der Begriff der Selbstinduktion 267
249. Die Selbstinduktion bei Wechselströmen und die Phasenverschiebung 272
250. Die Leistung eines Wechselstromes bei induktivem Widerstand und der Leistungsfaktor cos φ 277
251. Der scheinbare Widerstand induktiver Stromkreise und der Einfluss der Wechselzahl. 278
252. Die Transformatoren (Umformer) 282
253. Die Wirkungsweise der Transformatoren 285
254. Die Untersuchung eines Transformators 287
255. Die Berechnung eines Transformators 290
256. Der Synchronmotor 295
257. Das Parallelschalten von Wechselstrommaschinen 297

Zwanzigstes Kapitel.

Die Mehrphasenströme.

258. Allgemeines über Kraftübertragung durch Wechselstrom . . . 299
259. Der Begriff des Wanderfeldes und des Drehfeldes 300
260. Ein geschlossener Leiter im Wanderfeld 301
261. Die Übertragung eines Drehfeldes durch drei Wechselströme. Der Drehstrom 303
262. Der Drehstrom: Die Anwendung von drei Drähten 307
263. Die Schaltung von Drehstrom-Anlagen 308
264. Der Drehstrom: Stromstärke und Spannung bei Sternschaltung und Dreieckschaltung. 311
265. Die Leistung bei einer Drehstrom-Übertragung 313
266. Die Drehstrommotoren 316
267. Drehstromtransformatoren 320
268. Die Übertragung eines Wanderfeldes durch zwei Wechselströme. Der Zweiphasenstrom. 322
269. Der Zweiphasenstrom: Die Übertragung durch drei Drähte . . 324
270. Die Leistung bei Zweiphasenanlagen 327
271. Zweiphasen-Transformatoren 328
272. Die asynchronen Motoren für einphasigen Wechselstrom . . . 330
273. Anlassvorrichtungen für Einphasenmotoren 332

Alphabetisches Register 338
Anhang. Sicherheitsvorschriften, herausgegeben vom Verband Deutscher Elektrotechniker:
a) Für elektrische Starkstrom-Anlagen (bis 250 Volt) 352
b) Für elektrische Mittelspannungs-Anlagen (250—1000 Volt) . . 366
c) Für elektrische Hochspannungs-Anlagen (über 1000 Volt) . . 378

teil, dass es sich nach einer gewissen Dauer des Stromdurchgangs allmählich polarisiert. Wenn es einige Zeit nicht beansprucht wird, erholt es sich und bekommt seine ursprüngliche Spannung wieder.

Für eine Elementenhöhe von 20 cm und bei normaler Konstruktion nach Art von Fig. 110 beträgt seine Spannung 1,5 Volt und sein innerer Widerstand 0,5 Ohm.

Wenn bei diesen Elementen das Glas von Salmiakkrystallen überzogen wird, genügt innen am oberen Rande des Glases ein Anstrich mit Leinölfirnis zur Vermeidung dieses Übelstandes.

121. Die Trockenelemente.

Im Handel giebt es eine grosse Anzahl verschiedener Trockenelemente. Man will bei Anwendung derselben sich von der Unbequemlichkeit frei machen, dass man es mit einer Flüssigkeit zu thun hat, die leicht verdunstet, und die in bewohnten Räumen gesundheitsschädlich wirken kann. Diese Elemente enthalten im Innern meistens eine feuchte Paste, welche die Stelle der Flüssigkeit vertritt. Durch luftdichten Abschluss ist ein Austrocknen der Paste verhindert. Es wird dabei meistens für den negativen Pol Zink, für den positiven Pol Kohle verwendet. Die Spannung solcher Elemente bewegt sich zwischen 1 und 1,7 Volt, der innere Widerstand zwischen 0,1 bis 0,4 Ohm.

122. Batterieschaltungen.

Je nach der Höhe der Spannung, die man erzielen will, können beliebig viele Elemente hintereinander zu einer Batterie verbunden werden. Der gesamte innere Widerstand steigt dabei unter Verwendung gleicher Elemente in demselben Maasse, wie die Zahl der Elemente zunimmt. Man kann also der ganzen Batterie nicht mehr Strom entnehmen, auch wenn die Enden kurz geschlossen werden, als man einem Element entnehmen kann.

Ein zweiter Fall ist denkbar, dass alle positiven Pole der Elemente untereinander und alle negativen untereinander verbunden sind. Dann ist die Spannung des ganzen Gebildes nicht höher als die eines einzigen Elementes, dagegen nimmt der innere Widerstand mit der Zahl der Elemente ab. Einem solchen Gebilde kann ein um so stärkerer Strom entnommen werden, je grösser die Zahl der Elemente ist. Diese Schaltung ist zu vergleichen mit einem einzigen Element, dessen Platten so gross sind, wie die Platten aller Elemente zusammen.

Eine dritte Möglichkeit ist vorhanden, mehrere hintereinander geschaltete Batterien von gleicher Elementenzahl parallel zu schalten. Die entnehmbare Stromstärke wächst dann in dem Maasse der parallel geschalteten Elemente, die Spannung in dem Maasse der hintereinander geschalteten Elemente.

123. Normalelemente.

Eine Klasse von Elementen dient nur zu Messzwecken. Es kommt dabei darauf an, dass sie möglichst konstante Spannung haben. Diese Elemente dürfen keinen Strom liefern, wenigstens nicht mehr als auf kurze Zeit etwa 0,00001 Ampère. Es ist infolgedessen die peinlichste Sorgfalt in der Behandlung dieser Elemente anzuwenden. Die Klemmen dieser Elemente dürfen nicht zu gleicher Zeit mit der Hand angefasst werden, da hierdurch bereits ein zu starker Strom entstehen würde. Die Behandlung muss deshalb so peinlich sein, weil bei Stromentnahme Polarisation eintritt, welche die Spannung herunterdrückt.

Hierher gehören das Clark-Element und das Weston-Element.

Dem **Clark-Element** ist durch die Reichsanstalt eine bestimmte Form gegeben worden, die allein zur amtlichen Beglaubigung zugelassen wird. Positive Elektrode ist ein amalgamiertes Platinblech, welches

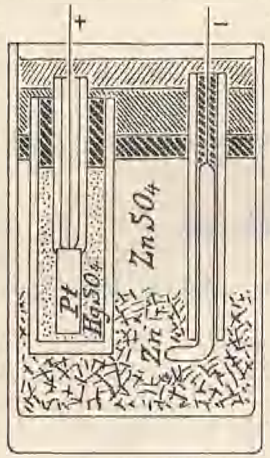

Fig. 111. Clark-Element.

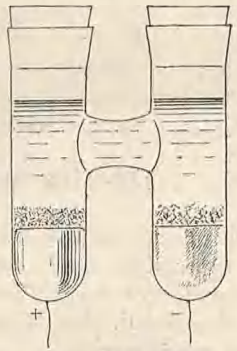

Fig. 112. Weston-Element.

in einer Paste von schwefelsaurem Quecksilberoxyd steht; als negative Elektrode dient ein amalgamierter Zinkstab, der zum Teil mit Paraffin in ein Glasrohr eingeschmolzen ist und in Zinksulfatkrystalle taucht, welche von konzentrierter Zinksulfatlösung umgeben sind. Fig. 111 giebt den Querschnitt eines Clark-Elementes. Zwischen den beiden Elektroden befindet sich eine Thonzelle; durch mehrere Übergüsse ist das Element geschützt.

Die Spannung dieses Elementes in Volt ist zu rechnen aus der Gleichung:

$$E = 1{,}434 - 0{,}00115\,(t - 15^0),$$

bei der t die Temperatur des Elementes bedeutet.