始

521-1

工學士　馬場禮次郎著

直流電機の故障と取扱法

大正
12. 1. 9
内交

東京　丸善株式會社

序

電氣機械の原理，構造又は設計法を記述した著書は少くないが，實際の運轉に當つて屢々惹起せらるゝ故障及び其の取扱法に關し，詳細なる說明を加へたものゝ殆ど見當らなかたことは，我が出版界の大なる缺點であつて，電氣關係者の甚だ不便とする所であつた

然るに幸にして我が馬場工學士は，かねて此方面の研究に深き興味を有せられてゐたので，予は同學士に對し是非とも十分なる研鑽を遂げた上，其の結果を斯界の爲めに，發表せられんことを極力慫慂していた。

爾來同學士は益々熱心に學理上の研討を重ね，深く實地上の經驗をも積まれて，今回愈々其の苦心の結果を公刊せらるゝに至つたものが卽ち本書である。

今其の內容を通覽するに，題する所の直流電機は勿論，或る特殊のものを除いては，廣く交流電機に對しても，其の種々なる故障の原因，徵候及び療法に關し，直ちに實際に應用し得らるゝやう，懇切明確に說述し，併せて設計上，製作上將た又取扱上に於ける緊要なる注意事項に亘り，詳細綿密に指示してある．予は本書に依りて，電氣機械の製造業者並に使用者は固より，汎くあらゆる方面の電氣關係者が，必ずや大なる利益を享けらるべきことを信じて疑はない。

敍上の關係により，予に序文を求めらるゝに際し，茲に同學士の勞を深く多とし，其の慶びを分つと共に，本書を江湖に推奬するは當に予の義務たりと感ずるのである。

大正十一年十一月中旬

京都帝國大學電氣工學教室に於て

工學博士　青柳榮司識す

自序

◎電氣機械は製作，組立てられたる當初から種々雜多の故障を伴ひ勝ちのものである．又立派に設計，製作せられたる機械と雖もその運轉中，取扱上の智識の缺乏や不注意や其他種々の原因の爲めに，故障を起すことが頗る多い．本書は斯る場合に起り得べき直流電機の各種の故障の原因，徵候及び療法を詳論し，併せて是等の故障を生ずべき設計上や製作上や取扱上等の誤りに就て詳述してゐる．猶ほ，本書は各種の故障と直接或は間接に關係を持つ機械各部の性能や相互の作働關係に就ても論及してゐる．此點より考へて，本書は之を故障より見たる直流電機と稱してもよいと思はれる．

◎著者は自己の誤說偏見の害を惧れて全卷を通じて實地や著書雜誌に於て是

認せられたる事實を基礎として稿を起し,深遠なる理論を避け,而も疎に失せぬ樣に努めた．就中,記事の撰擇や配列の順序や說明法に關しては最も意を用ゐた．

著者は以前或製作所に勤務してゐた頃,實地に當つて此種の智識の必要なることを痛切に感じ,爾來熱心に之が研究に從事した．而して自己が見聞したこと,經驗したこと,著書雜誌に得たこと等を,後日の記憶の爲め,聊か集錄してをいた．一日青柳博士を訪ひ,談偶〻之に及ぶや,博士は坊間此種の著書の寡きを論じて著書を激勵せられ,熱誠なる援助の下に本書の著述を敎示せられた．是れ實に著者をして,生來の不敏をも顧みず禿筆を本書に染めしめたる唯一の動機である．玆に博士に眞摯なる謝意を叙べる．唯憾むべし,著者の菲才は竟に初志を達することを允さず,加ふるに庶塵

蝟集の環境に困みつゝ拙速稿を成したるが爲め,顧みて私心慙赧を覺ゆる所あり．幸にして諸賢の叱敎に俟つことを得ば著者の悅び望外なりと云はん而已．

大正十一年九月二十三日

小石川の茅舍半毛軒に於て

工學士　馬場禮次郎識す．

直流電機の故障と取扱法
目　次

第一編　火　花

1 火花の害 ……………………………………1

第一章　整流作用

2 整流の理論 ……………………………………3
3 火花の發生理由 ……………………………………6
4 整流の調整 ……………………………………9
5 刷子の赤熱 ……………………………………11

第二章　電機子反作用

6 横磁作用 ……………………………………14
7 減磁作用 ……………………………………17
8 刷子の移動 ……………………………………19
9 中性帶の決定法 ……………………………………21

第三章　整流の改善

10 概　説 ……………………………………23

第一節　磁束分布

11 磁氣回路の檢査法 ……………………………………25

12 磁束分布齊整の必要……………………………26
13 磁束分布曲線の決定法……………………………28
14 電位曲線の決定法……………………………31
15 等電位接續……………………………33

第二節 電機子反作用の抑制

16 横磁束通路の磁氣抵抗……………………………37
17 補償捲線……………………………39
18 中性帶の幅……………………………40

第三節 リアクタンス電壓

19 短絡線輪の自己及び相互誘導……………………………44
20 線輪の捲同數……………………………44
21 漏洩磁束通路の磁氣抵抗……………………………46
22 短絡回路の抵抗……………………………43

第四節 整流起電力

23 整流磁界……………………………50
24 補助極の極性……………………………50
25 補助極の効果の範圍……………………………52
26 補助極の調整……………………………55

第二編 電弧の閃越

27 閃 越……………………………57
28 閃越の原因……………………………57
29 火花と閃越との關係……………………………59

30 子片間の電位差と閃越との關係……………………………63
31 閃越の防遏手段……………………………66

第三編 火花の原因,徵候及び療法

32 總 說……………………………70

第一章 電機子捲線中の故障

33 電機子回路の斷線……………………………72
34 斷線の檢出法……………………………76
35 導線と整流子との接續不良……………………………78
36 捲線中の短絡……………………………79
37 線輪の逆接續……………………………81
38 空隙長の不同……………………………82
39 電機子回路の端子抵抗……………………………83

第二章 界磁捲線中の故障

40 概 說……………………………84
41 界磁線輪の逆接續……………………………85
42 界磁回路中の短絡……………………………88

第三章 刷 子

43 炭素刷子の品質……………………………90

44 炭素刷子の凝結劑 …… 92
45 金屬刷子の構造 …… 93
46 刷子接觸面の汚濆 …… 94
47 刷子保持器の種類と得失 …… 96
48 刷子の幅と深さ …… 102
49 刷子接觸面の形成 …… 103
50 刷子移動器の偏心的取付 …… 105
51 刷子相互間の間隔 …… 105
52 刷子の整頓 …… 108

第四章 整流子

53 整流子材料の撰擇 …… 110
54 整流子の弛緩 …… 112
55 弛緩せる整流子の締付法 …… 115
56 整流子片の振動 …… 115
57 刷子の配置 …… 119
58 整流子の旋削法 …… 121
59 整流子の研磨法 …… 122
60 雲母の突出 …… 124
61 突出雲母の原因 …… 124
62 雲母の撰擇 …… 126
63 突出雲母の處置 …… 127
64 整流子表面の黒化 …… 128

65 整流子の催滑 …… 129

第五章 速度及び機體の振動

66 機械と速度と火花 …… 130
67 機體の振動と火花 …… 133

第四編 損 失

68 損失と溫度上昇 …… 134
69 損失の分類 …… 135

第一章 抵抗損失

70 電機子捲線中の抵抗損失 …… 136
71 刷子の接觸抵抗による損失 …… 137
72 刷子及び整流子の材料及び狀況 …… 137
73 接觸壓力 …… 138
74 接觸面の電流密度 …… 139
75 整流子の周圍速度 …… 140
76 刷子中の抵抗損失 …… 140
77 電機子回路の全抵抗 …… 140
78 取出線中の抵抗損失 …… 141
79 整流損失 …… 142
80 界磁捲線中の抵抗損失 …… 142

第二章 磁氣的損失

81 電機子鐵心中のヒステレシス損失……………143
82 電機子鐵心中の渦電流損失……………146
83 電機子輻構中の渦電流損失……………149
84 電機子捲線中の渦電流損失……………151
85 磁極片中の鐵損失……………152
86 整流子中の渦電流損失……………153
87 鐵心締付ボルト中の損失……………154
88 軸電流損失……………155

第三章 機械的損失

89 軸承中の摩擦損失……………157
90 摩擦面の比壓力……………158
91 摩擦面の周圍速度……………159
92 軸承の溫度……………160
93 催滑法……………160
94 刷子摩擦損失……………161
95 空氣摩擦及び通風損失……………161

第五編 通 風

96 機體の冷却……………163
97 開放型電機の通風……………164

98 通風孔及び通風溝の効果……………166
99 密閉型電機の通風……………168
100 半密閉型電機の通風……………169
101 直列通風……………170
102 並列通風……………171
103 直並列通風……………173
104 電車用電動機としての密閉型と半密閉型との得失……………174

第六編 絕 緣

105 絕緣材料……………180
106 溫度の絕緣に及ぼす電氣的影響……………181
107 溫度の絕緣に及ぼす機械的影響……………182
108 濕氣の絕緣に及ぼす影響……………183
109 眞空含浸……………185
110 捲線の絕緣に對する注意……………186

第七編 過熱の原因徵候及び療法

第一章 電機子の過熱

111 概 說……………189
112 機械の過負荷……………189
113 電機子捲線中の短絡……………191

114 整流子片間の短絡 …… 194
115 電機子捲線の吸濕及び乾燥法 …… 196
116 捲線と繼鐵との接觸 …… 199
117 電機子捲線の一部逆進 …… 202
118 空隙長の不同 …… 203
119 刷子の位置 …… 203
120 界磁捲線中の故障 …… 204

第二章　界磁捲線の過熱

121 界磁捲線の冷却 …… 204
122 勵磁電流 …… 207
123 界磁線輪中の短絡 …… 208
124 分捲線輪と直捲線輪との接觸 …… 209
125 界磁捲線と繼鐵との接觸 …… 211
126 界磁線輪の吸濕及び乾燥法 …… 212

第三章　整流子の過熱

127 概　說 …… 213
128 整流子と刷子との接觸摩擦 …… 215
129 整流子の吸濕及び乾燥法 …… 216

第四章　刷子の過熱

130 刷子の過熱 …… 217

第五章　軸承の過熱

131 注油環の廻轉不良 …… 218
132 催滑油の品質 …… 219
133 油の漏洩 …… 220
134 調革の緊張 …… 220
135 軸承と軸との摩擦面 …… 221
136 電機子の水平遊動に對する餘裕 …… 222

第八編　發電機の電壓誘起の不能

137 發電機の電壓誘起 …… 224
138 分捲界磁回路の抗抵と電壓誘起との關係 …… 226
139 速度と電壓誘起との關係 …… 229
140 殘磁氣の消滅 …… 230
141 運轉中の殘磁氣消滅の故障 …… 232
142 界磁捲線中の斷線 …… 233
143 勵磁線輪の極性 …… 234
144 發電子捲線中の斷線 …… 234
145 刷子の位置 …… 235
146 刷子の接觸不良 …… 236

第九編　電動機の起動及び速度

第一章　電動機の起動の不能

147 電動機起動上の注意 …………………… 237
148 起動抵抗の區分 …………………… 239
149 電動機の廻轉方向 …………………… 240
150 電動機の起動不能に關する故障 …………………… 242

第二章　電動機速度の過高或は過低

151 速度と刷子の位置 …………………… 244
152 補助極付電機と刷子の位置 …………………… 245
153 補助極付電動機の亂調 …………………… 247
154 補助極付電機の中性帶決定法 …………………… 249
155 電動機速度の過高及び過低に關する故障 …… 250

第三章　電氣的制動

156 制　動 …………………… 253
157 分捲電動機の制動 …………………… 253
158 直捲電動機の制動 …………………… 255

第十編　機體の振動

159 總　說 …………………… 258
160 廻轉部の重量の平衡 …………………… 259
161 速度と振動との關係 …………………… 260
162 振動に對する臨界速度 …………………… 261
163 靜平衡試驗 …………………… 264
164 動平衡試驗 …………………… 265

第十一編　音　響

165 振　動 …………………… 268
166 電機子と磁極片との擦れ合ひ …………………… 268
167 磁氣的中心の狂ひ …………………… 268
168 締付の緩み …………………… 269
169 調　革 …………………… 269
170 刷子及び整流子 …………………… 270
171 [illegible]子の傾角 …………………… 271
172 磁極片の形狀 …………………… 272

第十二編　起動器及び調整器中の故障

173 分捲電動機用起動器の接續法 …………………… 273
174 起動器及び電壓調整器中の故障 …………………… 276
175 電動機の起動及び停止上の注意 …………………… 278

第十三編 雑 錄

176 機械の組立及び解體 ……………………………………284
177 機械の据付 ……………………………………………284
178 調車と調革 ……………………………………………285
179 起動及び停止 …………………………………………287
180 運轉中の注意 …………………………………………287

[library stamp]

直流電機の故障と取扱法

工學士 馬場禮次郎著

第一編 火 花 (Sparking)

【1】 火花の害

一流の直流電機は刷子を常に一定位置に固定せる儘運轉して,總ての負荷の下で火花を發することなく整流子の締付は確實にして少しの弛みをも生ぜず,其表面は完全に圓滑であつて部分的の高低や起伏を生ぜず,常に特有の光澤を發揮してゐなければならぬ。

然し非常に巧妙に設計製作されたる機械と雖も取扱上の不注意や其他種々の原因の爲めに火花の故障を發生せしめるに至ることも亦輕視する譯に行かぬ。使用者の手に渡つた機械に種々の苦情を聞くことは隨分多いけれども遡つて其原因を尋ぬれば,元々機械自身は滿足に出來てゐたに拘らず,取扱に綿密なる注意を怠り或は使用上の智識を缺げるが爲めに可惜機械を酷使して,遂に故障を伴ふに至らしめることは屢々見聞することである。

一般に機械に過大なる電流を出入せしめる時は火花を發す。發電機を母線に並列に入れる時に周到な

る注意を怠り或は電動機の起動に際して抵抗の抜方を亂暴に行ふ時は其瞬間に烈しき火花を發して子片の或ものを損燒す、斯うなれば機械が常規運轉(Normal operation) に移つてからも此部分が刷子の下を通過する毎に輕微ながらも火花を發す。之が運轉時間と共に累積し,初めの内は唯一部分に限られてゐた燒傷は整流子の全表面に擴がり,遂に無火花の整流は絶望になるのである。

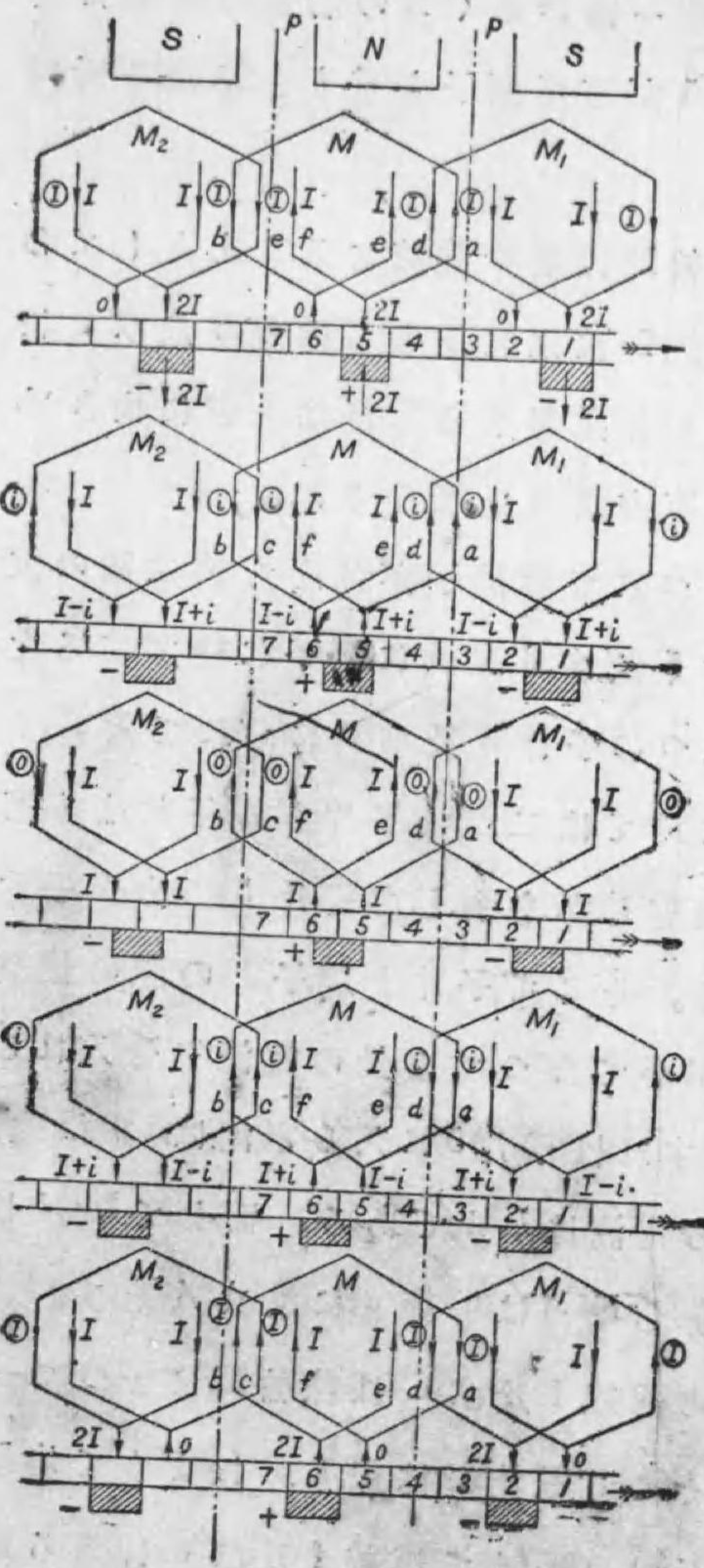
整流子と刷子との接觸の良否は火花に離る可らざる因果關係を持つ。子片間の絶縁雲母が表面に突出したり或は整流子表面が不規則に變形すれば,刷子は整流子と充分に接觸するを得ざるが爲めに火花は避けられぬ。而して此の火花によりて銅は燒取られて表面の不整は益々甚だしくなる。

要するに刷子の下に生ぜられたる火花は整流子の表面を燒傷け,此の燒傷の爲めに火花は更に增すのである。斯るものを修理せんには,先づ整流子の表面を旋削(Turning down) して再び完全なる圓滑面に復せしめねばならぬ。然し之によりて整流子の磨滅の餘裕(Allowance)として與へられてゐる貴重なる厚みは速迅に削り減らされて其の壽命(Life)は著しく縮められるのである。

斯くの如くにして火花は直流電機の死活を制する

最も重大なるものである。萬策を盡して之が防遏に努力せねばならぬ理由は玆に存するのである。

第一章 整流作用 (Commutation)



第一圖
第二圖
第三圖
第四圖
第五圖

【2】整流の理論

直流電機の電機子捲線中を流るゝ電流 I は,導線が中性帶 (Neutral axis) を通過して其一側より他側に移る間に其方向が逆になる。電流の逆流と同時に此の導線は次の刷子に接續され,斯くして總ての刷子には常に一定方向の電流が

流れる。此の變化を五つの楷梯(Stages)に分ちて圖示せるものが第一圖乃至第五圖である。

線輪Mが中性帶p,pの左側にあつて廻轉につれて矢の方向に進み丁度第一圖の如くMの右側の導線に接續さるゝ整流子片5が丁度刷子と重り合ひたる瞬間より考へる。

此位置に於て線輪Mは將に整流に入らんとしてゐる。刷子を通る電流2Iは之に連なる導線a及びfに等しく分れて進みaを通過する電流は上方に向きbを通過する電流は下方に向いてゐる。

電機子の廻轉につれて整流子が進んで第二圖の位置に來る時は子片5及び6は共に刷子に接觸するを以つて電流2Iは二つの子片5及び6に分れて入る。

然るに此位置に於ては二つの子片が刷子によりて覆はれる面積は相等しからずして子片5の方が子片6よりも大である。そこて子片と刷子との間の接觸抵抗は前者の方が小であつて多量の電流を受入れる。此電流の差をiとすれば子片5に入る電流はI+iてあつて子片6に入る電流はI−iである。而してI+iは導線fに進まんとしI−iは導線eに進まんとす。

然るに此二つの導線f及びeは線輪Mによつて短絡されてゐる。そこて電流iは線輪Mによりて均壓作用(Equalizing action)を受けて,導線f及びeに入る電

流は等しくIとなり線輪中には圖示せるが如き短絡電流(Short circuit current) iを回流せしめるのである。

尙ほ此位置に於ては線輪Mは中性帶p,pの左側にあつて導線a及びbを流れる電流は第一圖に於けると同樣に前者は上方を向き後者は下方を向いてゐる。

次に整流子が第三圖の位置に進めば刷子によりて覆はるゝ二個の子片5及び6の面積は相等しくなるを以つて刷子電流は二つの子片に等しく分流し導線f及e中に入る電流は夫々Iにして短絡線輪(Short circuit coil) M中の短絡電流は消失す。此位置に於て今考へつゝある線輪Mは丁度中性帶に重り此內を通過する電流は零になるのである。

整流子が尙ほ進んで第四圖の位置に來る時は刷子によりて覆はるゝ二個の子片の面積は第二圖に於けると反對になり子片5に進む電流はI-iてあつて子片6に進む電流はI+iである。而して前と同樣に線輪Mの均壓作用によりて導線e及びfに入る電流は等しくIなれどもM中には短絡電流iを流すのである。

此位置に於ては線輪Mは既に中性帶を通過して其右側に移つてゐる。而してMの導線a及びbを通過する電流iは前者は下方を向き後者は上方を向いて第二圖に於けると反對方向を取つてゐる。

最後に第五圖の位置に進む時は子片5は刷子を去

り子片6丈けが刷子によりて覆はれてゐる。而して子片6に進みたる電流2Iは導線b及びeに分流し導線b及びaを通る電流はIにして其方向は前者は上方を向き後者は下方を向き第一圖に於けると丁度反對になる。

是等を綜合して考ふるに子片5及び6に接續さるゝ線輪Mが中性帶の左側にありて子片5が丁度刷子によりて覆はれてゐる位置より右方に進んで之が刷子を去り子片6が前者に代つて丁度刷子と全接觸をなすに至る間に線輪Mは中性帶を通過して更に此右側に移り而して導線a及びbを流るゝ流電は+Iより始めて次第に減少し零を通過して其方向を逆にし次第に增して遂に−Iに至りて玆に線輪Mは刷子の短絡より脱するのである。而して中性帶ppの左側に於て+刷子に接續されたる線輪Mは之が中性帶を通過して其內を流るゝ電流の方向を逆にすると同時に−刷子に接續され,斯くして總ての刷子には常に同一方向の電流を通ずるのである。之が整流の理論である。

【3】 火花の發生理由

前圖に示せるが如く刷子は中性帶に在る線輪に接續される位置に置かれたるものと考へる。然る時は刷子と接觸して整流に入る線輪Mは整流の全期を通じて磁束の存在せざる位置にあるを以つて主磁界

(Main field)によりて此內に誘起される起電力は零である。そこでMは刷子によりて短絡さるゝと雖も主磁界によりて電流を生ずることなく結局M中を流るゝ電流は前に述べたる短絡電流iのみである。次に此電流が短絡線輪M中で如何なる作用をなすかに就て述べる。

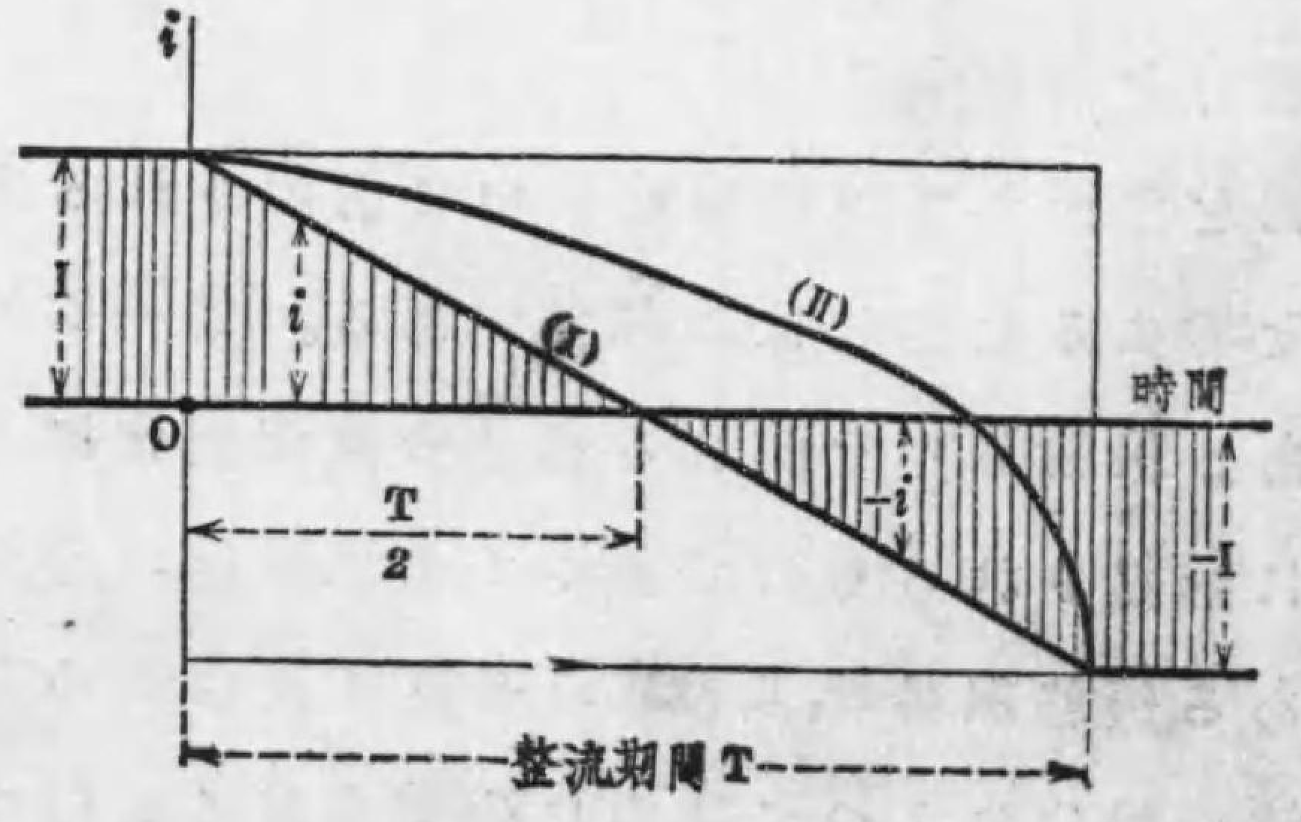
前述せるが如く整流中短絡線輪の中を流れる電流は刷子によつて覆はれる面積の變動に從つて+Iより零を通過して−Iに至る迄の2Iの範圍を絕えず變化する。從つて此電流によつて線輪Mの周圍に生せられる磁束(漏洩磁束Leakage fluxと稱す)も亦電流につれて變化する。そこで此磁束が線輪に働いて此內に或起電力を誘起する。

前圖を參照して短絡線輪M中に誘起される上記起電力を考ふるに之には二種類がある。第一はN極の下にある線輪M中を流れる自己の電流變化によつて其內に誘起されるものであつて,第二は他の磁極SSの下にある短絡線輪M_1及びM_2の導線d及びc中を流れる電流の變化によつてM中に生ぜられるものである。前者は自己誘導(Self induction)に因づき,後者は相互誘導(Mutual induction)に因づくものである。誘導的に關係する此二つの電流は,圖に示すが如く,其方向が一致する故に兩者が誘起する起電力は相加はるのである。

若し短絡線輪中に上記せる起電力が誘起されざるものと假定すれば,整流期間中の短絡電流の變化は第六圖(I)の如く直線形をとり,整流期間Tの半分に於て零になり整流の最後に於て丁度導線電流Iと等しくなる。そこで線輪が短絡を離れる瞬間には電流の變化は歇み従つて火花を發することなく整流を終ることが出來る譯である。

然るに實際には短絡線輪中には上述せるが如く自己及び相互誘導による起電力が誘起されてゐる。此起電力は常に之を生ずる電流の變化に反對して其變化を遅れしめるが如き働きをなすものである。そこて電流の變化は曲線(II)の如き形をとり,整流の半期$\frac{T}{2}$

第六圖



に於て電流は零にならずして猶ほ或値を持ち,整流の最後に於ける電流の變化の割合即ち其傾斜角は急峻にされる。

總て電流の變化があれば誘導によつて常に逆起電

力を生ずるものである。従つて整流の最後に於ては短絡線輪を通過する實際の電流は零になるに拘はらず,此瞬間に於ても電流の變化は依然として繼續せるを以つて短絡線輪中には猶ほ起電力が存在してゐる。

此の殘れる起電力によつて,短絡線輪が整流を終り子片が刷子を去つて線輪の短絡が解かれる瞬間に誘導放電を起すのである。之が直流電機の火花の發生理由である。

此の自己及び相互誘導によつて生ぜられる有害なる起電力の平均値をリアクタンス電壓(Reactance Voltage)と稱し之をe_rを以つて表す。

【4】 整流の調整

火花を發せずして完全なる整流を得んが爲めには短絡線輪中に生ぜられるリアクタンス電壓を中和(Neutralize)する逆の起電力を此線輪中に生ぜしめ以つて兩者の合成値をして,出來得るならば,整流期間の各瞬間を通じて零にせねばならぬ。

之が爲めには,刷子を中性帶より移動(Shift)して短絡線輪をして隣りの磁極片が分散してゐる磁界中に進ましめるか或は別に補助極を設け,以つて是等の磁束によつて有害なるリアクタンス電壓を相殺する逆の起電力を生ぜしめるのである。此種の磁界を整流磁界(Commutating field)と稱し,之によつて短絡線輪中に

誘起される起電力を整流起電力(Commutating electro-motive force)と稱し之をe_cを以つて表す。

勿論リアクタンス電壓は負荷と共に增大するものであるから,整流起電力も亦負荷と共に增して行かねばならぬ。之が爲めに補助極捲線は電機子と直列に接續される。

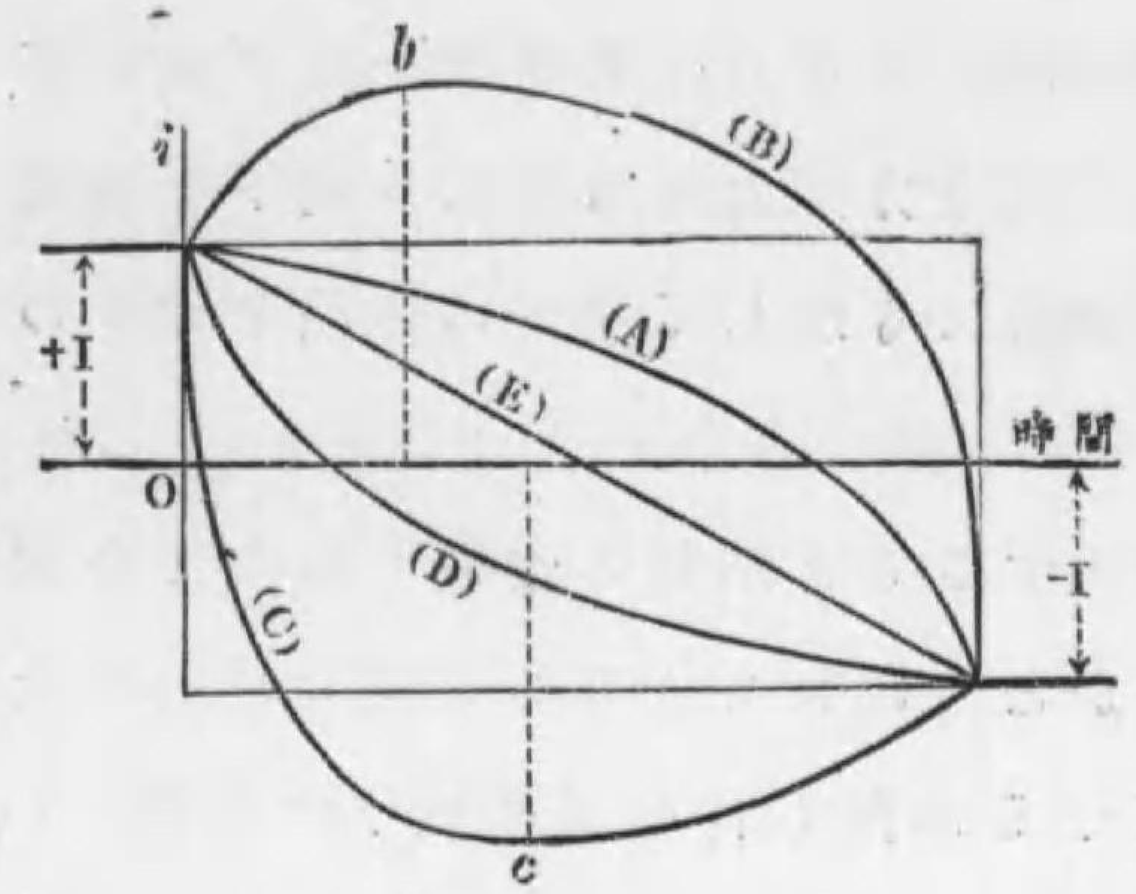
完全なる整流作用は是等二つの起電力が整流の全期を通じて相等しい時に得られるのである。兩者の値に相異があれば何れか大なるも,或値の合成起電力を殘し,之が爲めに整流は害せられるのである。次に此關係に就て說明する。

(1)　$e_c < e_r$

若し整流起電力がリアクタンス電壓よりも小なる時は,合成起電力は短絡電流の變化を妨げる如く働き導線電流は整流の半期$\frac{T}{2}$に於て零を通過することが出來ずして,第七圖A若くはBの如き形をとる。

電流の變化がAの如き形をとれば,整流の最後に於ける電流の變化の割合は急になるが故に,線輪の短絡が破れる瞬間に刷子に火花を生ずるのである。若し之がBの如き形をとれば,火花を發することは前者と同樣であるが,特にbに於ける電流密度が高い爲めに,此部分に於て刷子の赤熱を起すのである。

(2)　$e_c > e_r$



第七圖

前者と逆に整流起電力がリアクタンス電壓よりも大なる時は,短絡電流の逆流は速かに行はれ其變化はDに示すが如き形をとる。然し整流起電力が餘りに高くなれば,Cの如く,短絡電流は中途に於て導線電流Iを超過して非常に大なる値に達し整流の最後に於ては電流變化の方向は(1)の場合と反對になる。而して此時も亦cに於ける電流密度が大なる爲めに,假令へ火花を發せざる時と雖も,刷子の赤熱を起すのである。

要するに最良なる整流はe_rとe_cとが整流の全期を通じて相等しくして,短絡電流の變化がEの形をとる場合に得られるのである。然し之は常に望み得られることではないから,整流はなるべく之に近いA又はDの形に於て行はれる樣に調整せねばならぬ。

【5】　刷子の赤熱(Glowing or Incandescence)

前述せるが如く,短絡線輪中のリアクタンス電壓がそこに設けられたる整流磁界の生ずる起電力に相等

しからざる場合には,兩者の合成値が正なると負なるとを問はず,此線輪内に大なる短絡電流を生ずるのである。此電流は合成起電力が大なる時には刷子を通過する常規電流の數倍にも達して刷子の赤熱を起すのである。

銅刷子は之に感ずることが頗る鋭敏であつて,合成起電力が極く僅かなる時にも大なる電流を流して火花を發し或は刷子を赤熱し併せて整流子を加熱する。

然し炭素刷子は接觸面の抵抗が高くして短絡電流の通路に相當の抵抗を與へる故整流の不精密に堪えることが出來る。實驗によるに或炭素刷子は合成起電力が3ボルトに達せるが如き時にすらも充分に短絡電流を抑へて火花を防ぐと同時に刷子の赤熱をも免れしめた例が擧げられてゐる。

一般に云へば,刷子の赤熱の原因の多くは短絡電流によるものであつて之が療法としては第一に刷子を移動して滿足なる整流が行はれる位置を見出すのである。

然し赤熱の故障は必ずしも火花と關係のあるものではない。卽ち第七圖の曲線Cの如く整流起電力がリアクタンス電壓よりも高い時には,整流の最後に於ける電流の變化の割合が小であるので火花は現れぬ。然し整流の中途に於て刷子の或部分の電流密度は極めて高くなり此部分が最初に赤熱されるのである。

又之と反對にリアクタンス電壓が整流起電力よりも高い時にも第七圖の曲線Bに示すが如くにして刷子の赤熱は起り得る。然し此時は圖によつて明かなる通りに,整流の最後に於ける電流變化の割合が甚だ大になつて多くは火花を伴ふのである。

斯る場合には整流を多少犧牲にしても,刷子の移動角を調整し或は補助極を加減して,刷子の赤熱を充分に抑へねばならぬ。

刷子の赤熱故障は加働的(Cummulative)のものである。局部電流の過大なるが爲め,若くは刷子の接觸面が不良であつて或一局部に於て強く接觸が行はれて此部を通過する電流が過剩になるが爲めに刷子が熱せられる場合を考へる。

炭素刷子の溫度係數は負であるから之が加熱されると抵抗は減じる。そこで加熱部分には益〻過剩なる電流が流れ,之によつて此部分に更に大なる電流が流れる。此順序を逐ふて刷子は遂に赤熱に達す。而して之が赤熱される時は,空氣中の酸素と化合して此部分に窩孔(Pitting)を生ずるのである。

刷子の赤熱は此内を通る電流密度を高く取り過ぎる時に起り易い。運轉に於て實際に刷子を通過する電流密度は,整流が精密に行はれ難いことによつて,常

に設計値よりも遙かに高い。而して此影響は設計に於て電流密度を高く取る程(刷子の接觸面積を小にすること)甚だしいのである。從つて刷子の電流密度は整流子の加熱以外に刷子の赤熱からも餘り高く取ることはよろしくない。

經驗によるに機械の運轉中刷子の赤熱に遭遇せる時に刷子を如何に移動して試みるも之を消すことが出來ぬ場合が屢々ある。茲に至つて刷子の幅(整流子の周圍方向に於ける)が問題になるのである。

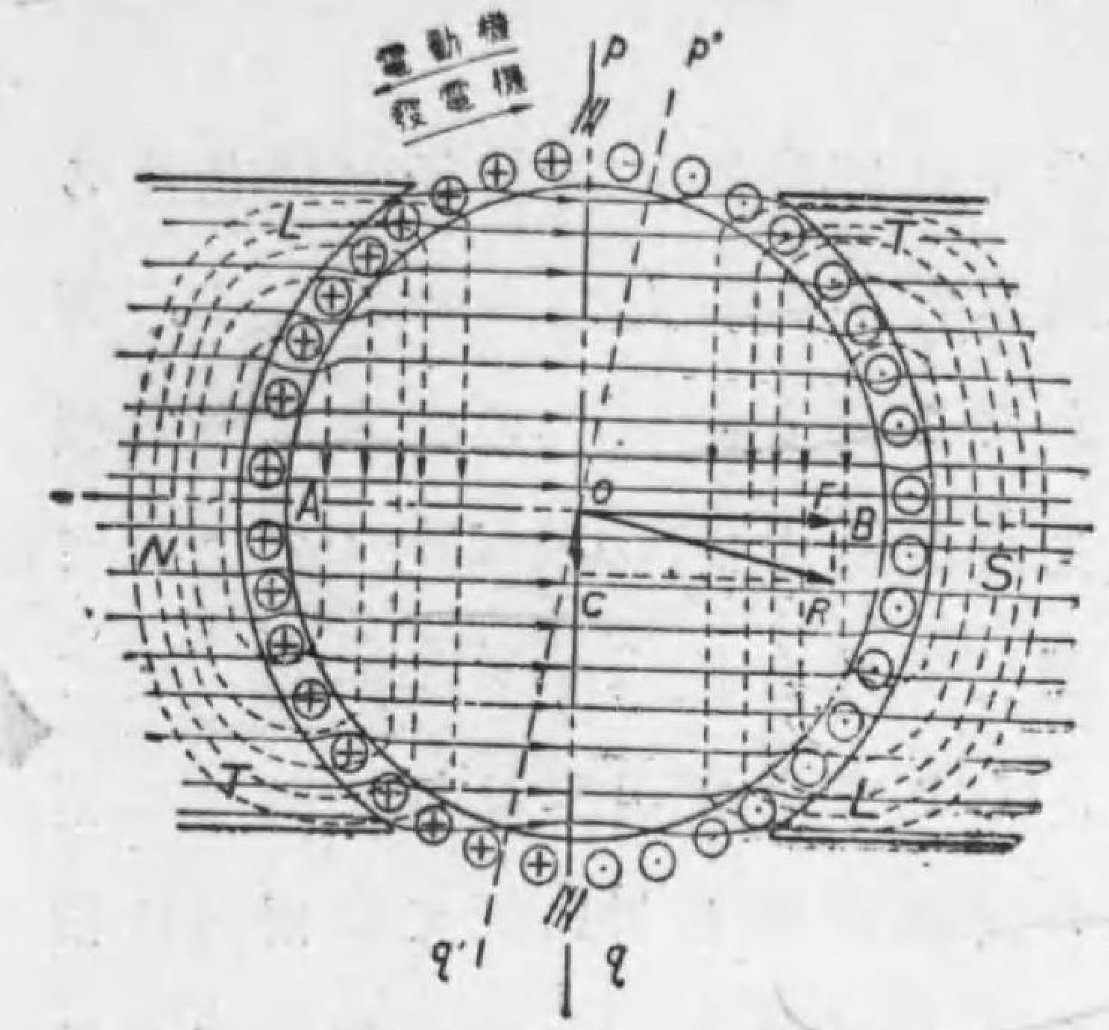
刷子の幅を誤てるが爲めに生ぜられる赤熱の故障は殆ど總て刷子の幅の過大なることに起因せるものである。斯る時には如何に刷子の移動を試みるも其效果はなく,唯加熱の程度が比較的低い位置を見出し得るに過ぎぬ。而して之が爲めに生ずる重大なる故障は刷子の幅を僅かに0.1−0.2吋位だけ縮めて全く消されることが稀でない。總て刷子の幅と其の赤熱とは結付けて考へねばならぬ。

第二章　電機子反作用 (Armature Reaction)

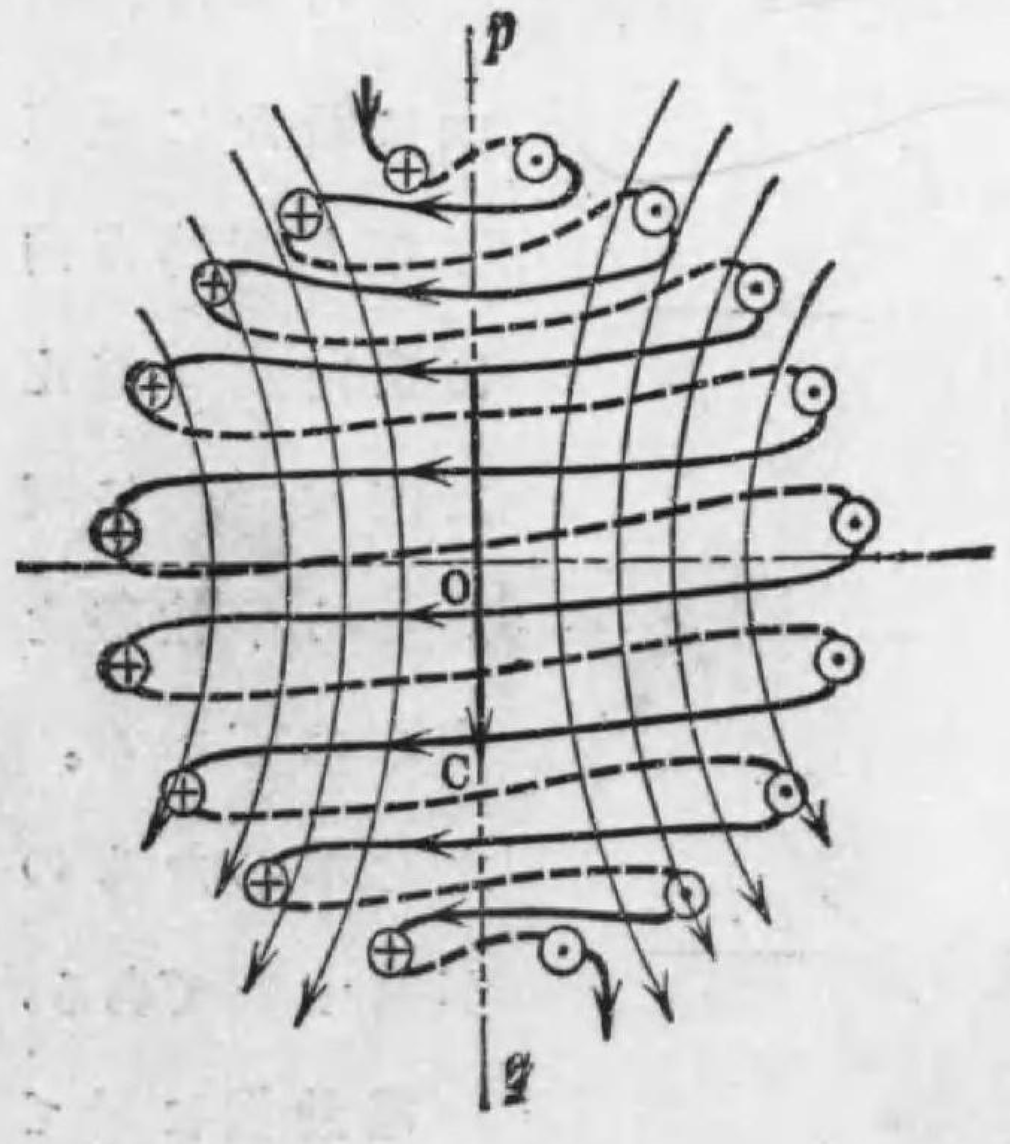
【6】 横磁作用 (Cross-magnetization)

刷子を正しく中性帶に取附けて機械が無負荷に於て運轉せる時は,電機子捲線中には電流が流れぬから

鐵心(Core)中を通過する磁束は主磁極によつて生ぜられるものだけであつて,主磁界は第八圖に實線を以つて示すが如く對稱せる形を有す。



第八圖



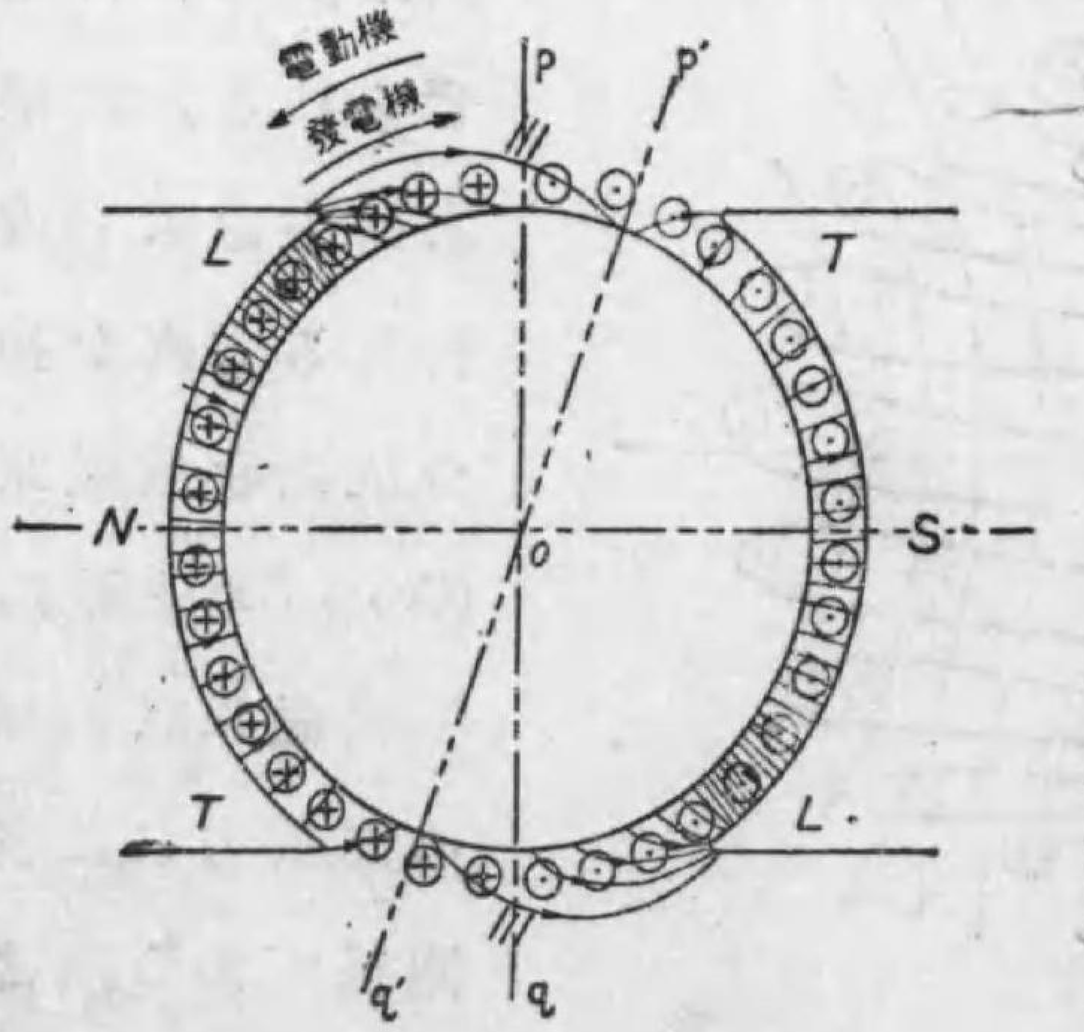
第九圖

然るに機械が負荷されて捲線中を圖の如き方向に電流が流るれば捲線は第九圖の如き筒線輪(Solenoid)として働き,電機子中に中性帶pqと並行する點線の如き磁束が新たに生ぜられる。此磁束は主磁束と直角なる方向を持つ故之を横磁束(Cross flux)と稱す。

横磁束は機械の起電力には無關係である。之はpAq或はpBq

の回路に於て,上半分pA或はpB中に横磁束によつて誘起される起電力と下半分qA或はqB中に誘起される起電力とは相等しくして其方向が相反するからである。

然し横磁束が發生すれば,實際に電機子を通過する磁束は主磁束と横磁束とが合成したものになる。而して圖によつて明かなる通り,此二つの磁束は發電機に於ては磁極片の先端(廻轉方向) L (Leading tip) に於て方向が一致し後端(廻轉方向と逆) T (Trailing tip)に於て方向が相反對する。そこで合成磁界はLに於ては兩者が相加つて磁束の密度は增し,Tに於ては兩者は消合つて密度は減じ,斯くして磁束の分布を廻轉方向に扭ぢる。而して以前に磁束の存在しなかつた中性帶pqに新たに磁束を作り,廻轉方向に或角丈け進んだ位置p'q'に新たなる中性帶を作るのである。之を示したものが第十圖である。



第　十　圖

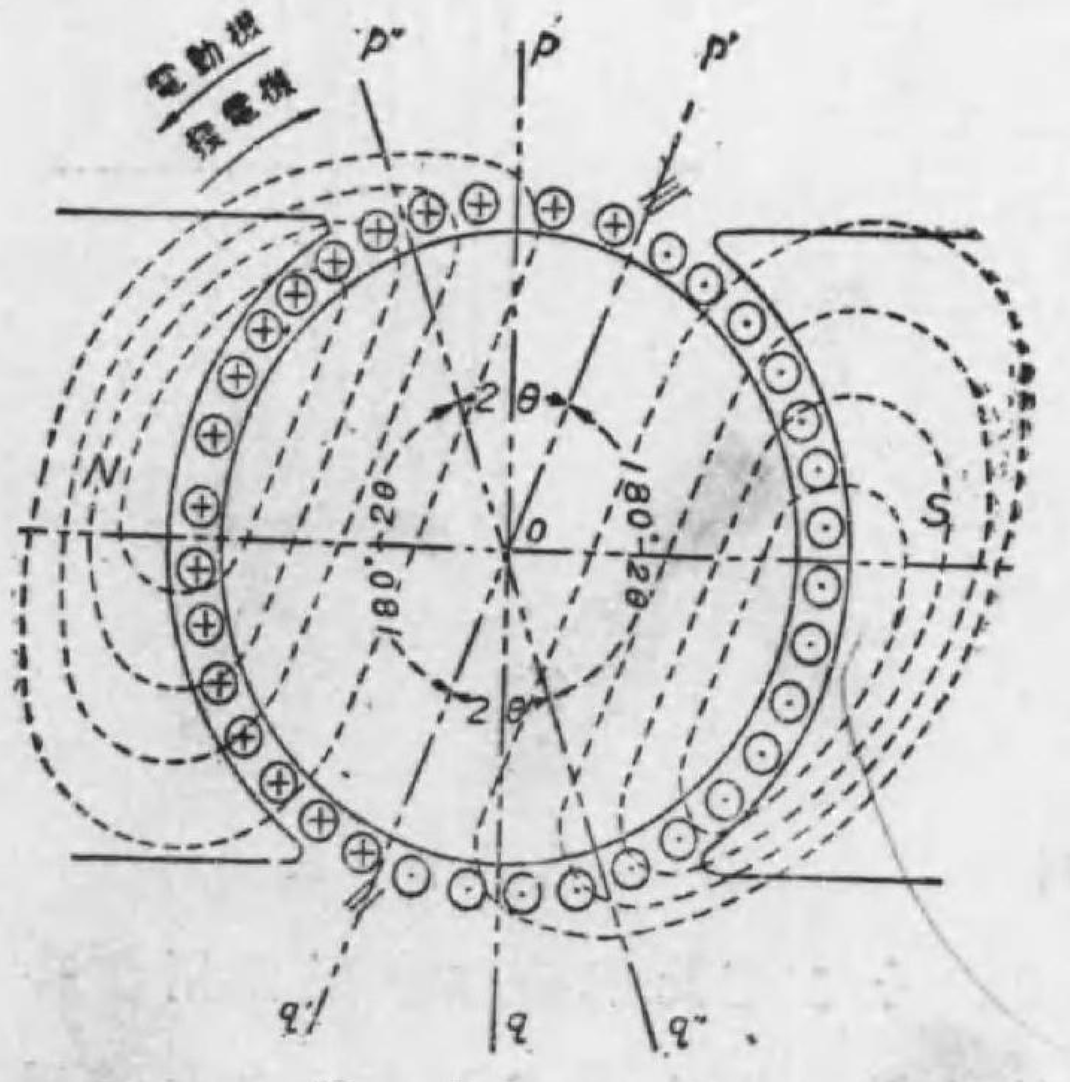
電動機に於ては是等の方向は

發電機に於けると反對であつて,磁極片の先端Tに於て磁束密度は減じ,後端Lに於て之は增すのである。

負荷狀態に於て刷子を元の中性帶の位置pqに置ける限りは短絡線輪は此處に發生した磁束を横切つて進むを以つて其内に起電力を生ず。此起電力はリアクタンス電壓と其方向が一致する。そこで整流は害せられて火花の故障を增大するのである。

從つて負荷狀態に於ても機械を火花なく整流せしめんには,發電機に於ては刷子を廻轉方向に,電動機に於ては之と反對方向に移動して,有害なる起電力を生ずる磁束と反對方向を持つ所の隣接磁極が分散してゐる磁界中に,短絡線輪を進めねばならぬ。

【7】 減磁作用(Demagnetization)



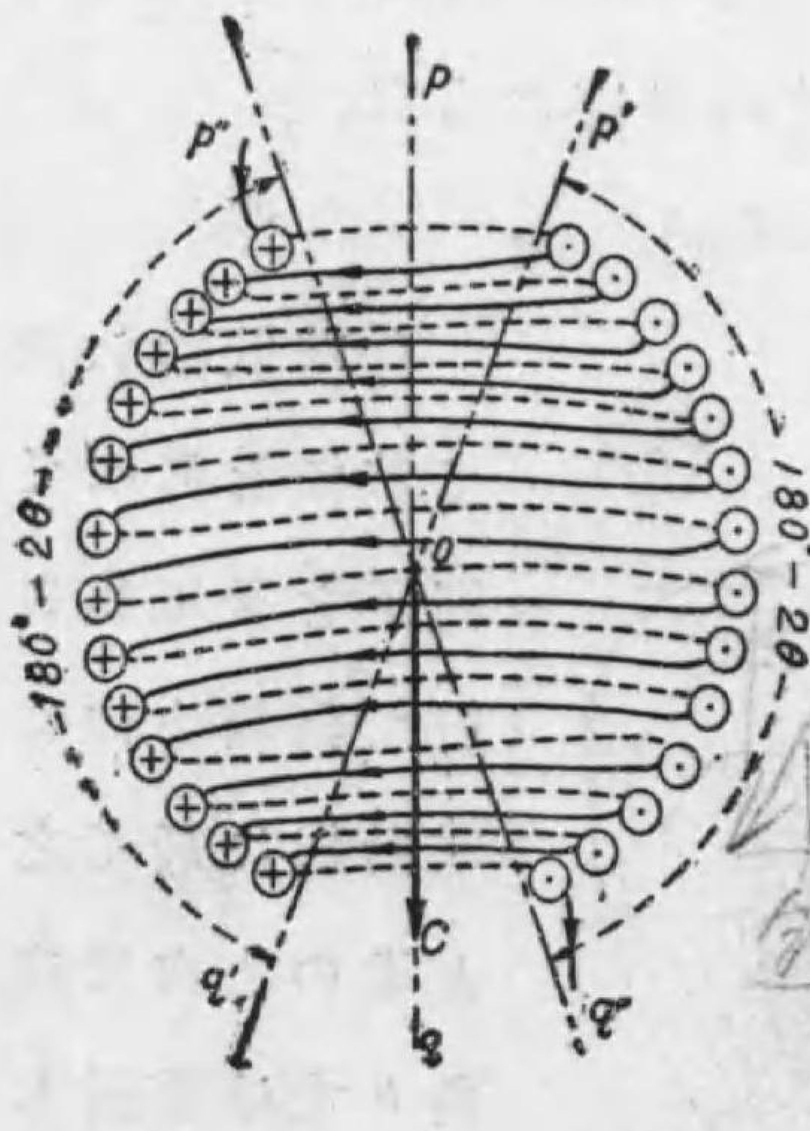
第　十　一　圖

負荷狀態に於て,整流を考へて刷子を發電機に於て廻轉方向に電動機に於て之と逆の方向に或角θ丈け移動してp'q'の位置をとらしめたる時は導線電流の流

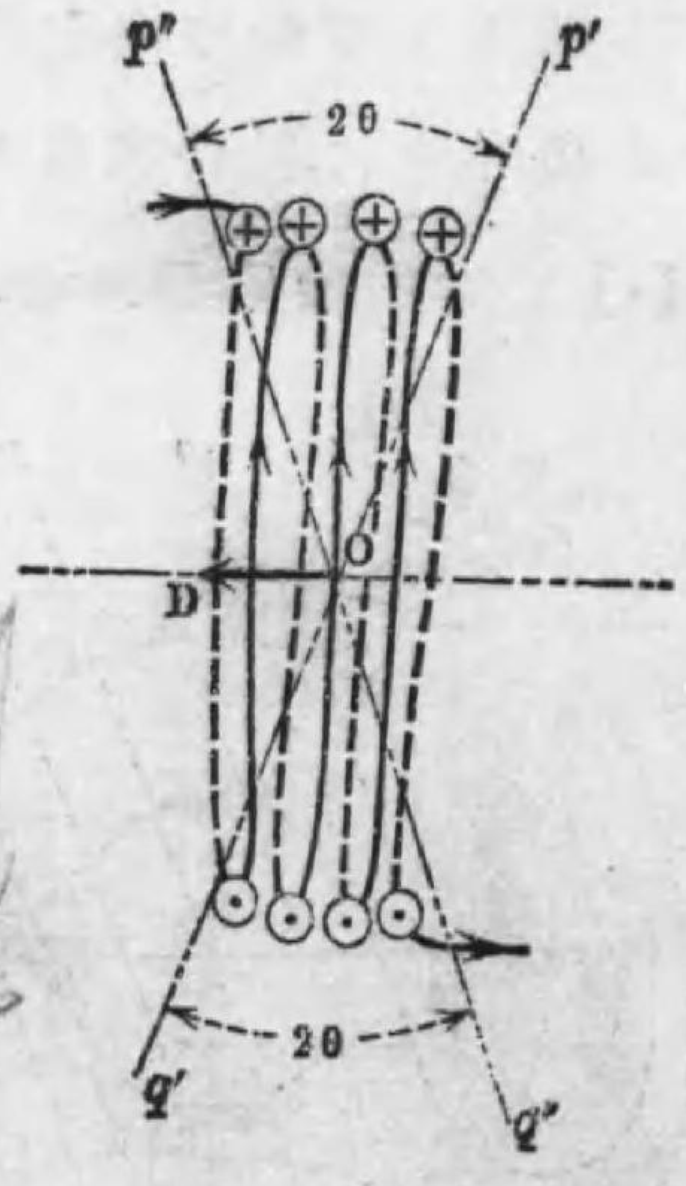
れ方は第十一圖の如くになる。

電機子捲線を二つの部分に分ち,刷子の移動角の二倍即ちp'q'とp''q''との間に含まれる導線2θの部分と殘りの(180−2θ)の部分との二つに分ちて考ふるに,後者は第十二圖の如き筒線輪を構成して主磁界に直角なる橫磁束OCを作る。而して之は,前項に於て述べた樣に主磁界を扭ぢるのみに止つて機械の起電力には無關係である。

次に2θの間に含まれる部分は第十三圖の如き筒線輪として働いてpqに直角なる磁束ODを生じ,其方向



第十二圖



第十三圖

は主磁界に反對する。そこで此部分は橫磁作用は持たぬが主磁界を弱める樣に働くのである。之を減磁

作用と稱す。

合成電機子反作用は橫磁束OCと減磁束ODとが合成したものである。而して之と主磁束とが合成したものが實際に電機子を通過する磁束となる。

要するに刷子を進め(發電機)或は之を後退して(電動機)機械を運轉すれば,橫磁作用と減磁作用とが同時に生じて磁界を扭ぢると共に起電力をも減少するのである。

【8】 刷子の移動

既に述べたるが如く運轉中に刷子を移動することが許される時は,發電機に於ては之を廻轉方向に進め電動機に於ては之を後退すれば,整流を救ふことが出來る。又刷子を常に一定位置に固定して使用することを要する場合にも,補助極を持たぬ機械では,無負荷に於て有害なる火花を出さぬ程度に刷子を豫め移動しておくことが許される。補助極を持たぬ機械の一例

第十四圖

を示せば第十四圖である。

然し刷子の移動は電機子反作用の影響が發電機に於ては餘りに電壓を降げることなく電動機に於ては餘りに速度を増すことなきを以つて限度とせねばならぬ。

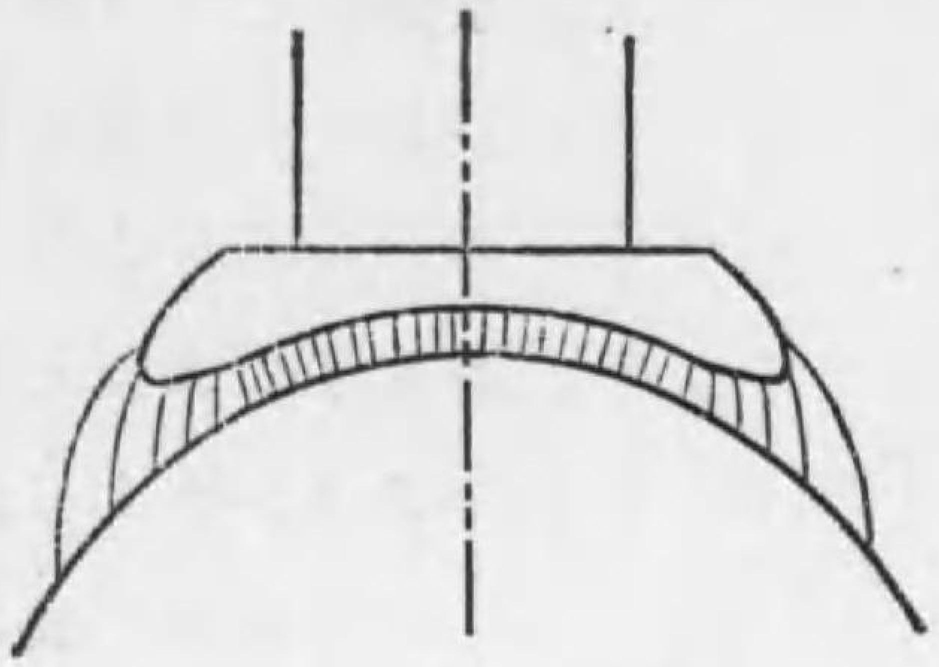
然し絶えず左右兩方向に廻轉される電動機若くは絶えず發電機となり或は電動機となつて兩方に働く機械に對しては,刷子は必ず確實に中性帶に固定してをいて精密に整流が行はれる樣に調整せねばならぬ。

次に補助極付の機械に於ては刷子は必ず精密に見出したる中性帶に固定して使用せねばならぬ。若し之を怠る時は發電機に於ては負荷の増すにつれて電壓は降下せずに返つて上昇して並行運轉に支障を來し,又電動機に於ては動もすれば負荷の増加につれて速度は返つて増加し或は亂調(Hunting)を起すのである。之は特に補助極の強過ぎるものに起り易い。

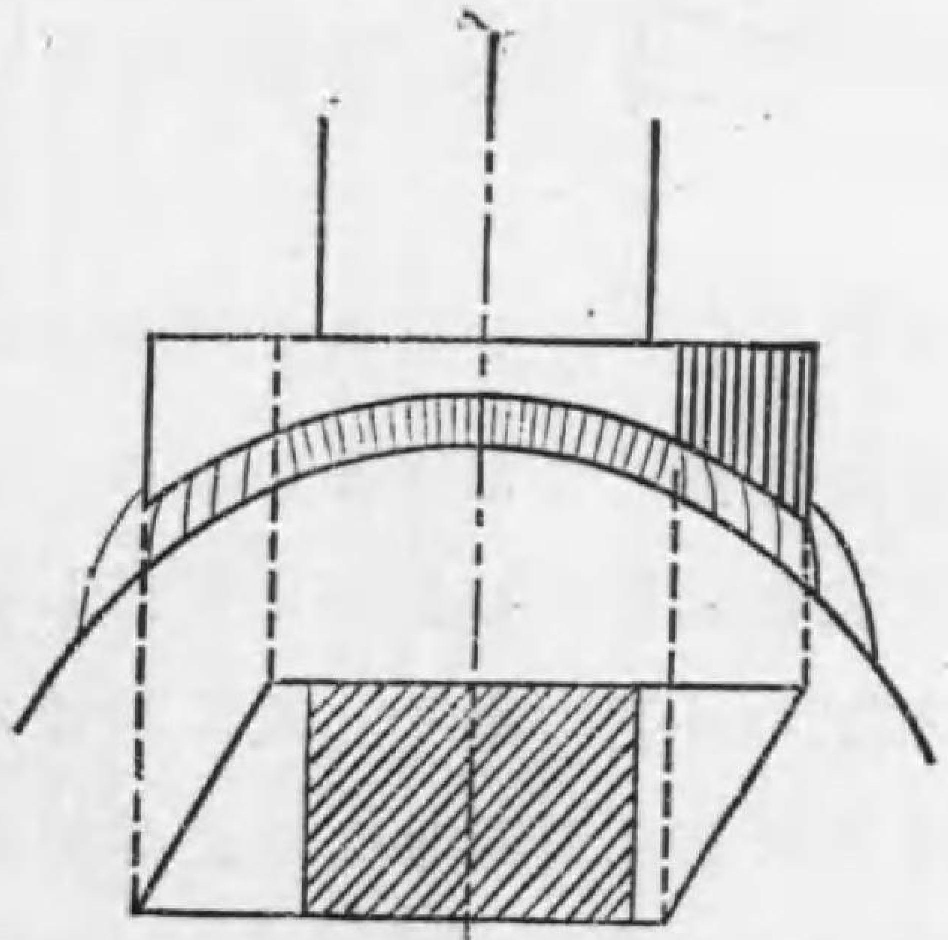
刷子を漸次に移動することによつて整流を精密に調整し得んが爲めには整流磁界として働くべき隣の磁極の分散してゐる磁束は特に中性帶の附近に於て其分布が緩漫でなければならぬ。若し之が急激であれば,刷子を僅かに移動するも整流磁界は強きに過ぎて到底刷子移動の效果を擧げることが出來ぬ。

之が爲めには磁極片の先端に特殊の形狀を與へる

のである。其の一二の例を示せば下圖である。第十五圖は磁極片の先端を削つて(Chamfering)空隙を大にせるもの第十六圖は磁極片を菱形に作り(Skewing)先端の面積を小にせるものである。共に中性帶の前後に於ける磁束分布を緩漫にするに秀でたる效果がある。



第十五圖

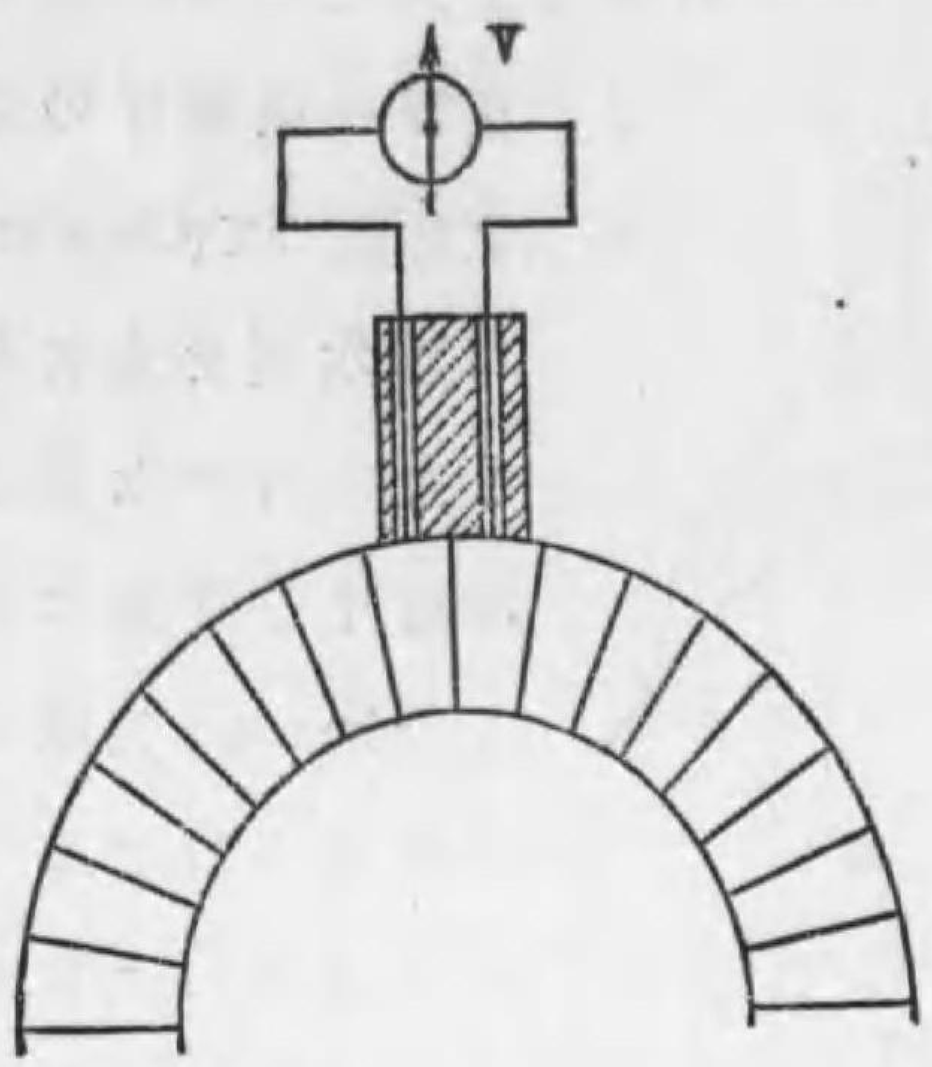


第十六圖

【9】 中性帶の決定法

中性帶の位置を見出すには,先づ機械の刷子と同一大のファイバー(Fibre)や木製の刷子を作り,之を一列の刷子の內の一個に代入す。此刷子中には,第十七圖の如く整流子片の間隔と等しき間隔を持つ二個の小孔を穿ち,此內に細き銅線を挿入れ之を低讀電壓計に接續する。

此時銅線は小孔の內に緩く入る樣にする。若し之



第十七圖

が緊ければ銅線と整流子との接觸が不良になり,或は銅線の尖端によつて整流子の表面を傷けることがある。

次に機械を發電機として無負荷に於て廻轉し,常規速度に於て常規電壓を出さしめをき,刷子移動器(Rocker)を前後に移動して電壓計の振れが零になる位置を見出し,此位置に於て移動器上に標しを付ける。續いて第二,第三の各列の刷子に就て同樣の試驗を行ひ,一々移動器上に標しを付ける。是等が僅か宛異ふ樣であれば,其平均位置に移動器を取付ければ平均せる中性帶が得られるのである。

若し機械を電動機として試驗せんとすれば,界磁を常規値に勵磁し電動子に常規電壓を與へをき機械を無負荷に於て兩方向に廻轉し刷子を適當に移動して兩方向に於ける廻轉數が等しくなる位置を見出し,此所に移動器を取付けるのである。二重速度の電動機に於ては中性帶は高速度に於て決定するのが普通で

ある。

以上の方法は機械が負荷狀態にある時にも,同樣にして,行ふことが出來る。然し補助極付の機械に對して之を電動機として試驗せんとする時は,補助極の強過ぎるものは亂調を起して中性帶を決め難いことがある。此時は補助極を分路によつて弱めてをいて試驗するのである。

第三章　整流の改善

【10】 概說

現今に於ける直流電機の理想的境域に於ては,無負荷より常規負荷の125%に至る迄,刷子を一定位置に固定せるまゝで,火花や刷子の赤熱を生ずることなく運轉するを得,且つ負荷の制限は是等のものによらずして反つて電機子や其他の部分の溫度上昇によつて決定さるべきである。

抑も直流電機を總ての負荷の下で刷子を一定位置に固定せるまゝ無火花に運轉せしめんとすることは遠く昔より盛に研究を重ねられたことであるが長く望みは達せられずに過ぎた。電氣鐵道事業に於ては特に此必要を感ずること痛切である。之は此種のものでは電動機は近付いたり或は之を監視することの出來ぬ箇所で運轉され,又發電所に於ても發電機は急

激なる負荷の變動を受け手を以つて刷子の位置を調整する遑を與へぬ爲めである。規模の小になるにつれて此困難は愈々痛切に迫つて來る。

然し爾來幾多の星霜を重ね粉骨碎身の研究の恩惠は今や我等の時代に至つて其光彩を放ち我等をして濃霧を拂つて光明に浴せしめたのである。即ち有溝電機子(Toothed armature)と炭素刷子との發明によつて現今の如き完全なる機械の製作を可能とするに至つたのである。

然し火花に對する研究が眞に深刻に積まれたるにも拘はらず猶ほ現今に於ても設計者の最も苦み且つ不安とする點は實に整流にあるのである。設計者は機械の電氣的の部分に於ては絕緣耐力を除けば火花に對する安全率に於て最も大なる餘裕を捧げ鐵部の重量を減じて銅部の重量を増し火花の抑制に翼々として努めて猶ほ不安を感ぜざるを得ぬのである。

火花の發生に對する負荷の制限を決定する最も重要なるものは

(1)磁束分布の齊整

(2)電機子反作用による磁界の扭歪(Distorsion)

(3)リアクタンス電壓

(4)整流磁界

の四つである。次に節を分つて是等に就て論ず。

第一節　磁束分布(Flux distribution)

【11】 磁氣回路の檢査法

特に多極で並列捲線を持つ直流電機に於ては各磁極の出す磁束の内で電機子を通過する所謂有效磁束(Useful flux)なるものは相等しくなければならぬ。

若し之が磁極によつて相異すれば電機子の各回路中に誘起される起電力に相異を來す。所が是等の電機子回路は正負の兩刷子によつて兩端に於て並列に接續されてゐる。そこで高い起電力を誘起せる回路より低い起電力を誘起せる回路に向つて均壓電流を送り啻に整流を害するのみならず機械の能率を下げ又電機子の過熱をも生じて出力に相當の制限を與へる。

之は丁度並行運轉をせる二個の發電機の内の一方の電壓が降つて電動機となり高い電壓のものが發電機として從前の負荷を引受けると共に電動機をも運轉して過負荷の狀態に陷つて激しき火花を發するのと類似てある。

各磁極の出す有效磁束を相等しからしめんには各磁極の界磁線輪の捲回數及び磁氣回路の抵抗を等しくせねばならぬ。從つて若し界磁線輪中に故障がないものとすれば各磁氣回路の抵抗を齊一にせねばならぬ。

之が爲には各磁極の下の空隙長を同一にすること各磁極片の內面積を等しくすること及び各磁極の中心線を正しく中心方向に向はしめ且つ相互の含む角卽ち磁極の間隔をも等しくすることが必要である。是等に不同を見出した時は適當に修正を加へねばならぬ。

之を電氣的に檢査するには,並列に接續さるべき各電機子回路に誘起される起電力が互に等しいか否かを試驗するのである。之には先づ刷子を正しく中性帶にをいたまゝ機械を無負荷に於て常規速度に廻轉する。而して相隣合ふ二組の刷子のみを用ゐ他は全部浮上げてをいて,勵磁電流を加減して常規電壓を出さしめる。

次に他の二組の刷子を用ゐ,前と同一の速度に於て同一の勵磁電流を與へて機械が誘起する電壓を測定する。之を相隣合ふ二組の刷子の次から次へと行ふのである。

斯くして測定されたる各電壓が夫等の平均値との間に相當の差があれば空隙を調整して修正を加へねばならぬ。此試驗は等電位接續を持たぬ機械に對しては特に勵行せねばならぬ。

【12】 磁束分布齊整の必要

前項の試驗は各並列回路の起電力從つて各磁極の

出す有效磁束を同一にする爲めに行はれるものであつて,各磁極の下の磁束分布の形狀を檢査するものではない。

整流が確實に行はれんが爲めには各磁極の出す有效磁束が等しい丈けでは不充分である。卽ち各磁極の下の磁束の分布形狀も亦對稱的にして齊整せるものでなければならぬ。之は特に負荷狀態に於て各電機子回路の起電力を同一に止める爲めに必要なる條件である。

機械が負荷されれば磁極片の先端と後端とでは磁束密度が增減し爲めに其の導磁率(Permeability)も亦增減す。そこで負荷狀態に於ても猶ほ各並列回路の起電力を等しからしめんには磁極の先端に於ける磁束密度の增す割合と後端に於ける磁束密度の減ずる割合とが總ての磁極に於て同一でなければならぬ。之を滿足し得んか爲めには各磁極の磁束分布の形狀は對稱的にして且つ齊整せるものでなければならぬ。

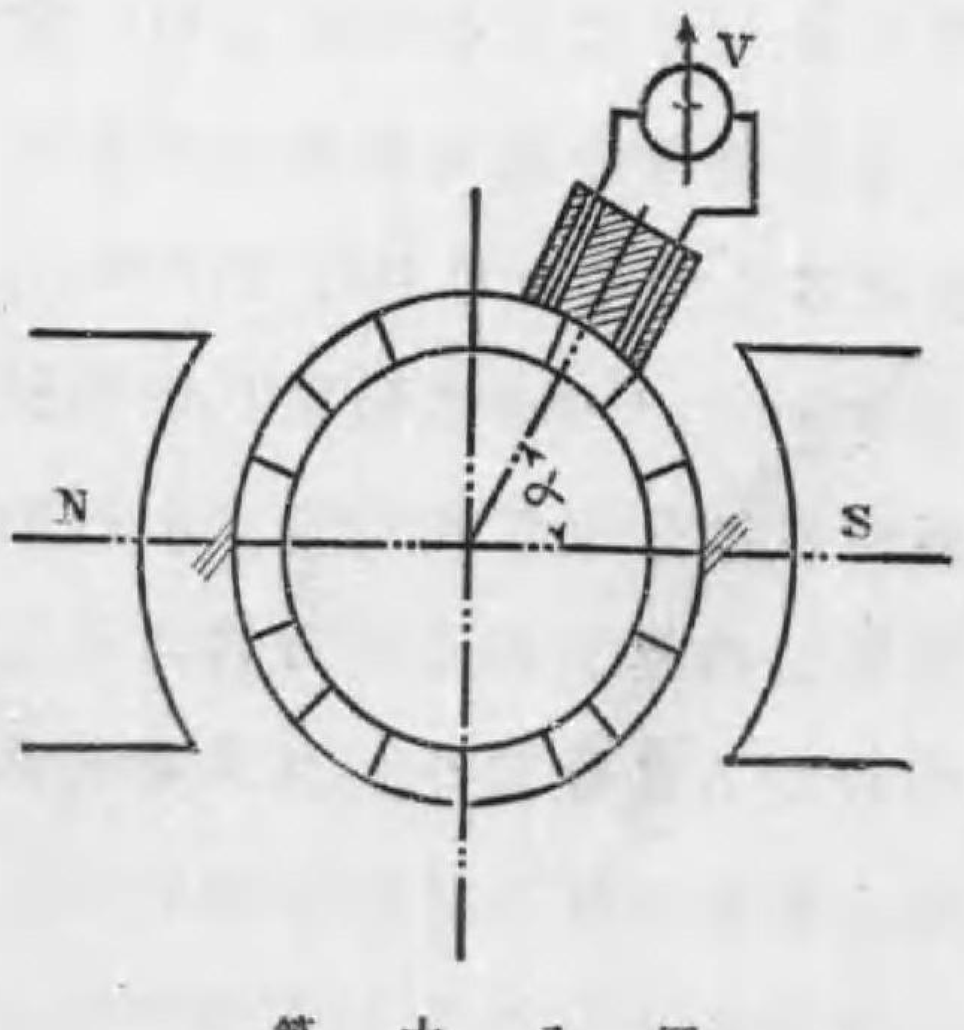
磁束分布曲線(Flux distribution Curve)は磁極片の形狀が適當であつて磁束が適當に分布されてゐるか否かを知る外に,刷子間の間隔に相異があるが爲に火花が生じてゐるのか否かを知るに役立つ。又負荷狀態に於ては電機子反作用の强弱を檢し又之が如何に主磁界を扭歪してゐるかを知る上にも甚だ貴重なる曲

線である。從つて整流試驗には此曲線は極めて重要なるものである。

【13】 磁束分布曲線の決定法

磁束分布曲線を求めんには,電機子線輪を直ちに利用する事もあるが又別に電機子上に試索線輪(Search coil)を捲付けることもある。而して其試驗方法にも電壓計法,バリスチツク法及び差働法等種々あるが,本項に於ては是等の內の最も簡單なるものに就て述べる。

中性帶を決定するに用ゐたと同樣の試索刷子を作り之を補助刷子保持器中に取付ける。補助刷子保持器は整流子の周圍を移動して試索刷子を種々の位置に搢動し而して之が磁極となす角αは目盛を施されたる圓によつて讀み得る樣に裝置す。而して第十八圖の如く補助刷子中の接觸線に低讀電壓計を接續す。

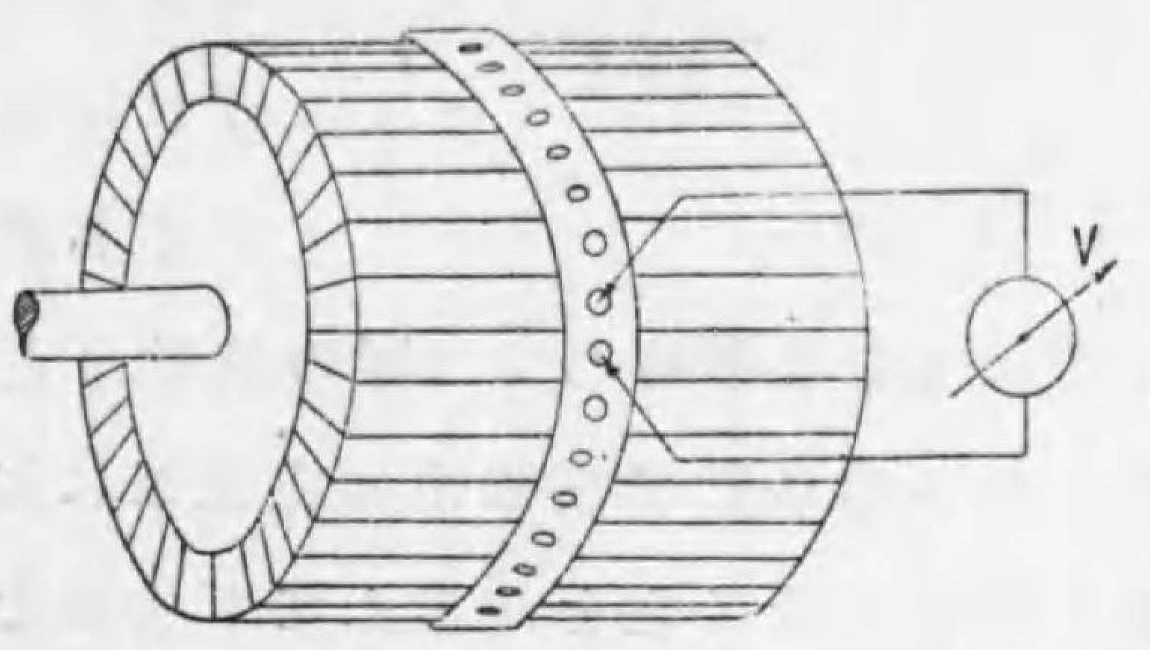


第十八圖

次に機械を常規速度に廻轉し常規電壓を出さしめをき,無負荷と全負荷の二つの下に試索刷子を一つの主刷

子の近くより始め,整流子上て一定の角度例へば電氣的に10° 宛進め行き各位置に於て電壓計の讀みを取りつゝ之を整流子の全表面に亘つて行ふのである。

別法としては試索刷子を用ゐる代りに第十九圖の如くフアイバーやプレスボードの如きものを1-2糎の幅に切り之て整流子を取捲き之に子片の數だけ等距離に小孔を穿ち之を適當に刷子保持器に取付け整流子は此內を自由に廻轉し得

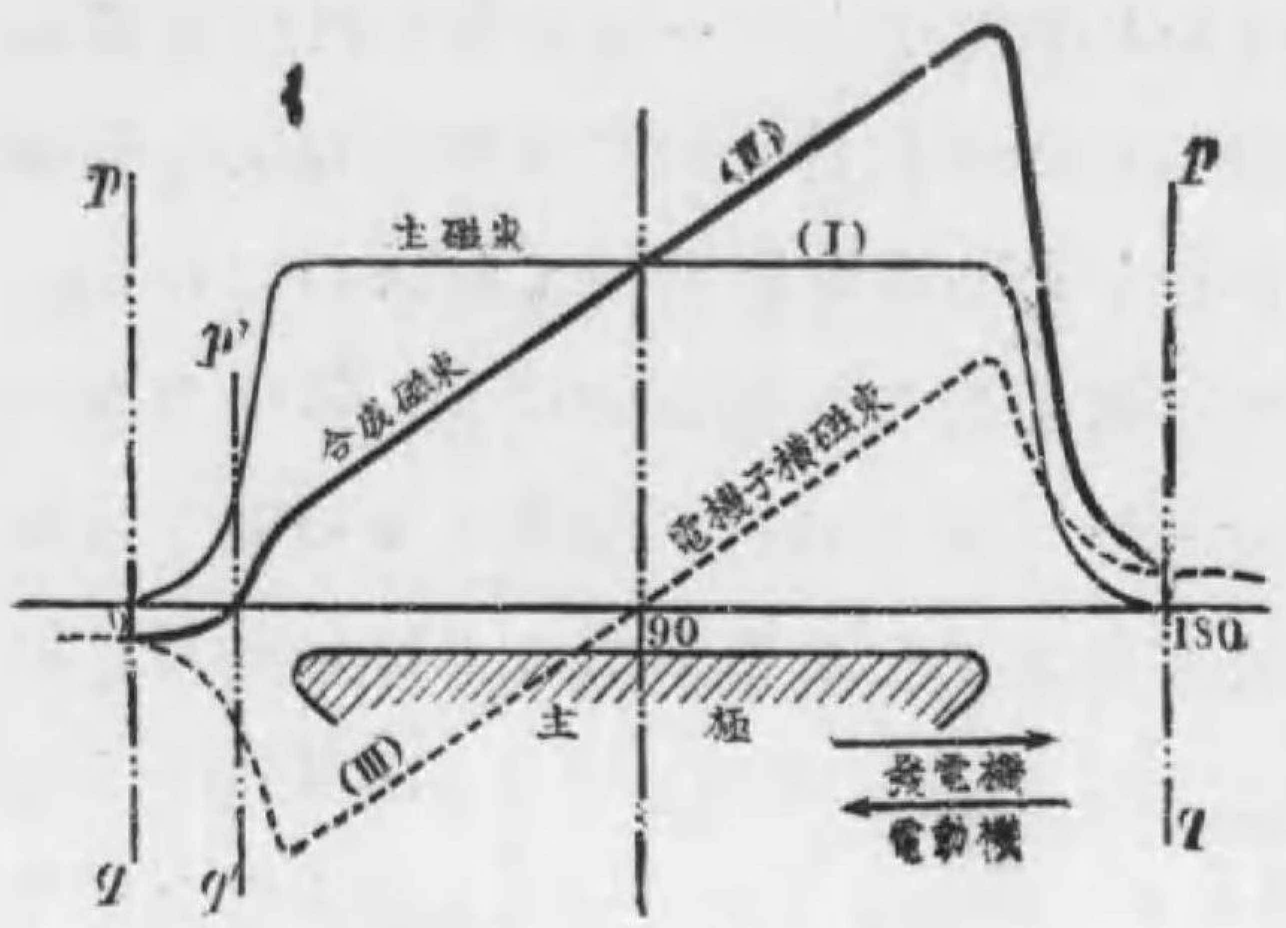


第十九圖

る樣に裝置する。而して相隣合ふ小孔に電壓計の兩端を挿入し前と同樣にして試驗を行ふのである。

試驗の結果を曲線に表すには電壓を縱軸にとり電氣角αを橫軸にとる。若し無負荷と全負荷とに於ける二つの曲線を求めたる時は其差を縱軸にとつて一つの曲線を描くことが出來る。之は無負荷と全負荷とに於ける磁束分布の變化を示すものであつて之が電機子反作用である。

第二十圖は刷子を中性帶に固定せる場合の曲線を示し(I)は無負荷に於ける磁束分布,(II)は全負荷に於ける磁束分布であつて兩者の縱軸の差なる(III)が電機子



第　二　十　圖

の横磁束を表すのである。

圖より明かなるが如く横磁束が生ずれば元の中性帶pqには磁束を生じ中性帶は移動して p'q' の位置をとる。而して磁極片の一端に於て横磁束は主磁束に加つて其密度を增し他端に於て之を減殺して其密度を減ずるのである。

上述の試驗によりて得られたる結果は餘り正確なるものではない。何となれば電壓計は之が接續されたる線輪中の電位差を讀んでゐる。所が此線輪は相隣合ふ磁極の下にある二個のコイル・サイド(Coil sides)より出來上つてをり且つ各コイル・サイドは相當の幅を持つてゐる。そこで得られたる電位差從つて磁束密度は或一點に於ける値にあらずして二つの磁極の下でコイル・サイドの幅丈けの箇所に於ける平均値を與へてをるのである。

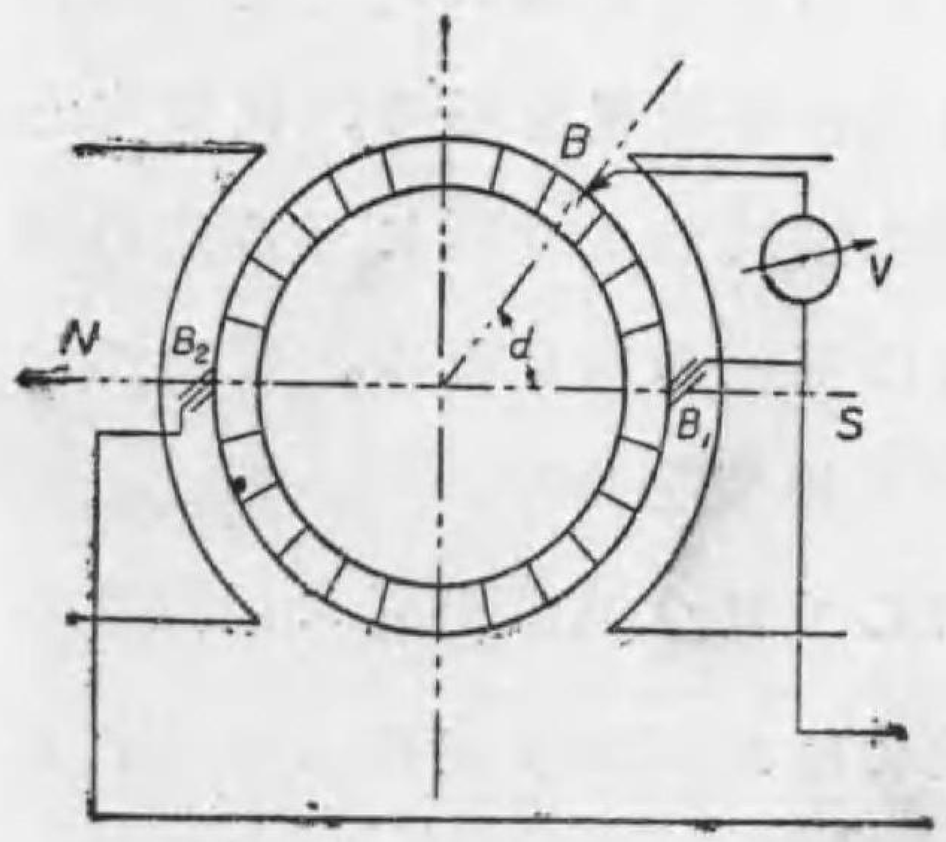
試驗中注意すべきことは試索刷子の位置は主磁極

に對して正確に測定せねばならぬ。而して電機子の捲線方式に充分に注意して試索刷子の幅を決定せねばならぬ。又主刷子の附近に於ては整流の下にある線輪中の短絡電流の反作用の爲めに讀みが不確實になるが、曲線の傾斜の具合によつて零點を決定することが出來る。

尙ほ玆に注意すべきことは、得られたる結果は其點に至る迄の全磁束を表すものに非ずして其點に於ける磁束密度を表す曲線である。

【14】電位曲線(Potential curve)の決定法

此曲線は整流子の周圍に於ける電位の分布を示す曲線である。第二十一圖の如く一個の接觸點を有する試索刷子Bを用ゐ之と主刷子の一つB_1との間に電壓計を接續す。此電壓計は機械の全電壓を讀み得るものでなければならぬ。

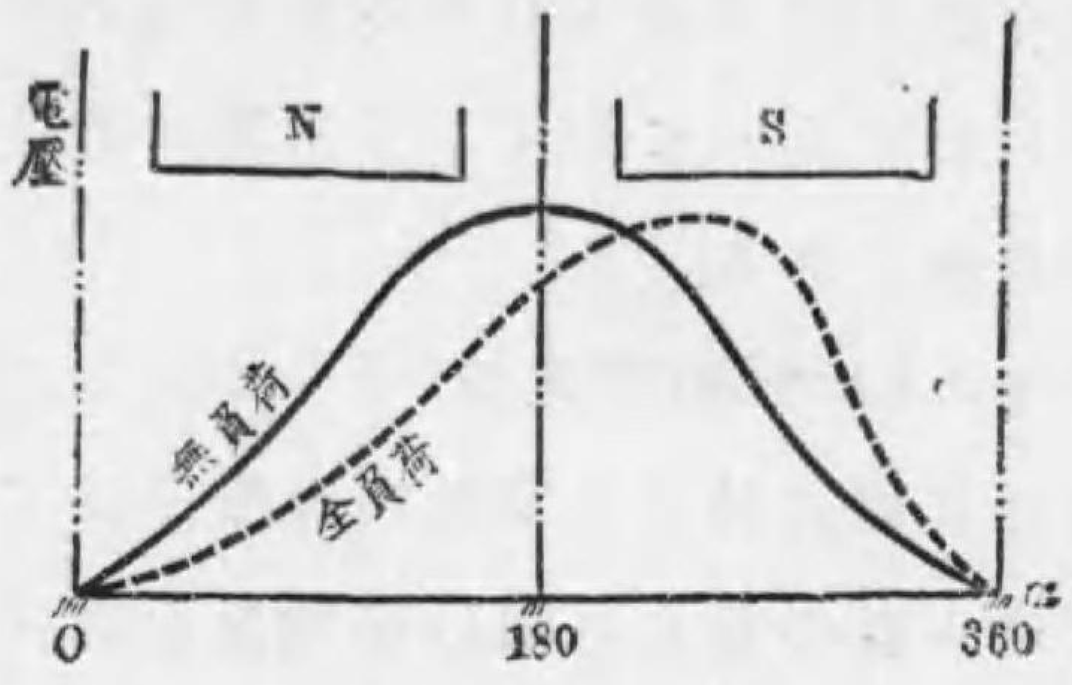


第二十一圖

試索刷子をB_1より次第に進めてB_2に近づけ、各位置に於て角αと電壓とを測定す。BがB_2に近づくにつれて電壓は次第に增加しB_2に達して全電壓を示す。BがB_2を

越して更に進むにつれて電壓は次第に減じB_1に歸るに及んで再び零になる。

試驗の結果を曲線に表すには前と同樣に角度αを横軸にとり電壓を縱軸にとつて第二十二圖の如き曲線を作る。此曲線は磁束密度を表すものにあらずして一つの主刷子の位置と之より或角度丈け進みたる位置との間に含まれる全磁束を表す。從つて此曲線は各磁極の下の磁束分布の絶體形狀を知るには不適當であるが各磁極の下で磁束が對稱的に分布されてゐるや否やを知るには有用である。



第二十二圖

此曲線の各點に於ける傾斜角を求め之を縱軸にとつて曲線を作る時は磁束分布曲線を得る。或は之と逆に磁束分布曲線中の各點に於て其點に至る迄の縱軸の和を縱軸に取る時は電位曲線を得る。從つて此二つの曲線は相類似せる性質を持つ。

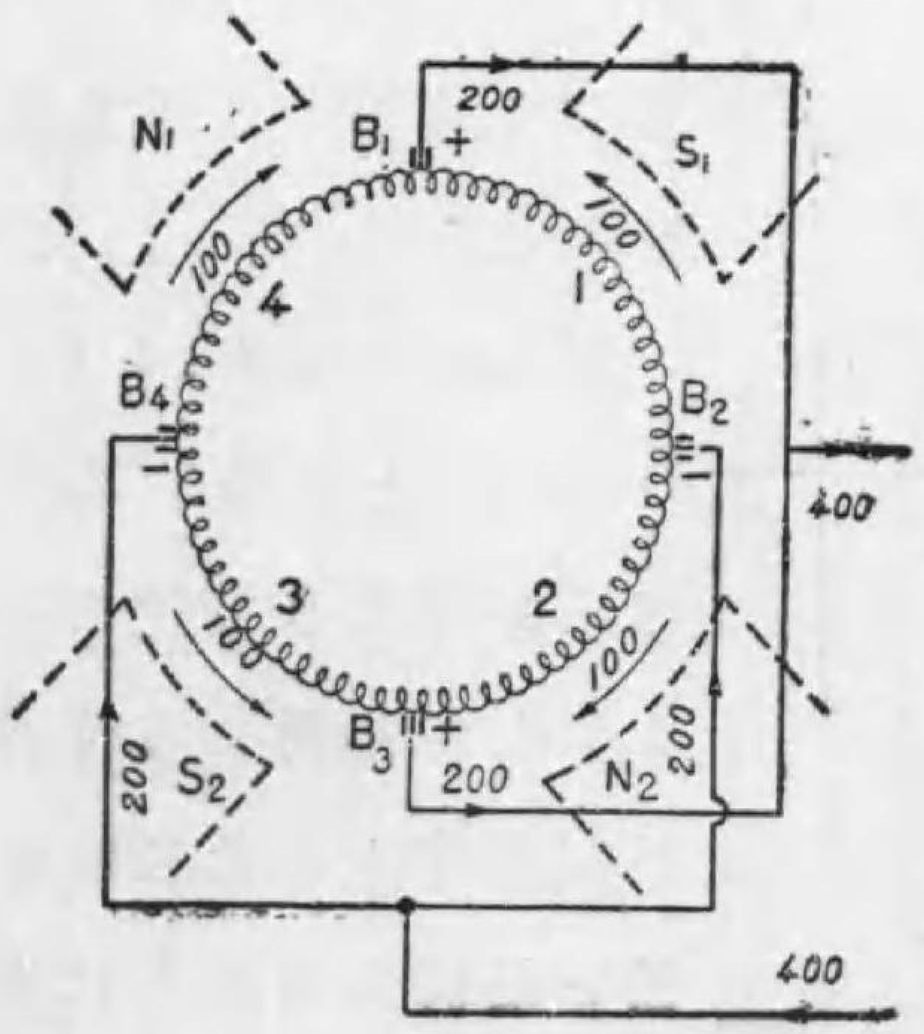
然し電位曲線は大にして且つ其値が互に近似せる電壓を測定してゐる故に結果が餘り正確に得られぬ。そこで正確を望む時には電壓の差を直接に測定する

前項の方法によらねばならぬ。

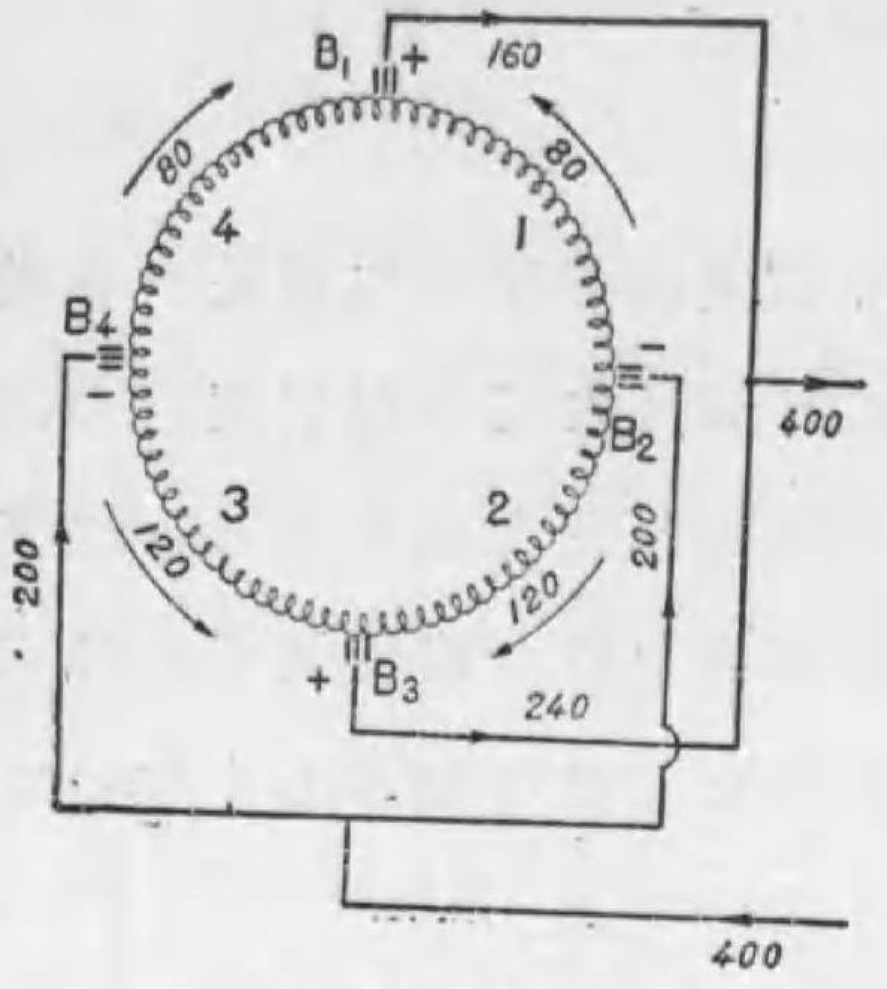
[15] 等電位接續(Equipotential connection)

製作に餘程注意しても各磁極の下の空隙長や各磁氣回路の接合部其他に不同が出來て各磁氣回路の抵抗に相異を來し爲めに磁極に强弱を生ずることは避け難い。そこで多極並列捲線を持つ直流機では各電機子回路に誘起する起電力を正確に相等しくすることは殆ど不可能である。

斯る結果を四極並列捲線を例にとりて說明する。各磁極の出す磁束が總て相等しい時には第二十三圖の如く捲線1,2,3及び4中に誘起する起電力は相等しくして電流は四つの回路に等しく流れて滿足なる運轉が得られる。然るに若し二つの磁極例へばN_1とS_1との空隙長が他のものよりも大であるとすれば捲線1及び4に働く磁束は減じて此内の起電力を下げ，此二つの捲線中の電流は減じて第二十四圖の如く80アンペア(例へば)となり高き起電力を誘起せる捲線



第二十三圖

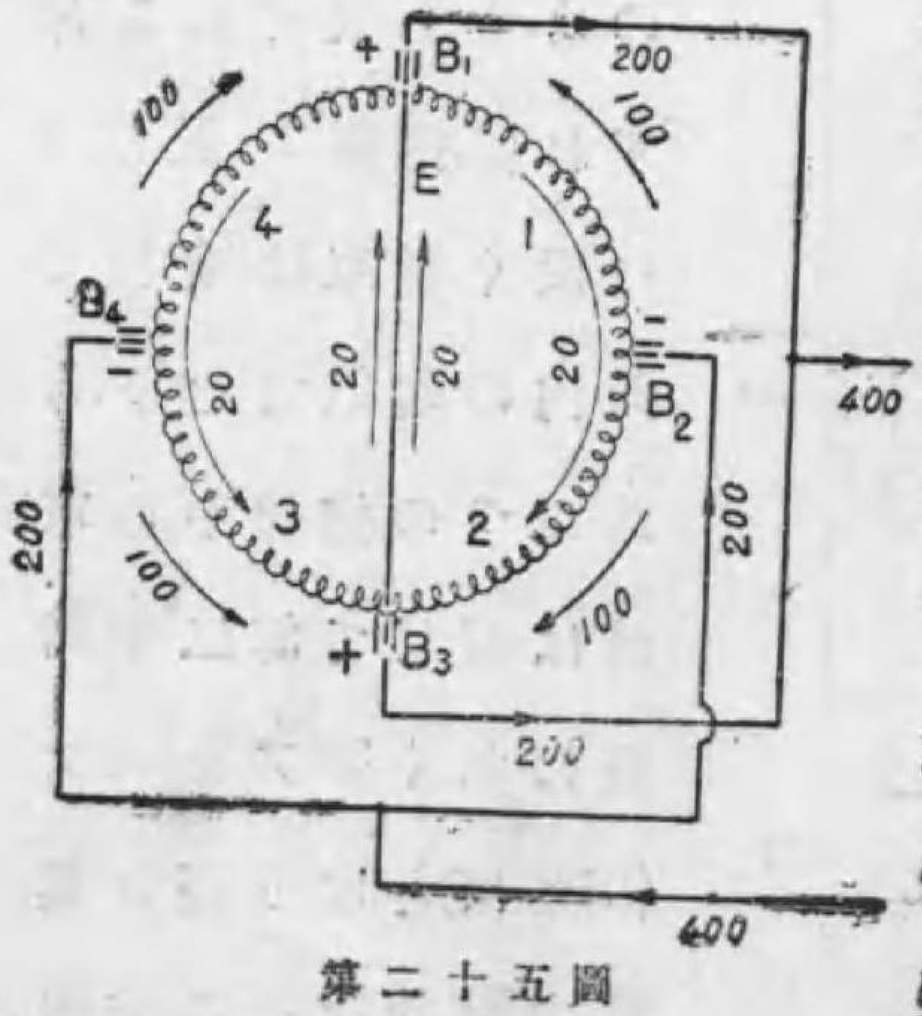


第二十四圖

2及び3中の電流は増して120アンペア(例へば)となる。

此結果外部回路を流れる電流は前と等しく400アンペア(例へば)なるにも拘らず刷子B_1を通過する電流は160アンペアに減じ反對側の刷子B_3を通過する電流は増して240アンペアとなる。そこでB_3の刷子は過負荷されて火花や赤熱を生じ又捲線2及び3は過熱されるのである。

次に第二十五圖の如く刷子B_1とB_3との下にある導線を刷子の接觸抵抗よりも遙かに低い抵抗の導線を以つて接續せる場合を考へる。

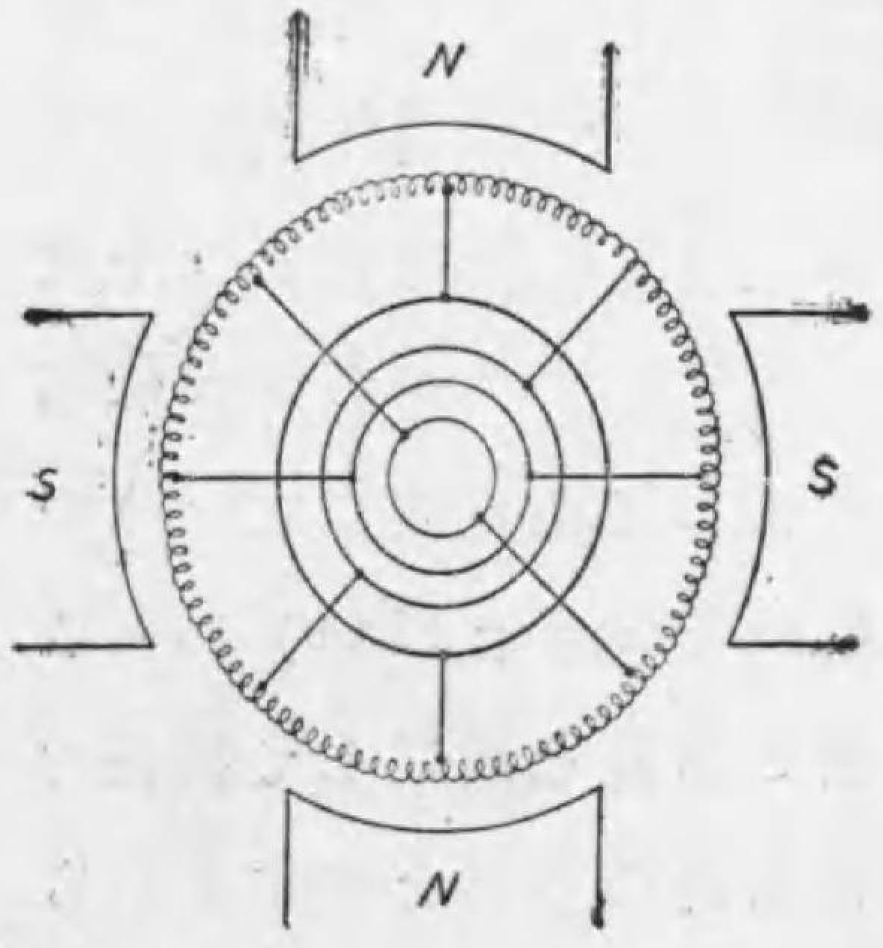


第二十五圖

然る時は捲線1と4と及び2と3との端子B_1及びB_3が等しき電位に在らずして此間に電位差が存在するも此二點は低い抵抗の導線Eによりて接續されてゐる故

に此電位差により此內に均壓電流(Equalizing current)を流す。

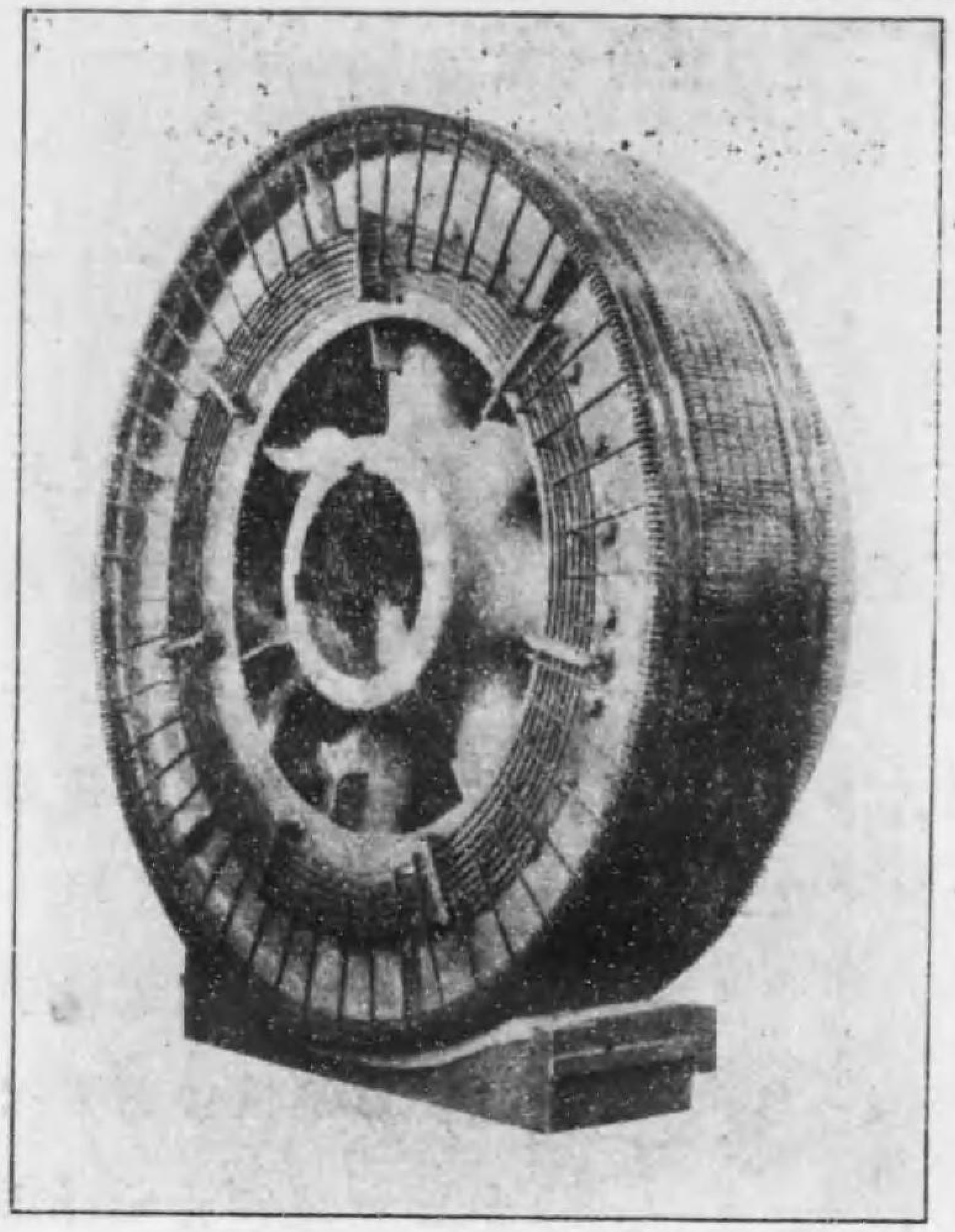
そこで捲線中の不平衡にある電流20アンペアは導線Eの兩側より此內に流れこみE12E及びE43Eの內部回路を回流するのみであつて刷子を通過して外部に出づることがない。從つて刷子B_1及びB_3を通過する電流は正しく200アンペア宛となつて全刷子が同一の電流を負ふことになる。此導線を等電位接續と稱す。實際に於ては此接續は圖示せるが如く唯一本ではなくして電機子捲線の等電位にあるべき多數の點に於て行はれてゐる。四極機で四ヶ所に於て之を行つたものを示せば第二十六圖である。



第二十六圖

實地(Practice)に於ては此接續は電機子の一側に必要數丈けの導體環を取付け電機子捲線中の等電位にあるべき諸點を夫々の環に接續してゐるのである。之を均壓環(Equalizing ring)と稱す。實際の機械に就て之を示せるものが第二十七圖である。

等電位接續は一見して此部分の抵抗が非常に低い



第二十七圖

爲めに僅かの電位差で非常に大なる局部電流を流して著しい損失を生ずるが如くに考へられるが實際には斯る惧れはない。

何となれば此接續を行ふ時は第二十五圖の如き局部回路を流れる電流は交流であつて,此電流は之を生ずる起電力よりも遅れたる位相 (Lagging Phase) にあるが故に弱き界磁を勵磁し強き界磁を減磁して積極的に磁界の齊整を負擔する自働的の效果を有するからである。斯くして火花を減退し磁極と電機子との間に働く磁氣牽引力をも平均せしめるのである。

等電位接續が未だ發見されなかつた時代には直列捲線(Series winding)では都合よく整流を行ひ得るに拘らず並列捲線では動もすれば火花を發し或は刷子を赤熱した。そこで其當時には直列捲線が專ら賞用さ

れてゐたが,所要電流が次第に增すにつれて此捲線方式に甚だしい不利を感じたので並列捲線を採用せんとして種々苦心研究された。而して遂に工夫されたものが此の等電位接續である。

此接續を使用して以來は刷子の赤熱や火花を發することなく刷子の電流密度を安心して餘程高めることが出來たのである。

第二節 電機子反作用の抑制

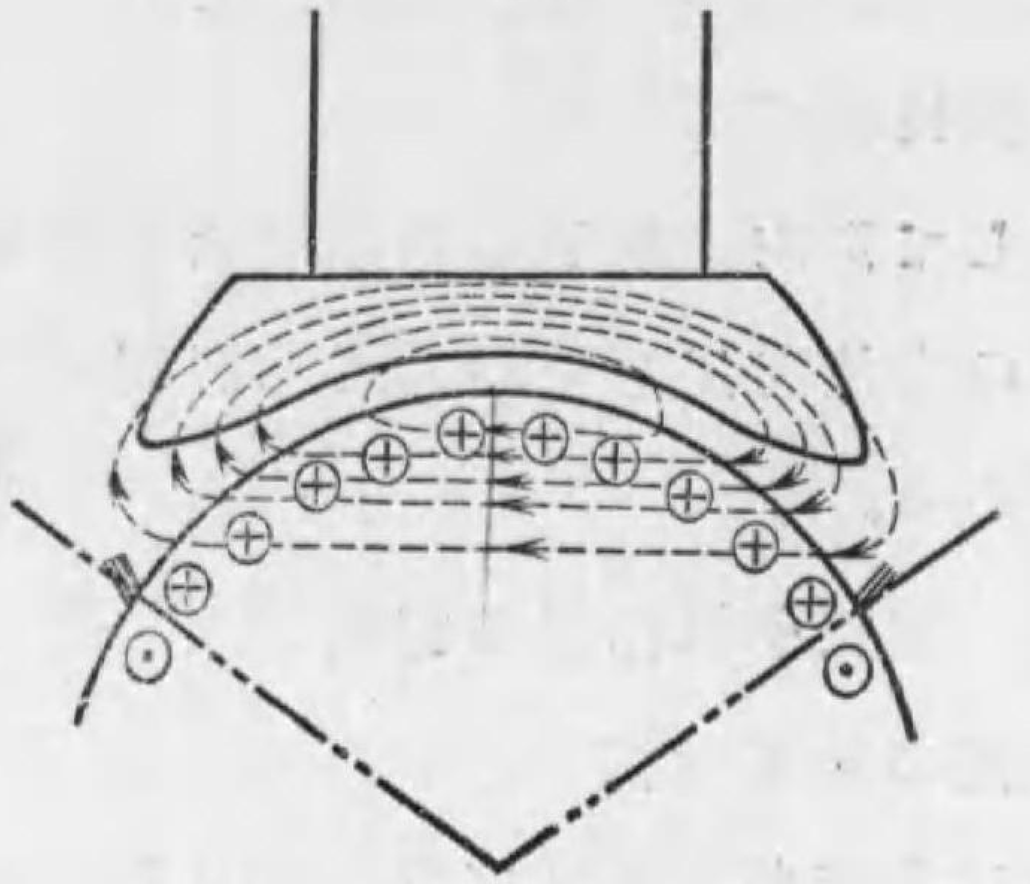
【16】橫磁束通路の磁氣抵抗

電機子捲線中に電流が流るれば其の反作用の爲めに整流作用が害せられて火花を發することは既に述べた。若し磁界の扭歪や其の强弱の不同(第12項參照)を起すべき橫磁束を抑制するか或は之に反對する磁界を作つて之を消滅することが出來れば刷子を移動せずして無火花で機械を負荷し得るのである。

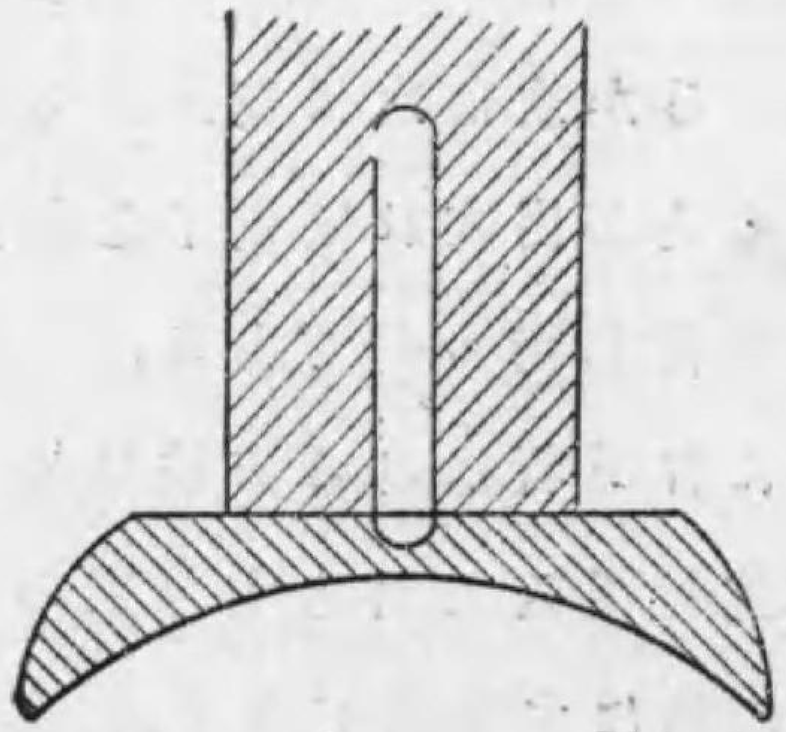
橫磁束を抑制する爲めに普通行はれる方法は橫磁束の通路に大なる磁氣抵抗を挿入し而も主磁束の通過には大なる障害を與へぬ樣にするのである。

之には空隙長を大にし又は主磁束によりて電機子齒部を高く飽和せしめる方法があるが共に主磁束の通過をも妨げる缺點を持つ。之を避ける爲めに磁極片の形狀や構造に特殊の考案を施したものが下圖である。

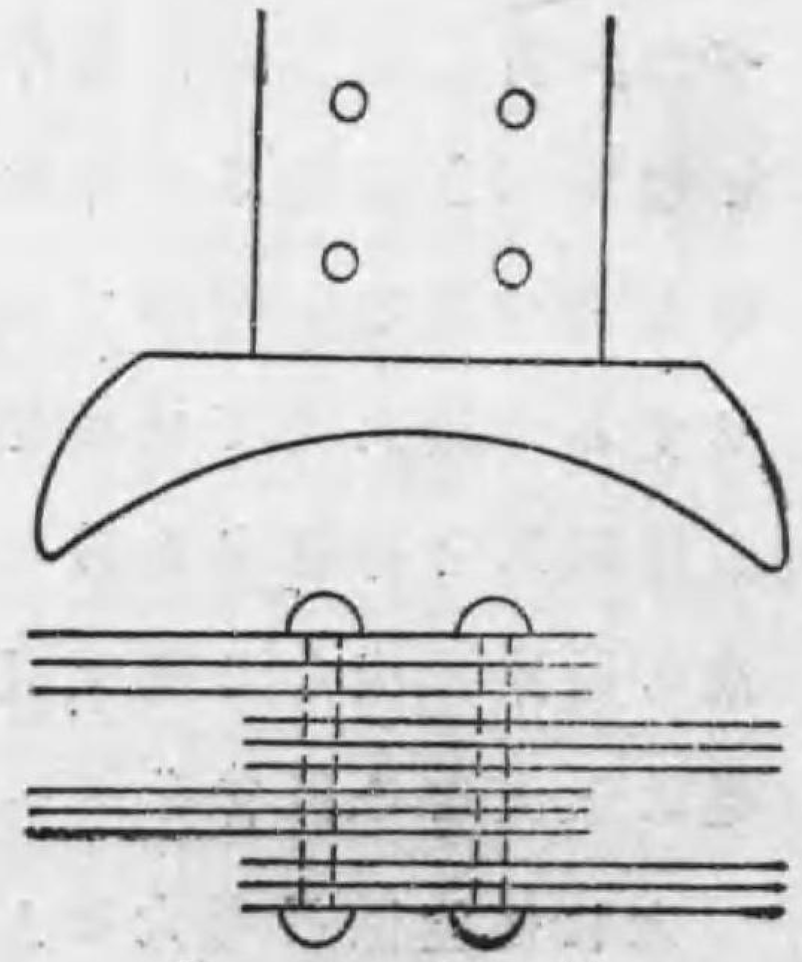
第二十八圖は磁極片の先端を削つて此部分の空隙長を大にしたものである。第二十九圖は磁極の中央部に縦溝を設け横磁束に對しては此空隙に於て大なる抵抗を與へる。第三十圖は葉鐵(Sheet iron)を圖の如く交互に喰違へて重疊せるものであつて兩端に於ける鐵部の切口面積を減少して此部分に於て横磁束に對して大なる磁氣抵抗を與へる。



第二十八圖



第二十九圖



第三十圖

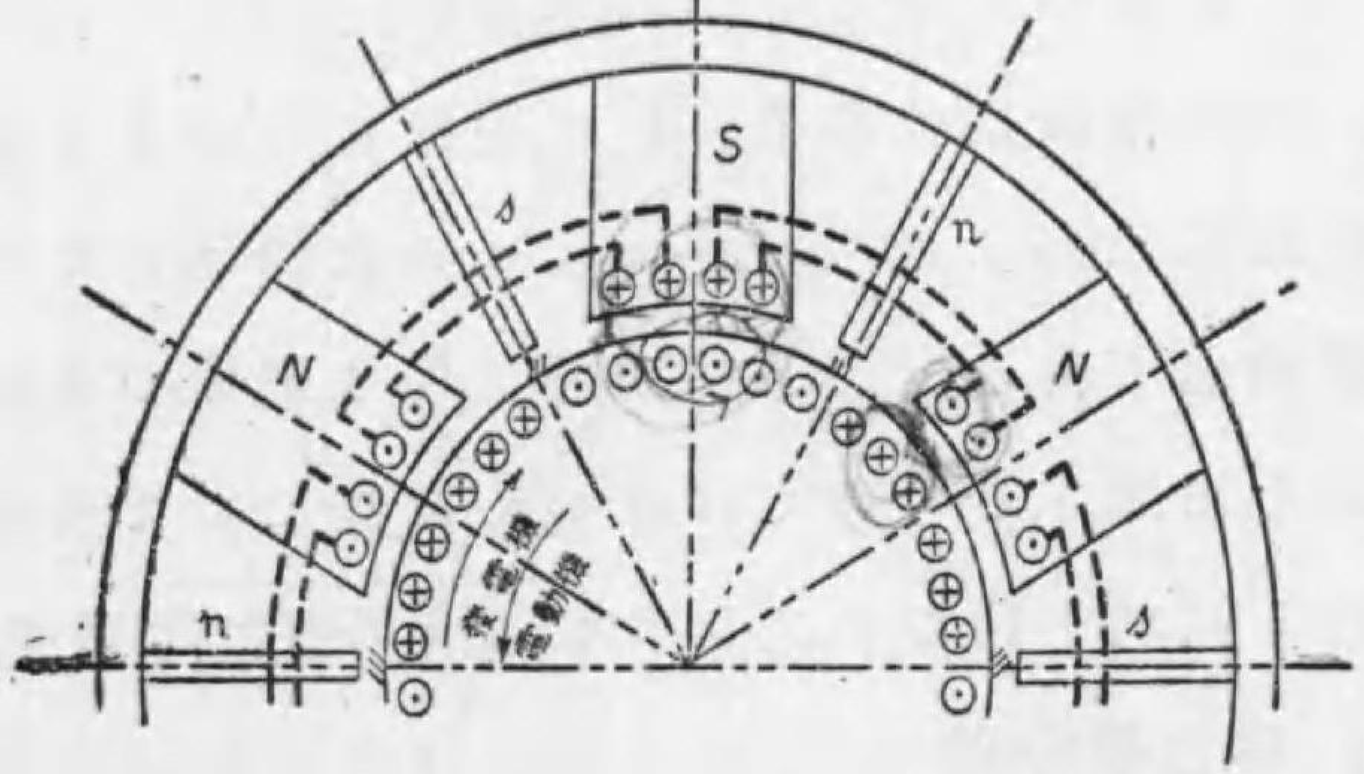
是等は共に主磁束に對しては大なる影響を與へず

して横磁束を減殺するに顯著なる效果を有す。

【17】 **補償捲線** (Compensating winding)

横磁束に反對する磁界を作つて之を完全に打消す爲めに作られたるものが補償捲線である。

之は第三十一圖の如く電機子導線に並行に磁極片に溝を作り此内に導線を配列し之を電機子捲線と直列に接續して電機子電流と反對方向の電流を通ずるのである。斯くすれば電機子電流の作る磁界は完全に打消されて磁界の扭歪は完全に消滅する。



第三十一圖

補償捲線の目的は前記せるが如く横磁束を相殺するにある。然し之が機械に與へる效果は

(1) 中性帶に於ける有害磁束を消滅せしめる故に整流を甚だ好都合にする。

(2) 磁極片の一端に於ける磁束密度の特殊の密集をなくする故に此部分の下にある子片間の電位差の激增を防ぎ電弧の閃越(Flashing

over) 其他に對して甚だ效果がある。

(3) 電機子反作用を打消して磁束分布の形狀を一樣(Uniform)になし得るを以つて齒部の鐵損失及び電機子導線中の渦電流損失の特殊增加(急峻なる磁束分布の爲めに過剰に生ぜらるべき)を防ぎ,且つ磁極片の兩端に於ける磁束密度の疎密によつて起る磁極片及び齒部葉鐵の導磁率の增減をも防ぎ得るを以つて安心して無負荷に於ける齒部の磁束密度を高くとることが出來る。

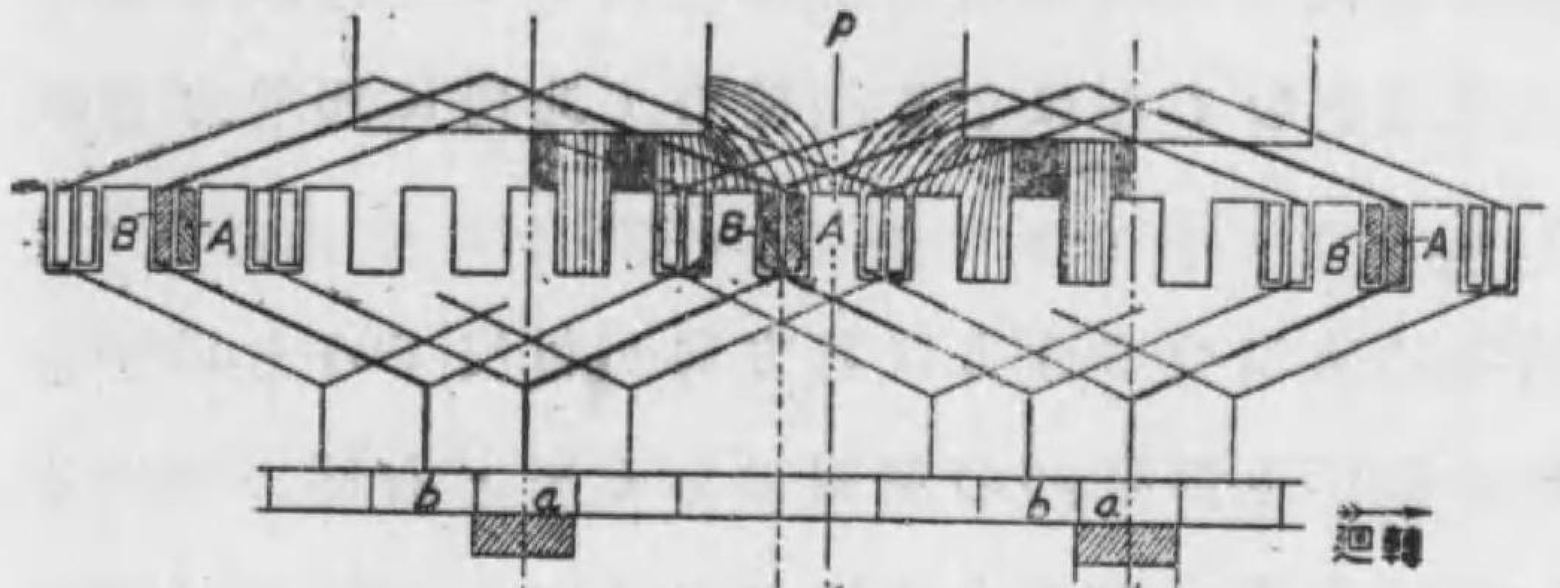
然し補償捲線は中性帶に於て整流に必要なる磁束を短絡線輪に與ふるものではない。此働きをなすものは補助極である。然し補助極は横磁束從つて磁界の扭歪を消滅するものではない。此點に於て兩者は判然たる區別を持つが之に就ては第25項に詳述する。

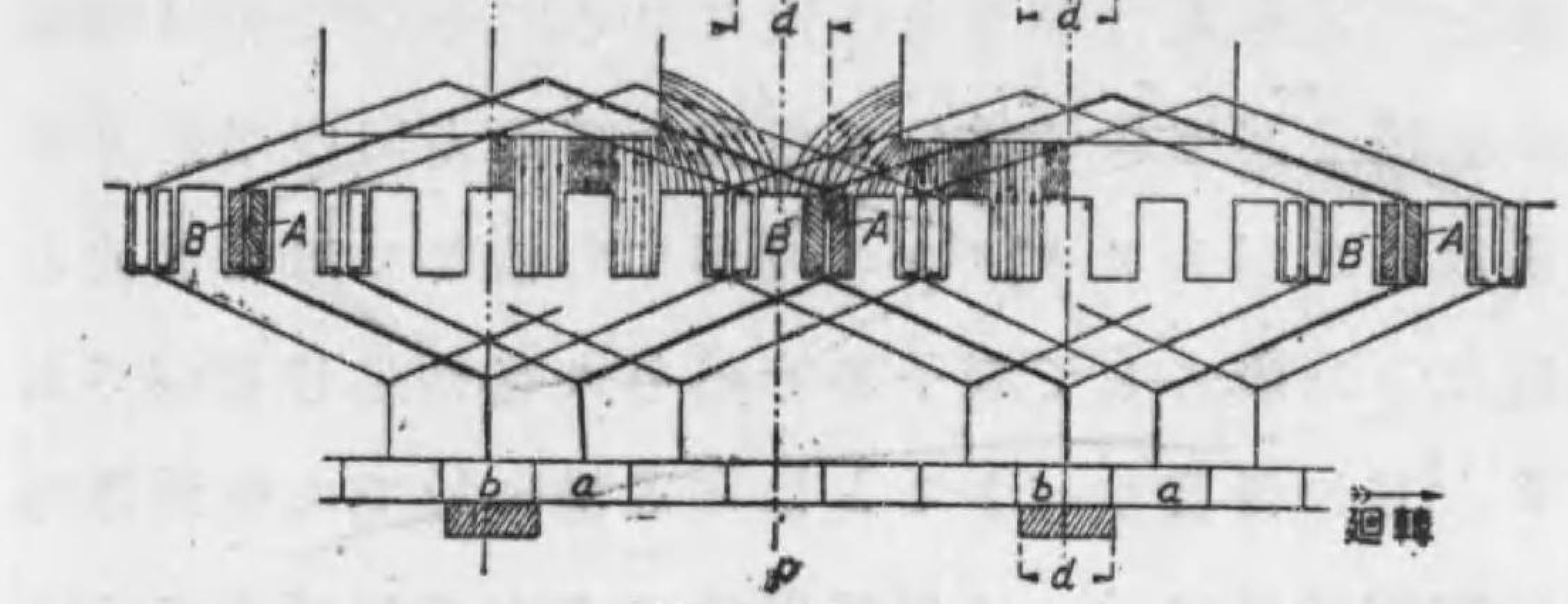
【18】 中性帶の幅

短絡線輪は整流を始めてより之を終る迄に刷子の幅に相當する圓弧を移動する。此期間は線輪は磁界の存在せざる位置に居らねばならぬ。そこで整流が確實に行はれんが爲めには磁界の存在せざる箇所即ち中性帶は相當の幅を持たねばならぬ。

第三十二圖はa及びbの子片に接續されたる線輪ABが將に整流に入らんとする所を示し第三十三圖

第三十二圖

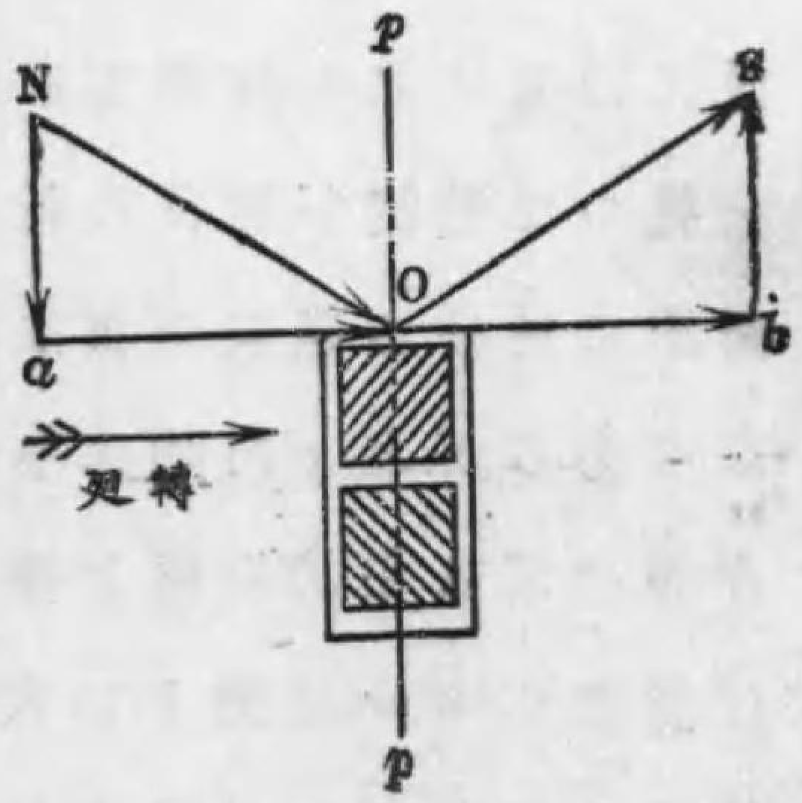




第三十三圖

は此線輪が丁度整流を終つた所を示す。此間に線輪A,Bは刷子の幅d丈けを進むのである。

圖の如く中性帶ppの位置に磁界が存在してをれば之を第三十四圖の如く電機子の廻轉方面に並行なる分力(Component)と之に直角なる分力とに分解してみる。



第三十四圖

N極の出すNOの並行分力aOとS極に入るOSの並行分力Obとは廻轉方向に並行なるを以つて是等は短絡線輪中に起電力を誘起せぬ。然し直角分力なるNaと

bSとは廻轉方向に直角をなすを以つて短絡線輪は之を切つて進むことになる。從つて此内に起電力を誘起する。

然るに此二つの分力は其方向が相反するを以つて短絡線輪が中性帶ppの左側にある間と右側に移れる後とては起電力の方向は逆になる。そこで短絡線輪は整流中其位置に從つて相反對する方向の起電力を誘起し之がリアクタンス電壓に作働して短絡電流の變化を急峻にして刷子の赤熱や火花を生じるのである。[玆に附言すべきことは發電機に於ては中性帶ppの左側の磁束 Na は短絡電流によりて生ぜられるリアクタンス電壓に加はるも右側の磁束bSは之に反對するものである。そこで發電機に於ては刷子を廻轉方向に進める時は整流を助けることが出來る。電動機に於ては之と反對である。]

從つて整流が確實に行はれんが爲めには磁極片の兩端に於ける磁束分布は緩慢なるを要することは勿論であるが,之と同時に中性帶は其前後に於て磁束の存在せざる相當の幅を持たねばならぬ。磁極片の含む圓弧(Polar arc)を餘りに大にするが如きことあれば中性帶の幅を狹めて整流を困難ならしめるのである。

次に電機子の溝の幅であるが之を廣くすれば製作には都合がよいが斯るものは整流中に溝が移動する

圓弧dが大になるが爲めに非常に廣い中性帶の幅を必要とする缺點がある。加ふるに第三十二圖及び第三十三圖を參照して,此中間の位置に於て溝が進むにつれて磁極に對する溝と齒との影響即ち中性帶の附近に於ける分散磁界の强弱(齒上に於て强く溝上に於て弱く之が電機子の廻轉と共に廻轉するのである)の變化が甚だしくなる。更に齒と溝との影響は中性帶の附近に於て電機子反作用の爲めに生ぜられる磁束をも動搖(Swing)せしめるのである。

此結果短絡線輪中のリアクタンス電壓を高めると同時に線輪内に動搖磁界によつてリップル(Ripple)をも誘起して整流を害すること洵に顯著である。

斯るものは磁極片と磁極片との距離が大てあつて之が爲めに一個の溝の幅によりて分散磁界の强弱に大なる動搖を與へぬ場合の外は火花を發し易いのである。

之と反對に溝の幅を小さくすれば上述の缺點に對しては都合がよいが,溝の深さを增して短絡線輪の漏洩磁束(自已及び相互誘導)を增してリアクタンス電壓を助長する缺點を持つ。

そこで溝の幅と深さに就ては愼重なる吟味を要するのである。

第三節　リアクタンス電壓

【19】 短絡線輪の自已及び相互誘導

之は電機子反作用とは全く獨立して,火花を生ずる禍根を除かんとするのである。

火花を生ずる直接原因はリアクタンス電壓である。之を減小せんが爲めには先づ短絡線輪中の自已及び相互誘導を小にせねばならぬ。之には次の三つの方法がある。

【20】 線輪の捲回數

第一の方法は一つの線輪中の捲回數を小にするのである。之が爲めには整流子片の數が與へられたる時は各子片に接續される線輪の捲回數を小にし,又電機子導線の總數が與へられたる時は整流子片の總數を大にするのである。

前者に於ては電機子導線の總數が減小する故に此機械をして與へられたる電壓に働かしめんには磁束を增さねばならぬ。之には磁極の强さを增して磁束密度を高めるか或は磁束密度を元のまゝにしてをいて電機子の長さを增してかゝらねばならぬ。

所が電機子の長さを增す時は短絡線輪の誘導を增すことになる。又一方に於ては磁束密度は高い方が整流に都合がよい。そこで斯る場合には電機子長を增さずして磁束密度を高めるのである。然し之は磁極の鋼の使用量を增して機械を高價にするのでこれ

には相當の制限がある。

後者は機械の電壓に關係することなく線輪の捲回數を小にすることが出來るが其缺點としては整流子片の幅が小になるが爲めに整流期間が自然に短縮される。そこで短絡電流の逆流を速かにして其變化の割合を大にし,從つてリアクタンス電壓を高めることになる。勿論刷子の幅を增す時は整流期間を大にすることは出來るが,斯る場合には整流中刷子によりて短絡される線輪の數を增して結局リアクタンス電壓を高める。要するに子片の總數を增すことは火花に對しては左程秀でたる效果を持たぬ。之は寧ろ閃越に對して重大なる事項である。

要するに與へられた導線の總數の下では導線の配置は線輪數を小にして一つの線輪の捲回數を增すか或は線輪數を大にして一つの線輪の捲回數を減ずるのである。

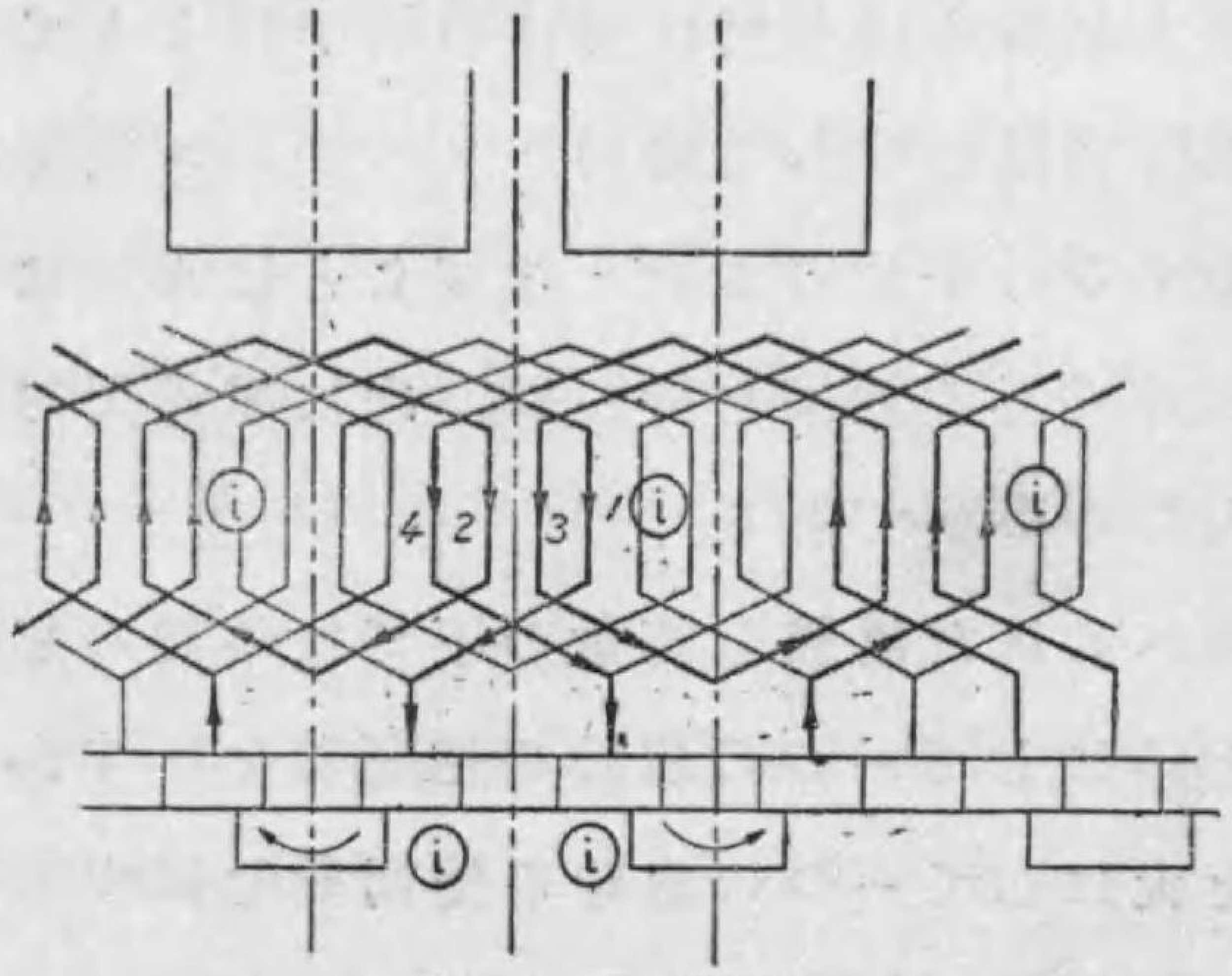
前者は自已及び相互誘導を高める外に子片間の電位差をも高めて閃越を起し易い大なる缺點を持つ。此點を考へて後者を選ぶ時は誘導を小にする事は出來るが整流期間を短縮して結局誘導によりて生ぜられる電壓即ちリアクタンス電壓を高める事になる。

機械の電壓が高くなれば導線の總數を增し,又速度が高くなれば整流期間を縮めて上述せる得失を益々

鮮明にする。而して何れにしても高電壓高速度の機械になれば整流は困難を增すのである。

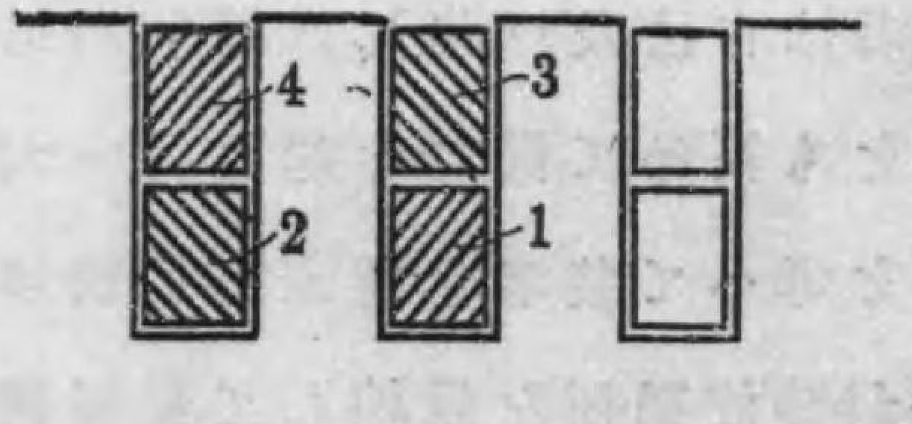
【21】 漏洩磁束通路の磁氣抵抗

此方法は短絡線輪中を流れる電流の生ずる磁束(漏洩磁束と稱す)の通路の磁氣抵抗を增してリアクタンス電壓を減小せんとするのであるが,現今の如く種々の理由から有溝電機子を專ら用ゐねばならぬ狀態ては唯溝數と導線數とを適當に選んて短絡線輪の配列を都合よくする位のものてある。

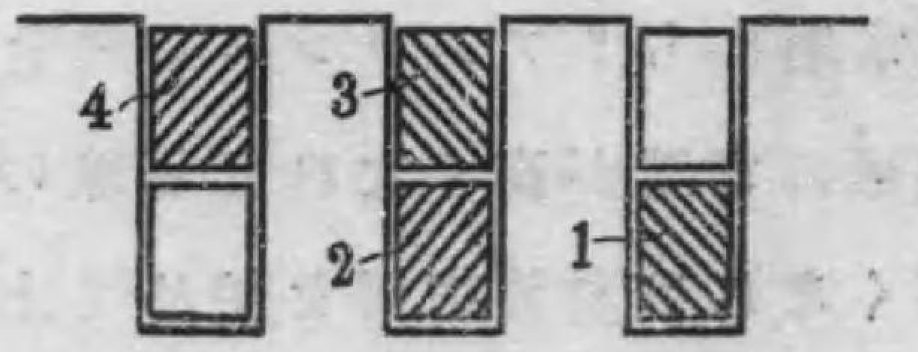


第三十五圖

炭素刷子は普通子片の一個以上を覆ふ幅が與へられてゐる。斯る場合には第三十五圖の如く刷子によりて短



第三十六圖



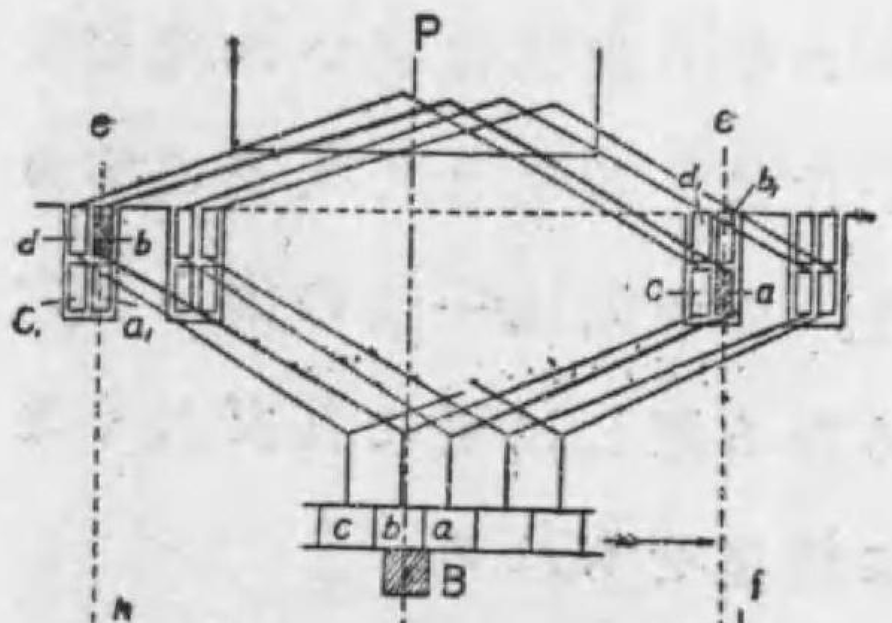
第三十七圖

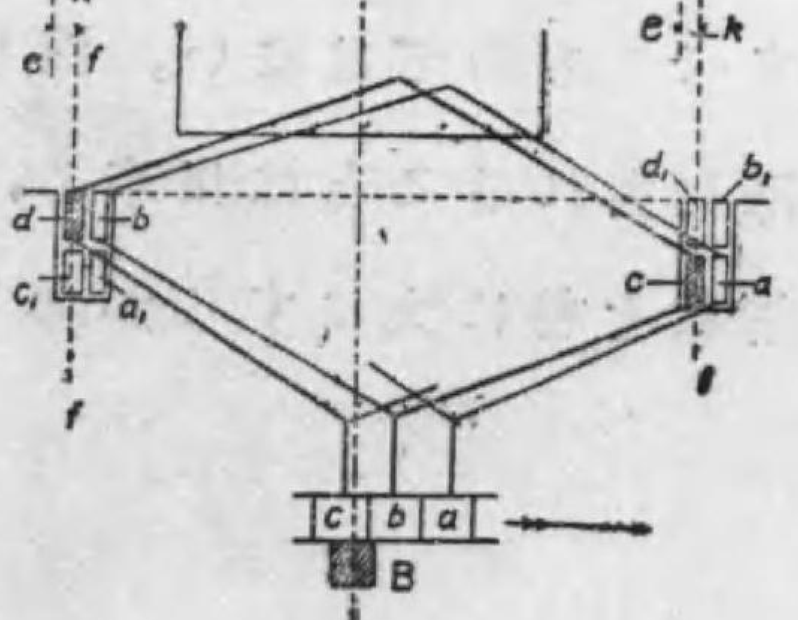
絡される線輪は二個てあつて中性帶に於て四個のコイル・サイド1, 2, 3 及び4 中を短絡電流が流れる。

此時導線の配列に注意して,第三十六圖の如く短絡コイル・サイドを正しく重疊せずして之を第三十七圖の如く喰違つて配列する時は誘導を減ずることが出來る。

玆に特に附記すべきことは,誘導以外の點よりしても一つの溝中に二個以上のコイル・サイドを入れることは甚だ面白くないことてある。

第三十八圖





第三十九圖

其の理由は斯る者は誘導を高める以外に整流に根本的の不利益を持つてゐるからてある。即ち第三十八圖及び第三十九圖の如く一個の溝中に四個のコイル・サイドを入れた場合を考ふるに,斯るものは各コイル・サイドと整流子片との接續は圖の如くに行はねばならぬ。

第三十八圖の位置に於て子片 a 及び b に接續され

たる線輪abが將に整流を終らんとせる時に此線輪は丁度適當なる整流磁界中に在るものと考へる。

次にabが整流を終つて第三十九圖の如く次の子片のbcに接續されたる線輪cdが整流を終らんとする位置に來る時は此線輪はabの線輪が整流を終つた位置よりも或距離k丈け進んでゐる。從つてeeの位置に於て丁度適當なる整流磁界が得られてゐたとすればffの位置に於ては整流磁界は强過ぎることになる。

そこで斯るものは線輪abが整流を終つて短絡が解ける a 及び b の子片間には火花を發せざるも線輪cdの短絡が解ける b 及び c の子片間には强い火花を發す。斯くの如くにして子片は一枚をきに火花の爲めに燒損せられるのである。此現象は一個の溝中に六個のコイル·サイドを收めたる際には更に甚だしくなり,よく子片が二枚をきに燒傷せられる。

斯る構造は決して歡迎すべきものではない。然し特別の注意を拂へば此故障を免れることは出來る。例へば各磁極の下にある溝數を特に大にするが如きである。

[22] 短絡回路の抵抗

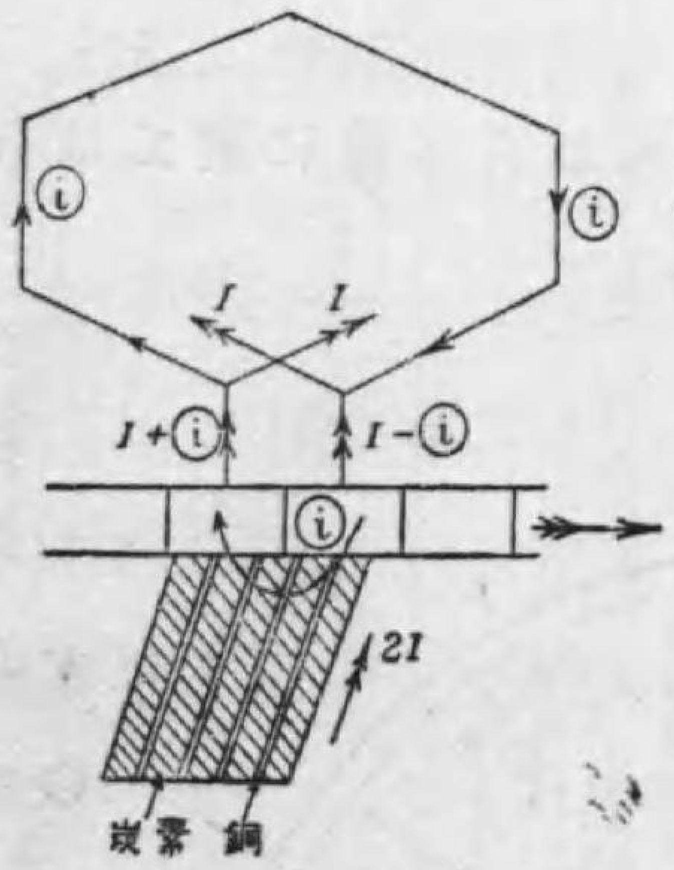
短絡線輪と刷子とで作られる短絡回路の抵抗を大にすれば短絡電流を減少することが出來て其變化の形狀は直線に近づき,從つて短絡が解ける瞬間の起電

力は減少して火花を防ぐことが出來る譯である。

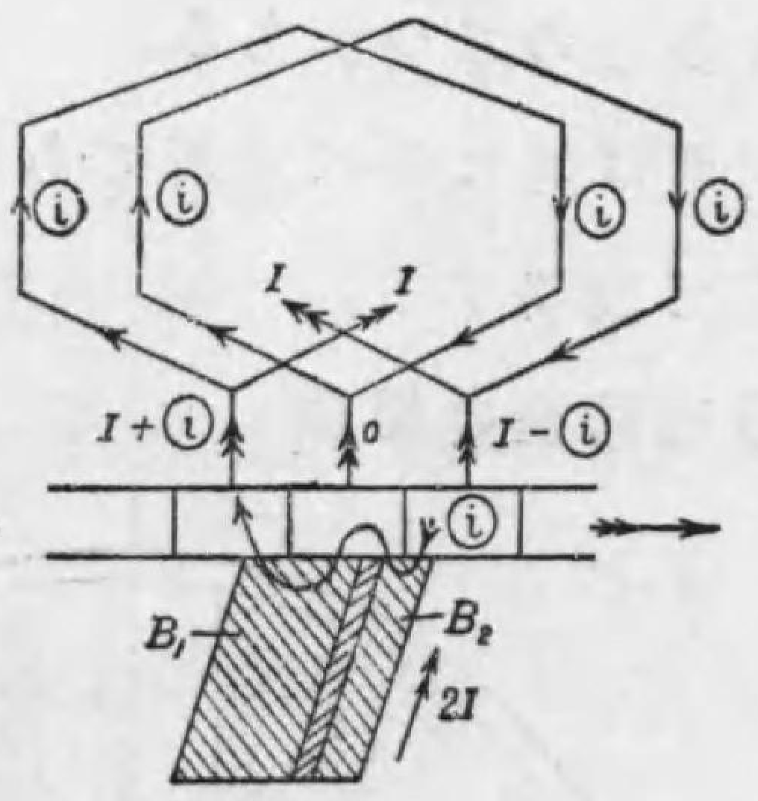
然し整流子片と電機子導線との接續片 (Riser) の部分に特に抵抗を入れたり或は接觸抵抗の高い刷子を用ゐたりすれば上述せる點では好都合であるが,之は同時に主電流の通路の抵抗をも增して損失を大にし又變動率を害する缺點を有す。

從つて整流を救ふ爲めに短絡回路に入れられる抵抗は,出來得べくんば主電流に對しては大なる抵抗を與へずして而も短絡電流に對しては大なる抵抗を與へるものが好ましいのである。

此目的で作られた刷子が所謂複製刷子 (Compound brush) である。即ち第四十圖の如く銅板と炭素板と



第四十圖



第四十一圖

を交互に積重ねて作り主電流に對しては銅板の高い導電率を利用し短絡電流に對しては炭素板の高い抵抗を利用したものである。

又第四十一圖の如くB₁及びB₂の二つの炭素を間て絕緣して重ね合して作られたものもある。之は整流の終りに於て短絡電流 i をして圖の如き路を進ましめて高い抵抗を與へるのである。

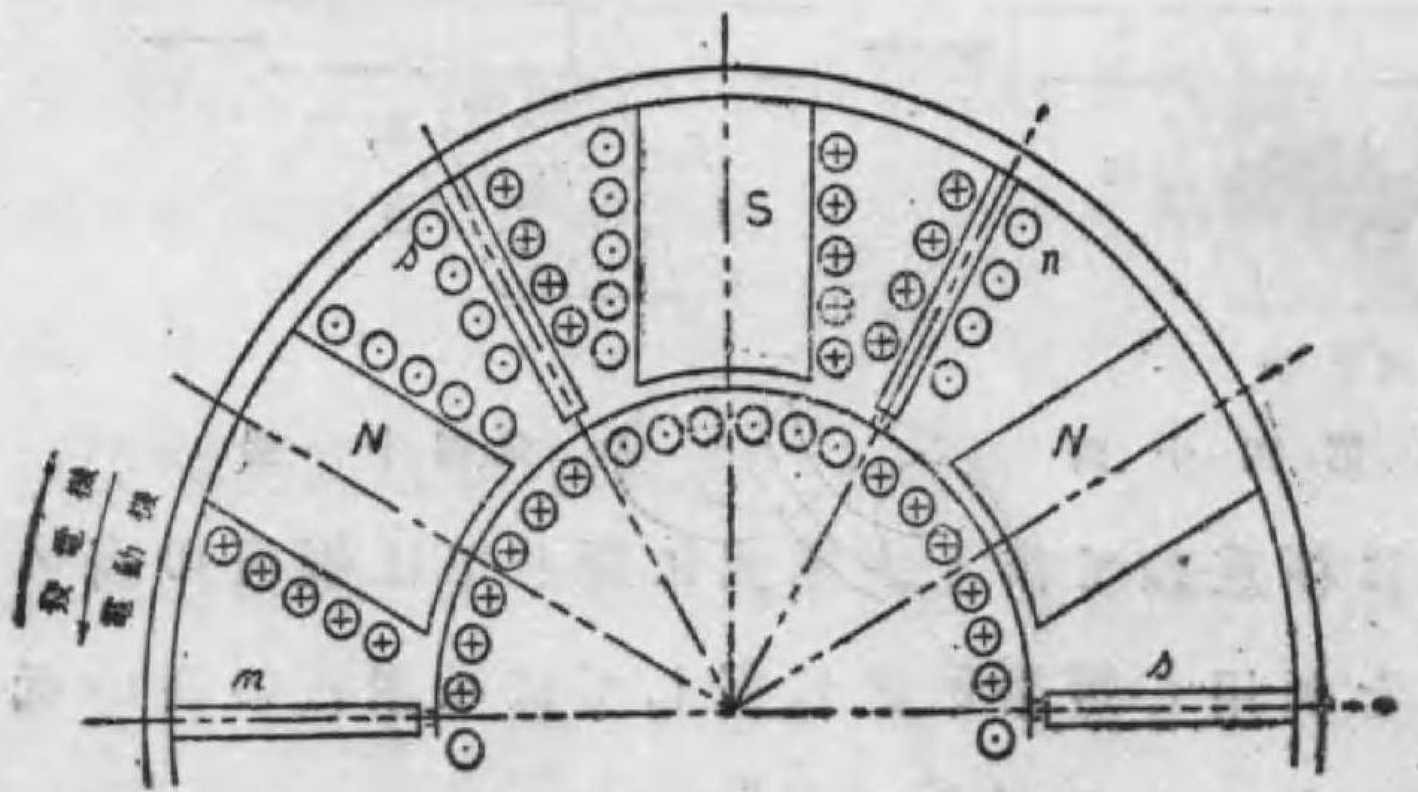
第四節　整流起電力

【23】整流磁界

此方法は有害なるリアクタンス電壓に反對する起電力を短絡線輪中に生ずべき磁界によつて整流を積極的に改善せんとするのであるが,之には第8項に於て述べた樣に刷子を中性帶より適當に移動する方法と,別に補助極を設けて必要なる整流磁界を中性帶の位置に作り刷子を常に中性帶に固定せるまゝ運轉する方法との二つがある。

前者は既に述べた所であるから本節に於ては後者に就て說明する。

【24】補助極の極性

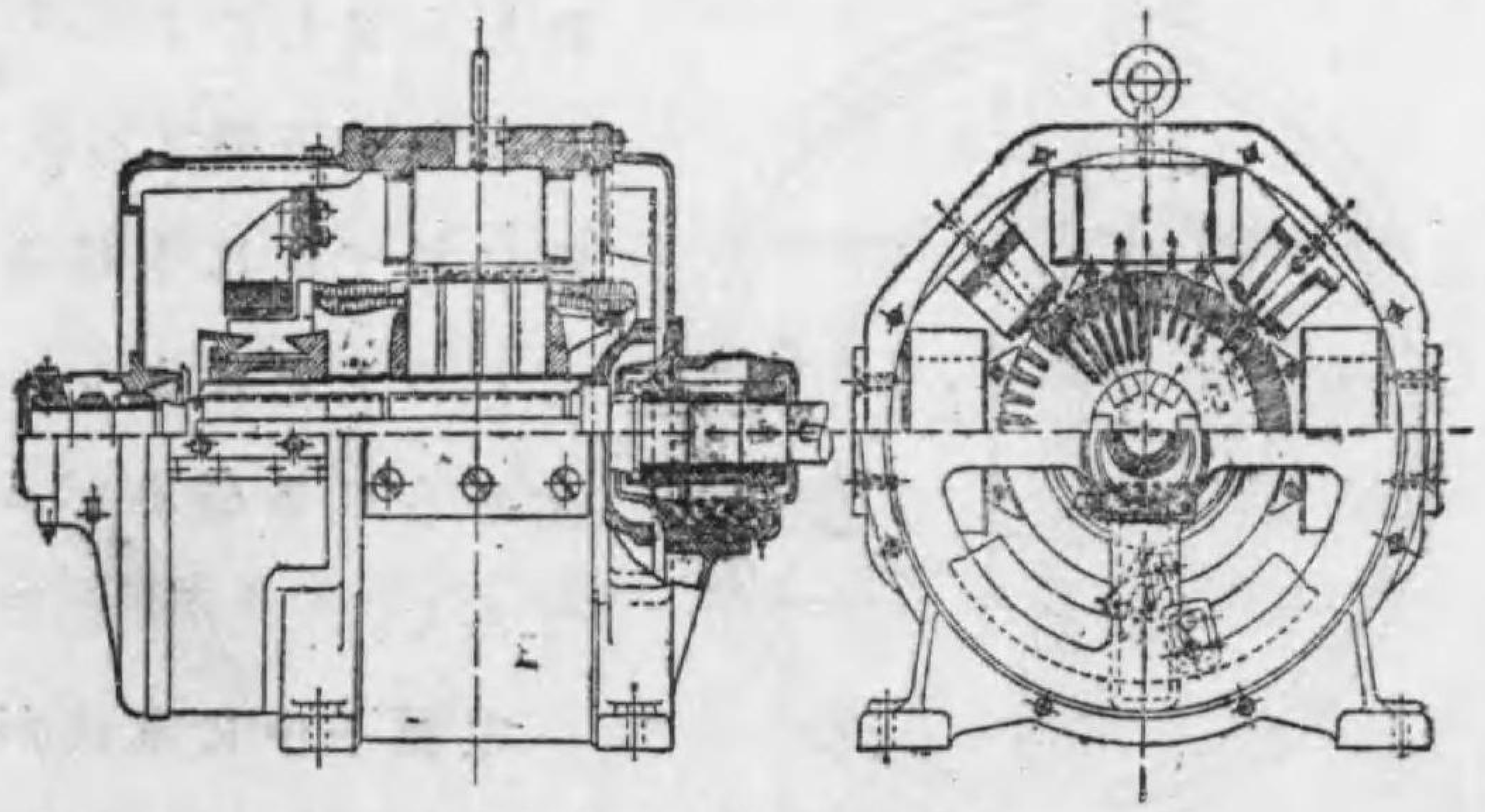


第四十二圖

第四十二圖の如く主磁極の中間に小なる磁極

を作り,之を電機子捲線と直列に接續して電機子電流に比例して增減する磁束を出さしめるものが補助極である。而して圖の如き廻轉方向と主磁極極性と電機子電流の方向とに對して,補助極は發電機と電動機とに於て夫々圖に示した通りの極性を持たしめる。

發電機に於ては刷子を廻轉方向に移動して短絡線輪をして先方の隣接磁極の出す磁界中に進ましむべきことは既に述べた所である。補助極は刷子を中性帶に止めたるまゝて此磁束を中性帶の位置に作るべきものであるから其極性は圖の如く先方の隣接磁極と同一にするのである。



第四十三圖

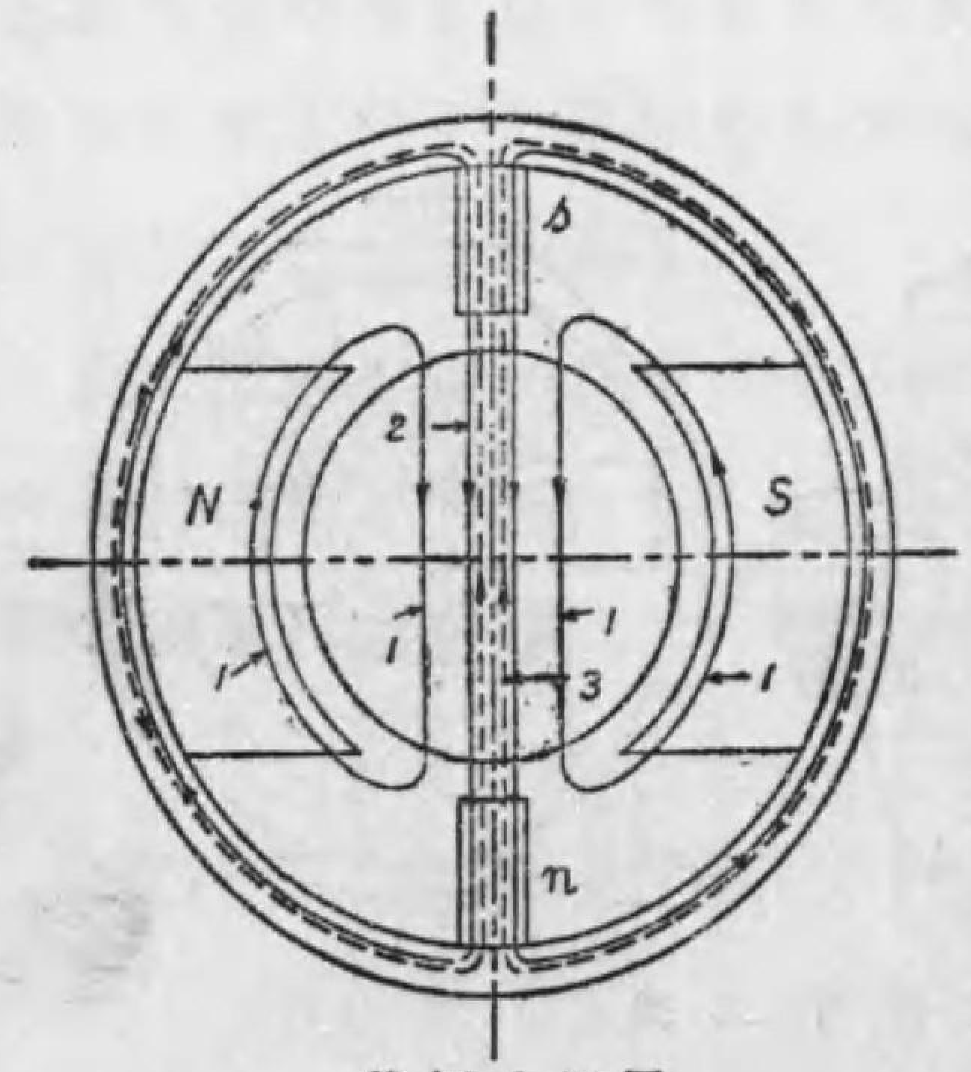
電動機に於ては刷子を廻轉方向と逆に移動すべきものであるから補助極の極性は圖の如く後方の隣接磁極と同一にする。

第四十三圖は補助極付電機を示す。

【25】補助極の效果の範圍

第四十四圖の如く二極機をとりて考ふるに,若し機械が補助極*ns*を持たぬ場合には,電機子反作用は1の如く電機子と主磁極とを通つて主磁界と直角なる磁界を作ることは既に述べた通りである。

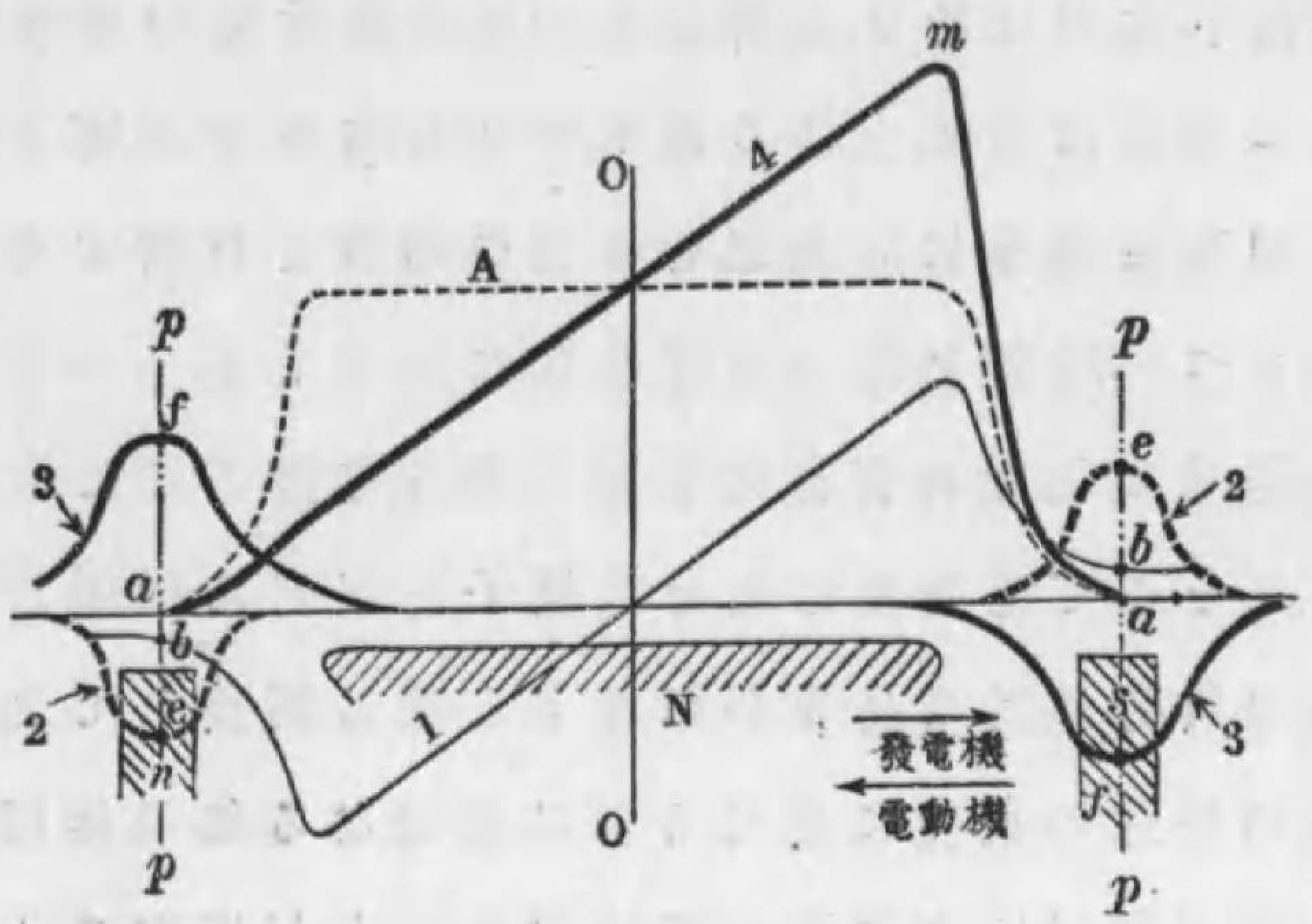
然るに主磁極NSの中間に補助極*ns*を作る時は導線電流の出す起磁力に對して*ns*は抵抗低き通路を與ふるを以つて,導線電流は1なる横磁束と並行に補助極と繼鐵(Yoke)とを通つて2の如き磁束を,過剰に,生じるのである。



第四十四圖

此間の關係を更に詳しく表したるものが第四十五圖である。圖に於てNは主磁極であつて之によりて生せられる磁界がAである。

電機子中に電流が通ずれば之によつて1の如き横磁束を生ず。1は主磁極の兩端に於て最大値を持ち中央部Oに於て零になる。然し之は中性帶ppに於ては零にならずしてabの値を持つてゐる。



第四十五圖

次に補助極*ns*が設けられてゐる時は導線電流は主磁極の下を通る横磁束abと並行に補助極を通過する磁束2をも生ず。其値をaeとす。

斯くの如くにして補助極を設くれば,中性帶ppに於てはab及びaeの二つの磁界を生じ,是等は同一方向を持ち互に相加はるのである。

短絡線輪は中性帶に於て整流中導線電流の逆流によりてリアクタンス電壓を生ず。然るに短絡線輪は中性帶に於て前記せるab及びaeの二つの磁界を横切つて進む故に之によりて更に起電力を誘起す。不幸にして是等の起電力は總て同一方向を持ち共に整流を亂すのである。

そこで補助極が生ずる磁束3はリアクタンス電壓

の外に中性帶に於ける横磁束nb及び補助極の存在の爲めに過剩に生ぜられる磁束aeをも相殺せねばならぬ。即ち補助極には上記せる三つの者を打消す丈けのアンペア回數を與へねばならぬ。

上述せる三種の有害起電力は負荷電流と共に增加する。そこで補助極は之を電機子と直列に接續し或一つの負荷に於て是等が相殺する樣に調整しておけば,他の任意の負荷に於ても常に滿足なる相殺作用が行はれて機械は火花なく運轉することが出來る。

斯くの如くにして補助極は整流に對しては優れたる效果を持つてゐる。從つて補助極付の機械は火花を發することなく重き負荷に堪えることが出來,又整流の困難なる高電壓や高速度の機械も補助極を設けることによつて製作が可能になるのである。特に勵磁電流を加減して速度を制御する電動機は此極を設けざる限りは如何にしても廣い範圍に速度を制御することは出來ぬ。又高き起動廻轉力を欲する場合にも補助極付電動機は火花を發せずして大なる起動電流をとらしめることが出來るのである。

然し玆に忘る可らざることは,第四十四圖及び第四十五圖に示すが如く補助極が相殺し得る横磁束は單に中性帶の附近に於ける僅少なる範圍に過ぎずして,主磁極の下に於ける大なる横磁束に對しては何等の

相殺效果をも持たぬことである。

補助極は主磁極に至る間に大なる空間が存在し,加ふるに第四十四圖の如くnsの起磁力は主磁極の下を通過する磁束を作るに不都合なる位置に在る。そこで之が出す磁束は殆ど全部が電機子鐵心を通過するのである。

從つて補助極を設けたりと雖も,主磁極の下の大なる横磁束は之を如何ともすることを得ずして,主磁界の扭歪は殆ど矯正されることがない。こゝに於て補助極は磁界の扭歪が第一の原因をなす閃越に對しては積極的の效果を持ち得ぬのである。

[26] 補助極の調整

補助極付の機械が負荷狀態に於て著しい火花を發する時は補助極が强きに失せるか或は弱きに失せるかを調べねばならぬ。

之には銅線を以つて補助極捲線を短絡して試みる。斯くして整流が良好になるものは補助極が强過ぎるものであつて,若し之が以前よりも惡化すれば補助極が弱過ぎるものである。

別法としては發電機に於ては刷子を廻轉方向に進め電動機に於ては之を後退して試みることが出來る。斯くして整流が良好になる時は補助極は弱きに失せるのである。

補助極が强過ぎる時は之を適當なる抵抗値を有する高き誘導抵抗を以つて分路せねばならぬ。若し此分路の誘導が不足であれば,機械が急激なる負荷に遭ふ時に,電流は誘導の高い補助極を通過せずして主として分路中を流れる。そこで此瞬間に於て補助極は整流作用を失つて刷子に激烈なる火花を生じ之が原因となつて閃越をも併發するのである。

補助極を分路して使用する機械に對しては出來得る限り急激に變動する負荷の下に精密に整流試驗を行はねばならぬ。

第二編 電弧の閃越

【27】閃越

直流機は之が運轉中屢々電弧が整流子表面の一局部を閃越することがある。又或時は之が一つの刷子より他の刷子に至る間を閃越し,甚だしきに至つては整流子の全表面が全く眞紅の電弧を以つて覆はるゝことすらある。之を電弧の閃越と稱す。之によりて整流子表面が損傷されることは實に甚だしきものであつて動もすれば機械の出力は之によりて著しく制限されるのである。

又電氣鐵道に於けるが如く,電流の歸路を大地にとれる機械では閃越は正刷子より負刷子に向つて生ずる外に正刷子より軸承或は整流子締付環(V-環)に向つて發することも亦稀でない。

一般に云へば閃越に對しては發電機の容量が大である程之を防ぎ得る傾向は大である。而して線路其他に故障を生じたる時は發電機の電壓が低い程閃越の害は小である。同樣にして發電所より饋電點迄の線路抵抗が大である程閃越に對しては有利である。

【28】閃越の原因

整流子片間の雲母が銅や炭素の粉末によつて覆はれたる時は子片間の電位差によりて絶緣を越して電

弧を發して閃越を起し易いことは云ふ迄もない。

閃越の理論は弧光燈(Arc lamp)に於ける電弧の發生と全く同一である。空隙を通つて電弧が發生するには高い電壓を要す。そこで弧光燈に於ては初め炭素極を接觸せしめておいて電流を通じ然る後に電極を離すのである。之によりて一旦電弧が生じたる後は,30—45ボルトの如き低い電壓によりて空隙を通過して電弧は繼續することが出來る。之は電極の間には電弧の熱によりて炭素や金屬の蒸氣(Vapour)が飛散し之が空隙に高い導電性を與へるからである。

閃越は之と全く同一の理論によりて生ぜられるものである。從つて閃越に關しては,炭素刷子や整流子の材料の品質及び最初の電弧の大小が深い關係を持つことは明である。

閃越が發生し得んが爲めには次の二つの要件が必要である。

(1)電弧(火花)が生ぜられざる可らず。

(2)電弧は之が整流子表面に閃越を生ずるに充分なる丈け繼續せざる可らず。

從つて閃越を防止せんには次の二つの方法によらねばならぬ。

(1)刷子の下の電弧(火花)を消さざる可らず。

(2)子片間の電位差を出來る丈け小にして假令へ火花が生ずるも電弧が子片間を閃越し得ぬ樣にせざる可らず。

此の二つに就て次に論ぜんとす。

[29] 火花と閃越との關係

閃越を防止する第一の方法は刷子の下の火花をなくすること即ち整流を確實にすることである。此點に於て補助極は閃越に對しても偉大なる效果を持つてゐる。

補助極を持たぬ昔時の機械は重い負荷の下では著しい火花を發して閃越に陷ることが屢々あつた。然し補助極付の機械は重い負荷の下にも火花を發すること少なく從つて閃越を生ずる率は小である。

第四十六圖は刷子の附近の一局部に生じたる閃越を示す。

第四十六圖

然し補助極付の機械と雖も常規を逸したる運轉狀態に於ては火花を避けられぬ故に,補助極を以つてするも閃越を完全に防止することは出來ぬ。此種の機械が

時々火花を發する原因は數多あるが其内の一二の例を擧ぐれば次の樣なものである。

機體が甚だしき衝動を受ける時は刷子は自己の慣性の爲めに整流子を離れて浮上ることがある。斯る場合には電機子回路は一時遮斷され刷子には甚だしき火花を生ず。之は特に電車が軌道の繼目等を通過する際に起り易いことである。而して電車が高速度で走る程此故障は多く起るのである。

次に補助極は或特殊の狀態の下では其任務たる短絡線輪中の有害起電力を相殺する作用を失ふことがある。これ亦補助極が常に完全に火花を消し得ぬこと,從つて閃絡の原因となるものである。

即ち,先づ直捲電動機に就いて考ふるに,之が運轉中に電力が瞬間的に遮斷されたる場合には,電動機は勵磁を全く失ふ。次に機械が惰性によりて尙ほ廻轉を繼續せる内に電力が回復さるれば,此瞬間に於て機械は,勵磁を失つてゐるが爲めに,廻轉せりと雖も電動子中には逆起電力を誘起して居らぬ。そこで捲線中には非常に大なる電流を流し,整流の下にある短絡線輪中の逆流電流は非常に大なる値に達す。

短絡電流の作る磁束は空隙と電機子及び磁極片の葉鐵中を通過するを以つて其通路に渦電流損失を生ぜぬ。そこで磁束は障碍を受けずして電流と殆ど一

致して瞬間的に變化することが出來る。從つて此磁束によつて誘起されるリアクタンス電壓は非常に高まる。

然るに補助極の出す磁束は繼鐵の鐵塊中を進むを以つて此內に大なる渦電流損失を生じて磁束の增大することを妨げられる。そこで補助極磁束は電流よりも或時間丈け遲れて最大値に達することになる。

此瞬間に於て補助極はリアクタンス電壓を相殺することが出來なくなつて玆に大なる火花を發するのである。

斯くの如くにして直捲電動機は之が運轉中に電力の瞬間的斷續に遭へば激烈なる火花を發して閃絡を起し易いのである。

此種の故障は電車が其進行中に架空線の交叉點や軌道の曲角を通過する時,觸輪(Trolley)が躍り上つた時,或は制御器の取扱を誤る時等に起るのである。

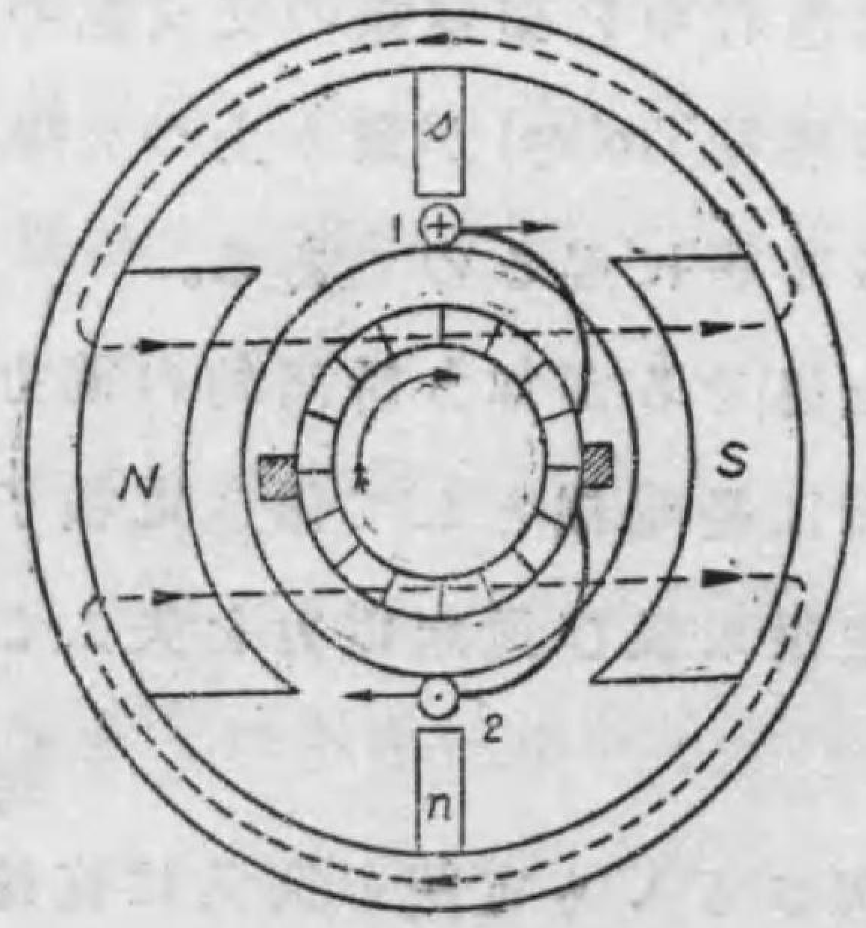
分捲電動機に於ては上述せるが如き瞬間的の電力の斷續に遭ふも此間機械は發電機として働き電機子は分捲界磁を勵磁して主磁束及び逆起電力を失ふことがない。

そこで電源が急に回復さるゝも電流の突入は直捲電動機に比して甚だ僅小に止まり,リアクタンス電壓の增加は比較的に小さくてすみ,火花の傾向は小であ

る。然し補助極の出す磁束の增加が此瞬間に電機子電流從つてリアクタンス電壓の增加よりも遲れることは直捲電動機の場合と同樣である。

機械に急激なる負荷の變動がある場合にも補助極の出す磁束は前と同一の理由によりてリアクタンス電壓よりも遲れることになる。そこで補助極を持つ機械と雖も斯る場合には屢々火花を發するのである。

補助極の出す磁束をして電流と殆ど一致して增減せしめて上述の缺點を除去せんには補助極や繼鐵を薄鐵の成層を以つて作ればよい譯である。然し之は機械が甚だ高價になつて到底製作不能である以外に,斯るものは補助極が相殺し得ない新たなる有害起電力を生ずるのである。



電四十七圖

第四十七圖の如く刷子を中性帶にをける限りは主磁束の方向は短絡線輪の廻轉方向と一致してゐる。そこで普通の狀態では主磁束は中性帶にある1及び2の線輪中には起電力を誘起せぬ。然し此磁束に增減があれば,線輪12中には,變壓器作用(Transformer action)によりて起電力を生じる。

繼鐵を薄鐵を以つて作りたる機械は電力の瞬間的斷續に遭ふも補助極磁束を卽時に作つて整流を確實にし,又主磁束をも卽時に作つて逆起電力を直ちに誘起して電流の突入を輕減するには相當の效果がある。然し主磁束の急激なる變化は,上述せるが如く,變壓器作用によりて同時に短絡線輪12中に高い起電力を誘起することになる。然るに此起電力は補助極が相殺し得ないものである。從つて斯る構造の機械は主磁束の急激なる變化の爲めに反つて火花の故障を增大するのみである。

何れにしても補助極は總ての場合に火花を消滅し得るものではない。そこで火花從つて閃越を出來る丈け減少せんには補助極付の機機と雖も第二の方法卽ち子片間の電位差を出來る丈け低くして,假令へ火花が發生するも之によつて直接に電弧を繼續し得ない樣に作らねばならぬ。

【30】子片間の電位差と閃越との關係

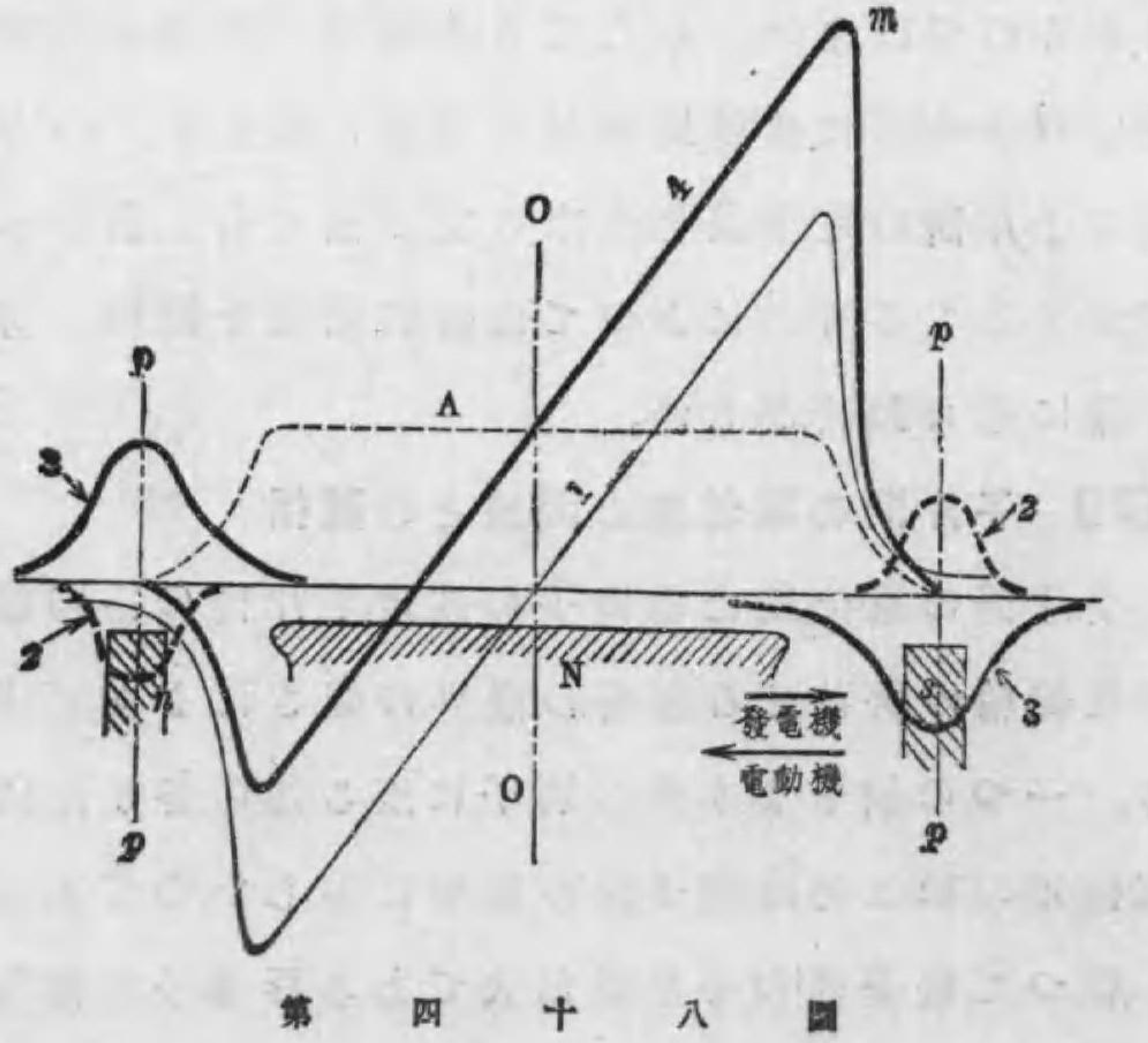
子片間の電位差は電機子の速度,子片間の捲回數及び此線輪の所在せる箇所の磁界の强さによりて決まる。一つの刷子より次の刷子に至る迄の各子片間の電位差の和は勿論刷子間の電壓に等しいのである。

從つて刷子間の子片數が大である程各子片間の電

位差は小である。又全電壓が各子片間に平等に分配される程此電位差は小である。そこで磁界の强さは磁極片の下で出來る丈け一様に分布されることを欲するのである。

補助極を有する機械に於ては普通の運轉狀態の下では火花を發することなく,又主磁界は第四十五圖の4の如き形を持つてゐて,若しmに於ける子片間の電位差が30ボルト(例へば)を超過せざれば閃越に對する心配はない。

然し先づ直捲電動機に就て考ふるに,機械が運轉中に前項に於て述べたるが如き電力の瞬間的斷續を受くればmに於ける電位差は非常に高まるのである。



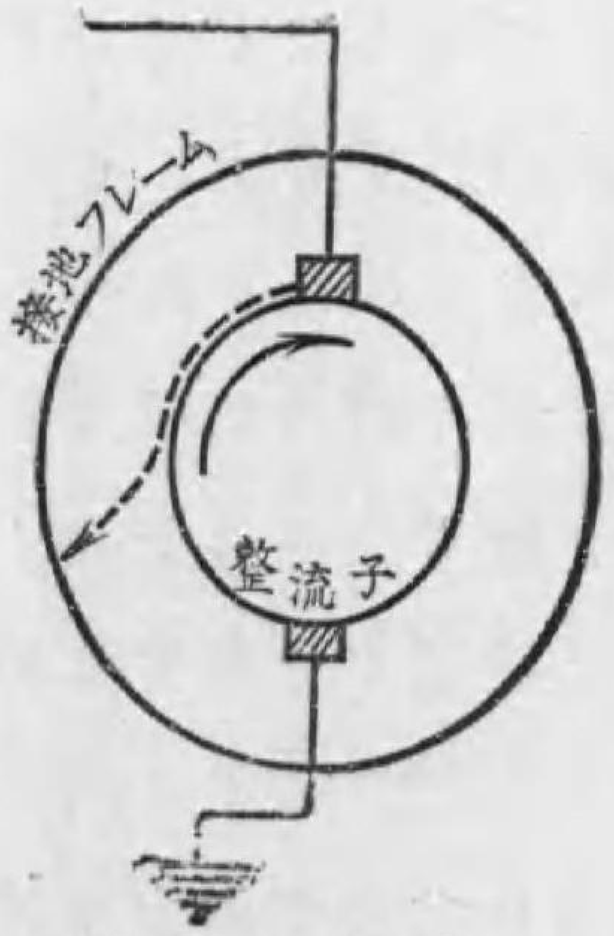
第四十八圖

之と同時に電動子に突入する電流は非常に增大する。然し此電流によりて生ぜらるゝ主磁界は電流よりも遲れ,此瞬間に於ては主磁界の强さは反つて前よりも減じて第四十八圖の曲線Aの如くになる(第四十五圖の曲線Aと比較すべし)。

然るに電動子電流の作る横磁束は空隙と電動子及び磁極片の薬鐵中を通過するを以つて電流と殆ど一致して增すことが出來る。そこで此瞬間に於て横磁束は非常に增して曲線1の如くになる(第四十五圖の曲線1と比較すべし)。

此結果合成磁界は曲線4の如く分布が非常に急になりmに於ける電位差は非常に高まつて先づ此點に於て局部的の閃越を發するのである。

此の局部的閃越の爲めに附近が銅や炭素の蒸氣によりて包まれて整流子周圍の空氣の導電を增し,こゝに閃越は將棋倒しに整流子の全表面に擴がるか,或は第四十九圖の如く,電流の歸路を大地にとれる機械では其附近の整流子締付環や軸承に向つて閃越を發するのである。



第四十九圖

此故障も亦前項に於て述べた

ると全く同一の理由によりて,分捲電動機に於ては其傾向は直捲電動機に比して小である。これ分捲機は之が廻轉せる限りは逆起電力を失はぬ爲めてある。

然し分捲機と雖も負荷が突然激増すれば電機子電流從つて横磁束も亦激増して合成磁界のmに於ける子片間の電位差を高める。又一方に於ては電流が激増する瞬間に補助極は其働きを減じて刷子に激しき火花を發す。此の二つの理由によりて分捲機と雖も負荷の激增があれば閃越を起し易いのである。

【31】 閃越の防遏手段

閃越を防ぐ爲めには整流子の周圍がイオン化するを防ぐ爲めに先づ整流を確實にせねばならぬ。此點に於て補助極は閃越に對しても間接に優れたる效果を持つ。

次に子片間の電位差は設計に於てなるべく低くとらねばならぬ。又運轉中に此電位差が激增するを防ぐ爲めに横磁束を出來る丈け抑へ得る構造を與へねばならぬ。此點に於て補償捲線は獨り絕體的效果を持つ。然し此捲線を持たぬ機械と雖も主磁界を强く作り電機子導線數を小にとる時は横磁束を相當に抑へることが出來る。

次に刷子の跳躍をなくする爲めに其接觸壓力も亦重大である。電車用電動機の如く,運轉中に機體の劇しき衝動を避けられぬ機械に對しては,刷子の接觸壓力は每平方吋3-4封度を良しとする。然し之よりも少し位壓力を增すも損失や刷子及び整流子の磨滅は大して增加せず,又上記の壓力ては動もすれば刷子の跳躍を防ぐに不充分であるので壓力は多くの場合に5封度位に迄高められる。然し此壓力ても尙ほ不充分であれば壓力は更に增して6—7封度にまでも高められることがある。然し壓力を增すにつれて損失や磨滅は增大し,之が9—10封度近くになれば其の害も亦目立つてくる。常に靜止して運轉される機械に對しては刷子の接觸壓力は普通1.5—3封度位て充分である。

次に考ふべきことは主磁極の幅である。第四十五圖に示せるが如く,刷子に接續されるppの位置と最大磁束密度從つて子片間の最大電位差の箇所mとの間には少しの隔りがある。此隔りを大にすることによりて閃越の故障を減少し得ることは明てある。

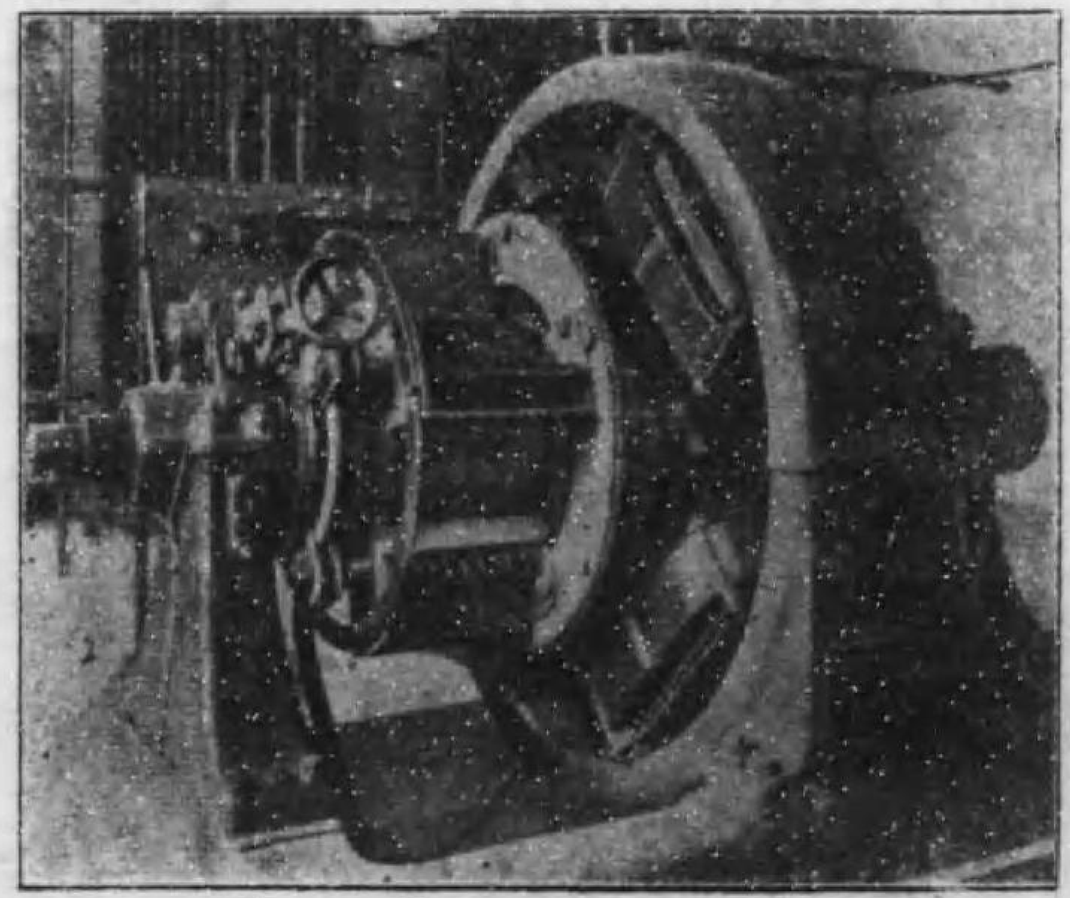
然し之が爲めには主磁極の幅を縮めねばならぬ。之によりて主磁極は面積を減ぜられて製作上不經濟になる外に,機械をして同一電壓に働かしめんには磁束密度を增さねばならぬ。そこで子片間の電位差は主磁極の下に於て高まらざるを得ぬ。之は閃越に對して不都合てある。そこで主磁極の幅を縮めること

は效果を收める途ではない。

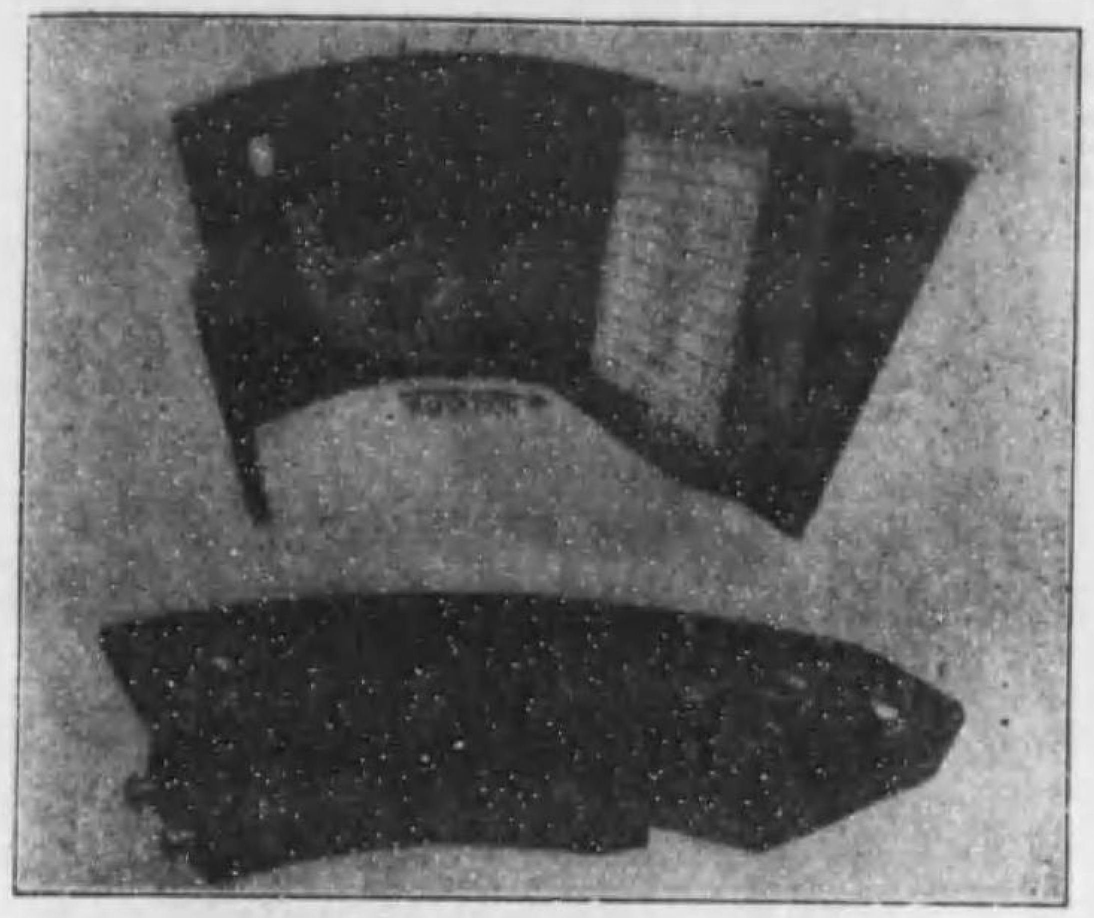
閃越に對しては子片の總數を大にして子片間の捲回數を減ずることは甚だ有效である。之は子片間の電位差を小にすると同時に,主磁界が急激なる變化をなす際に短絡線輪中に誘起される有害起電力をも減少する效果を持つ。然し子片數を無暗に大にすれば,各子片の厚みを減じて子片相互が電弧によりて容易に閃越される樣になる。

電機子の構造に關しては,捲線の自已誘導を大にして負荷が急激に變化するも電機子電流を急に變化し得ない樣に作るを良しとす。然し之は常規狀態に於ては歡迎すべきことではない。

又大なる負荷に於て横磁束が激增するを防ぐには,磁極片の兩端及び電機子の齒部を高く飽和せしめるのである。斯くすれば電流が增大するも横磁束通路の抵抗を增して磁界の扭歪を減少することが出來る。



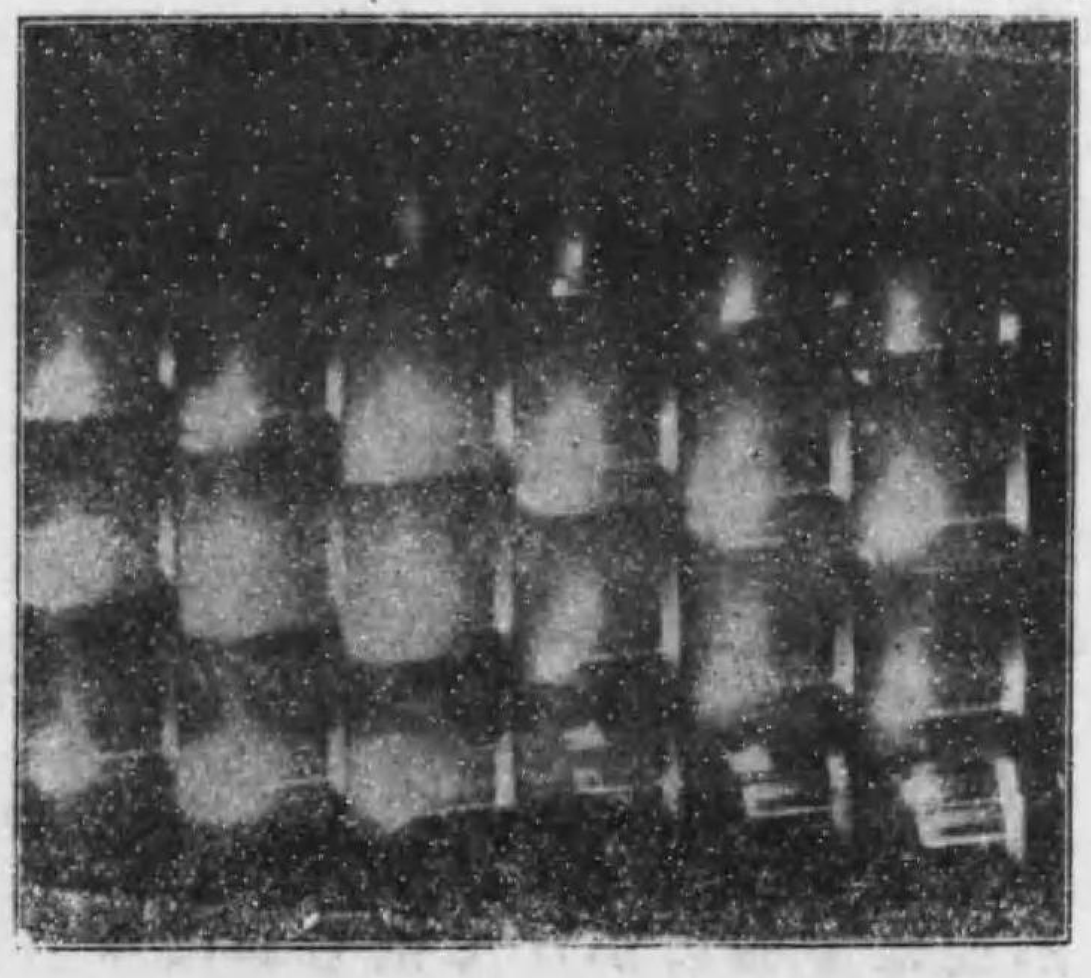
第五十圖



第五十一圖

以上は設計當初に於て閃越を防遏すべき手段である。既に出來上つた機械に對して此故障を免れるを得ぬ場合には,唯一の手段として,第五十圖の如く刷子の中間に絕緣壁を設けるのである。

此絕緣壁は第五十一圖の如く絕緣部と金網とより出來てゐる。前者は電弧の閃越を阻止するを目的とし,後者は假令へ電弧を生ずるも之を直ちに冷却して其繼續を不可能ならしめるを目的とする。之によつて僅かに刷子間の閃越は之を防ぐことは出來るけれども,子片間の局部的の故障は到底如何ともすることが出來ぬ。此種の局部的閃越を示したものが第五十二圖である。



第五十二圖

第三編　火花の原因,徴候及び療法

【32】 總說

直流機は之が出來上つた後には前述せる諸注意の下に精密なる整流試驗を行はねばならぬ。機械は之が出來上つた當初から設計や製作の缺點から火花を發することは珍らしくない。又之を連續運轉してゐる內に種々の原因の爲めに整流を害せられて火花を出し始めることもある。

機械が運轉中に火花を出し始めると,之を其のまゝに放置してをけば故障は累積的に增し,初めの內ならば極く簡單に修理し得るものが遂には火花の爲めに整流子全表面を損傷され,後に故障の禍根を除去するも整流子表面の傷跡の爲めに其のまゝては無火花の運轉が出來なくなり,整流子は新しいものと取替へるか或は旋盤にかけて削らねばならぬ樣になる。

又整流子は運轉中に其表面が黑化(Blackening)することがある。之も整流が不精密なることに起因するものである。此時には子片間の雲母は炭素膜を以つて覆はれて閃絡を起し易い。

整流が確實に行はれゝば整流子や刷子の磨滅を大いに減じて維持費(Maintenance cost)を減ず。又炭素や

銅の粉末を飛散することが少ないから機械の絕緣を害することも亦輕少である。

そこで整流に關しては,初めから充分なる注意を拂つて之を最も精密に調整してをくことは勿論,運轉中と雖も火花が異常に現れ始めた時は,其原因が何處にあるかを最も愼重に攻究し,即時に之を治療する手段を講じねばならぬ。

火花の原因は外部に現れたる最も發見し易き箇所に存在する場合もあるが,時としては電氣的又は磁氣的の極めて微妙なる所に存在し深く經驗を積んだ人でなければ發見することが出來ぬ場合もある。

又故障の修理は使用者が手輕に行ひ得る場合もあるが,之と反對に素人の手を觸るゝを許さぬ場合もある。斯るものは必ず專門家の手に委ねゝばならぬ。

火花の原因を其存在箇所に從つて分類すれば,

(1)電機子捲線中の故障
(2)界磁捲線中の故障
(3)刷子
(4)整流子
(5)速度及び機體の振動

の五つに大別することが出來る。各々の場合に就て以下詳述する。

第一章　電機子捲線中の故障

〔33〕 電機子回路の斷線

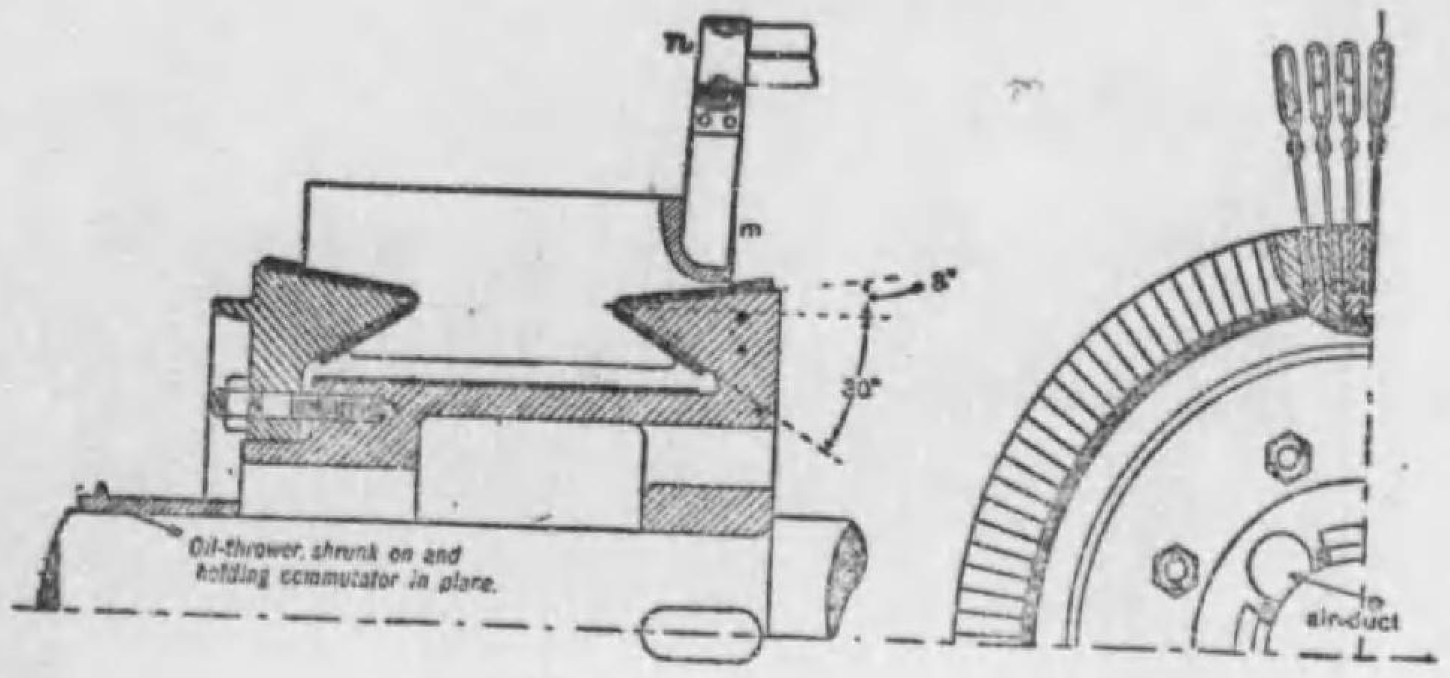
電機子回路の斷線は捲線中に斷線がある場合,導線と整流子片とを接續する接續片の鑞着部が熔けて此部分が開路せる場合及び接續片が切斷せる場合の三つがある。

電機子捲線中の斷線の原因としては,先づ捲線中の或部分に不良の箇所が存在せるものと考へ,之に氣付かずして機械を運轉してゐる内に,此箇所が强く熱せられて夫自身に斷線するか,或は發熱の爲めに絕緣を害し導線は鐵心に接觸して短絡を起して燒切れるのである。之は特に電機子が細い針金を以つて捲かれてゐる機械例へば小出力,高電壓若くは低速度のものに多く起る故障である。

又線輪が端部に於て鑞着して作られてゐるものに於ても此部分が斷線し易いのである。例へば導線電流が大になればコイル・サイドは一本の太い導線で作られ之を隣接磁極の下にあるコイル・サイドと端部に於て鑞着して線輪を作ることがある。斯るものは此鑞着部が過負荷等によりて熔融して最も斷線を起し易いのである。

捲線と整流子との間に接續片を用ゐて兩者の接續を行ふ場合には,此部分の鑞着は特に入念に行はねばならぬ。第五十三圖は整流子と捲線とを接續片を用

ひて接續せる例を示す。接續片の



第五十三圖

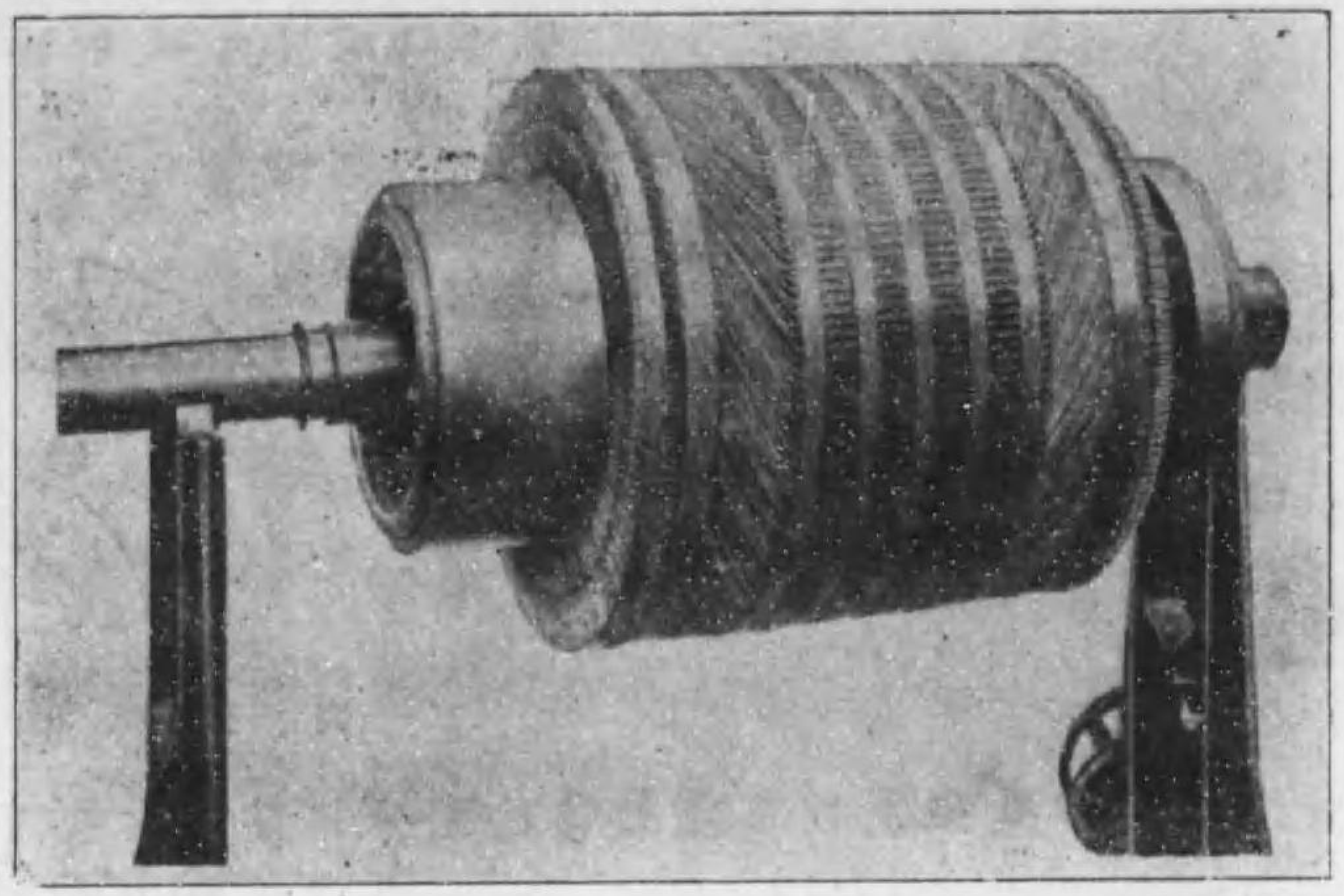
兩端m及びnに於ける鑞着には充分に注意を要するのである。

更に斷線は運轉の爲めに導線が張力を受くる箇所即ち導線が溝に出入する箇所又は整流子に接續される箇所に於て起ることが屢々ある。從つて導線を側方に於て餘り强く緊張したり或は導線が側方に向ふ角度を餘りに急にすることはよろしくない。

此部分の故障を出來る丈け少くするには導線が溝から出て整流子に接續される途中に僅かの彎曲餘裕を與へてをくのである。彎曲餘裕は遠心力によりて起る張力を緩和して斷線を防ぐ機能を有す。

又電機子は其の周圍速度が高くなれば捲線には大なる遠心力が加はる。そこで導線は鐵心及び端接續(End connection)の上を第五十四圖の如く堅牢に束帶を以つて保護せねばならぬ。

電動機に於ては捲線の斷線は起動を亂暴に行ふ場



第五十四圖

合にも起る。又起動器の接觸片が適當に作られてゐない時にも,電動機は過度に大なる加速度を以つて起動して,斷線を生じ易い。常に無負荷に於て起動する電動機に用ゐる起動器は之を常に重い負荷を以つて起動する時に用ゐるものと混用してはならぬ。之は絶えず起動したり停止したりする電動機に對して特に注意するを要す。

電機子回路の一部に斷線を生ずる時は,之が發電機の場合であれば,普通には機械が自勵することが出來ぬこと卽ち起電力を誘起しないことによりて發見することが出來る。

又他の方法としては,發電機に此故障の疑がある時は,之を他の電源より勵磁しておいて無負荷に於て廻轉せしめる。然る時は廻轉中に刷子の周圍に非常に

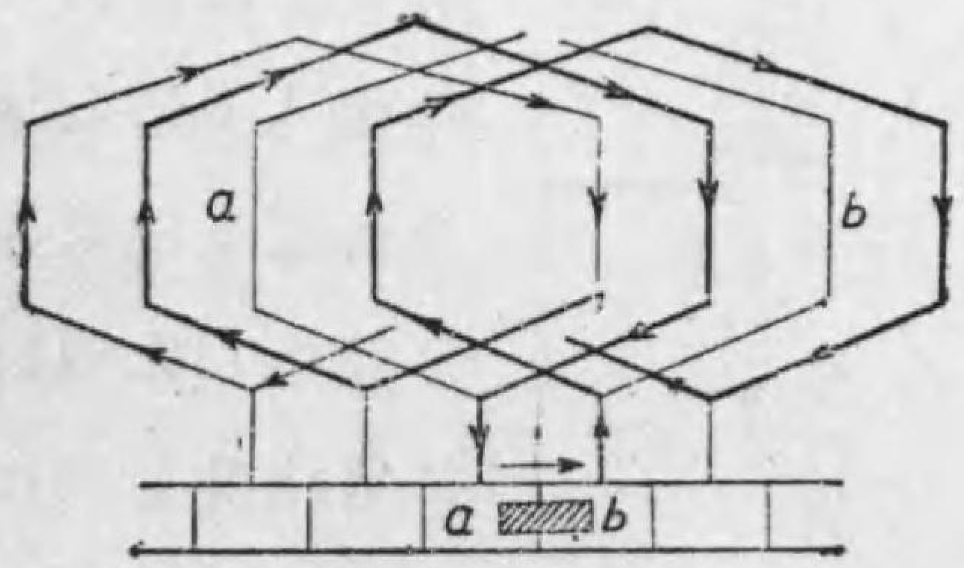
激烈なる火花を發す。而して之を停止して整流子の周圍を檢査すれば,斷線せる線輪に接續された子片の緣邊と雲母とが劇しく燒き傷けられてゐるを見る。

電動機に於て若し電動子捲線中に斷線があれば機械は速度を少しく增し,又廻轉中非常に激烈なる火花を發することは發電機の場合と同樣である。

斷線の爲めに生ずる火花は他の原因によりて生ずるものと外觀を異にし,火花は非常に激烈にして長く續き,忽ちにして整流子を害するが如き惡性のものである。

電機子捲線が斷線せる場合には此部分の導線を取替えるを最良とす。又鑞着部に故障が出來た時は,出來得べくんば,銀半田を用ひて鑞着を行ふ。

特に急を要する場合には,一時的の間に合せとしては,斷線せる線輪に接續された二個の子片間を第五十五圖の如く短絡し整流子表面て回路を完結して使用することが出來る。



第五十五圖

圖に於てa,bの線輪中に斷線があれば之に連る子片a, bを短絡して矢の如くに回路を完結するのである。之を行ふには二個の子片間に半田の

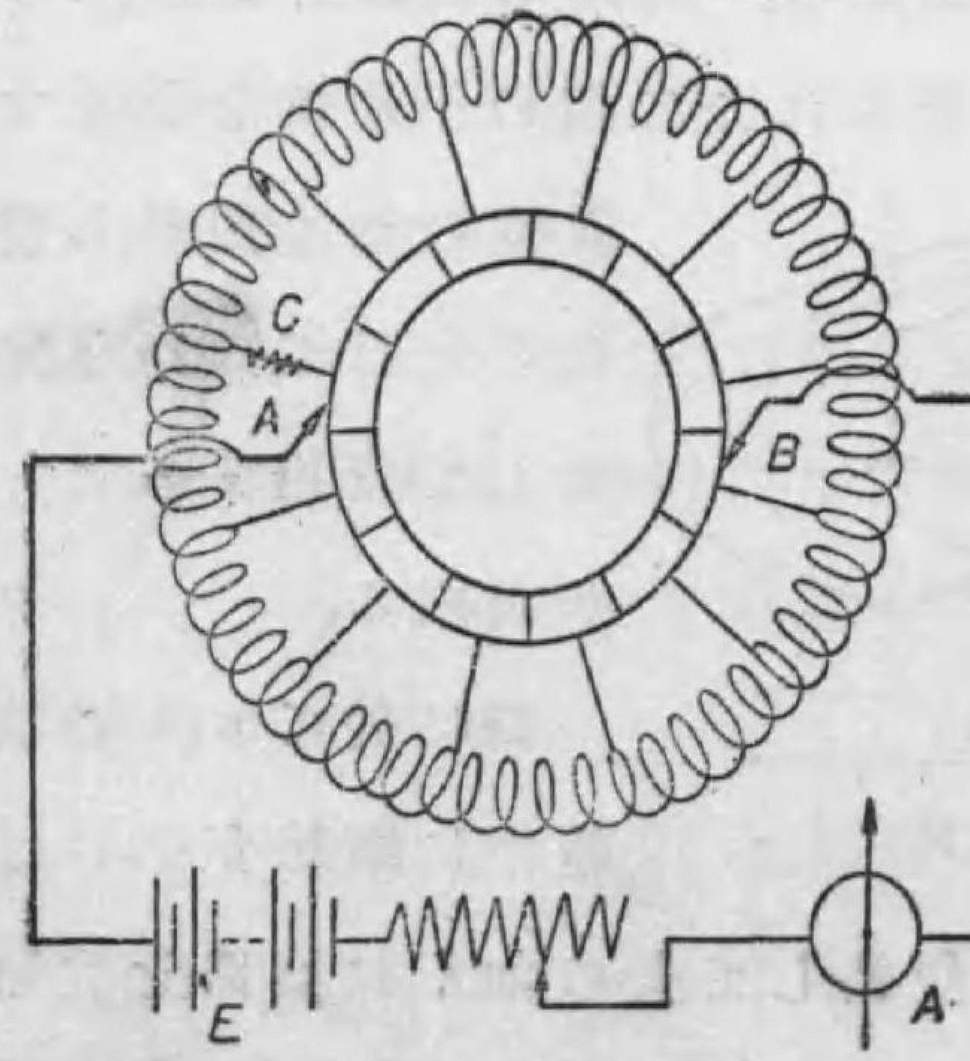
小滴を固着せしめるか或は此間に小なる金屬楔を打込むのである。

斯くの如くに處理すれば最も忌むべき運轉中止は避けることが出來る。然し之は最も都合のよい場合に於ても唯一時的の間に合せに過ぎぬことを承知せねばならぬ。何となれば除去されたる線輪を含む電機子回路は此線輪中の起電力丈けを減少するが故に各並列回路の起電力に相異を生じて火花を避けられぬからである。

〔34〕 斷線の檢出法

斷線の位置を見出すには前述せるが如く二個の子片の緣邊が甚だしく燒かれてゐることによりて之が存在箇所を判斷することが出來る。

然し他の方法としては第五十六圖の如く整流子上で電氣的に180度の位置にある二點ABに電池又は低壓の電源を接續し此回路に電流計を入れる。



第五十六圖

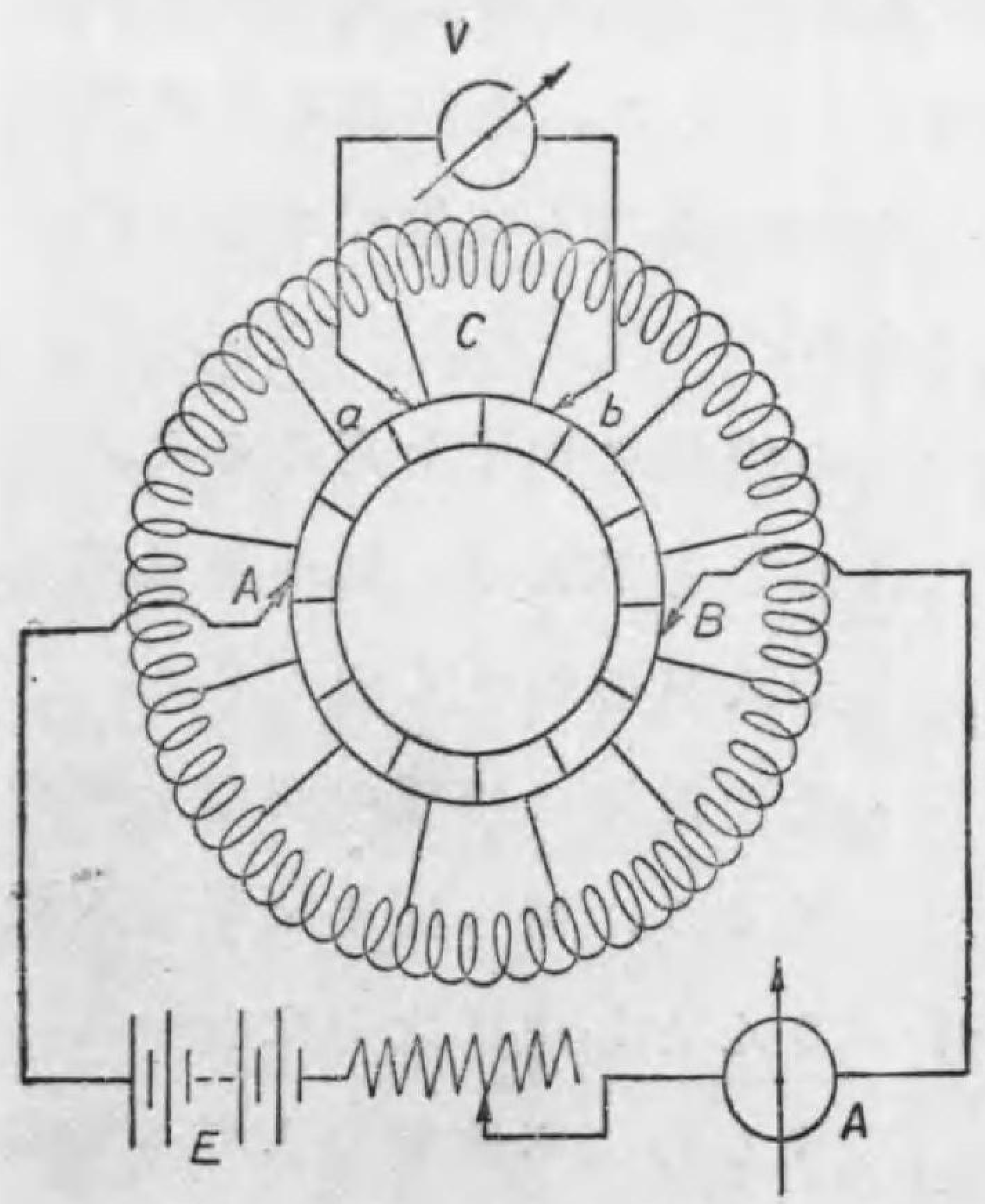
豫め整流子表面は細い硝子紙

を以つて磨いてをく。而して接觸點A,Bは鋭き尖端を持ち子片の一枚のみと接觸する樣に作る。

次に電機子中に電流を送り手を以て電機子を徐々に廻轉しつゝ電流計の讀みに注意する。

若し捲線と子片との接續箇所に斷線があれば此子片が接觸點上に來る時に電流計の讀みは零になる。又此部分Cに接續不良等によりて高抵抗が存在すれば電流計の讀みは他のものよりも小になる。

若し電流計が斯くの如く明確なる指示を與へざる時は第五十七圖の如き接續を行ひ電壓計を用ゐて試驗することが出來る。



第五十七圖

先づ電機子中に一定電流を通じつゝ、低讀電壓計を隣接する二個の子片間に接續し其間の電位差を測定す。之を整流子上を次から次へと進め行く時、若し捲線の何れの箇所にも故障がなければ電壓計の讀みは總てが

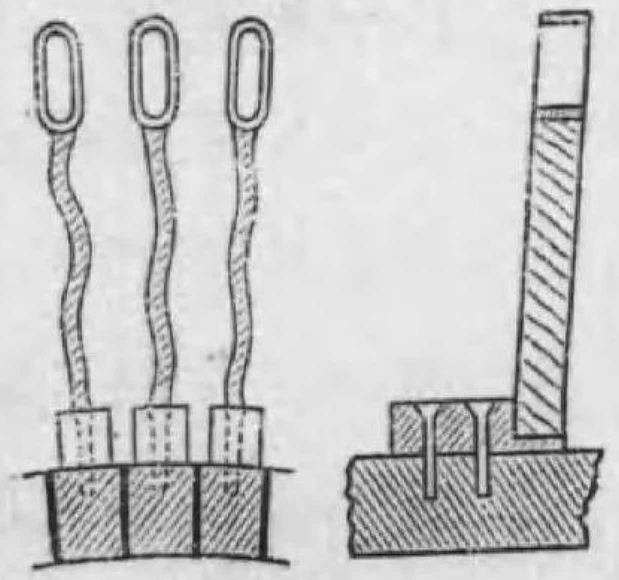
同一である。

若し何れか一つの電位差が附近のものよりも著しく大なれば此子片間に接續されたる線輪中に接續の不良箇所が存在する筈である。又線輪中に斷線があれば,之に接續されたる子片間には全電壓を現す。

【35】 導線と整流子との接續不良

半田を以つて充分なる接合を受けてゐる鑞着部は斷線することは稀である。然し一本の導線が多數の細線を並列に用ゐて作られてゐる場合に,之を子片に接續する時は,作業の手落から細線の或者が半田によりて充分に覆はれぬことがある。之が爲めに此部分の抵抗を增し,初めの內は接續の不良位ですむけれども長い間には斷線に陷る。

整流子片と接續片との接續に螺子を用ゐることは昔時の機械には行はれたことがある。其一例は第五十八圖の如きものである。此接續法は特種の利益を持つてゐる。例へば整流子を取脫さんとし,或は之を取付けんとする時に,不熟練の人でも容易に且つ迅速に之を行ふことが出來る。



第五十八圖

然し其の大なる缺點としては,機械の運轉中動もす

れば螺子の或者に弛みを生じて接續の不良を起す。斯る接續法は現今では用ゐられぬ。

捲線中の何れかに接續の不良を生ずる時は,之を含む回路の抵抗を增して故障の存在する子片の附近に於て火花を發す。然し之を其のまゝ放置して運轉を繼續すれば,故障箇所は遂に斷線する。從つて此故障を發見した時は,直ちに機械を停止して接續部に修理を加へねばならぬ。

電機子捲線の斷線及び不良接續に基因する火花は子片の或者又は雲母の或者が突出せる爲めに生ずる火花と外觀を類似す。

然し此兩者は根本の性質を異にしてゐるから之を區別することは容易である。即ち刷子を通して捲線中に電流を流しておいて電機子を徐々に廻轉しつゝ整流子の周圍を注意する。斷線又は不良接續がある時には火花は止まぬけれども,整流子表面の不整に因づく時には廻轉が遲くなつた爲めに刷子の接觸は安定になり火花は消える。

【36】 捲線中の短絡

捲線は充分なる絶緣を以つて被覆されてゐる。初めの內は,之は機械の運轉電壓に對して少しの不安もないのを普通とする。然し長い間の運轉中には種々の原因によつてて絶緣は害せられて捲線の一部に短

絡を生ずることがある。

電機子線輪の何れかに短絡を生ずれば此線輪中の起電力は之を含む電機子回路中の端子電壓に加はらぬ。その結果此回路の起電力は他の回路のものよりも減ずるが故に捲線中に均壓電流を回流して火花を發す。

又短絡されたる線輪は之が磁極の下を通過する際に此内に相當の起電力を誘起するを以つて短絡回路中に非常に强い電流を流して絶縁を燒き,ひいては導線を燒斷する。尙ほ短絡電流の爲めに機體は甚だしき振動と音響とを併發するのである。

此故障の發生を感知した時は,機械を即時に停止し,之を無負荷に於て運轉して見る。此の時異常の動力(Power)を消費するものは此故障に陷つたものである。

捲線の短絡箇所を見出すには第五十七圖と同一の接續を行ひ電氣的に180°の位置にある二個の子片より電機子中に電流を送りつゝ,隣合ふ子片間の電位差を次から次へと測定して行く。短絡箇所に至れば檢出用の電壓計は指針の振れを見ざるか或は振れが極く小である。

斯くの如くにして線輪中の短絡を發見した場合には,勿論此線輪を完全なるものと取替ねばならぬ。然し運轉中止を許されぬ場合には,一時的の療法として,

此線輪を切斷して短絡回路を開路しておいて後,第五十五圖の如く之を含む二個の子片を橋絡(Bridge over)して回路を完結するのである。

[37]　線輪の逆接續

電機子導線の接續は總てのものが次から次へと同一方向に進んで各線輪中に誘起される起電力は相加はつて行かねばならぬ。然し時としては作業の誤りから捲線方向が一樣に進まずして或線輪の兩端が逆に接續されて後戻りをしてゐることがある。

逆進線輪を含む回路に於ては此線輪中に誘起される起電力は唯に有效に用ひられぬ丈けに止まらずして之が逆に働いて此回路の電壓を下げる。そこで並列回路を有する捲線例へば多極並列捲線では,各回路は最早や同一の電位差を持たなくなり,機械は何れの刷子の位置に於ても又如何なる手段を講ずるも激烈なる火花を發するのである。

そこで整流試驗に際して斯る故障に遭遇せる時は逆進線輪の有無を調べねばならぬ。

其方法は至極簡單である。整流子の電氣的反對位置にある二個の子片より捲線中に電流を送りつゝ,磁針を溝の上に當てゝ之を次から次へと進めつゝ,其振方向を調べる。若し逆進せる線輪があれば,此上に於て磁針は逆に振れて非常に明確に接續の誤りを指摘

する。

別法としては相隣合ふ二個の子片を低壓電源に接續し此線輪中に電流を送りつゝ磁針を用ひて捲線の極性を線輪の一個宛に就て調べることも出來る。

此故障の療法は逆進線輪の端子を子片より取離し改めて之を正しき子片に接續するのである。

【38】 空隙長の不同

磁極は界磁捲線中に故障のない限りは各自が同一の起磁力を持つてゐる。從つて各磁極の出す磁束は各磁氣回路の抵抗の如何によりて決定される。所で磁氣回路の主要部分をなしてゐるものが空隙である。空隙の長さに不同があれば全體の磁氣抵抗は最も鋭敏に左右せられる。

空隙長に不同があれば各磁極の出す磁束に大小を生じ,電機子の並列回路中に誘起される起電力にも相異を生じて,刷子に劇しき火花を發するのである。甚だしきに至つては,機械を無負荷に於て廻轉せる時にすらも火花を發することがある。同時に內部に電流が回流する爲めに機械を無負荷に於て廻轉するにも大なる動力を要し,併せて捲線の著しき加熱を起すのである。

之に對して自働的の調整をなすものが等電位接續である。之に就ては第15項を參照すべし。

空隙長の測定は充分に精密に行つて之を均一に調整せねばならぬ。之を機械的に最も簡單に測定するには,鈍き一樣の傾斜を有する楔に高さの目盛を施し,之を磁極の兩側より空隙中に挿込むのである。

空隙長は最初には之が一樣に作られてゐたに拘らず,長い間の運轉中に軸承が磨滅して此不同を生ずることもある。

又磁極の構造や其取付けを誤つて磁極片の內面が電機子と偏心的になつたり或は電機子の取付けに狂ひを生じてゐる場合にも此故障を生ず。

此故障に關しては既に第11項に論じた所である。

【39】 電機子回路の端子抵抗

捲線中に接續不良の箇所が存在すれば電機子回路の端子抵抗に相異を生ずることは云ふ迄もない。又線輪が細い針金を多數に捲いて作られてゐる時にも同路の端子抵抗に相異を生ずることがある。同樣にして刷子の接觸抵抗が一樣でない時にも之を生ずるのである。直流電機特に並列電機子回路を有するものでは各回路の端子抵抗に不同があれば火花は避けられぬ。

此種の故障を發見した時には,先づ機械を停止して總ての刷子を浮上げてをいて,隣合ふ磁極の下にあつて電氣的に180° を隔つる二個の子片間で此回路の抵

抗を測定するのである。此測定は電位降下法(Drop of potential method)によるか或は出來得べくんば標準抵抗を直列に入れて比較法(Comparison of deflection method)によりて充分精密に行はねばならぬ。

之を相隣合ふ二組宛の刷子に付て次から次へと行つて各電機子回路の抵抗を測定する。是等の內に特に抵抗の高いものを見出せば其原因が何れにあるかを取調べねばならぬ。而して不良の箇所を見出すには第34項に述べた方法による。

若し電機子の各並列回路の抵抗が相等しきにも拘はらず火花を發する場合には,故障は刷子又は取出線(Lead wire)中にある事が多い。之が刷子に起因せる場合には,其接觸面を調べて之を磨き,必要に應じては刷子を新しいものと取替へねばならぬ。又各刷子の接觸壓力にも注意して總てのものが同一である樣に調整せねばならぬ。

第二章　界磁捲線中の故障

【40】 概說

磁極に生ずる主なる故障は線輪の一部或は全部が短絡してゐるもの,線輪が中途で斷線してゐるもの,二つの相隣合ふ界磁線輪の捲回方向を誤つたり或は線輪間の接續を誤つて二つが同一極性を持つてゐるもの及び磁極が殘磁氣を失つてゐるものや之が逆の方向に磁化されてゐるもの等である。

是等の內で線輪が中途で斷線してゐるものでは,勵磁電流が流れぬ爲めに發電機に於ては電壓を誘起することが出來ず,又電動機では起動することが出來ぬ。

界磁回路の斷線は種々の個所に起り得るが,最も普通なるものは各線輪の接續用螺子が弛んでゐる場合や線輪の取出線(Lead wire)が斷線してゐる場合である。線輪の取出線は撚線(Stranded wire)を用ゐて充分に注意して作る必要がある。

次に磁極が殘磁氣を失つてゐたり或は之が逆の方向に磁化されてゐる場合には,電動機として働くものでは何等の故障をも感じないが,發電機として働くものではこれ亦電壓を誘起することが出來ぬ。此故障に就ては後編に於て詳しく論じることにする。

本章に於ては火花に關係を持つ捲線の短絡及接續の誤りに就て述べる。

元來直流電機は之が直捲なると分捲なると複捲なるとを問はず界磁線輪は夫々が單に直列に接續されてゐる丈けであるから,故障を見出したり或は其の所在を突止めることは電機子捲線に比すれば甚だ容易である。而して之が療法も亦頗る明白なるものである。

【41】 界磁線輪の逆接續

多極を有する直流機の界磁線輪は相隣合ふ磁極が交互に極性を交番して進む樣に接續されねばならぬ。然し不注意等からして或線輪の兩端が次のものと逆に接續されたり或は線輪自身の捲回方向が誤られてゐることもある。

此磁極は隣りのものと逆の(opposing)起磁力を出す。そこで之と共同して働くべき磁極との間には磁束を發生し得ぬことになる。

斯る不正の界磁線輪が存在すれば,電機子が直列捲線になれるものに於ては之が二極機であらうと多極機であらうと其結果は,發電機であれば廻轉速度及び勵磁電流が常規値に在るに拘らず起電力が非常に低く,之が電動機であれば端子電壓及び勵磁電流が常規値に在るに拘らず速度が甚だ低くあつて,兩者共に火花が激烈に飛んで何れの刷子の位置に於ても整流が全然失敗に歸する位てすむ。

然し之が並列回路を有する機械例へば多極並列捲線を持つものに於ては,最早や前者の樣に呑氣なことてはをさまらぬ。卽ち不正磁極の兩側に在る二個の電機子回路中には起電力を誘起せぬ。そこで此の回路を通して他の回路に誘起されたる全電壓(發電機)若くは線間電壓(電動機)が働く爲めに恐るべき過重の電流が突入し,忽ちにして捲線の一部を燒切るか或は絕緣を炭化して線輪相互の短絡を生ずるか或は回路中の接續部例へば整流子と導線との鑞着部を熔かして回路を切斷するのてある。此の間極めて激烈なる火花を發することは云ふまてもない。

機械を無負荷に於て廻轉して電機子の溫度が異常に上昇するものは,電機子捲線中に短絡があつたり又は不正の接續があつたり又は整流子に短絡がある場合の外は界磁線輪の極性に不正があるものと心得てよい。

此故障を見出すには界磁捲線を電機子より切離し此內に電流を通じてをいて,磁針を各磁極の近傍に持行き,一つの磁極を去つて次の磁極に移るに從つて磁針の振方向が交互に反對になるや否やを檢するのてある。若し磁針が同一方向に振れる時は此線輪の極性は不正のものである。從つて此線輪の兩端の接續を逆にせねばならぬ。

第二の方法としては界磁捲線中に電流を通じてをいて磁極の間隔丈けの長さを持つ鐵釘の一端を一方の磁極に付け他端を他の磁極に接觸せしめる。若し釘が磁極に吸付けられて止まれば,此の二つの磁極の極性は正しいものである。若し釘が落下すれば兩者の極性は不正であつて線輪は逆に接續されてゐるのである。

若し界磁捲線中に試驗用電流を流すべき適當なる電源のない時には,機械を發電機として廻轉し,界磁抵抗を充分に增して磁極を極めて弱い電流で勵磁してをいて,試驗することが出來る。此時若し勵磁電流を充分に減少することを怠れば,初めに述べた樣な恐るべき故障を起す。

【42】 界磁回路中の短絡

界磁回路は線輪相互の接續用螺子が繼鐵や磁極片に觸れてゐる爲めに線輪の一個若くは數個が短絡を起してゐることがある。又一個の線輪內に於ても內部に濕氣を吸收してゐるものは絕緣が不完全になつて部分的の短絡を生ずることもある。又分捲線輪では界磁回路の切斷の際に誘起する極めて高い起電力の爲めに絕緣枠を破つたり或は層間の絕緣を破つて短絡を生ずることもある。

斯くの如くにして界磁回路に短絡を生ずれば,故障のある磁極は勵磁されなくなる。而して界磁回路は全體の抵抗が減ずる爲めに勵磁電流は非常に增大する。此結果短絡のある線輪は其內を電流が流れぬ爲めに低溫度にあるに拘らず,他の線輪は電流增加の爲めに常規よりも强く熱せられる。此影響は磁極の數が小である程甚だしいのである。

次に多極であつて並列電機子回路を有する機械では短絡磁極の下にある電機子回路に誘起される起電力が減少するが故に並列回路の端子電壓に不同を生じ,之が爲めに捲線の內部には均壓電流が回流して捲線を强熱し,同時に一組或は二組の刷子に激烈なる火花を發す。

此故障は分捲電流が著しく增すことによりて知ることが出來る。又各界磁線輪の端子電壓を測定することによりても亦之を知ることが出來る。卽ち故障のある線輪は短絡の爲めに抵抗を減じ從つて其端子の電位差は他のものよりも小である。

更に別法としては機械を勵磁してをいて磁極の近邊に鐵片を持行き各磁極の强さを調べるのである。若し一極が他のものよりも牽引力が弱い時には故障は此線輪中にあるのである。

二極機に於ては磁極は其一方のみより勵磁することが出來る。そこで斯るものでは假令へ一方の線輪に短絡がある場合と雖も必ずしも火花や電機子捲線の加熱を生ずるとは限らぬ。

然し斯る場合には分捲回路の抵抗は半減し完全に殘つた方の線輪中を常規電流の二倍が流れる。そこで捲回數は半減し勵磁電流は二倍に增すが故に機械の電壓又は速度には影響を及ぼさぬ。然し一方の線輪は其の內を流れる電流の增加の爲めに非常に强く

加熱される。而して一般には極めて短時間に絶縁を燒いて線輪の短絡を起すのである。

線輪が取出線の附近に於て纖鐵等に接觸してゐる時には,此部分を絶縁被覆することによりて修理は極く簡單に行ふことが出來る。然し線輪内部に層短絡がある場合には,此線輪を取替へない限りは運轉を繼續することが出來ぬ。

線輪は之が濕氣を吸收する時は内部の絶縁を害して短絡を生じ易いのである。そこで線輪は充分に注意して常に乾燥狀態にをかねばならぬ。

第三章　刷　子

【43】　炭素刷子の品質

直流機は之を運轉してゐる内に特殊の原因なくして火花を避けられぬことが屢々ある。之は整流子の構造や材料の不良に因づくものと,刷子の品質や寸法を誤まれるに因づくものとの二つがある。本章に於ては是等の内で刷子に關係を持つ件に就て述べる。

刷子は整流子上に位して摺動接觸(Sliding contact)によつて兩者の電氣的接續を完成する重要なる役目を持つ。刷子の品質及び寸法は火花に極めて密接なる關係を有するものである。從つて之に關しては製作者に於ては充分に吟味するを要し,又使用者に於ては

必ず製作者の指定したものを用ひねばならぬ。

刷子の或ものは非常に硬過ぎ又或ものは非常に軟か過ぎることがある。前者は運轉中に動もすれば整流子表面を傷け或は之に條溝を刻して整流子を速かに磨滅する。而して自己は其隅角を缺損して火花を誘發し易いのである。後者は整流子表面を磨滅粉を以つて汚し接觸面の摩擦を增してこれ亦整流子を迅速に磨滅す。共に甚だ性質の面白からぬものである。

要するに刷子は其硬度餘りに高くもなく又餘りに低くもなくして丁度中庸を得,其組織は强靱であつて而も整流子表面を汚潰したり磨滅することが最少であり,且つ又高き電流密度に堪えねばならぬ。刷子に高き電流密度が許さるれば其接觸面積を減ずるを得て摩擦による損失を減少し整流子の加熱を減じて大いに整流子銅材の節約を圖ることが出來る。

然し玆に注意すべきことは,刷子は夫自身て誠に結構なる機械的なり電氣的なりの條件を滿足してゐやうとも,之が機械の特殊の要求に適應してゐなければ充分に滿足なる機能を發揮することが出來ぬのである。卽ち機械は其設計や製作の都合によりて,高い接觸抵抗の刷子を要求し,或は高い電流密度に堪え得るものを要求し,又或時には硬質のものを要求し,更に或時には軟質のものを要求するのである。

從つて刷子は機械の設計や製作に係る條件に適合するものであつて而も前述せる刷子自身の具備すべき要件を完備せるものを最良とする。

一般に炭素刷子の接觸抵抗は電流密度や溫度によりて著しく變化す。そこで輕負荷と重負荷とに於ては接觸抵抗は大いに變化するのである。

今或機械を重負荷すれば,初めの内は刷子は低溫度にあるが爲めに左程に火花を發せぬものも,暫くして刷子の溫度が上昇するにつれて接觸抵抗を減じて盛に火花を出し始めることがある。又重負荷の下て火花が出始める外に,輕負荷の下ても何等かの原因によつて一旦火花が出始むれば,之によつて刷子の溫度は高まつて更に盛なる火花を發することがある。

【44】 炭素刷子の凝結劑

炭素刷子は普通には炭素の微粉末に凝結劑(Binding material) を加へ,之を充分に攪拌混合して後,加熱して,强靱にして堅固なる固體にかためあげてゐる。電流容量の大なるものを欲する時には黑鉛 (Graphite) の粉末を用ひ,硬質のものを欲する時には骸炭(Coak) の粉末を使用す。更に電流容量の大なるものを欲する時には,炭素粉末中に銅粉末を混入するのである。

硬質の刷子を得んとすれば凝結劑を多量に用ひる。又電流容量の大なるものを欲する時には凝結劑の混

合割合を減ずるのである。そして是等の混合物は初め低溫度に加熱したる後高溫度に强熱するのである。

凝結劑は加熱中に膨脹するものはよろしくない。斯るものは加熱製成後に炭素中に微小なる空泡を殘して抵抗を增し同時に組織の密實をも害して强靱性を減少す。

刷子は必ず相當の張力に堪え得るものでなけねばならぬ。若し此性質を缺ぐ時は刷子は脆弱になり振動等に遭つて隅角を缺損する虞れがある。

又凝結劑は加熱製成後に之が殘留して刷子の抵抗を增すものや或は其品質によつては機械の運轉中溫度上昇の爲めに分解變質するものがある。斯るものは整流子の表面を汚して火花を生じ又閃越をも起し易いのである。斯くの如くにして凝結劑は刷子の製造上に最も吟味されねばならぬものである。

【45】 金屬刷子の構造

低壓强電流の直流機ては金屬刷子が用ひられることがある。

最良なる金屬刷子は其抵抗が非常に低くして彈性が柔軟であつて自己の形狀を瞬時に整流子表面の形狀に一致して常に良好なる接觸が行はれるものでなけねばならぬ。更に又金屬刷子は整流子材料を磨滅することが最小でなけねばならぬ。

一般に云つて金屬刷子は整流子との接觸が炭素刷子に比して非常に良好であつて整流子表面に多少の高低があつても此不規則 (Irregularity) に堪えて充分なる接觸が得られる。

金屬刷子の內には非常に薄い金屬板を積重ねて作られたるものがある。斯るものは彈性が極く柔軟であつて全體が整流子に非常に密接して甚だ良好なる接觸を遂げてゐる。

又或ものは金屬中に添加物を配して整流子表面を催滑する作用を加味したものもある。之は整流子の磨滅を非常に減少する效果はあるが,其不利とする點は刷子自身が非常に迅速に磨滅して行くことゝ,刷子の催滑作用の爲めに接觸抵抗を多少增すことゝである。此點より考へて斯るものは10ボルト以下の低壓の機械に對しては好ましくない。

【46】 刷子接觸面の汚濆

刷子接觸面の電流密度を高くとる時は,動もすれば短絡線輪中の有害なる局部電流を非常に大にして刷子接觸面の或一部に於ける電流密度を設計値よりも非常に高くすることがある。此の事實は普通刷子の一隅より始まり,之が次第に全表面に擴がつて赤熱の結果遂に接觸面に窩孔を穿つに至ることは既に述べた所である。

刷子は運轉中其接觸面が銅粉によりて汚濆されることがある。接觸面が不良なるが爲めに其面が整流子と充分密接せぬ場合や,或は刷子の接觸面は良好であつても整流子の表面が圓滑を缺いて兩者の接觸が良好でない場合を考へる。

斯る接觸面を電流が通過せんが爲めには兩者の間は電弧によつて接續されねばならぬ。此電弧の熱によつて整流子銅材及び刷子の炭素は氣化される。斯くして生ぜられたる銅や炭素の蒸氣は之が對手側に鍍着して整流子面には炭素の被膜を生じ刷子面には銅の被膜を生ず。

電弧によりて喰取られる材料は刷子の正負に於て異る。電流が炭素より整流子に向ふ刷子面に於ては炭素が喰取られて之が整流子面に鍍着し,電流が整流子より炭素に向ふ刷子面に於ては銅が喰取られて之が刷子面に鍍着す。從つて正負の刷子の內一方の接觸面は光澤を有するに拘らず他方は次第に鈍色化する。

此作用は電流密度が小なる程小さく又接觸面が良好に作られてゐる程小ですむ。

刷子の接觸面に銅粉が鍍着されたる部分は接觸抵抗を減じて電流は多量に通り此部分が特に强熱される。此局部的の强熱によりて此部分の接觸抵抗は更

に減じて益〻多量の電流を通ず。此結果遂に局部的の赤熱を起して刷子に窩孔を穿つのである。

更に之に加ふるに雲母が整流子表面に突出せることあれば,上述せる故障は愈々起り易くなり且つ其災害の程度も亦増すのである。之を防がんが爲めには雲母を整流子表面より少しく(例へば $\frac{1}{16}$ 吋位)切下げることが行はれる。

此種の故障に對しても補助極は秀でたる效果を持つ。其理由は此種のものは整流を改善して刷子の電流密度の分布を一樣にすることが出來るからである。

【47】 刷子保持器 (Brush holder) の種類と得失

金屬刷子は自己がよく整流子表面の形狀に一致して行くことが出來るから大して問題にならぬが,炭素刷子になると刷子保持器は甚だ重大なる問題になる。

刷子保持器は刷子が少しの上下の不規則運動を起すも,或は磨滅等によりて刷子が多少高さを變化するも,接觸壓力に大なる相異を生ぜぬ樣に發條作用は充分柔軟に作らねばならぬ。又機體が振動や衝動を起した時に,刷子が整流子と別々の運動を取つて此兩者の接觸を失ふ樣な構造を與へることは最も忌むべきことである。之は特に電車用電動機の如きものに對して極めて重大なる問題である。

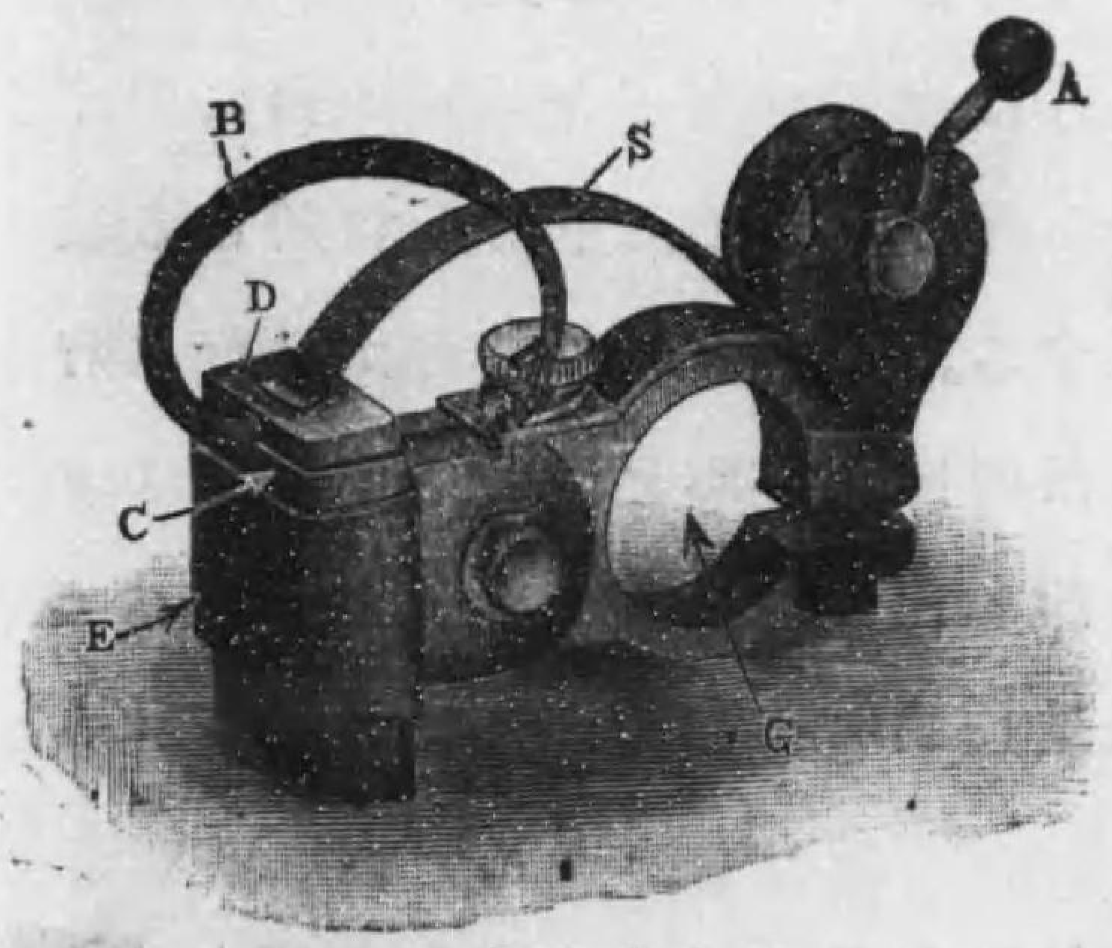
刷子と刷子支持軸 (Brush spindle) との間の電氣接續

は何れの刷子保持器に於ても最も考慮を要することである。

又刷子保持匣(Brush box)は刷子が加熱されたる時に其周壁が匣の內面に強く壓接して自由なる上下運動が出來ぬ樣な寸法に作ることは全くよろしくない。刷子は其凝結劑の如何によりては加熱に遭つて大いに膨脹するものである。さればとて保持匣を刷子が其內で遊ぶ樣に弛く作る時は,刷子は運轉中に盛に跳躍して整流子との密觸を害して整流を亂すのである。之も亦全くよろしくない。

刷子保持器は大別して次の四種類の型に分類することが出來る。各〻其特長とする勝れたる點を持つてゐるが又其不利とする點を伴つてゐる。

(1) 摺動型(Sliding type)



第五十九圖

之は第五十九圖に示すが如きものであつて,最も古くから作られたる型であるが現今に於ても猶ほ最も盛に用ゐられてゐ

る。

此型に於ては以前には保持匣は刷子が整流子面に直立する様に取付られてゐた。之は特に兩方向に廻轉される機械例へば電車用電動機の如きものに對して都合よき取付法である。

然し一方のみに廻轉される機械では刷子を整流子に多少傾斜して取付た方が刷子の跳躍少くして接觸が圓滑に行はれる。又充分に磨き上げられたる整流子上で刷子を直立して使用すれば運轉中に軋音(Squeak)を放つ。刷子を多少傾斜せしめてをけば此軋音を消すことが出來る。

摺動型に於ては刷子は保持匣内で上下に摺動する樣に作られるので刷子と保持匣との間の接觸がどうしても不充分になり大なる電流に際しては動もすれば刷子の周圍や匣の内面が燒かれる。

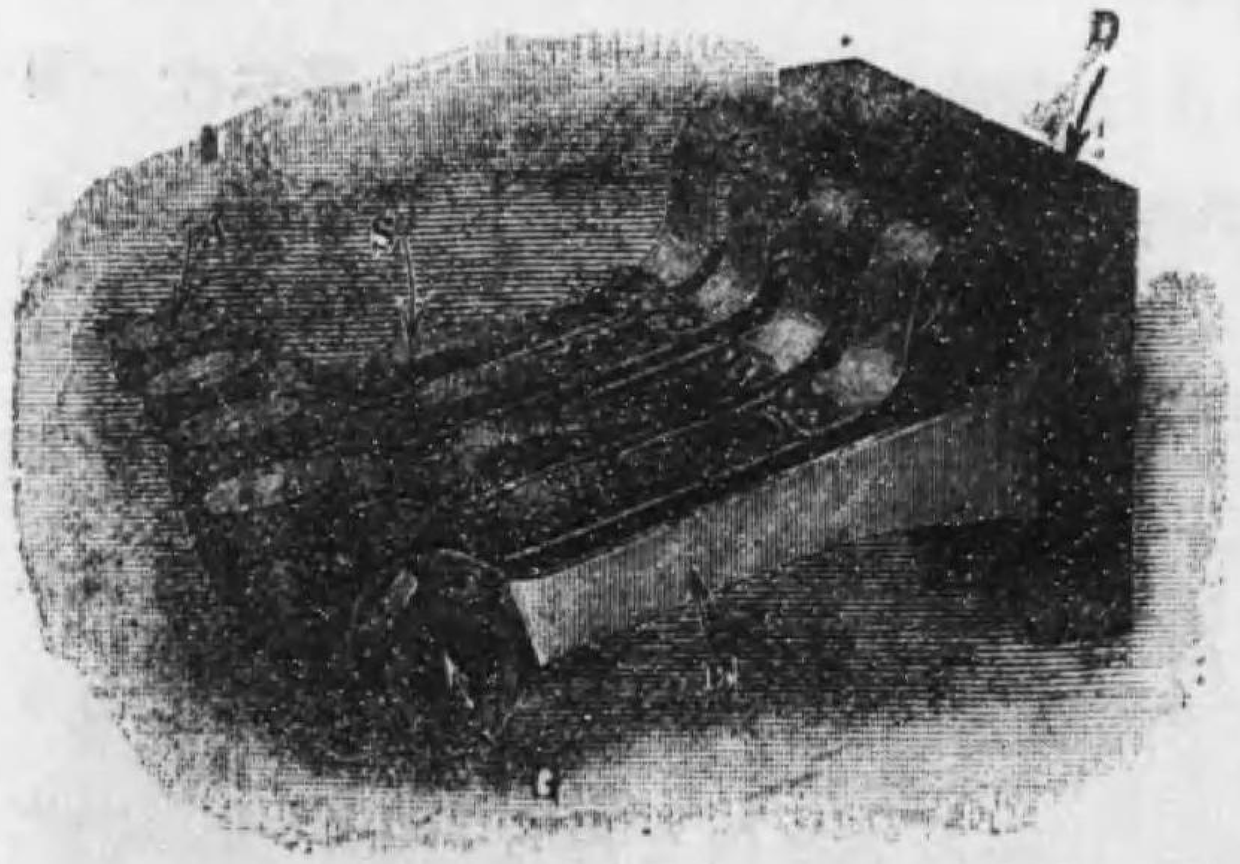
之を防がんが爲めに刷子を先づ金屬匣C内に堅く嵌込み之を保持匣E内に收めて上下摺動に於ける接觸面を金屬同士にする。然し之でも接觸が良好に行はれぬので刷子と保持匣との間を分路(Shunt)Bにより接續してゐる。然し此接續を行ふと雖も困難は刷子と分路との接續點に生じ此部分が熱せられて弛み易いのである。

摺動型は上述の缺點を伴つてゐるが其長所とする

所は保持器はGに於て刷子支持軸に固着されてゐるので機械が振動や衝動を起しても保持器は整流子と同一運動を取ることが出來る。從つて運轉中刷子が整流子より躍り上ることが少ない。又刷子は保持匣内で自由に上下運動が出來るので整流子表面の不整や整流子の偏心的廻轉に堪へて兩者の良好なる接觸が得られる。是等の特徴を有するが故に此型は現今に於ても盛に用ひられてゐる。

(2) 廻動型(Swivel type)

刷子と保持器との間の接觸を良好にする目的で作られたるものが第六十圖に示すが如き廻動型である。



第六十圖

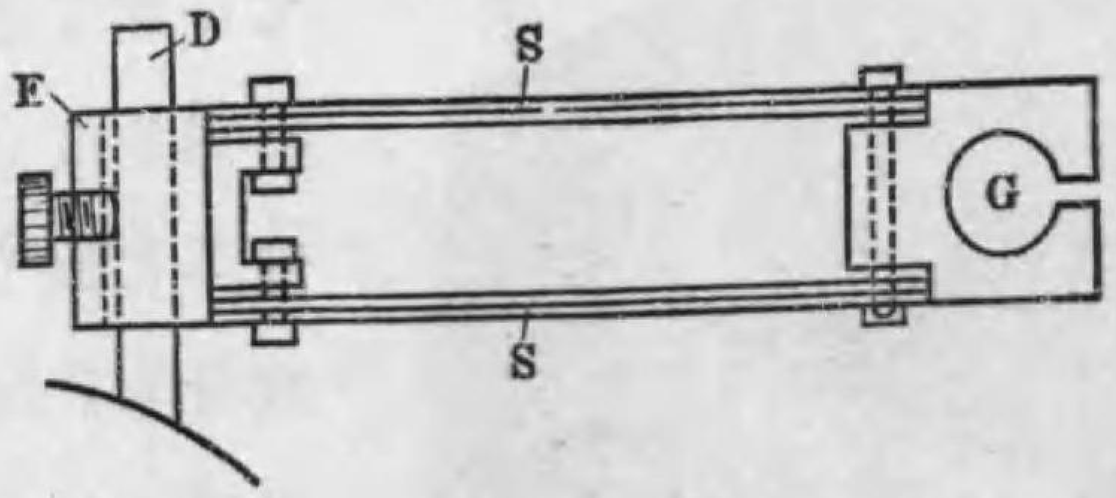
此型に於ては刷子は金屬製支持腕Eに固く取付られ支持腕は刷子支持軸の周りを廻動することが出來る樣に作られてゐる。從つて刷子と支持腕との接續は充分に行はれるが支持腕と支持軸との間の廻動面の接觸が不充分であるから兩者の間に更に分路接

續を行はねばならぬ。然し此分路接續は,兩方が金屬であるから,容易に充分なる接續が得られるといふ特徴がある。

反對に此型の最も重大なる缺點としては,機體が不規則なる衝動を起す時は,支持腕Eは支持軸に固着されてゐないから,刷子は機體と別々の運動を起す。從つて刷子は此瞬間に一時整流子を離れて電路が破れ,此所に激しき火花を發するといふ缺點がある。

然し機體が不規則運動を起さずして全く圓滑なる廻轉を爲す場合に用ゐては此型は最も秀てたるものである。

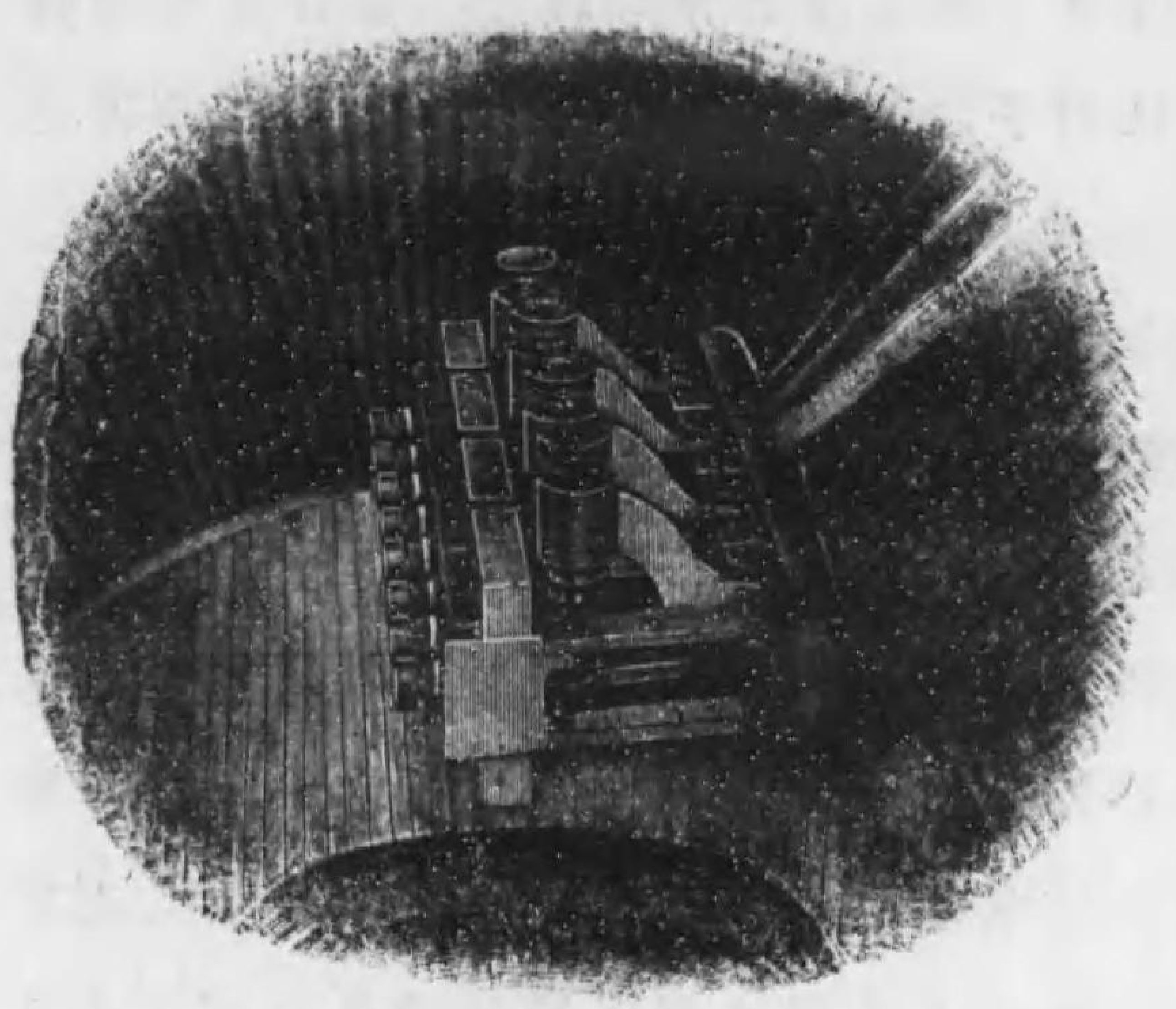
(3) 平行運動型(Parallel motion type)



第六十一圖甲

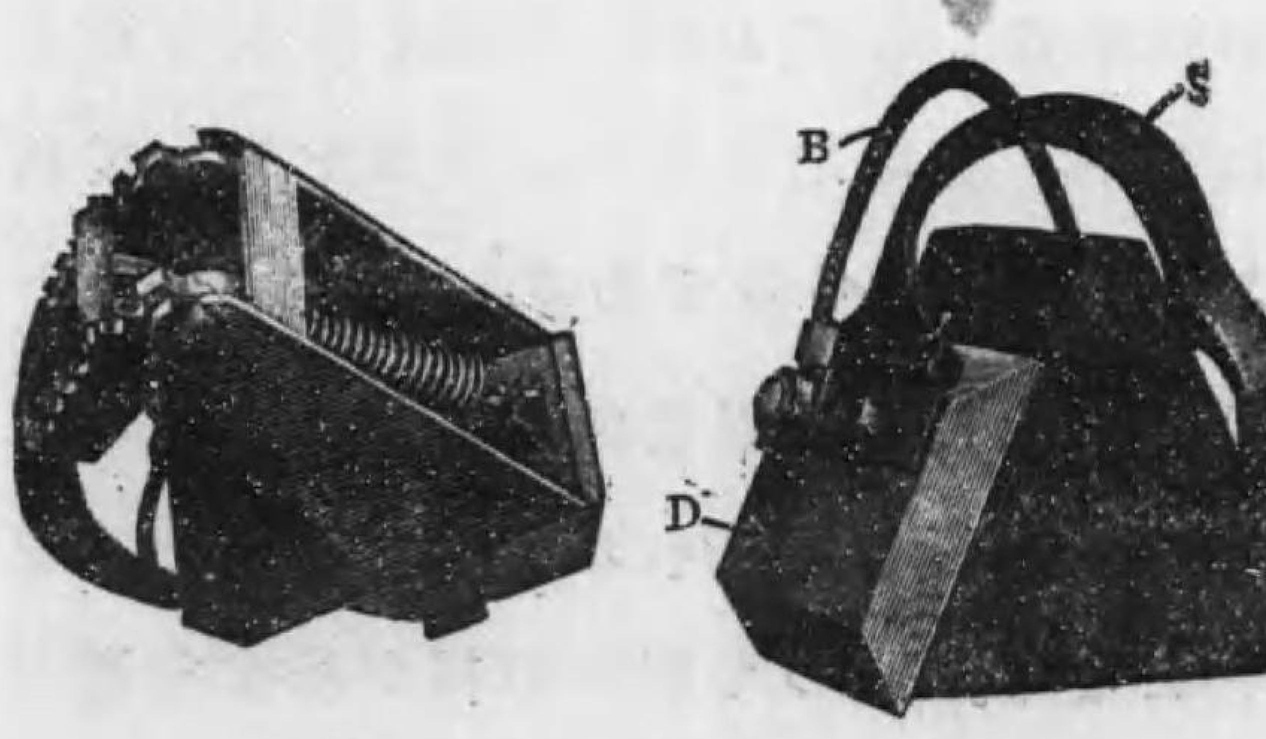
第六十一圖に示す平行運動の特徴とする所は刷子は保持匣內に固着されてゐるが爲めに兩者が良好なる接續を得る點と保持器が支持軸に固着されてゐる點とである。

保持匣Eと支持軸Gとは二條の銅や眞鍮等で作られたる成層板Sによつて連結され,之が發條及び接續の用をなす。


第六十一圖乙

然し此型の不利とする點は,刷子は整流子と一致した運動をとることは出來るけれども,其上下運動は摺動型の樣に柔軟に行はれぬ。加ふるに價格不廉であつて且つ場所を多くとる缺點がある。此型は餘り用ゐられてゐぬ。

(4) 反動型(Reaction type)



第六十二圖

此型は第六十二圖に示すが如く,整流子に傾斜して取付られ廻轉によりて刷子に加へらるゝ反動力を以つて刷子を

保持面に密着せしめる樣に作られる。保持器は支持軸に固着され刷子は其保持面を上下に摺動することが出來る。

此型は現今に於ても相當に用ひられてゐる。

【48】 刷子の幅と深さ

刷子の幅と深さも亦火花に對して甚だ密接なる關係を持つ。此內刷子の幅(整流子の周圍方向にある)は特に整流に影響すること重大であつて,之は必ず製作者が提供した寸法に從はねばならぬ。之が最も適當なる寸法を與へ得るものは獨り製作者のみであることを記憶すべし。

製作を終つて試驗に移された機械に對しては,刷子の幅に就ては充分に吟味して最良の整流を與へる寸法を見出さねばならぬ。

火花や刷子の赤熱を生じてゐる機械も刷子の幅を極く僅かに加減することによつて故障を除去し得ることが非常に多い。勿論之は種々に寸法を變へて試索 (Trial) によつて決定するのである。

刷子の幅は之が大になる程整流中に短絡される線輪の數が大になつて短絡線輪中のリアクタンス電壓を高むることになる。從つて刷子の幅が增す程整流作用は不都合なる狀態に陷る。

然し刷子の幅は之が小である程短絡電流の逆流期

間を縮め,電流の變化の割合を急峻にして,リアクタンス電壓を高めることになる。

そこで此間にリアクタンス電壓を最小になし得る刷子の幅が存在する筈である。之を狙つて整流を改善せんとして刷子の幅を調整するのである。

次に刷子の深さ(機械の軸方向に於ける)も亦整流に影響を持つ。深さの大なる刷子を用ふれば整流子表面に僅かの不整を生じても,刷子は之と充分なる接觸が出來なくなり,又刷子の慣性が增す爲めに其運動が頑固になつて整流子表面の僅かの不整にも步調を合して行くことが出來なくなる。

そこで刷子の必要なる接觸面積が與へらるれば深さの小なる刷子を必要數丈け並列に用ひて良好なる接觸を圖るのである。

一般に刷子の深さが1吋を越すは考へものである。1.5吋の如きものは唯特別の場合にのみ使用が許されものと心得てよい。

【49】 刷子接觸面の形成

刷子は之を使用する前に充分に注意して接觸面を作つて之を整流子表面と密接に接觸せしめねばならぬ。接觸面を磨かずして使用するが如きは嚴禁である。

刷子の接觸面が不良なるが爲めに火花を發して整

流子を傷けたことは常に見聞することである。接觸面の形成には充分なる注意を拂ひ,之が完全に出來上つたことを確めたる後に負荷運轉を行はねばならぬ。直流機は之が新たに出來上つた時又は刷子を新しいものと取替へた時に,數時間の無負荷運轉を續行した後に始めて負荷されることがある。其目的の一つは接觸面の改善にあるのである。

刷子の內面を作るには,硝子紙を曲げて之を整流子に捲付け,保持器內に於て刷子を上部より適當なる壓力を以つて硝子紙に押付けておいて硝子紙を前後に動かす。或は之を逆に行つて,硝子紙を整流子に貼付けておいて刷子移動器を前後に進退することもある。

更に良法としては硝子紙を整流子に貼付けておいて刷子を此上に押付けたまゝ電機子を手にて除々に正しき一方向に廻轉するのである。

刷子を磨くには,硝子紙を機械の正しき廻轉方向にのみ動かす方が良好なる結果が得られることは明かである。然し現今の機械に於ては刷子は保持匣內で遊ばぬ程度に適合されてゐる。そこで斯るものは硝子紙を前後兩方向に動かしても大した影響を受けぬ。

刷子の內面を作るに硝子紙を用ふれば,時としては運轉中接觸面に整流子から擦取つた銅粉を附着することがある。之を除かんが爲めには,硝子紙を用ひて

作られたる接觸面は一應砥石を以つて磨くを安全とする。

刷子と整流子との接觸不良に因づく火花は,整流子の表面や刷子の內面が塵埃や催滑劑等によりて汚された場合にも起る。此時は酒精 (Alcohol) やベンジン (Benzine) を用ゐて是等を清淨せねばならぬ。

又刷子は之を使用してゐる內に凝結劑が分解變質して接觸面が硝子の樣にツルツルに硬化することがある。此時にも充分なる接觸が得られぬから之を新しいものと取替へねばならぬ。

【50】 刷子移動器の偏心的取付

刷子の內面が整流子表面と一致せぬ場合に火花を生ずることは前述したが,之と同一の理由で,刷子移動器が整流子に對して偏心圓上に取付られてゐる時は,移動器を動かして刷子の位置を進退する每に刷子の內面は前と異る曲率の面に接することになる。

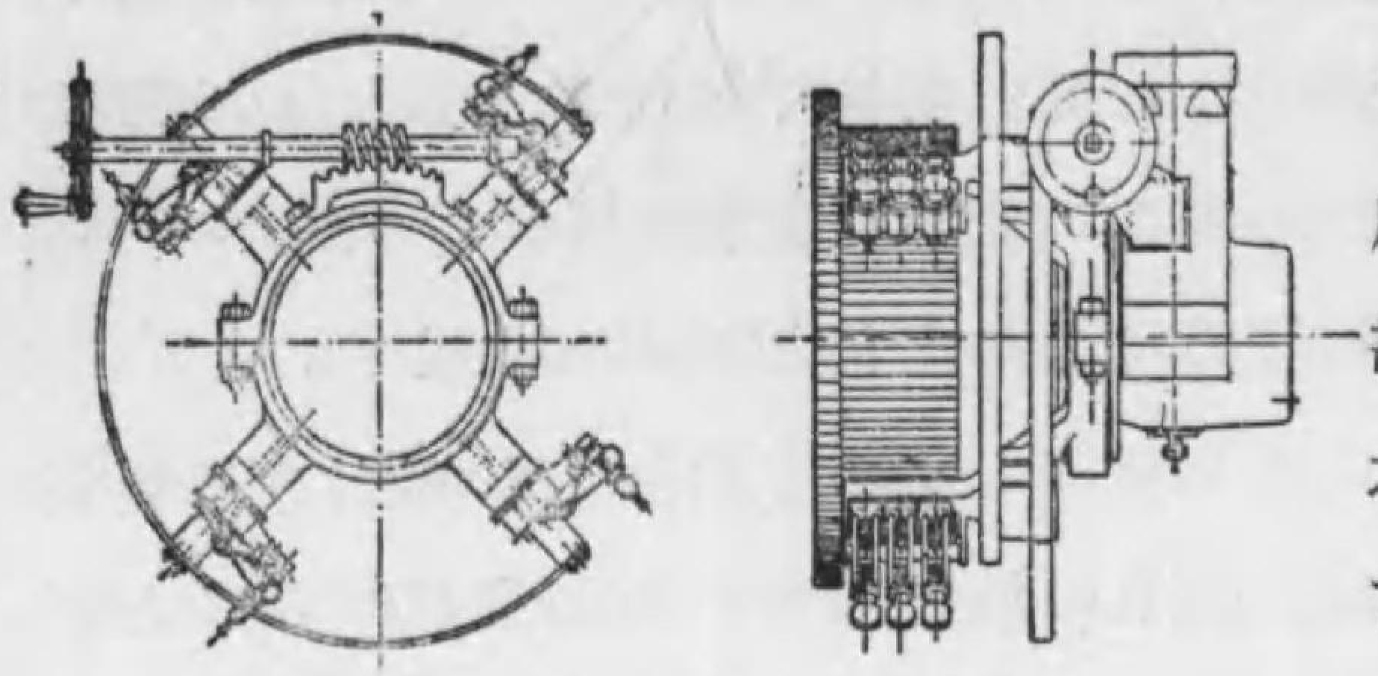
そこで斯るものは刷子を移動する每に接觸が不良になつて其都度火花を發す。斯る移動器は當然修理を要す。

【51】 刷子相互間の間隔

特殊の電機子捲線を持つものは格別として,普通の直流機では刷子は二極機に於ては正確に反對位置にあるべく,四極機に於ては 90°, 六極機に於ては 60° の

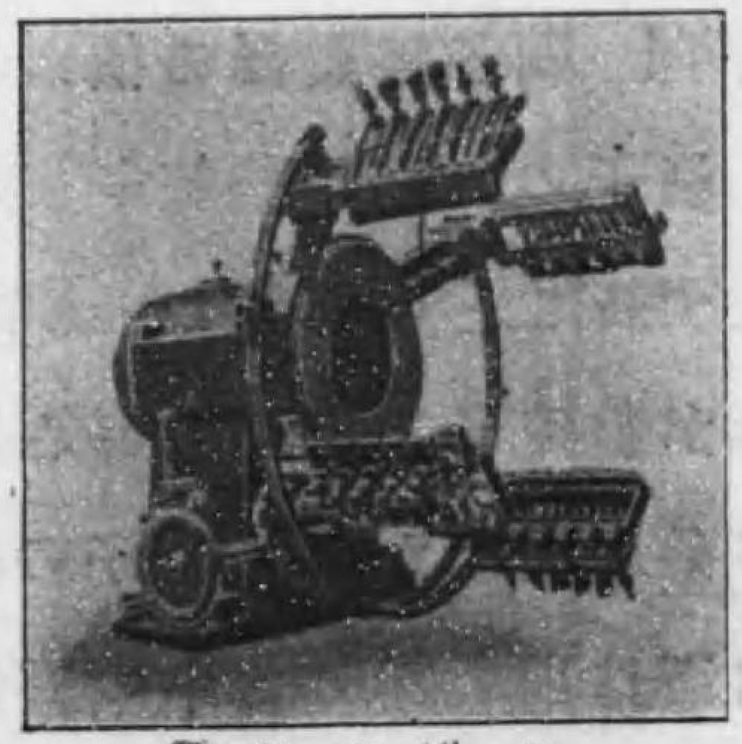
間隔に正しく取付けねばならぬ。

刷子が正しき間隔を有するや否やを知るには此間に含まるゝ整流子片の數を勘定して之を決定することが出來る。



第六十三圖

或は紙や絲を用ひて整流子表面に於て刷子間の間隔を測定しても行ひ得る。



第六十四圖

刷子の位置を誤る時に火花を發することは既に知つてゐる。然し刷子の位置の誤りから生ずる火花の原因は二つある。

即ち移動器中で總ての刷子は互に等しい間隔に固定されてゐるに拘らず,移動器の位置が不適當であつて刷子は全體が正しき位置より進んでゐるか或は後れてゐるかの爲めに火花が生じてゐる場合と,移動器中で各個の刷子が等しき間隔に取付られてゐない場合との二つである。

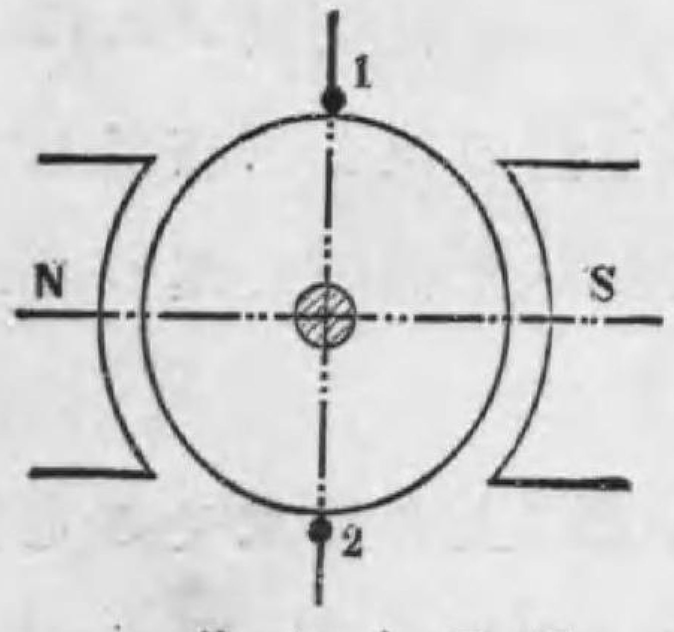
前者の特徴としては總ての刷子は略ぼ同一程度の

火花を發す。而して之を徐々に移動して適當なる位を占めしめたる後は火花は何れの刷子にも止む。刷子は此位置に固定して使用さるべきものである。

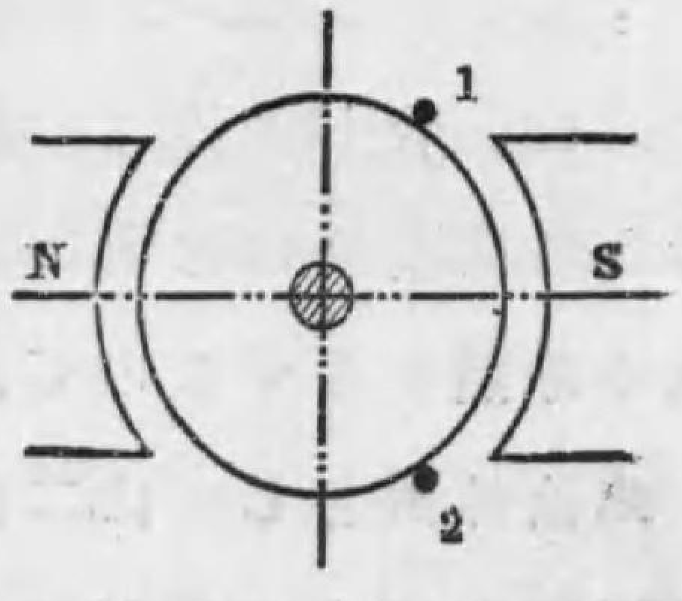
然し原因が後者にある時は前の樣に簡單に處置することは出來ぬ。其特徴としては,刷子を前後に移動することによりて各刷子に別樣なる火花の增減を現すことである。即ち移動器を進退して刷子に新たなる位置を取らしむる時は,初め火花を見ざりし刷子に改めて火花を生じ,又初め火花を發してゐた刷子に火花が止むのである。而して結局何れの位置に於ても無火花の整流が得られぬのである。

此時には勿論移動器の構造を改めて各刷子間の間隔を相等しくせねばならぬ。

總て刷子の位置が不良なるが爲めに火花を發してゐることを知つた時は直ちに之を改めねばならぬ。之を其のまゝ放置してをけば,整流子表面は火花の爲めに燒き傷けられ後に刷子を正しき位置に改むるも



第六十五圖



第六十六圖

最早や無火花の整流は絶望になるのである。而して此際電機子捲線は電流が內部に回流するが爲めに加熱されることが多い。

最後に附言すべきことは、現今の直流機には種々の特殊なる捲線方式が使用されてゐることである。斯るものに對しては刷子の位置に就ては特に注意する必要がある。

其一例を擧ぐれば、二極鼓狀捲線の電機子に於てはコイル・サイドは第六十五圖の如く180°のピッチにをかれずして、之を短く捲いて線輪の含む角を第六十六圖の如く磁極片の含む角よりも少しく大にすることが屢〻行はれる。

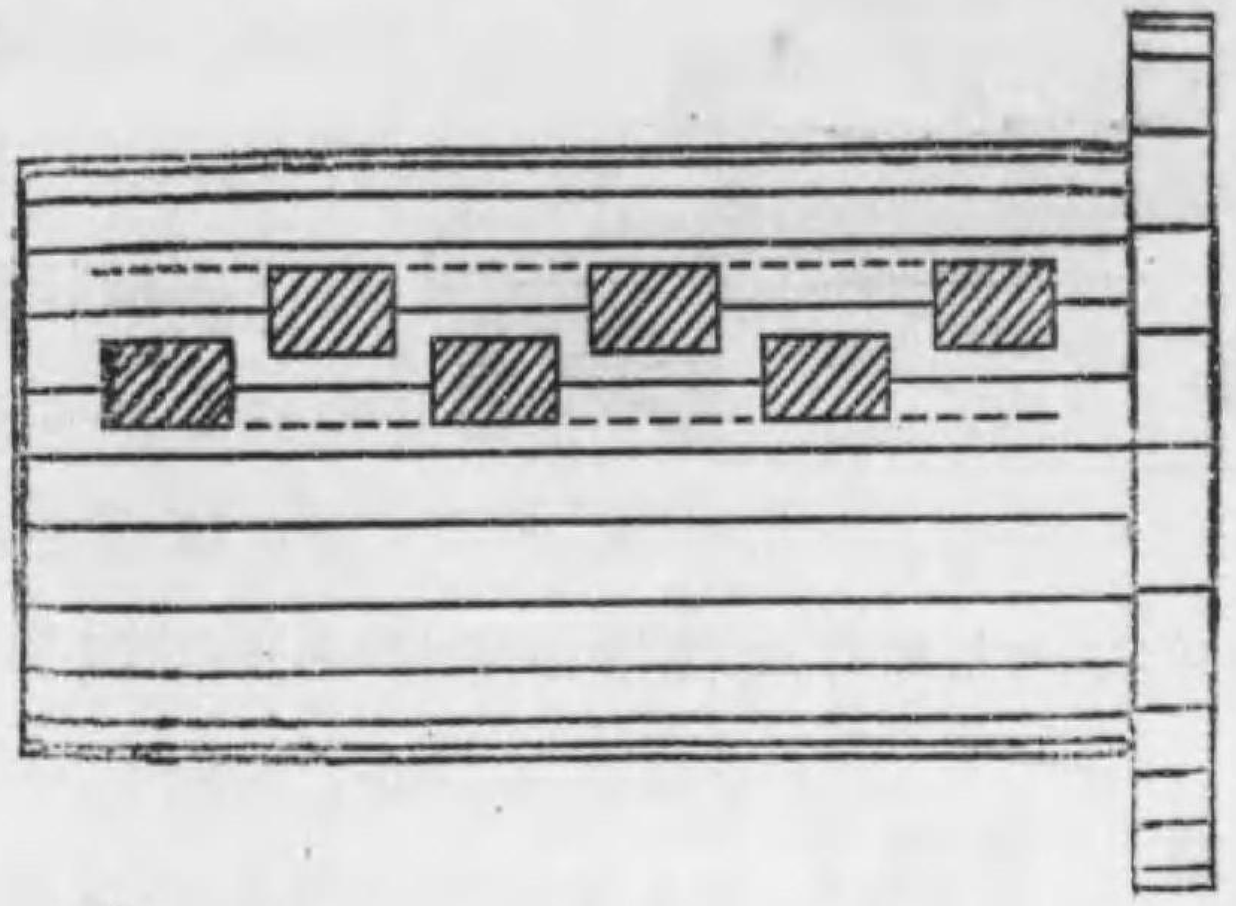
斯る捲線では刷子は磁極片の中央部にをく可らずして之を移動しして磁極片の一端に近づけねばならぬ。

【52】 刷子の整頓

刷子は常に一個の支持軸中に取付らるゝ一列のものゝ前後の兩端が一直線上にある樣に整頓されねばならぬ。若し或特殊の刷子が全體の線より後退してゐる時は、整流の終期に於て電流が此刷子に集つて火花や赤熱を生ずるのである。

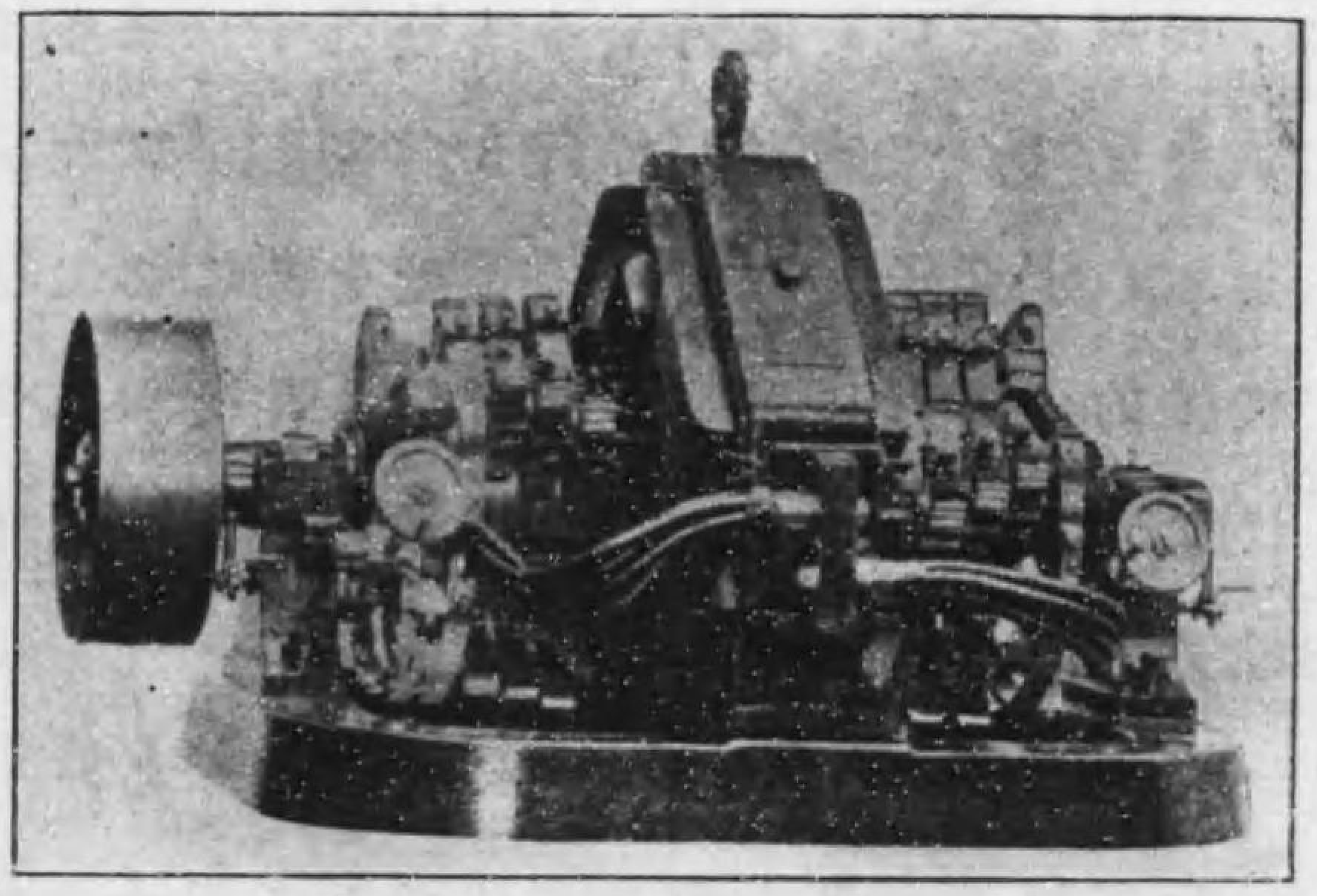
此除外例としては、二個或は之以上の獨立せる電機子捲線を有する機械例へば直並列捲線(Series-parallel

winding)に成れるものでは刷子は數個の子片を覆ふ必要がある。若し之を一個の刷子を以つて行はんとすれば其幅を無暗に大にして第48項に述べ



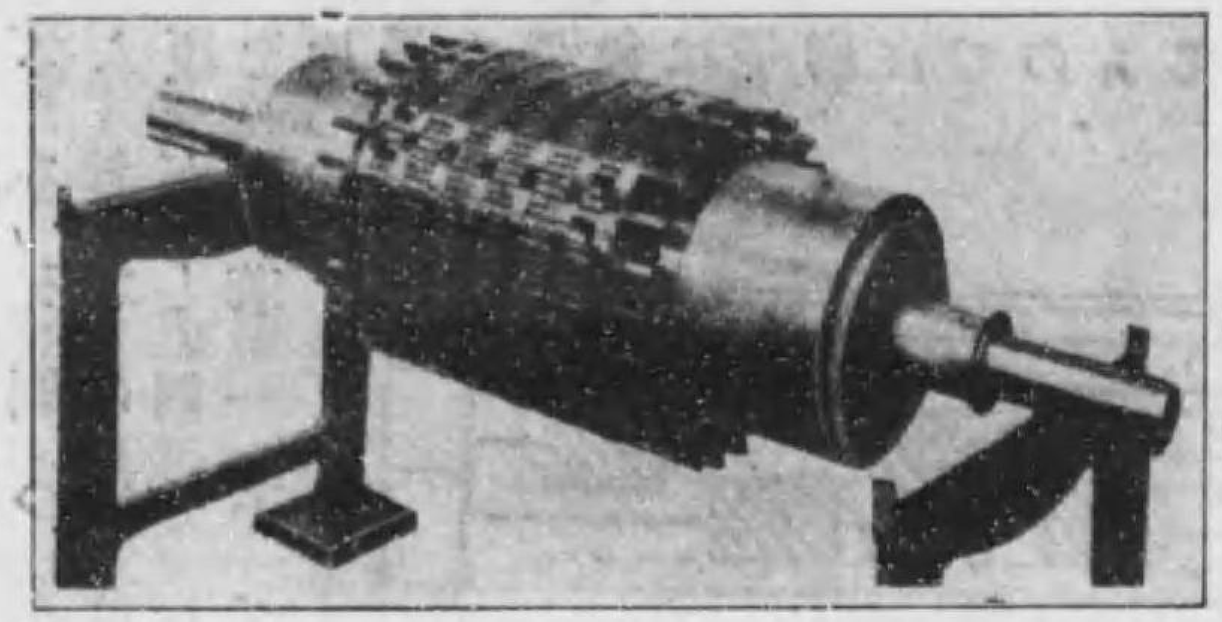
第六十七圖

た樣な不都合を生ず。そこで斯るものは第六十七圖の如く一個の支持軸中にある刷子は交互に前後して全體として幅を增す樣に取付らるゝことが多い。此時にも前後の兩端は圖の如く一直線上にあることを要す。



第六十八圖

又强電流の機械になると整流子片の幅が非常に大になる。此時にも刷子の幅が無暗に大になることを避ける爲



第六十九圖

めに刷子は相前後してをかれる。之を實際の機械に就て示したるものが第六十八圖である。第六十九圖は此機械の電機子を示す。

第四章　整流子

【53】整流子材料の撰擇

整流子は直流電機の最も重要なる部分である。其材料に最も深き注意を拂つて吟味するを要すると共に其製作にも充分に注意せねばならぬ。

機械を長い間運轉するも整流子は各部分が同一の割合を以つて磨滅して行き其表面は常に正しき圓形を離れず,又子片や雲母の高低を生ずることなく且つ機械的の締付に何等の弛緩をも生ぜぬものでなければならぬ。斯る爲めには機械の使用上にも綿密なる注意を要することは勿論である。

先づ整流子を作る材料に就て述べる。

炭素刷子が專ら用ひられてゐる現今の直流機では整流子片を作る銅材は硬度高く且つ之が一樣でなければならぬ。若し銅材中に硬度に高低があれば,機械

は或期間は滿足に運轉するも長い間には子片は磨滅の速度に遲速を生じ,整流子は眞の圓形を失つて不規則なる表面を作る。之によりて刷子は躍り始め,充分なる接觸が得られなくなつて火花を發するに至るのである。

此點より考へて眞鍮(Brass)や青銅(Bronz)の如き鑄材は使用を許されずして,硬銅(Hard-drawn copper)や壓銅(Drop-forged copper)が專用されるのである。

眞鍮や青銅は硬度低く且つ組織の一樣を缺ぎ又材料中に所謂巢(Bead)を作り易いといふ大なる缺點を持つてゐる。又斯るものは火花によりて容易に喰取られ或は容易に氣化されて閃越を起し易く,又此時の蒸氣が刷子の接觸面に鍍着して內面を汚すことが甚だしい。

次に問題になるのが子片間の絶縁雲母である。其硬度は銅と等しきか或は其以下でなければならぬ。雲母は銅よりも硬度の高いものが多い。斯るものを使用すれば銅の磨滅した後に雲母が殘つて所謂突出雲母(High mica)を作る。之を砥石にかけて修理せんとすれば,銅は雲母よりも速かに擦り減らされて表面の高低は益〻甚だしくなる。

雲母の粘着劑も亦重大なる問題である。之は粘着力強く濕氣に影響されること少なく且つ溫度に對す

る抵抗力の大なるものでなければならぬ。

機械が負荷されて整流子の溫度が上昇すれば雲母の粘着劑も亦熔解せんとする。若し之が溫度に影響さるれば粘着劑は壓力の爲めに外部に滲み出て,絕緣層の厚みを變化して整流子の弛緩を起す。

總て整流子材料の不適當なるが爲めに起る故障は製作後試驗室に於て直ちに現はれずして,使用者の手元に於て運轉何箇月かの後に初めて正體を現すものであるから,甚だ始末の惡いものである。そこで整流子銅材,絕緣雲母及び全體の構造に就ては製作者は最良なる材料を用ゐて最も誠實なる構造を與へねばならぬ。

【54】 整流子の弛緩

整流子は多數の子片の集團より出來,子片相互は雲母層によりて絕緣され,第五十三圖の如く兩側のV—溝に於て整流子輻構(Commutator hub)と締付環とによりて圓形に組立てられて子片相互の移動を固く封じてゐる。從つて此間の何れのものに異狀が出來ても全體の緊締は破られる譯である。

子片を兩側より締付けてゐる締付裝置が總ての子片に直接に接觸して是等を一樣に締付けることが出來ずして,之と一部の子片との間に弛みを生ずれば,此子片は遊び出して整流子の表面に高低を生じ,之が殘りの子片にも影響して全體の締結を害することになる。

整流子に弛緩を生ずれば,子片は廻轉中に自動を起し刷子は盛に跳躍して接觸不良に陷り激烈なる火花を發するのである。

整流子は出來上つた當時から既に子片の弛緩を起してゐることがある。此故障を見出すには子片の上に木片を當て此上を金槌で毆つてみる。子片がひつこんだり或は此氣味のあるものは締付に修理を要す。

次に整流子に加はる應力(Stress)に就て考へる。

整流子の溫度が外周の溫度に等しい時に之が廻轉すれば,子片に加はる應力は遠心力と全體の締付の爲めに兩側より加へられてゐる縮應力との合成である。

整流子の溫度が運轉中に上昇すれば,子片を作る銅材と締付環やボルト等の鐵材との間に溫度の差を生ず。そこで膨脹率の相異せる銅材と鐵材とは溫度の差によりて此間に非常に强い應力を生ず。

是等の三つの應力によりて子片は外方に向つて彎曲(Buckle)されんとし又ボルトは引伸されんとす。之によりて子片は運轉中微量ながらも上下振動を起す。又應力が或限度を越せば子片やボルトは永久歪(Permanent set)を生じ或は切斷して整流子の緊締は破壞せられる。又度々の運轉と停止とによりて斯る應力が

反覆して襲來したり之が去つたりしてゐると,其内に何れかの部分に永久歪を生ずることがある。是等の原因によりて整流子の締付に弛みを生じて子片が遊び出すのである。

又整流子の溫度が高く昇る時は雲母の粘着劑が熔け之が壓力の爲めに外部に滲み出る。之が整流子の表面や刷子の內面を汚し或は此上に導電物を粘着して子片間の短絡や接地等を生ずることがある。然し其の最も恐るべき結果は雲母層の厚みを變へて整流子の弛緩を起すことである。

子片間の絕緣材は上述の理由よりして,溫度や濕氣によりて膨脹し或は收縮する樣なものは根本的に不合理である。

以上述べたるが如く整流子は運轉中に大なる應力を受くべきものであるから其構造や材料には深く注意せねばならぬが,之と同時に整流子の運轉溫度も亦非常に重大なる問題である。

重ねて云へば,溫度上昇が甚だしくなると各部に働く應力が激增する爲めに整流子の强度が危險になり,子片が飛出したり締付ボルトが切斷したりする虞れがある。第二に應力を受ける何れかの部分に永久歪を生じ,全體の締付を害して變形や弛緩を生ず。最後に雲母の粘着劑を熔かして整流子の緊締を破る。

〔55〕 弛緩せる整流子の締付法

整流子の弛緩を見出したる時は,常規運轉溫度に於て締付ボルトを强く締付ける。之は總ての子片が兩側のV突起によりて直接に壓力を受け,子片相互の接觸壓力と相俟つて全體をかたく一定形狀に固定する爲めである。又常規運轉溫度に於て作業する理由は冷却狀態に於て無暗に締付けると運轉溫度に於て子片やボルトに不當の應力を生ずるからである。

之が終れば再び負荷運轉を續行し適當の時機に之を停止して再び整流子の締結を檢査す。若し此時少しでもボルトを捻込むことが出來れば機械を更に少くとも4時間は負荷運轉し常規溫度上昇に達するに及んで之を停止して三度びボルトを試みる。

斯くの如くにして度々ボルトを捻込むことは,運轉によりて子片と締付環との間の接觸の不良部分を自働的に調節し之を逐次に改良して最後に子片の全部を締付環と密接に接觸せしめる爲めである。之を一時に行はんとすることは效果を收める途ではない。

締付が完全に行はれたる後は旋刄を用ゐて整流子を旋削して表面を圓滑に整形するのである。

〔56〕 整流子片の振動

整流子片は機械的强度が不足であつたり或は子片の材料の組織が一樣を缺いだり或は V-溝の寸法が

適當てなかつたりすると子片は運轉中に永久歪を起さない迄も上下振動を起す。而して機械が徐々に廻轉せる間は刷子は跳躍し,之が迅速に廻轉せる間は振動を起す。

此故障は整流子の長さが直徑に比して大なるものに起り易い。特に高速度の機械に於ては之が最も問題になるのてある。

子片の振動が整流を害することは誠に甚だしいものである。子片の振動は之が極めて微量であつて廻轉中指先にて之を感ずることが出來ぬものが堂々として火花を誘發することがある。甚だしきに至つては廻轉方向と反對に爪を整流子表面に押當てた際にも振動の知覺を與へぬ程度のものでも火花を發するに充分であり得ることがある。

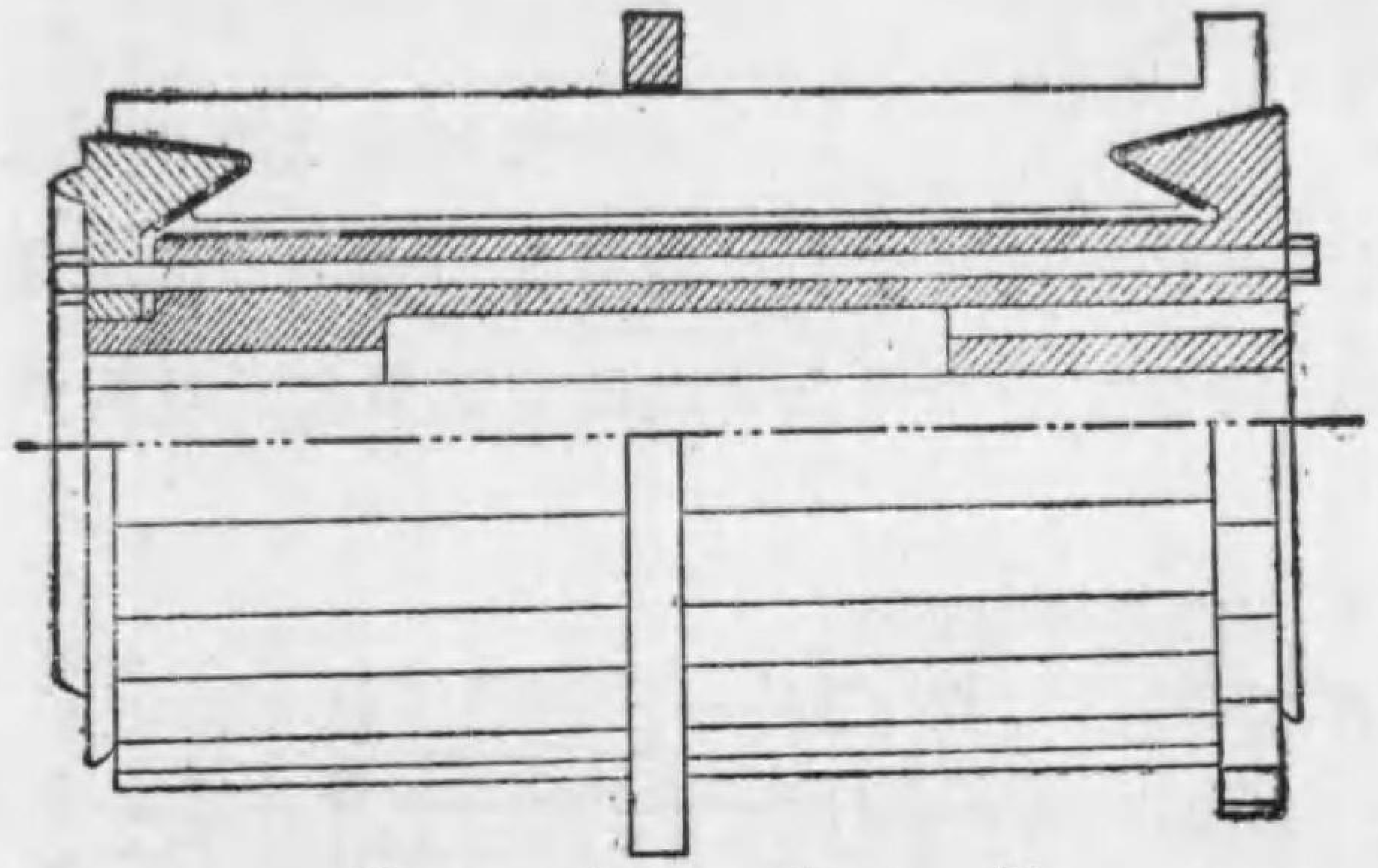
炭素刷子は自己の慣性が大なるが爲めに整流子の表面の僅かなる高低や或は子片の僅かなる上下振動の爲めにも接觸が不良になつて火花を發するのてある。

之に反して金屬刷子は彈性を柔軟に作る時は上述の故障に堪えて充分なる接觸を得ることが出來る。此點に於ては金屬刷子は甚だ好都合であるが,其缺點としては接觸面の抵抗が甚だ低いために整流の僅かの不精密にも感じて大なる短絡電流を流して火花を

發する傾向が特に甚だしい。

火花が子片の振動に因づいてゐる場合に火花を消さんとするには,如何にしても振動を止めてかゝらねばならぬ。

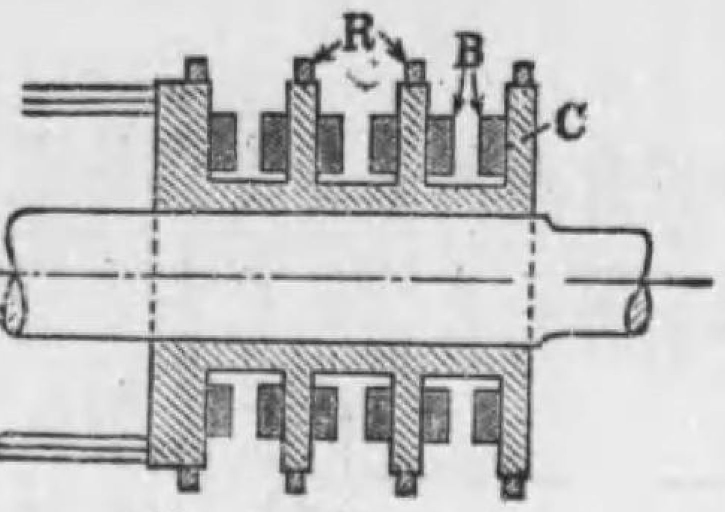
整流子は長さが大なるものや高速度のものになると子片の振動を起し易いので斯るものは第七十圖の如く整流子の中央部を鋼製の保護環を以つて締付けてゐる。勿論環と整流子との間は充分に絕緣されねばならぬ。



第七十圖

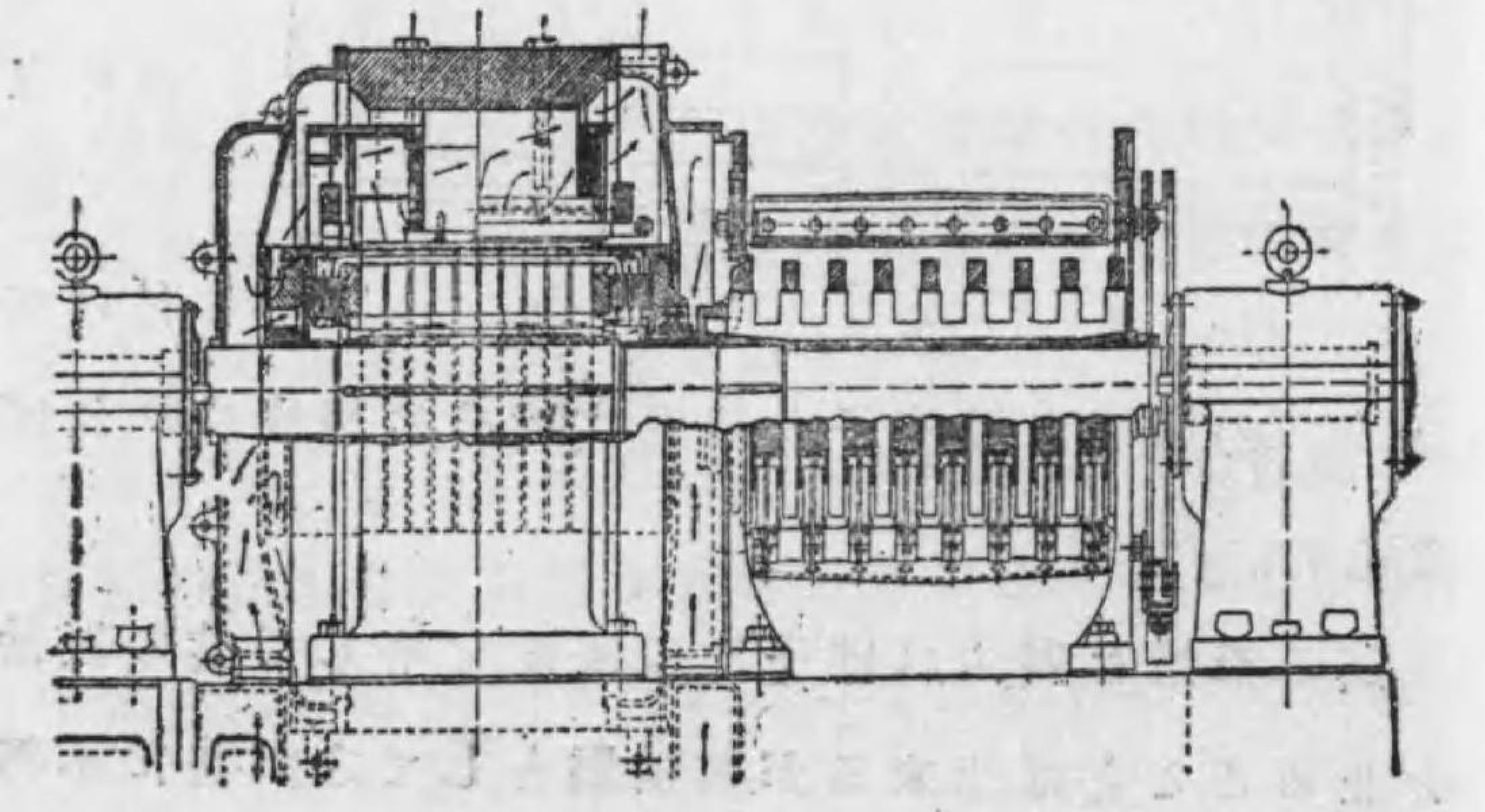
斯る構造を與ふれば子片の強度を增して其の振動を止めることは出來るが,其缺點として之が甚だ不都合なる故障を惹起す。卽ち斯る構造に於ては各整流子片は保護環に甚だ接近してゐる。そこで少しの火花や電弧が出始めると,之によりて氣化されたる銅や炭素の蒸氣の爲めに子片は環を通して短絡されて誠に容易に閃絡を起すのである。

ターボ發電機の如き極めて高速度の機械に於ては,V-溝を以つてする普通の整流子締付法では子片の振動の爲めに如何にしても良好なる整流が得られぬので,第七十一圖の如き輻射型(Radial type)の整流子が作られた。其構造は圖によりて明かである。



第七十一圖

此型では刷子Bは整流子の廻轉表面に接觸せずして凹溝部の側面Cに接觸してゐる。從つて子片の上下振動の影響を受けぬから接觸は充分に行はれる。

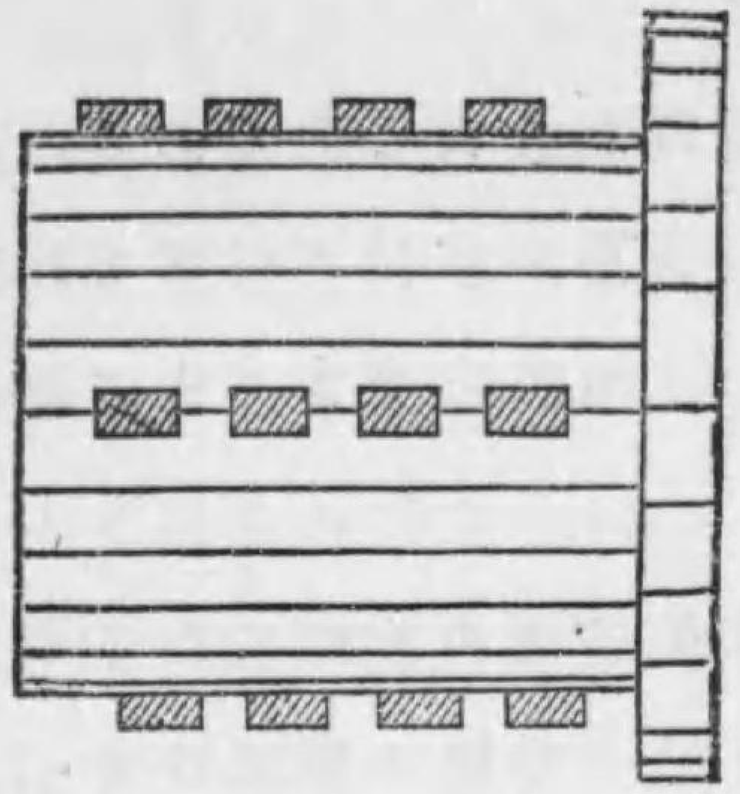


第七十二圖

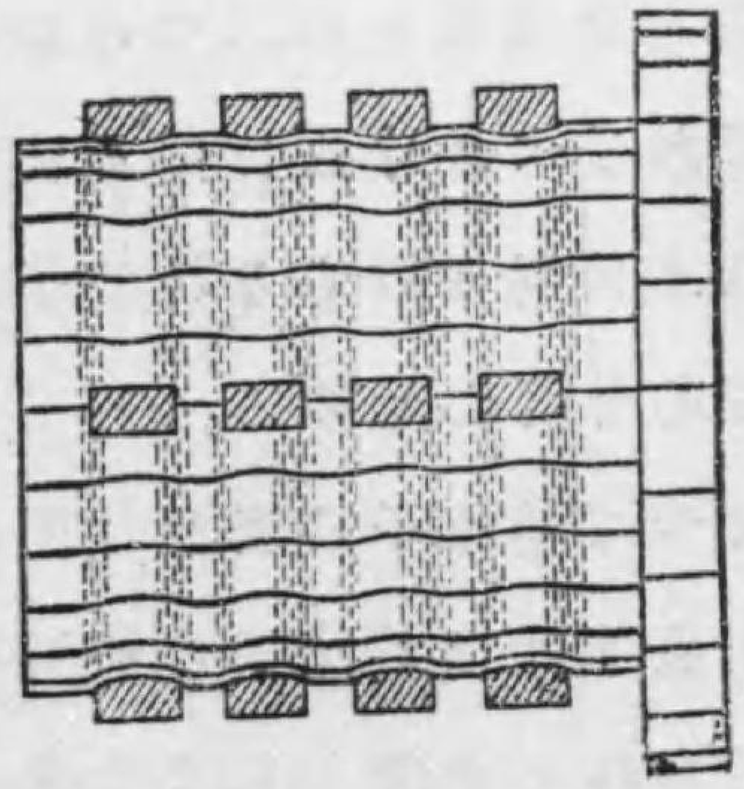
然し其の最も大なる缺點として,材料の使用が頗る不經濟になり又之を作るに頗る高價である。現今に於ては斯る整流子は好んで製作されぬ。

[57] 刷子の配置

整流子の利用し得べき接觸長は常に一個の刷子支持軸中の刷子の活動面の全長よりも大である。總ての支持軸中の刷子は第七十三圖の如く互に喰違つて置かれ,整流子の全表面が刷子によりて平等に磨滅される樣に配置されねばならぬ。



第七十三圖



第七十四圖

刷子を斯くの如くに配置する時は假令へ其重疊に多少の相異があつて磨滅に遲速を生ぜんとするも,整流子には左右の往復遊動が與へられてゐる故に磨滅の割合は調和されて表面は長く規則正しい形狀を維持することが出來る。從つて火花を生ずることもなく又表面が一樣に利用される爲めに材料を最も經濟的に利用することが出來る。

之を誤つて第七十四圖の如く總ての刷子を正しく一直線上に配置して運轉すれば,刷子によりて覆はれない部分は擦り減らされぬ。其結果整流子表面に凹

溝が出來刷子の接觸を害して火花を發するに至るのである。

斯くの如き整流子は之を機械より取出し旋盤にかけて表面を削つた後刷子を第七十三圖の如くに配置せねばならぬ。

之を深く考へると甚だ面白からぬことである。斯る整流子の磨滅は其材料の利用が甚だ不經濟である。而して表面を圓形に直すには凹溝の深さにまで銅材を削らねばならぬ。

抑も整流子の厚みは無意味に決められてゐるのではない。機械の運轉壽命を考へ此間に磨滅さるべき整流子の厚みを假定し最初と磨滅後との二つの場合に整流子が機械的に丈夫であるべき寸法に作られてゐる。整流子の厚みが是以上に削り取らるれば子片の强度は危險になり或は振動を起し始める。

上述せるが如き運轉によつて整流子の表面に凹溝を生じたる爲めに之を削り直す時は整流子の磨滅の餘裕は短期間に著しく減じられて全體としての壽命を短くす。

之を磨滅餘裕以上に長く使用せんとすれば第一に冷却表面が減じてゐる爲めに溫度上昇は前よりも高くなる。第二に子片の厚みを減じてゐる。此二つの爲めに子片に加はる應力は前よりも激增す。其結果

假令へ整流子は機械的に破壞しない迄も應力の過剩なるが爲めに子片は外方に向つて彎曲して表面の齊正を失ふか或は子片の上下振動の爲めに激烈なる火花を發するのである。要するに整流子表面の利用は決して輕視するを得ぬことである。

【58】整流子の旋削法

整流子を組立てたる後又は火花や磨滅の爲めに表面が甚だしく害せられたる時は整流子は之を旋盤にかけて削らねばならぬ。

整流子を旋削するには之を正確なる旋盤の中心線に合せて行はねばならぬ。最初は鋭き尖端を有する旋刃を用ゐて銅と雲母とを併せて削り雲母が殘つて整流子表面に突出するが如きことのない樣に注意す。此時の旋削の周圍速度は每分20―25呎を超すはよろしくない。

仕上げにも同樣に銳利なる旋刃を用ゐ一廻轉每に$\frac{1}{250}$吋以下の速度を以つて削つて行く。然し此時の周圍速度は每分35呎に迄高めて差支へない。之はエルンスト・シユルツ氏(Ernst Schultz)の言である。旋削を終つた後は充分に注意して作業中の金屑を除去し次に硝子紙を用ゐて表面を磨くのである。此際數滴の油を滴下すれば更に良結果が得られる。

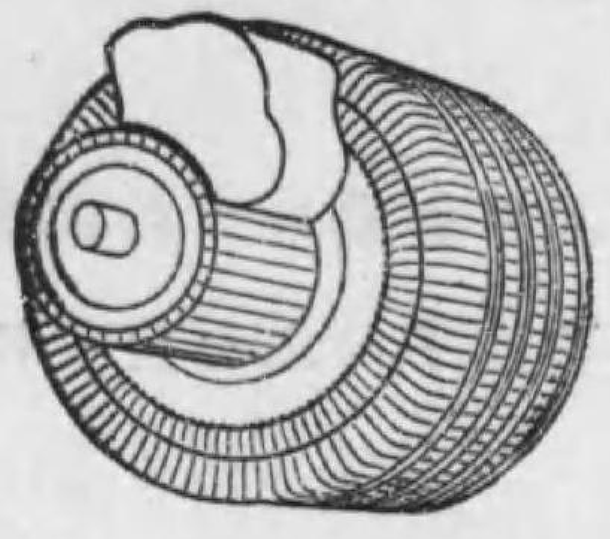
整流子を磨く際には金剛砂紙(Emery paper)は絕體に

用ひてはならぬ。而して以上の作業は必ず熟練なる工手によらねばならぬ。

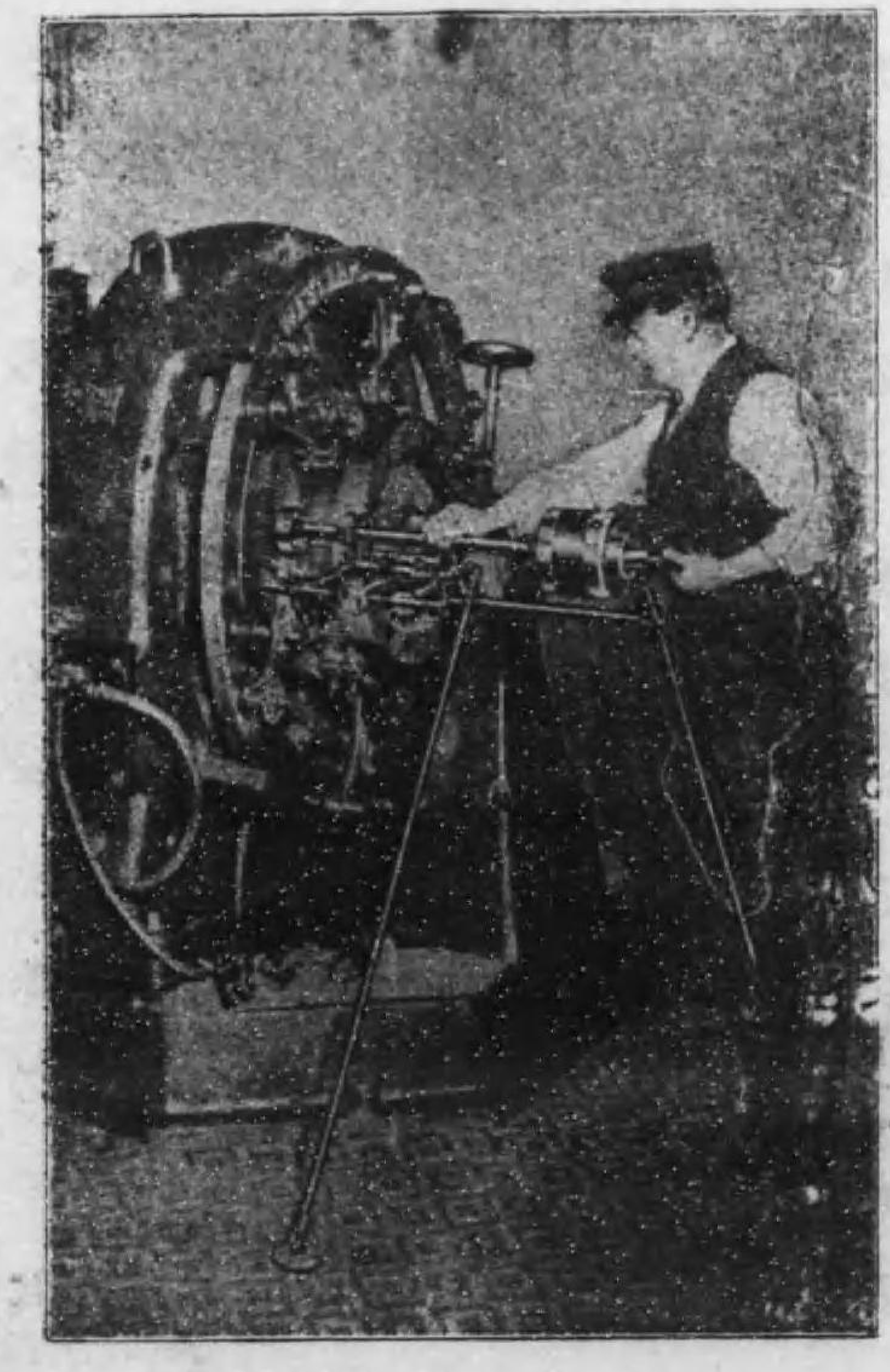
【59】整流子の研磨法(Grinding)

整流子の表面が旋盤にかけて削らねばならぬ程ひどく傷んでゐない場合例へば火花によつて之が傷けられたるものや或は旋削の仕上げが流暢でないものは之を圓滑面に仕上げるには砥石を以つて磨くのが最もよい。

第七十五圖



第七十六圖



此方法は第七十五圖の如く砥石を適當なる大さに切り一面を丸めて整流子表面に合はし,普通には刷子を浮上げておいて機械を回轉しつゝ砥石の內面を整流子表面に押當てゝ之を平等に移動するのである。

然し此作業は必ずしも刷子を浮上げる必要はなく,機械を負荷運轉せるまゝで之を行ふことも出來る。又此作業に當つて砥石の內面を丸めることは,整流子の表面が極く粗悪なる形狀を呈してゐる場合の外は絕體に必要なることではない。

整流子表面を磨くには硝子紙を用ゐることもあるが,之は刷子を取付たるまゝで作業する場合には避けた方がよい。刷子を浮上げずして硝子紙を用ゐて表面を磨いてゐると硝子紙より剝脫した固形物が刷子の內面に埋込まれ,之が爲めに運轉中整流子の表面に條痕を穿ち或は刷子の接觸面に整流子から削り取つた銅粉を附着することがある。砥石を用ゐると此の心配がない。

若し火花が整流子の表面の不整に因づいてゐる場合には,此加工によつて火花を消すことが出來る。然し整流子表面の不整が子片の弛みに原因してゐる時には砥石を以つて表面を磨いても何等の效果もない。

此時には根本處置から始め先づ第55項に述べた樣にして整流子を充分に固く締付けた後子片の高低が特に甚だしい時に限つて之を旋盤にかける。若し表面の不整が輕微なる時は締付の後直ちに砥石を以つて處理することが出來る。

【60】雲母の突出

運轉の當初は何れの部分にも故障なく滿足に運轉せる機械が使用者の手に移つて何週間かの運轉後に始めて故障の正體を現はし,刷子は振動を起して音響を放つと同時に激烈なる火花を飛ばし始めるものがある。而して當初は全表面が圓滑にして特殊の光澤を發揮してゐた整流子は運轉と共に鈍色化する。更に之を引續いて運轉してゐると,整流子の表面は益々粗惡になり火花は愈々激烈になつて遂には刷子より刷子に向つて閃越を始める。而して之が電動機の場合には遮斷器を働かして玆に機械は停止し,又之が發電機の場合には刷子は跳躍の爲めに整流子との接觸が全く不安定になり,機械は電壓を誘起することが出來なくつて遂に其のまゝでは運轉を繼續するを得ぬに至るが如き最も怖るべき故障に遭遇することがある。

此重大なる故障の原因は全く雲母の硬度が高過ぎる爲めに之が整流子の表面に殘つて突出雲母を作るにある。從つて整流子を作るに用ゐる雲母の硬度に就ては愼重に研究する必要がある。

【61】突出雲母の原因

雲母の突出は大部分は運轉中に發生するものである。製作當初より此故障を伴つてゐることは殆どな

いと云つてもよい。新たに出來上つた機械は製作所に於て綿密に試驗される。そこで此故障のあるものは火花の甚だしい爲めに最も容易に且つ確實に見出されるのである。

炭素刷子を使用せる場合に,若し雲母の硬度が子片のそれよりも高ければ,兩者の磨滅の割合に遲速を生じ銅材は雲母よりも速かに擦り減らされて整流子表面に雲母を殘す。而して之が爲めに火花は激烈に出始める。之が雲母突出の一つの原因である。

他の原因としては假令へ雲母の硬度が高からぬ場合にも,機械が火花を盛に出し始めると,之が爲めに雲母の周圍の銅材が燒取られて結局雲母を整流子表面より突出せしめるのである。

特に甚だしいのは雲母の硬度が高過ぎて雲母を突出せる場合であつて,之が爲めに激烈なる火花を出し始めると前述した二つの働きが相加つて益々雲母の突出を增進せしめる。

雲母の突出が第二の原因即ち火花の爲めに銅材が燒取られて生じてゐる場合には,此故障は機械が常に全負荷を負つて運轉せる場合に特に甚だしくなる。然し之と反對に機械が時々輕負荷に移る時は,此間に整流子は刷子によりて磨滑され,全負荷や過負荷の間に受けた痛手は輕負荷の間に埋合はされて兎に角運

轉を繼續することが出來る。電車用電動機の如きは此一例であつて起動時や重負荷時に於ける傷害は惰走(Coasting)の間に中和されるのである。

然し原因が硬質雲母にある時は,全負荷の下では勿論,輕負荷に於ても銅材は依然として擦り減らさるゝが爲めに故障は輕負荷に於て中和さるゝことなく運轉時間と共に確實に昂進して行く。

〔62〕 雲母の撰擇

雲母は普ねく知らるゝ如く非常に良好なる絶縁物に相異ないが其硬度は品質によつて非常に相異する。子片間の絶縁に用ゐられる雲母には銅と略ぼ同一の硬度を持つものを擇ばねばならぬ。

工場に於ては一々雲母の硬度を試驗すること到底出來ないことであつて,動もすれば硬度の高いものを用ゐることがある。そこで安全の爲めには銅よりも軟質のものを慣用するを良しとする。

前述した雲母の突出は之が極めて微量であつて肉眼を以つて見ることも出來ねば又指先にて感知することも出來ぬ程のものが火花を發するに充分である。甚だしきに至つては整流子の廻轉方向と逆に爪を表面に押當てた際にも何等突出の知覺を與へぬ樣な極めて微量のものでも刷子を振動して火花を誘發することがある程重大なるものである。

雲母突出の爲めに火花を發する時は,極く短時間にして整流子を痛く傷けるが故に此故障は最も怖るべきものゝ一つである。

現今ではメゴーマイト(Megohmite)と稱する一種の人造雲母が作られた。之は天然のものに比して硬度が低いといふ利益を持つてゐる。又從來のものゝ樣に加熱されて粘着劑が溶け出すことがない。

尚ほ注意すべきことはプレスパーン(Press-spahn)や和硫ファイバー(Vulcanized fibre)の如きものは子片間の絶縁材として決して使用すべからざることである。此種の材料は加熱に遭へば收縮し,吸濕すれば脹膨して整流子の緊締を害す。特に炭素刷子を用ゐる機械に對しては絶體に禁物である。然し金屬刷子を用ゐる機械に對しては以前には此種の材料が用ゐられたことがあつた。

〔63〕 突出雲母の處置

火花が雲母の突出に起因せる時は整流子表面を硝子紙や砥石で磨いても何等の效果もない。甚だしきに至つては益々故障を增大せしめることがある。斯る場合には鋭利なる削刃を用ゐて雲母を整流子表面より$\frac{1}{16}$吋位削り下げた後に硝子紙や砥石を以つて表面を磨くのである。此後は刷子によりて磨滅される者は銅材だけであるから突出雲母を作ることがない。

而して又運轉中に生ぜられたる銅や炭素の粉末は廻轉の遠心力の爲めに飛散せらるる故に之が溝中に蓄つて子片間の短絡を起す様なことも殆どない。

然し雲母を切下げることは總ての場合に安全なる處置といふことは出來ぬ。例へば軸承部の油が整流子表面に侵入すれば溝中に銅や炭素の粉末を粘着して子片間の短絡を生じ或は此瞬間に閃越を發する虞れがある。

【64】 整流子表面の黑化

刷子に強き火花を發する時は整流子は燒かれ或は其表面は黑化す。然し火花を現はさぬ場合と雖も之を發せんとする傾向の大なる時には黑化を生ずることがある。例へば整流の中途に於て刷子の接觸面の或る一局部の電流密度が特に高い様な場合である。而して此種の原因によるものは多く黑化が表面に一樣に現れるのである。

然し整流子が偏心的廻轉を爲してゐる機械や振動の甚だしい機械に於ては整流子の黑化は表面に一樣に現れずして之が一局部に生ずることが多い。

又整流子に多少の高低がある場合にも周圍速度が充分低ければ不良の子片が刷子の下を通過する時にのみ火花を發して此部分を黑化す。然し普通の速度のものや數個の子片が弛んでゐるものや雲母が突出

してゐるものでは之が一樣に起る。特に高電壓や高速度の機械では子片が極く僅かに振動してゐる時にも此故障を見る。

整流子の黑化は總て整流の不精密より起るものである。刷子に火花を生じ或は刷子の接觸が不良なる時は第46項に述べたるが如く電流が炭素より整流子に向ふ刷子の內面で火花や電弧によりて氣化されたる炭素の蒸氣は整流子の表面に鍍着して之を黑化するのである。

表面が黑化すれば接觸抵抗を增し又雲母は此被膜によりて覆はれて子片間の短絡や閃越を起し易いのである。

黑色化の處置としては整流子の構造を檢查して缺點を除去せる後表面を磨き次に刷子の接觸面や寸法を調查し又整流作用をも精密に調整するのである。

【65】 整流子の催滑 (Lubrication)

整流子の催滑料の種類は數多あるけれども其効果は隨分如何はしいものである。實際の使用に當つて之が効果を奏する場合は稀であるに反して之が整流に大なる障害を與へる場合が甚だ少くないと云はれてゐる。

催滑料は動もすれば整流子表面や刷子の接觸面に塵埃や炭素又は銅の粉末を粘着し接觸抵抗を增して

火花を誘發し或は子片間を短絡することもある。從つて此種のものゝ多くは啻に効果なきに止まらずして有害なるものであると考へることが出來る。

炭素刷子を用ゐる場合に限つて整流子を催滑する必要を認めたる時は純潔なる鑛油の一二滴を落し之を注意して整流子表面に塗布するのである。此時決して油を過剩に滴下してはならぬ。又新しい綿にワセリン(Vaseline)を滲ませて之を整流子表面に塗布するのもよい。

第五章　速度及び機體の振動

【66】 機械の速度と火花

直流機は總ての部分に故障のないものでも之を餘りに高い速度で廻轉すれば火花を發す。機械が常規速度で廻轉せるや否やは決して輕視すべき問題ではない。

一般に直流機は端子電壓を一定にしてをいて速度を増さんとすれば勵磁電流を弱めねばならぬ。此狀態に於ては磁極片及び齒部の磁束密度が減ぜるが故に電機子電流の生ずる橫磁束は通路の磁氣抵抗を減じて其値を增す。

若し速度を非常に增さんとして主磁界を非常に弱めてゐる時に強い電機子電流が流るれば橫磁束は非

常に增し主磁界の分布は強く扭歪されて中性帶の位置に強い有害磁界を生ず。

此結果常規速度に於ては大なる過負荷に於てのみ火花を發する機械も斯る過大なる速度の下では低い負荷に於ても容易に火花を發するのである。

之は發電機に於ては原動機との聯動比(Gear ratio)を誤つた場合に起ることがある。又電動機に於ては分捲界磁抵抗によりて速度を著しく上昇せんとする時に多く起る。共に製作者の與へた範圍を越すことは愼まねばならぬ。

勵磁電流を變化して行ふ可變速度電動機は界磁を弱めた時にも無火花の整流が得られる樣に注意して設計せねばならぬ。而して最大及び最小の兩速度の下に整流試驗を行ふべき事は勿論であるが必要に應じては刷子を中性帶に固定せるまゝ無負荷で低速度から全負荷で高速度迄の間を試驗せねばならぬ。

實際に於ては補助極を持たぬ電動機は火花なく制御し得る速度の範圍は極く狹いものである。例へば±8％內外に過ぎぬ。

然し補助極付電動機では此範圍を餘程增すことが出來る。特に可變速度電動機として設計されたるものには優に±30％の範圍に速度を制御することが出來るものがある。

速度制御の範圍を增さんには三線式て二重の電壓を用ゐ,界磁は定電壓て勵磁してをいて電動子に二重の電壓を加へるのてある。或は一定電壓に對しては,電動子に二個の整流子を取付け此兩者に別々に電機子捲線を接續す。而して整流子を通して上記の捲線を直列或は並列に接續するのてある。此兩者は共に100%の速度制御に堪える。

加減壓機(Booster)は,一般には,端子電壓を常規値よりも30—50%迄も低めた電壓に於て常規電流に堪えて火花なく運轉することが出來ねばならぬ。然し電壓を之よりも下げんとすれば勵磁を極度に弱める必要上火花は避けられぬ。

そこで加減壓機は極度に低壓を要する時には速度を下げてかゝらねばならぬ。之には二種の異る直徑を持つ調車を具へてをいて之によつて機械の速度を,必要に應じて,變化するのてある。

次に加減壓機の勵磁の方式てあるが之は常に他勵せねばならぬ。自勵加減壓機は,電壓が常規値の30—40%に低められると,電壓の誘起が不安定になつて負荷の增減等によりて全電壓を失はんとする傾向が顯著になる{第139項參照}。此缺點を除去する爲めに加減壓機は他の電源例へば主發電機か或は蓄電池より他勵するのてある。

【67】機體の振動と火花

一般に廻轉部の重量の平衡が惡かつたり支持部の機械的强度が不充分てあれば機體は振動を起す。機體の振動に關しては後編に於て詳しく論じるとして,要するに機械が相當の振動を起せば他の部分に缺點のないものても無火花に運轉することは出來ぬ。

斯る場合には機體の振動を止めてかゝるのが根本的療法てある。之は第十編に於て述べるとして,目下の場合の一時的療法としては刷子の接觸壓力を增すのてある。火花が機體の振動に起因せる場合に刷子を上部より押付けて火花の止むことは常に實驗されてゐる事實てある。

第四編　損　失(Losses)

【68】損失と溫度上昇

電氣機械の損失は總て熱に變換される。熱の一部分は機械の表面より放散せられ,他の一部分は此内に吸收せられて機械の溫度を高めて行く。而して此の發生量と放散量とが相等しくなつた時,機械は一定溫度に達するのである。

機械の運轉溫度は其壽命に最も重大なる關係を有するものであつて,其堪え得る溫度は主として各部分に使用されたる絕緣材料の如何によつて定まる。

溫度上昇は,上述せるが如く,一部分は熱に變換さるべき損失に關係し一部分は之が表面より放散される量に關係する。そこで一定出力に對して機械の溫度上昇を低くせんには一方に於ては各部分の損失を小にし他方に於ては熱の放散能力を大にせねばならぬ。然し損失を小にするには優良なる材料を多量に使用せねばならぬから之は直接に機械の價格を高めることになる。

そこで現今では機械の安全溫度を限度とし,損失によつて發生されたる熱が表面の冷却作用によつて出來る丈け多量に外部に放散され,機體に現はれる溫度をして上記の制限内に止まらしめる樣に作られる。

而して各部分の損失を適當に配分して或部分の溫度が異狀に上昇するが如きことを努めて避ける樣にし,又可變損失(Variable losses)と定損失(Constant losses)との配分に注意し,與へられたる出力に於て損失總和の一定值に對して最大なる出力を出さしめ,以つて材料の經濟と能率の增進とを併せて圖るのである。機械の能率は損失ワットと利用し得べきワットとによりて決まるが,溫度上昇は損失ワットと表面の冷却能力とで決まる。是等の關係は電氣機械を論じてゐる何れの書物にも載せられてゐることであるから本書に於ては之を省略する。

熱の放散を大にするには冷却表面を增大し通風を盛にするのである。今日製造工業の進歩につれて材料の經濟を最も考慮する樣になつてからは,自然冷却のみによつては效果が不充分になつたので,廻轉部に扇風裝置を取付けて機械的に通風を强行してゐる。

然し直流機に於ては負荷の制限は必ずしも各部の溫度上昇によりてのみ決定されるものではない。負荷の增加に伴つて電機子反作用が增して整流が困難になるのと又機械の變動率(Regulation)が惡くなるのとによりても相當の制限を受けるのである。

【69】損失の分類

直流電機の損失を分類すれば,

(1) 電機子捲線中の抵抗損失

(2) 整流子と刷子との間の接觸抵抗による損失

(3) 界磁捲線中の抵抗損失

(4) 電機子鐵心中のヒステレシス損失

(5) 磁極片中のヒステレシス損失

(6) 電機子鐵心中の渦電流損失

(7) 電機子捲線中の渦電流損失

(8) 磁極片中の渦電流損失

(9) 整流子中の渦電流損失

(10) 軸承の摩擦損失

(11) 刷子の摩擦損失

(12) 通風損失

(13) 整流損失

然し是等の損失を其の性質に從つて分類すれば,

(a) 抵抗損失

(b) 磁氣的損失

(c) 機械的損失

の三種に大別することが出來る。

第一章　抵抗損失

[70] 電機子捲線中の抵抗損失

之は電機子電流の自乘に比例するが叉捲線の溫度によりても影響される。從つて機械の溫度が一定狀

態に達する迄は運轉時間によりて多少の變化を受ける。

[71] 刷子の接觸抵抗による損失

現今廣く用ゐられる炭素刷子に於ては接觸抵抗は電流の自乘によりて變化しない。叉之は運轉中の種々の條件によりて其値を大いに變化する。

接觸抵抗は電機子回路の全抵抗の大なる部分をとることがある。之は小出力の機械に於て特に甚だしいのである。

接觸抵抗を決定する主なるものを擧ぐれば,

(1) 刷子及び整流子の材料及び狀況

(2) 接觸壓力

(3) 接觸面の電流密度

(4) 整流子の周圍速度

の四つである。

[72] 刷子及び整流子の材料及び狀況

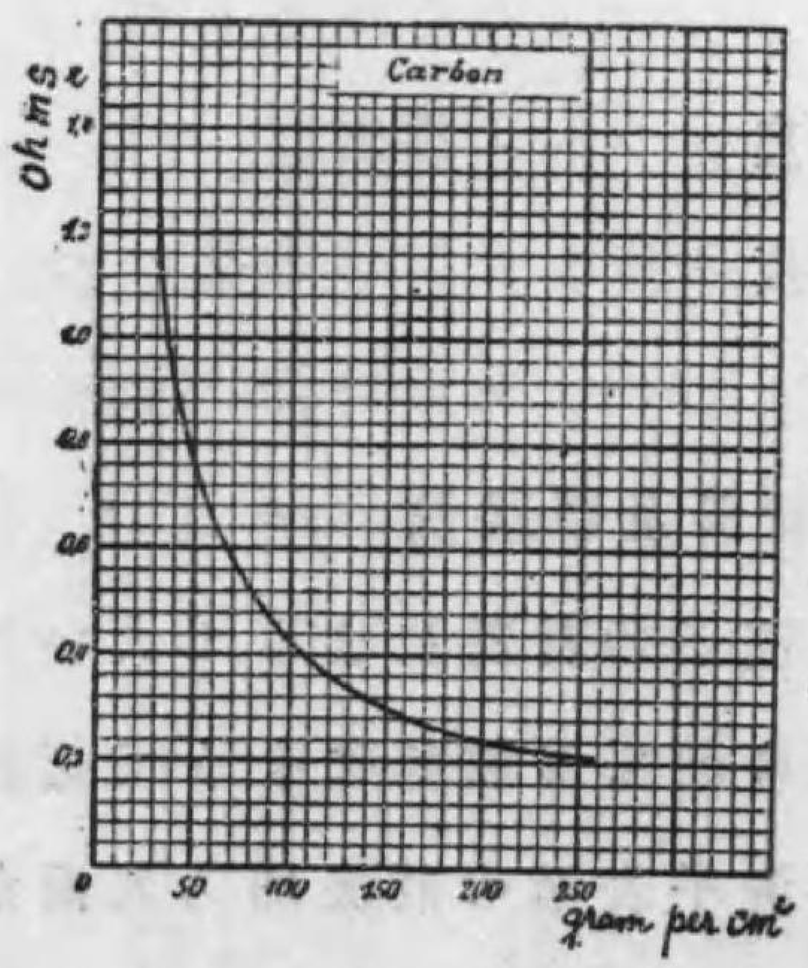
接觸抵抗は刷子及び整流子の材料によりて大いに相異する。特に炭素刷子に於ては軟硬によりて抵抗は著しく相異する。叉整流子表面の狀況即ち表面が平滑にして眞圓形なるや否や或は表面に炭素や塵埃や油脂等の粘着なくして之が清潔であるや否や等も亦大いに關係することである。

次に刷子の接觸面の形狀であるが之は整流子表面

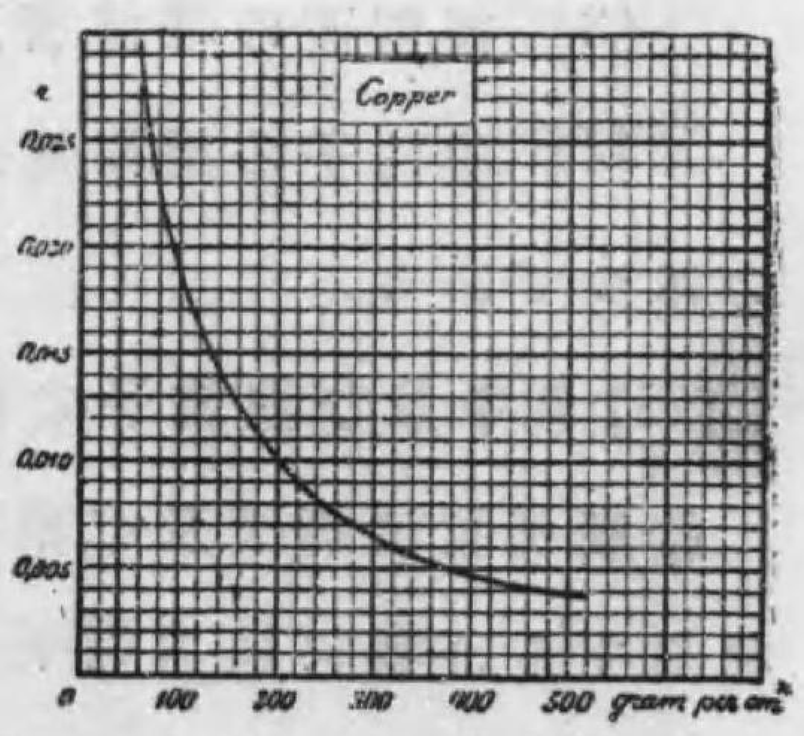
に充分に密接することが出來る樣に注意して作らねばならぬ。

【73】接觸壓力

刷子の接觸壓力は整流子の溫度上昇に大いに關係する。此壓力を增加すれば接觸抵抗は減少するが之よりも大なる割合を以つて摩擦損失が增加する。又此部分の壓力を過小にすれば接觸抵抗が過大になつて損失を非常に增加し,加ふるに刷子の跳躍を起して整流を亂し火花を發するのである。從つて刷子の接觸壓力は過不足共によろしくない。之に就ては第31項を參照すべし。



第七十七圖

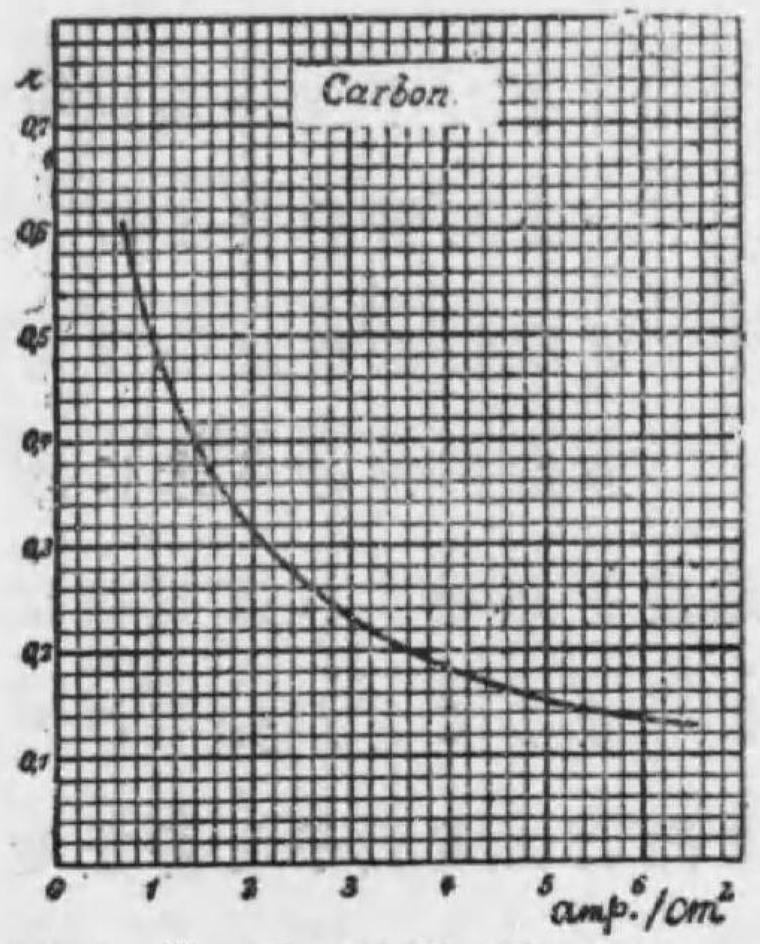


第七十八圖

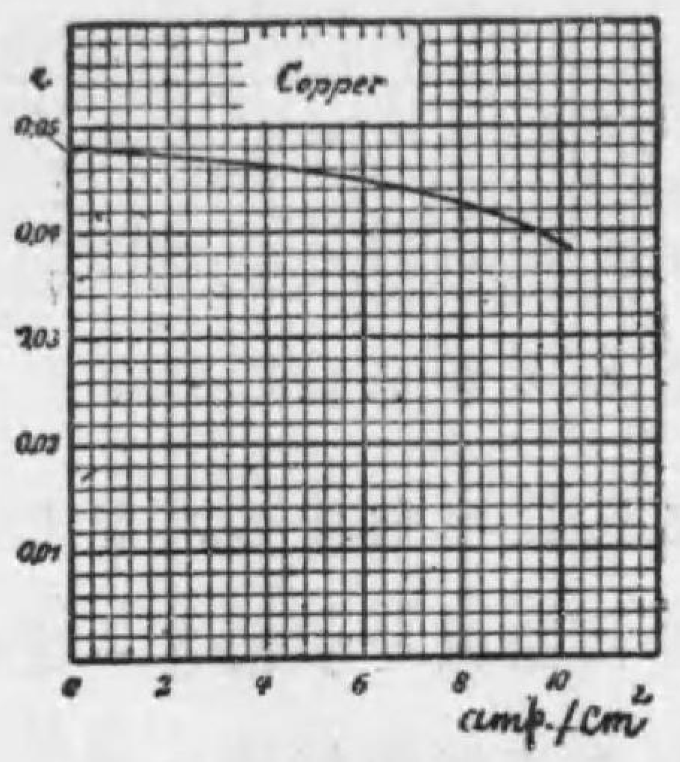
第七十七圖及び第七十八圖は夫々炭素及び銅刷子に於ける接觸壓力と接觸抵抗との關係を示す曲線である。共に整流子は硬銅で出來てゐる場合のものである。

【74】接觸面の電流密度

刷子の接觸面中の電流密度も亦接觸抵抗に大いに關係する。即ち第七十九圖(炭素刷子)及び第八十圖(銅刷子)に示すが如く電流密度が增大すれば接觸抵抗は降下する。



第七十九圖



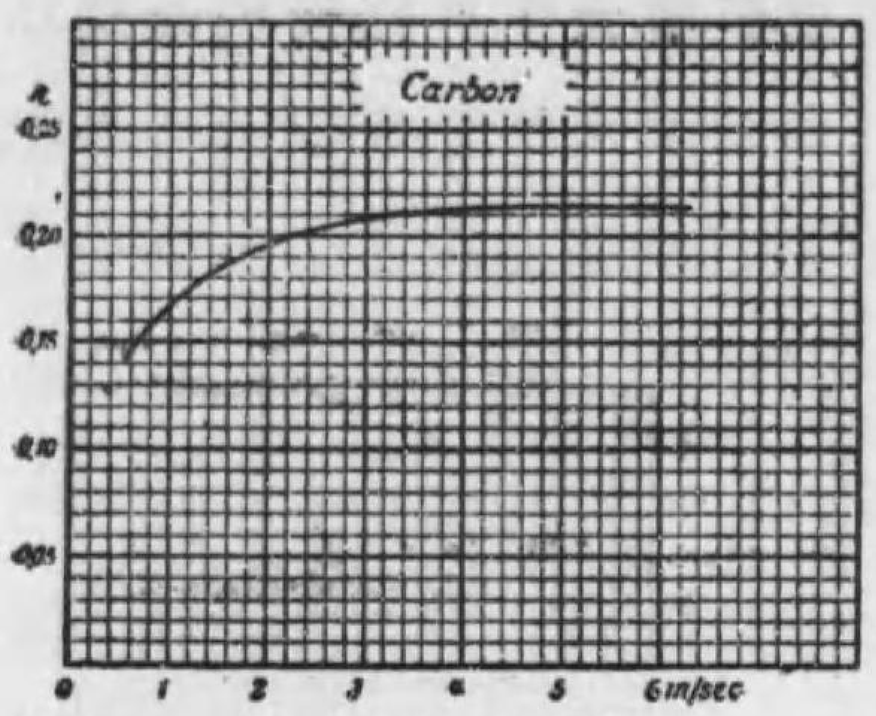
第八十圖

從つて接觸抵抗損失を計算する時には電流密度は必ず考へに入れられねばならぬ。特に炭素刷子に於ては此變化が急であるから必ず各電流密度に於ける抵抗値を測定してをく必要がある。

然し實際に於て或る範圍內では兩者の關係を直線と見て,接觸抵抗は電流密度に逆比例するものと考へて大なる誤りがない。そこで刷子を通過する電流と觸接抵抗との積なる電壓降下は或る範圍內の電流に對しては約一定値と見做すことが出來る。

【75】整流子の周圍速度

刷子の接觸抵抗は整流子が靜止せる際と之が廻轉せる際とでは後者の方が大である。整流子の周圍速度と接觸抵抗との關係を示せば第八十一圖の樣なものである。



第八十一圖

デツトマール(Dettmar)氏の實驗によるに,接觸抵抗は整流子の周圍速度が每秒3米に達する迄は增加する。然し此速度を超過すれば抵抗は速度に關係せず殆ど一定値に止まることが知られた。そこで接觸抵抗を測定する際には,電機子を靜止せしめることはよろしくないが,之が廻轉する速度は整流子の表面に於て每秒3米以上であればよい譯である。

【76】刷子中の抵抗損失

炭素刷子は溫度係數が負であるから刷子自體の抵抗は溫度が上昇するにつれて減少する。

然し刷子中に生ずる損失は必ずしも電流密度が低い時の直流抵抗によるものゝみに限られずして,高い電流密度の下では內部の電流分布が一樣に行はれぬことからも過剩の損失を生ずるのである。

【77】電機子回路の全抵抗

以上述べた樣に電機子回路の全抵抗は電流密度によつて大いに變化す。極く正確を要する場合の外は此內の各自を別々に測定する必要はなく,全部が直列に入つたものを測定して充分である。

此時全抵抗中でも可成り大なる部分を成す接觸抵抗に就ては特に注意し,刷子と整流子との間の接觸を充分にし又接觸壓力をも常規値に調整した後種々の電流に於ける抵抗値を測定せねばならぬ。尙ほ電機子は整流子の周圍速度が少くとも每秒3米以上になる樣に廻轉せしめ,同時に各部分の溫度も亦常規運轉狀態に於けると等しからしめねばならぬ。

然し測定に當つて電機子を廻轉すれば殘磁氣によりて電機子捲線內に起電力を誘起して測定に誤差を生ず。之を校正するには,他の電源より界磁を殘磁氣と逆の方向に勵磁し,ミリ電壓計を用ゐて電機子の端子電壓が零になる樣に勵磁電流を調整しておいて測定を行ふのである。

上述の方法は之を實行するに多少困難である。そこで大なる正確を要しない場合には,電機子を左右兩方向に同一速度に廻轉して得られたる二つの結果の平均値を取れば測定は甚だ容易である。

【78】取出線(Lead wire)中の抵抗損失

之は刷子支持軸や取出線や各接續部の抵抗が直列

に入つたものである。此部分の損失も亦電流の自乘によつて變化する。然し之は其の性質上甚だ小である。

【79】整流損失

之は整流期間中刷子によりて短絡される電機子線輪の回路に生ずる復雜なる損失である。

整流が確實に行はれぬ時は,刷子中の電流密度が一樣に分布されぬ爲めに接觸抵抗や刷子自體中の抵抗を增して損失を大いに增加する。同時に短絡電流をも大にして此回路の抵抗損失を非常に增加するのである。

【80】界磁捲線中の抵抗損失

之は勵磁の樣式卽ち機械が分捲なるか直捲なるか或は複捲なるかによつて變化する。

分捲電機に於て若し之が常に一定の端子電壓で働く樣に調整されれば,負荷が增加するにつれて勵磁を强める必要上損失は增加する。然し此增加は輕少に過ぎぬので實際に於ては此損失は負荷に關係なく一定せるものと考へることが出來る。

直捲電機に於ては界磁捲線は電機子と直列に接續されるが故に此內の損失は負荷電流の自乘に從つて變化する。尙ほ之と類似の關係にある補助極捲線や補償捲線中の抵抗損失も亦之と同樣である。

複捲電機は上述せる二つのものゝ合成と考へることが出來る。

第二章 磁氣的損失

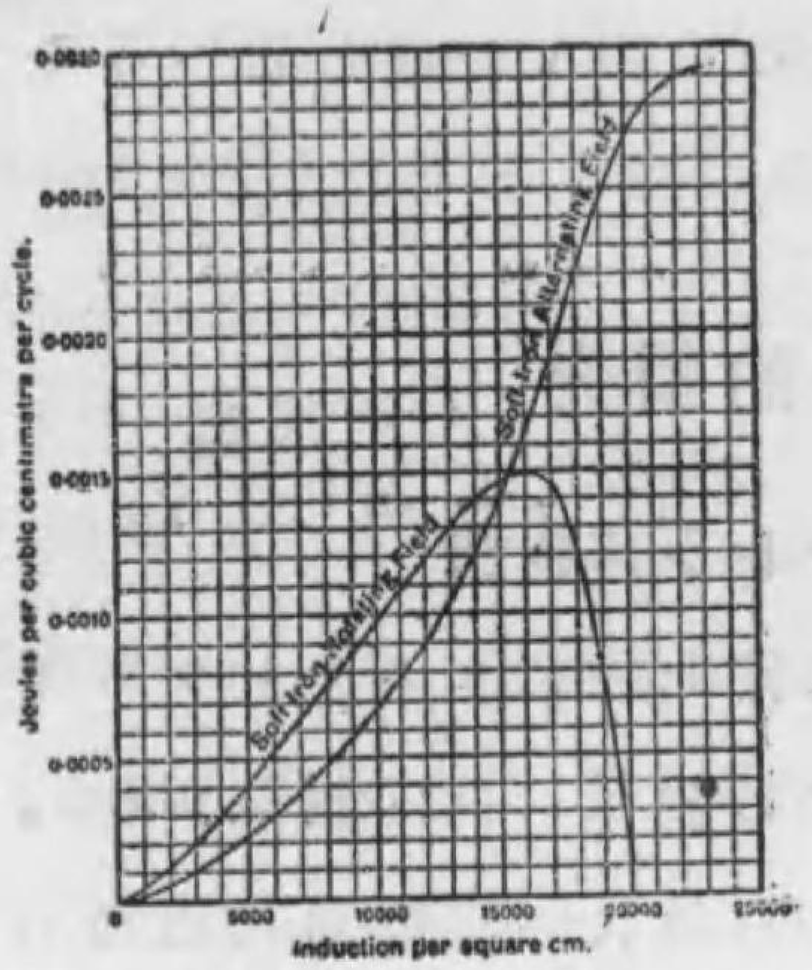
【81】電機子鐵心中のヒステレシス損失

鐵材中で磁束が變化すれば此內にヒステレシス損失を生ず。此の磁束の變化の模樣には二種類がある。其內の一つは磁束が鐵材中を常に一定方向に通過しつゝ零値の上下で同一の正負最大値間を增減するものである。之を交番ヒステレシス(Alternating hysteresis)と稱す。他の一つは一定値を持つ磁束が絕えず其方向を變化するものである。換言すれば一定の强さの靜止磁界中を鐵が廻轉する場合に起るものである。之を廻轉ヒステレシス(Rotating hysteresis)と稱す。

鐵心中のスヒテレシス損失は其內の磁束の變化の模樣が前記せる兩者の內の何れに屬するかによつて大いに其値を異にす。從つてヒステレシス損失を云爲する場合には磁束の變化が如何樣に行はれてゐるかを判斷してかゝらねばならぬ。

第八十二圖は薬鐵(Sheet iron)中の交番及び廻轉ヒステレシス損失を示す。

交番ヒステレシスに於ては,磁束密度(實効値) B が約17,000(C.G.S.)に達する迄は,每サイクル(Cycle)の損失は



第八十二圖

磁束密度(最大値)の1,6乘に比例する。然しBが是以上になれば此法則の適用は出來なくなつて損失曲線の傾斜は次第に鈍り,$B=24,000$以上に於ては曲線は殆ど偏平になる。

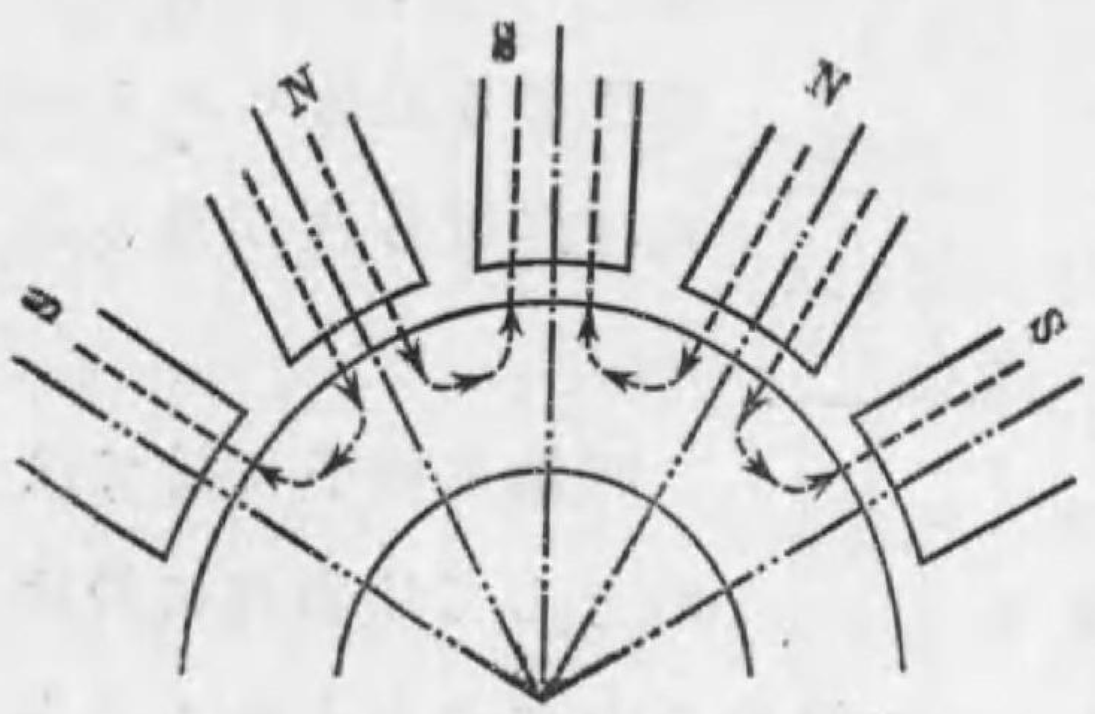
廻轉ヒステレシス損失は初めの內は交番ヒステレシス損失よりも稍大である。Bが8,000から10,000の附近では前者は後者よりも50%位大である。然し$B=15,000$の附近に於ては兩者は等しくなり,此點を過ぎてBが尙ほ增せば交番ヒステレシスよりも小になり,$B=16,000$—17,000の間に於て廻轉ヒステレシスは最大値を持ち,之より急に減少して$B=21,000$に於て殆ど零に近くなる。

交番ヒステレシスは變壓器の鐵心中で正しく行はれるものである。然し廻轉ヒステレシスの異性なるものは我々の取扱つてゐる廻轉電機には起らぬ。

多極直流機に於ては磁束は一定方向を持ち鐵心が此內を廻轉する(交流同期機に於ては此の逆が行はれる)。そこで斯るものは廻轉ヒステレシスの性質を帶びてゐる。然し相隣合ふ二つの磁極の出す磁束は多

少共並行分力を有してゐる。從つて交番ヒステレシスの性質をも共有してゐる。此二つの點よりして廻轉電機のヒステレシス損失は交番と廻轉との兩者の合成したものと考へることが出來る。

所で此兩者の合成の割合は磁極の數の大小によつて變化する。第八十三圖に示すが如く,N及びSの出す磁束は,鐵心の表面に近い部分に於て,磁極の數が增す程並行性を增す。而して極數の充分に大なる機械に於ては,N及びSの出だす磁束は殆ど並行であつて其の向き(Sense)は交互に反對になつてゐる。從つて斯るものは餘程交番ヒステレシスの性質が鮮明である。卽ち廻轉電機は極數が大になる程交番ヒステレシスの性質を增すのである。

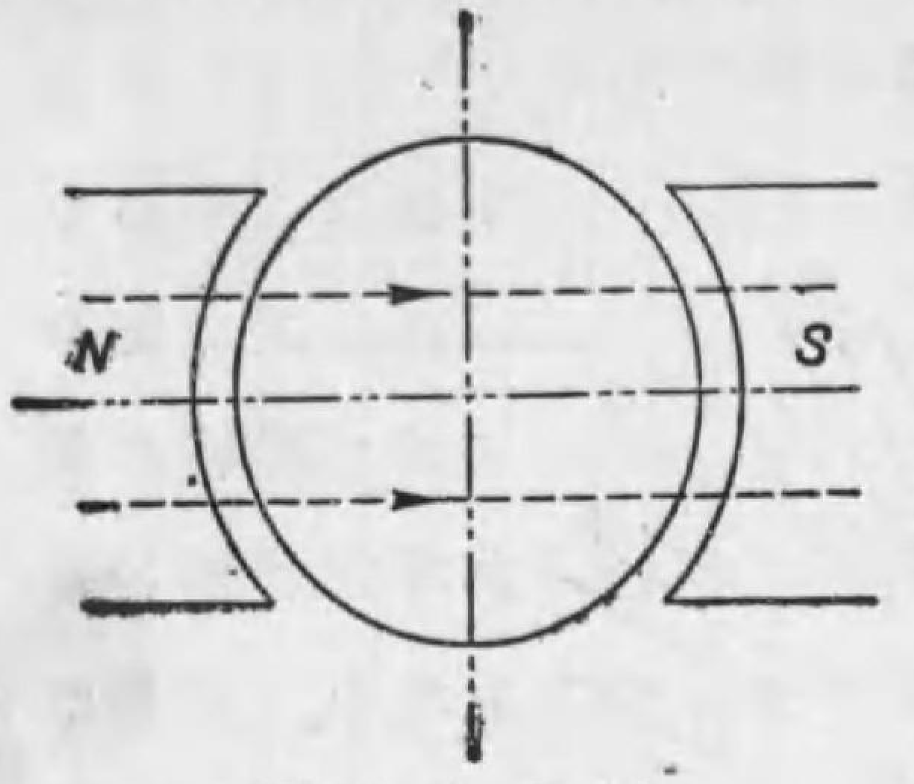


第八十三圖

尙ほ兩者の合成の割合は鐵心の表面よりの深さによつて變化する。上述せるが如く齒部に於ては交番ヒステレシスの性質が餘程勝つてゐる。然し鐵心の內部に進むにつれてN及びSの出す磁束は並行性を減じ,從つて交番ヒステレシスの性質は減少するので

ある。

之と反對に二極機に於ては廻轉ヒステレシスの性質が餘程勝つてゐる。二極機にして若し鐵心の中央に軸の貫通する孔を穿たぬ機械があるとすれば,第八十四圖に示すが如く磁束は殆ど直線狀に進み,此一定磁束を切つて鐵心が廻轉することになるから,異性なる廻轉ヒステレシスが得られる筈である。



第八十四圖

有溝電機子に於ては時としては齒部に於ける損失が全ヒステレシス損失の大部分を占めることがある。特に齒が薄くて長い時に然りとする。從つて齒部に於ける損失に就ては特に注意する必要がある。

[82] 電機子鐵心中の渦電流損失

電機子が磁界中で廻轉すれば鐵心中にも起電力が誘起される。此起電力の方向は磁力線と廻轉との方向に直角である。而して圓壔形をなす電機子の場合では之は軸方向に向つてゐる。

若し電機子が塊鐵で出來上つてをれば,軸方向の鐵心抵抗は非常に小であるから渦電流損失は非常に大

になつて加熱も亦甚だしくなる。

之を避ける爲めに電機子鐵心は薄い薬鐵を成層して作り,軸に直角に甚だ小なる區分を行つてゐる。此目的の一つは薬鐵中に誘起する起電力を層の厚みに比例して減じ,他は薬鐵中の渦電流通路の抵抗を層の厚みに逆比例して增す爲めである。

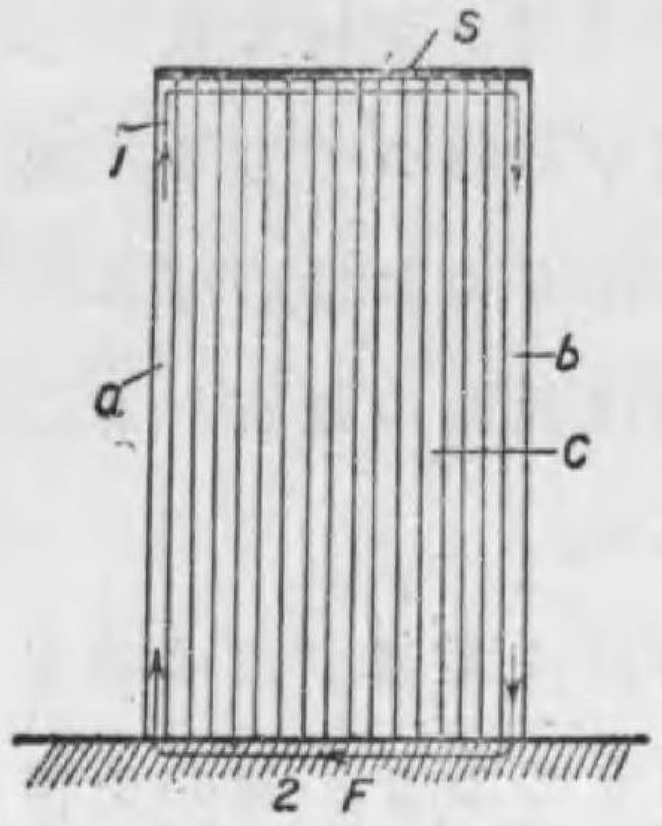
尙ほ渦電流損失を減少する爲めに薬鐵中には硅素の如きものを混じて比抵抗を增してゐる。然し此混合物の含有量の如何によりては薬鐵は非常に脆くなつて廻轉機では溝が打抜けぬことがある。

玆に注意すべきことは,薬鐵間の絕緣である。薬鐵は普通其の表面を酸化して絕緣にあてゝゐる。然し之のみによりては絕緣が不充分であるから,表面には絕緣ヴアーニツシユの樣な塗料を塗つてゐる。然し之は鐵心の加熱に遭へば熔け出して其の効果を失ふ,そこで鐵心は薬鐵の幾枚かををいて紙を挾んで絕緣されることがある。

電機子鐵心は之を組立てたる後溝及周圍を削る際に削刃が餘程銳利でないと層間に導電表面を作つて渦電流損失を著しく增すことがある。更に溝に鑢をかけると損失を益〻增大する。同樣にして鐵心の表面を研磨しても損失は大いに增加するのである。

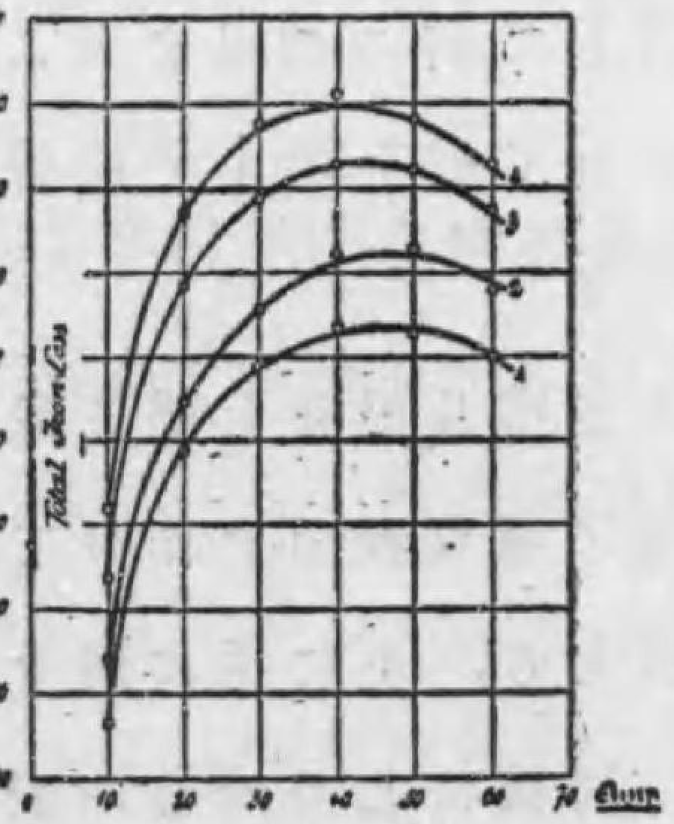
第八十五圖の如く鐵心の表面を削つてSなる導電

表面が出來たと考へる。然る時はaよりbに至る迄の各葉鐵中に誘起される起電力は相加はり,渦電流は先づaの葉鐵より發してSを通過してbに至り更に之が鐵心を支持する鐵部Fを通過してaに歸るのである。



第八十五圖

之を防がんとして鐵心Cと鐵部Fとの間を絶緣するも其の効果はなく,aより出發せる渦電流はSを通過してbに至り,次にbを紙面の背後方向に貫いて他極の導電表面に達し,之を通過して後更にaを紙面の背後より表面に向つて進み茲に渦電流の回路を完結するのである。

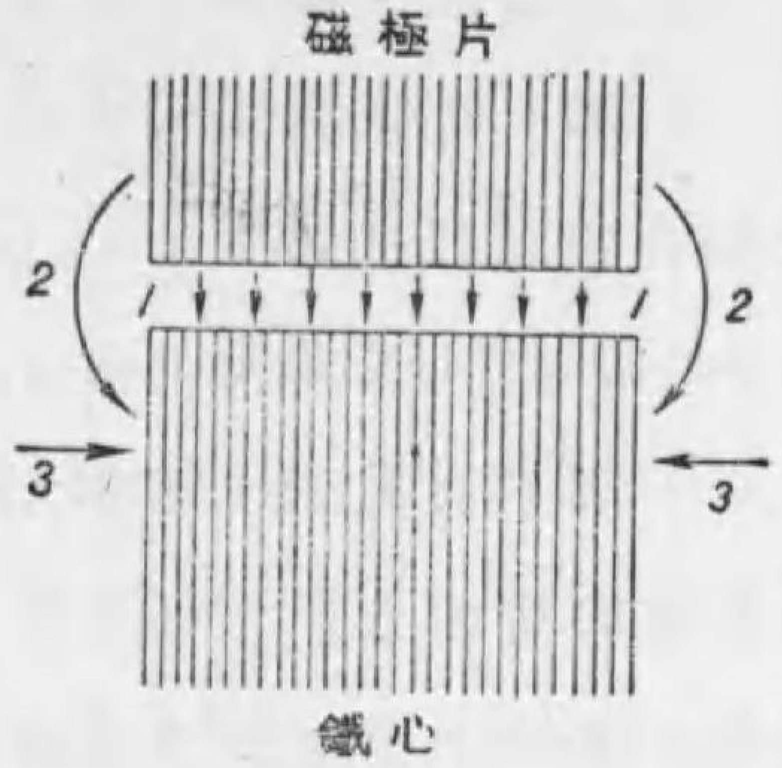

第八十六圖

此種の損失の增加は油斷の出來ない程度に昇ることがある。之を示したものが第八十六圖である。

曲線(1)は溝を打抜いたまゝの葉鐵で作られたる電機子中の全鐵損失を示し,曲線(2)は溝の內壁を削刃にて整形せるもの,曲線は(3)溝に鑢をかけたるもの,曲線(4)は

電機子の周圍を更に研磨せるものゝ全鐵損失を示す。

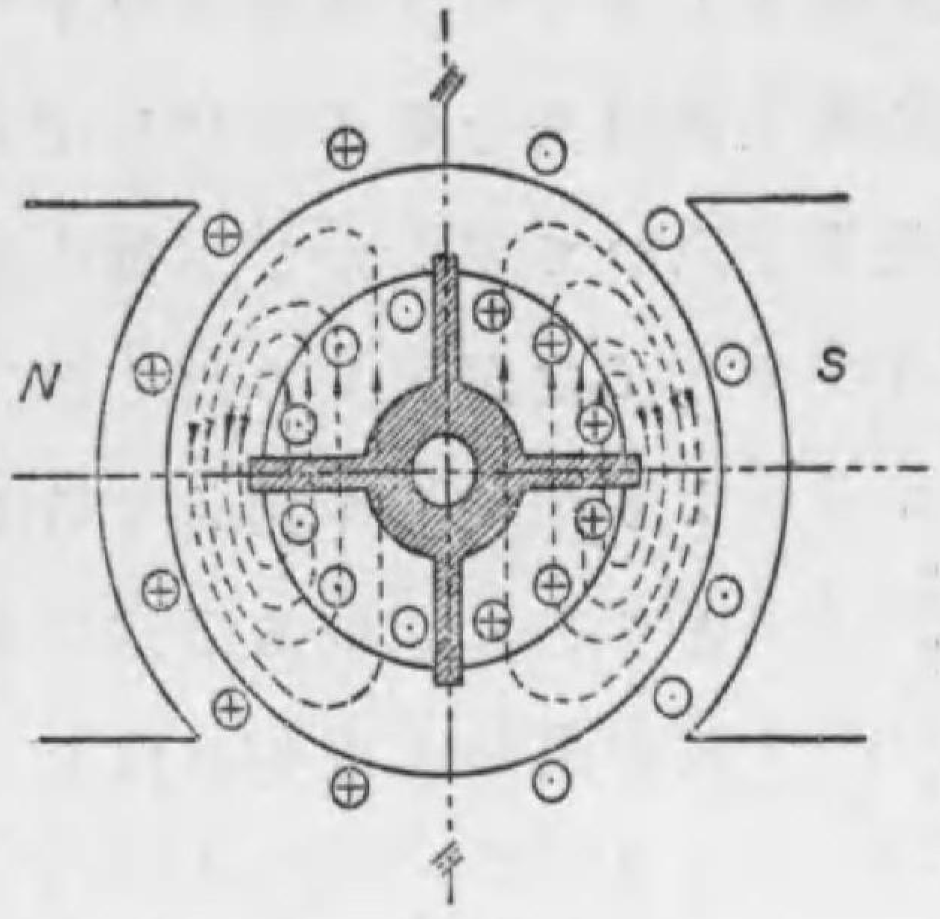
猶ほ此外に過剩なる渦電流損失を鐵心中に生ずる原因は,第八十七圖に矢1を以つて示したるが如く磁束が葉鐵に並行に進入せずして,之が矢2の如く側方より傾斜して進入することである。斯る磁束は葉鐵の成層と直角方向をなす分力3を有す。此分力の爲めに葉鐵中には其表面に並行なる(圖に於ては紙面を貫ぬく)起電力を生じて過電流損失を大いに增加する。之は電機子の兩側に於てのみならず通風溝(Ventilating duct)の面に於ても起る。而して此磁束は鐵心の兩側にある端鈑(End plate)中にも損失を生ずるのである。



第八十七圖

【83】電機子輻構(Spider)中の渦電流損失

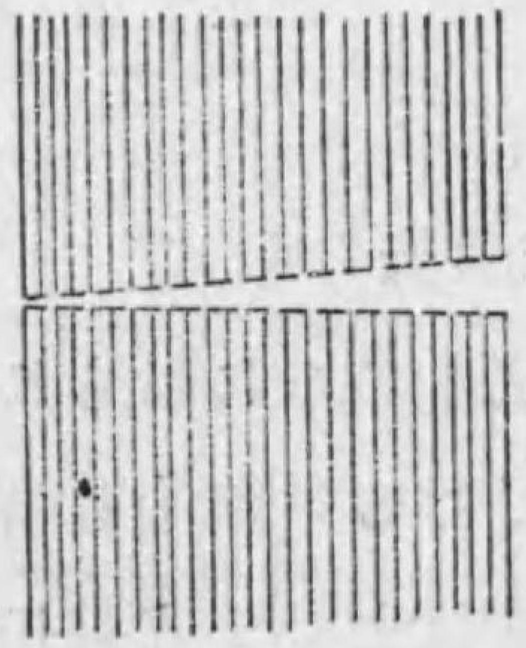
渦電流損失は電機子鐵心中に生ずるのみに限られずして,鐵心を其內部で軸に固定してゐる電機子輻構中にも生ず。特に環狀捲線(Ring winding)を持つ電機子では,鐵心の內側にある導線電流は,第八十八圖に示すが如く,電機子が廻轉するにも拘はらず靜止せる磁界を作り,其方向は中性帶と一致し,其強さは負荷と共に



第八十八圖

增減する。此靜止磁界中で電機子輻構等の固形部が廻轉するので,此内に渦電流損失を生ずるのである若し之が眞鍮の如き非磁氣的材料で作られずして鐵材で作らるれば,此内には同時にヒステレシス損失をも生ずるのである。

又大なる電機子で鐵心が幾枚かのセグメント(Segment)を集めて作られてゐるものでは,其接合部に損失を生ずるのである。第八十九圖の如く接合部の空隙に不同があれば,之が小なる左方では磁束は密になり,之が大なる右方では磁束は疎になる。之によつて損失が招かれるのである。又假令へ此空隙に不同がないとしても,鐵心の兩側にある端鈑や内部の輻構中には接合部に於て磁束が喰み出して渦電流損失を生ずるのである。



第八十九圖

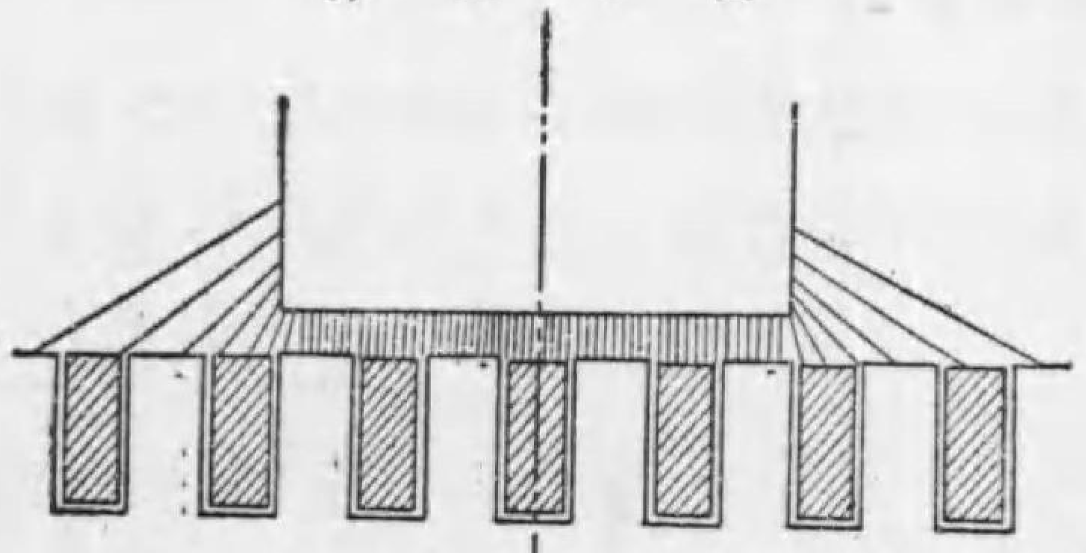
然し是等の過剩損失は接合部の空隙が餘り大でない場合や鐵心中の磁束密度が餘り高くない場合には極く小さい。然し低い周波數(直流

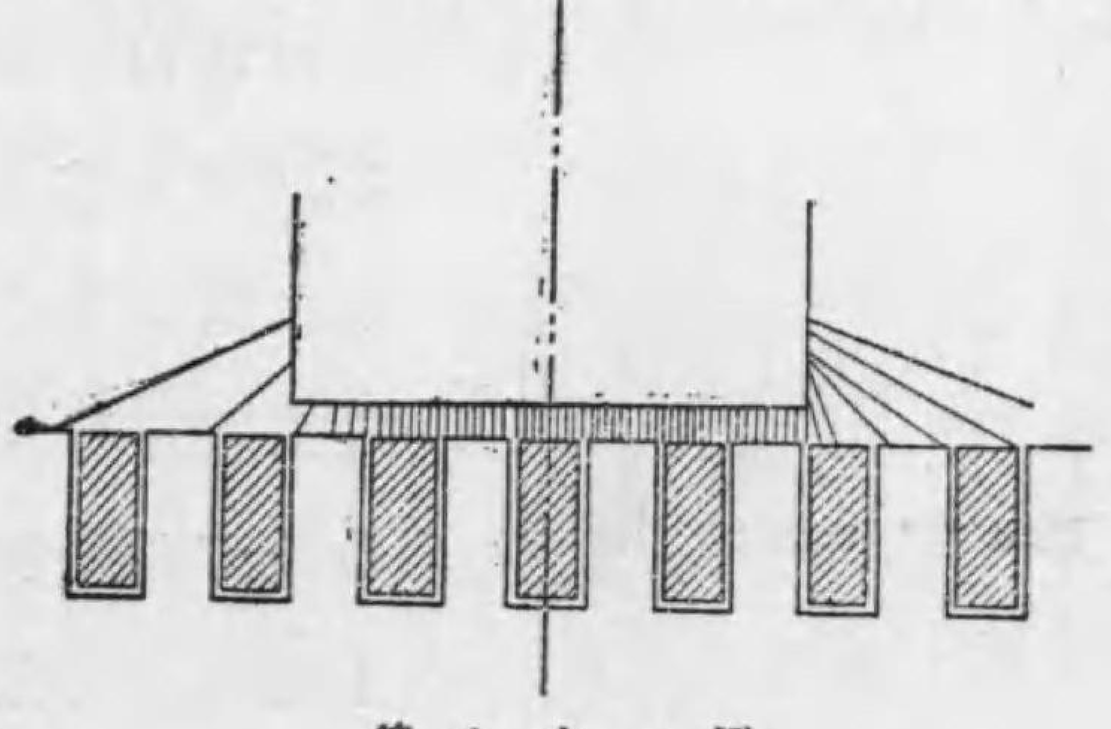
機の場合には電機子の內部で考へる)の機機で鐵心中の磁束密度を高く取る樣な場合には,此接合部を充分に注意して作らぬと意外に損失を增す事がある。一般に交流電機の如くセグメントの接合部が直ちにフレームに接してゐるものでは此空隙を極力小にせぬと此部分の損失を增して過熱を生ずることがある。

【84】電機子捲線中の渦電流損失

磁極片の下の磁束分布は機械が極く輕い負荷の下に運轉せる間は一樣と見ることが出來るので電機子導線中に著しい渦電流損失を生ぜぬ。尤も磁極片の先端と後端とで導線が磁界を去る時及び入る時には第九十圖の如く其の位置に應じて磁束密度が變化する故に導線中には僅かの渦電流損失は避けられぬ。

第九十圖





第九十一圖

然し機械の負荷が增すにつれて磁界は電機子反作用

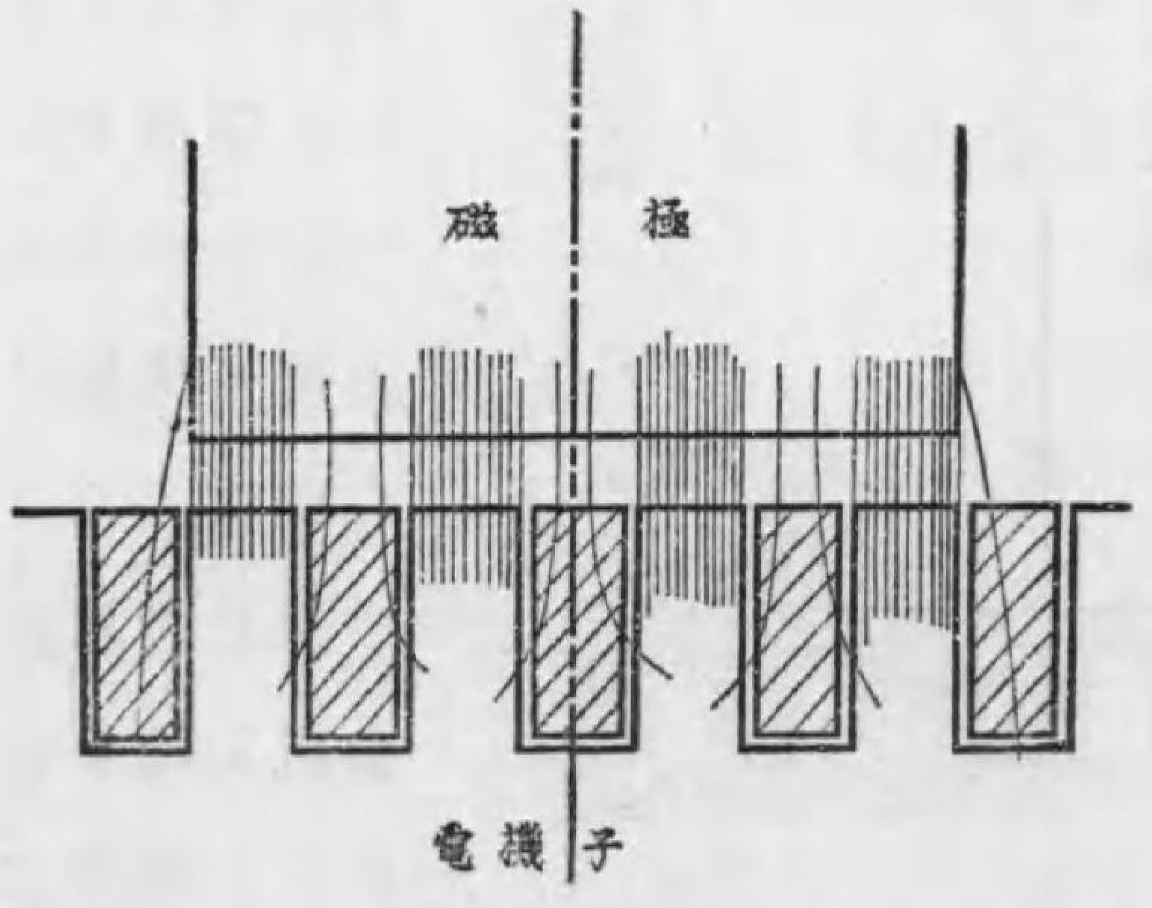
の爲めに扭歪されて,第九十一圖の如く,磁界の全幅に亘つて位置につれて大いに變化する磁束の分布を生じ,此內を導線が高速度で廻轉するので其內に著しい渦電流を生じて損失を招く。

導線中の渦電流損失は導線の寸法,溝の深さ及び其の幅によりて大いに變化する。

渦電流損失を減少せんには,電機子導線は之を小さい切口の幾本かに分割して並列に使用せねばならぬ。時としては細い針金を束にして用ゐることもある。此時各針金の間の絶緣は表面の酸化層のみで充分である。

【85】磁極片中の鐵損失

磁極片中の鐵損失は有溝電機子を持つものに限つて生ず。之は磁極片の下で歯と溝との爲めに磁束の通路の抵抗が變化する爲めに起るのである。即ち第九十二圖の如く磁束密度は歯の上で最も強く溝の上で最も弱い。此交



第九十二圖

互に强弱のある磁束の分布が電機子と共に廻轉するので磁極片中には渦電流損失を生ずるのである。又之と同時に磁束密度の强弱の點が廻轉するので磁極片の內部に於ては磁化の强さが週期的に變化する。之によりて磁極片中には併せてヒステレシス損失をも生ず。

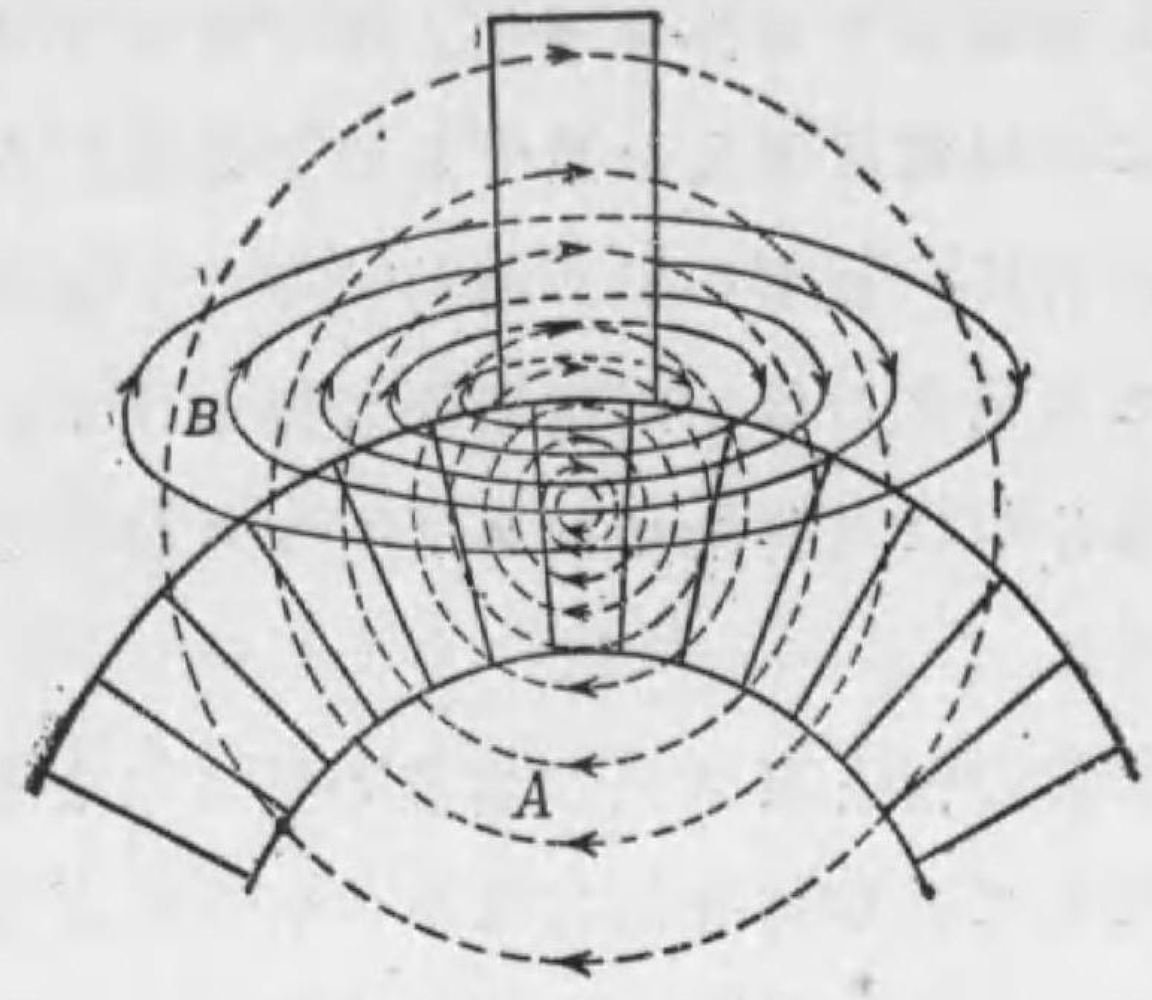
是等の損失は溝の幅と深さ及び空隙の長さによりて變化する。而して是等は普通には小さいけれども尙ほ之を減少する爲めに磁極片は薄鐵で作られる。

又電機子中に電流が流れる時は,磁極片の下の歯數の小なるものでは,電機子反作用が前後に動搖する爲めに磁極片中には渦電流及びヒステレシス損失を生ずるがこれ亦一般には非常に小なるものである。尤も此影響は整流を亂す方では侮れぬものがある。

【86】整流子中の渦電流損失

刷子を出入する電流は其周圍に磁界を作る。又刷子と接觸して其內を電流が通過してゐる整流子片の周圍にも磁界を生ず。此二つの磁界は刷子の位置が固定してゐるので之も亦静止してゐる。第九十三圖に於て,Aは整流子片中を通過する電流の出だす磁束を示し,Bは刷子を通過する電流の出だす磁束を示す。

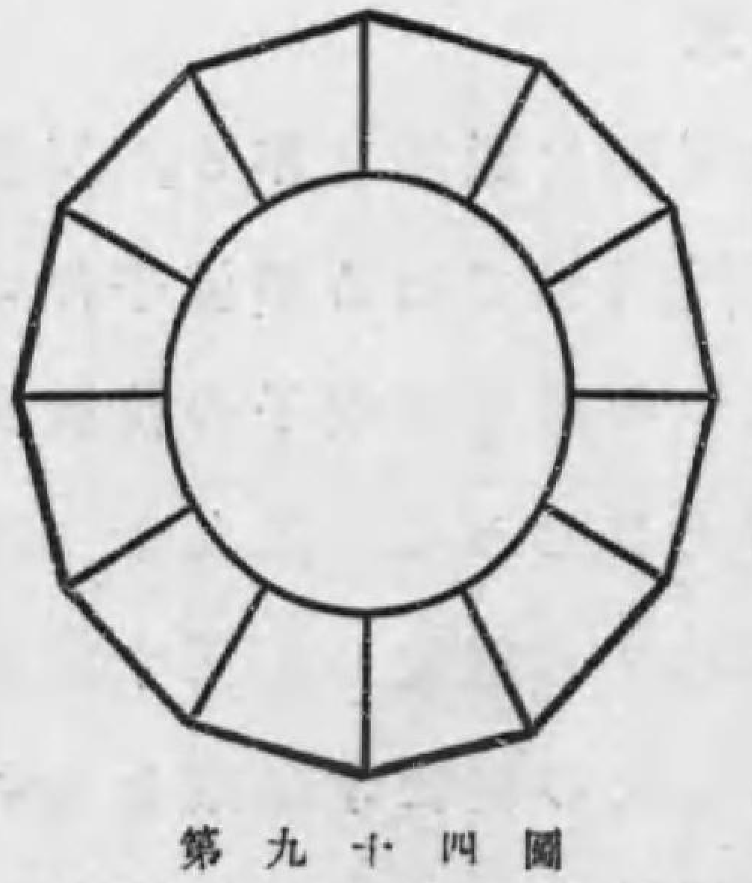
此静止磁界中で整流子が廻轉するので,子片は之を切つて進むことになる。從つて此內に渦電流損失を



第九十三圖

生ずるのである。此損失は子片の厚みが大になる程大である。又子片中を通過する電流が大になる程大である。從つて强電流の機械に於ては此損失は甚だしいのである。特に低壓强電流の機械で整流子の厚みを無暗に大にすれば渦電流損失は刷子の摩擦や接觸抵抗による損失よりも非常に大になることがある。

尙ほ子片の厚みを大にすることは是以外にも考へものである。其理由は之が刷子によりて磨滅された時に表面が眞の圓形を失ふ程度は第九十四圖の如く子片の厚みが大である程甚だしくなつて多角形狀をとる故である。



第九十四圖

[87] 鐵心締付ボルト中の損失

大なる電機子に於ては鐵心は其內に軸方向の孔を

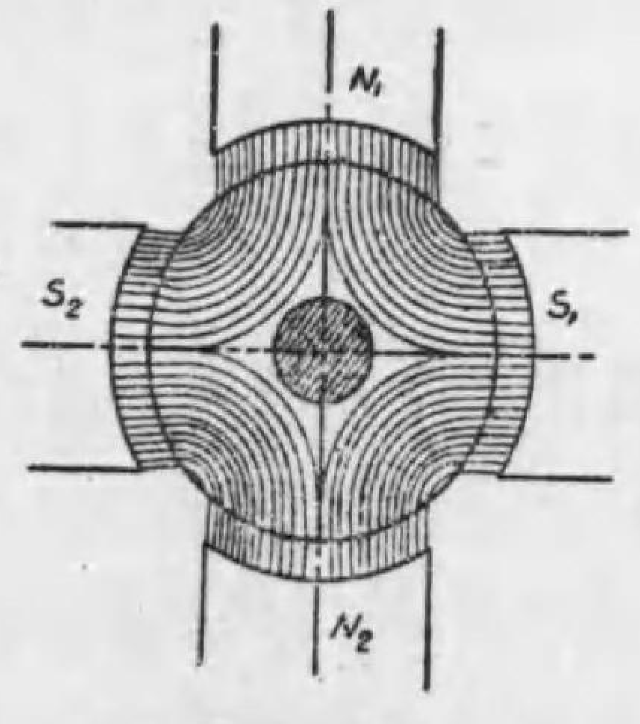
穿ち此內にボルトを通して締付ける。此ボルトは鐵心內部の磁界中で廻轉する故に其內に起電力を誘起する。

締付ボルトを電機子の兩側の端鈑から適當に絕緣しないと,閉電路を作り,之を通つて强い電流を流して大なる損失を生ず。之は主としてボルトの位置によつて變化する。

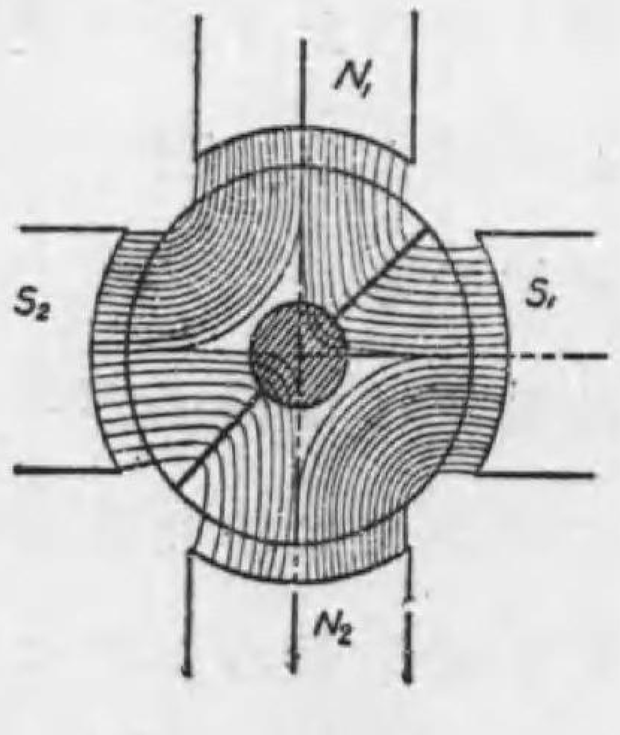
[88] 軸電流(Shaft current)損失

軸電流は一般に云つて磁氣回路の抵抗に不同がある時に生ずるものである。一例として四極機をとり,其電機子鐵心が直徑方向に一條の繼目を持つ場合を考へる。

第九十五圖の位置に於ては各磁極の出す磁束は釣



第九十五圖



第九十六圖

合つてゐる。然し第九十六圖の如く繼目が磁極の中間に來る時は,各磁氣回路の抵抗は相等しからずして,N_1S_1とN_2S_2との磁氣抵抗は繼目の爲めに著しく增して

此間を通る磁束を減少する。而して磁束は繼目に於て大なる抵抗を受くるが故に其一部分は軸内に溢れ出てゝ之を通つて通路を見出す。

斯くの如くにして電機子の廻轉につれて軸を通過する磁束は繼目の兩側に於て週期的の增減をなしつゝ軸は廻轉を繼續するので,軸内には或起電力を誘起する。

此起電力は磁束と廻轉との方向に直角に誘起さるゝを以つて,其方向は軸と一致する。然るに軸と床鈑(Bed plate)との間には抵抗の極く低い回路が完結してゐる故に上記の起電力によつて此回路中に强い電流を生ず。之が軸電流と呼ばれるものである。

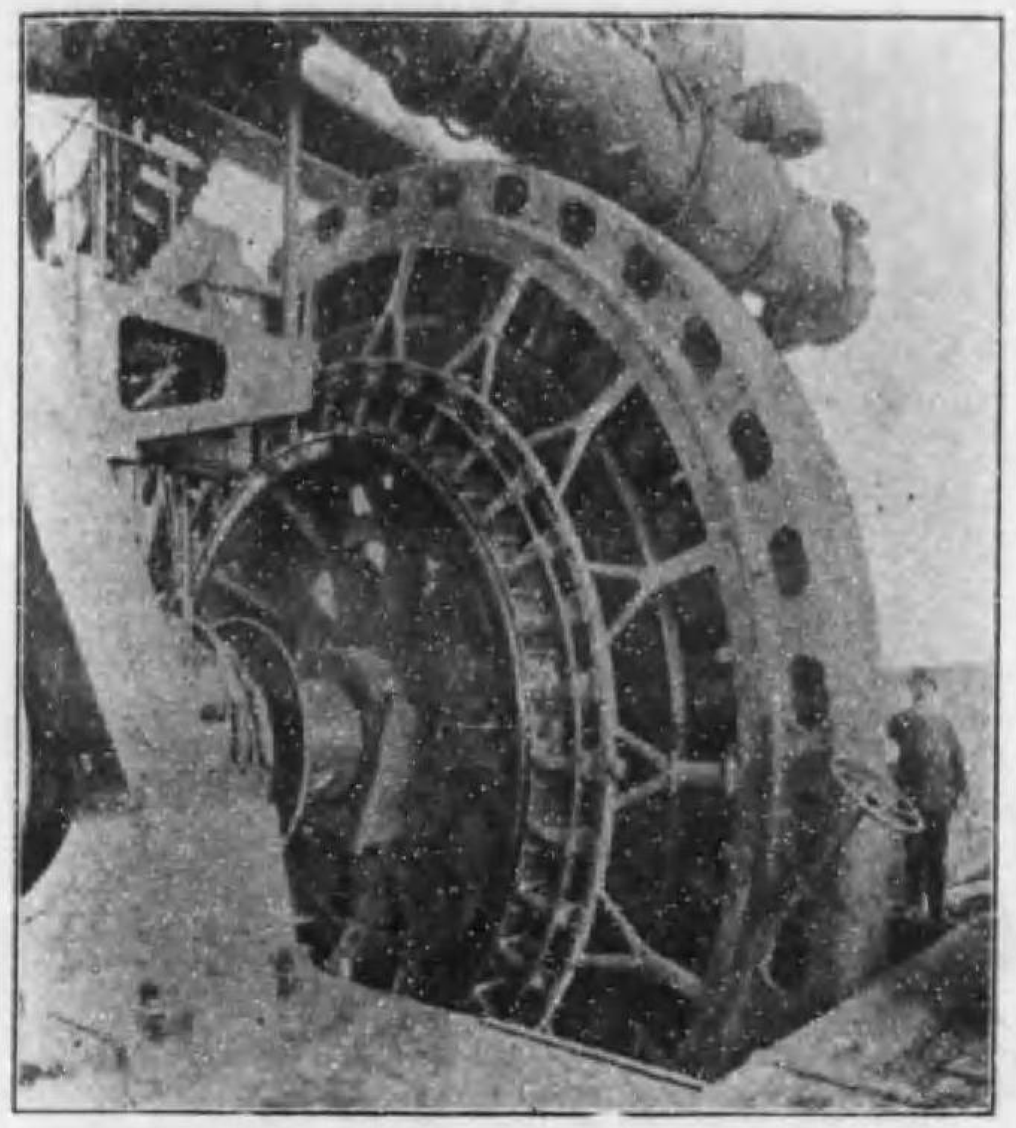
軸電流が大になれば,軸の廻轉面に火花を發して此部分を傷けたり,或は之が爲めに軸承内の油を黑化することがある。而して之によつて機械は著しく損失を增加する。

軸電流は電機子が一條の繼目を持ち磁極の數が二個の場合には特に甚だしい筈であるが,實際には二極機で電機子鐵心が二つに分たれることは特別の場合の外は先づないので,幸に此故障から免れてゐる。

一般に云へば軸電流は電機子がセグメントを集めて作られてゐる時に是等の繼目によつて磁氣回路の抵抗が對稱を失ふ場合に生ずるものである。而して

極數の小なるもの程此影響は甚だしい。

軸電流を防がんが爲めには軸承臺の下部に薄い絕緣板例へばプレスバーンやフイアバーの樣なものを挾めばよい。此部分の起電力は極く低いから絕緣は甚だ容易である。



第九十七圖

直流機に於ても機械の容量が大になつて電機子鐵心の輻構が第九十七圖の如く交流發電機に於けると同樣の構造になり,又運搬上繼鐵が二つに分つて作られてゐるものでは軸電流は問題になるのである。

第三章　機械的損失

[89] 軸承中の摩擦損失

此部の摩擦損失は其性質からして,

(1) 摩擦面の比壓力

(2) 摩擦面の周圍速度

(3) 軸承の溫度

(4)偕滑法

の四つによつて變化することは容易に考へられる。

此部分の損失に就て**デツトマール**氏が實驗より作つた式がある。此式は

p＝軸承の摩擦損失

T＝其溫度

d＝摩擦面の直徑

l＝其長さ

v＝周圍速度

k＝定數

とすれば

$$p=\frac{k}{T}dlv^{\frac{3}{2}}$$

である。但し此式は摩擦面の比壓力が毎平方吋に付550封度を越へざるを以つて成立の條件とする。

上式は實驗より作られたものであるから,之を論據として軸承内の損失に就て考へてみる。

【90】摩擦面の比壓力(Specific pressure)

デツトマール氏の實驗によれば,軸承の溫度が一定であつて又此部分の周圍速度が一定であれば,摩擦係數は單位面積中の壓力即ち比壓力に逆比例する。從つて摩擦係數と全壓力との積である摩擦抵抗は比壓力が毎平方吋に550封度以内であれば軸承に加はる全壓力に無關係である。そこで此比壓力の制限內では軸承部の全壓力は摩擦損失を決定する際に全然考へる必要がなくなる。其結果は上式に於て壓力に無關係なる損失が得られてゐる。

良好なる機械に於ては比壓力は前記の値よりも高くとられることは無いから,全壓力の增加による損失の增加は考へずにすむ譯である。

所が實際に當つてみると此處に疑を懐き得る節が少くない。機械の無負荷と全負荷とて軸承の溫度上昇が相異したり,調革の張り方が强過ぎると此部分の溫度を上昇せしめることがある。又軸承の取付けが不良なる時や蓋部の締付けが强過ぎて摩擦面を强壓してゐる時には軸承は非常に强熱されるのである。或は是等の理由によつて摩擦面の比壓力が550封度を超過する爲めかも知れぬが,それにしても此影響は餘りに甚だしい樣に思はれる。

軸承の設計に當つては,同一種類で同一狀態の下に働く軸承に對して,摩擦係數は比壓力に無關係に一定に取るを普通としてゐる樣である。要するに著者は此點に於ては上記の實驗式の適否を確言することが出來ぬ。

【91】摩擦面の周圍速度

損失は摩擦面の周圍速度によつて大いに變化する。**デツトマール**氏の實驗によるに,軸承の溫度が一定で

あつて一定の比壓力の下に於ては,摩擦係數は周圍速度の平方根によつて增加する。そこで摩擦係數と周圍速度との積に比例する摩擦損失は速度の1,5乘によりて變化することになるのである。

此理窟からして高速度の電機では軸承の加熱が特に甚だしくなつて特殊の冷却裝置を必要とするのである。

【92】軸承の溫度

デツトマール氏の實驗によるに,一定の比壓力及び一定の周圍速度に對しては,摩擦係數は軸承の溫度に逆比例する,從つて損失も亦溫度に逆比例する譯である。

軸承が最後の溫度に達するには3時間から6時間を要し,更にこれ以上を要するものもある。軸承の損失は最後の溫度に於て考へねばならぬ。

【93】催滑法

摩擦部の材料や表面の仕上げや催滑油の品質等によつて軸承の摩擦損失は廣く變化する。注油環(Lubricating ring)の廻轉が不良で注油の量が不充分なるものや摩擦面の內部に充分に油が行屆かぬ樣な構造は共に避けねばならぬ。

催滑油の品質としては餘り濃厚なるものや餘り稀薄なるものや或は塵埃等を含有するものは勿論よろしくない。又機械を永く放置して油が變質したり吸濕したりしたものも亦よろしくない。

【94】刷子摩擦損失

此損失は刷子と整流子との間の摩擦係數と接觸壓力と整流子の周圍速度とによつて決せられる。

此內で摩擦係數は刷子の品質,接觸面の摺合せの良否,接觸面積の大小,刷子の溫度及び整流子表面の形狀や廻轉が眞圓なるや否や等によりて變化する。

【95】空氣摩擦及び通風損失

機械が廻轉すれば,其表面は空氣に接してゐるので,此間の摩擦の爲めに損失を生ず。之は主として電機子の速度及び其形狀並びに捲線の形狀に關係する。又電機子が廻轉すれば之につれて周圍の空氣は運動を起される故に,之によりても動力は消費される譯である。

此時の空氣の運動を利用して絕えず冷き空氣を活動表面に送つて之を冷却し,溫められたる空氣は機體の外部に排出され,之が再び機體內部に復らぬ樣にする爲めに,電機子捲線の端接續の部分に扇風作用を持たしめてゐる。之が自己通風である。

然し自己通風のみによりては冷却の效果が不充分で高い出力を出さしめることが困難であるから,電機子には別に扇風裝置を附加して通風を强行してゐる

のが普通である。

通風損失は主として機械の速度と扇風装置の設計とによりて決まる。此損失は速度の三乗に比例する。それは排出される空氣量は機械の速度に比例し,之を運動せしめるに要する力が速度の自乘に比例するからてある。

通風損失は强力なる扇風装置を有する電機子にのみ重大てあつて,廻轉部自體の廻轉によりて自己通風を行つてゐるものには大した問題にはならぬ。直流機の如く廻轉部が滑かなるものでは自已通風の損失は,突出磁極が廻轉する交流發電機の如きものに比して甚だ小さい。

第五編 通 風 (Ventilation)

【96】機體の冷却

與へられたる冷却表面を以つて出力の制限となるべき溫度上昇を低下せんには通風の手段によらねばならぬ。

靜止せる物體の自然冷却は熱の傳導(Conduction)と對流(Convexion)と輻射(Radiation)との三樣で行はれる。

此内で傳導によるものは鐵心中に於ても重要であるが之が最も重きをなす部分は捲線の絕緣部に於てゝある。之は絕緣材料及び其使用法に關係することが深い。之に關しては第六編に論ずることにする。

對流によりて放散される熱量は外部の空氣が自由に冷却表面に接觸することが出來る程效果を增す。直流機に於ては之は勿論電機子に於ても重要であるが,之が最も重きをなす部分は界磁捲線の如き靜止部に於てゝある。

次に輻射による放散量を增さんには機體各部の形狀と共に其色彩をも考へねばならぬ。之に對しては黑色面が最も都合が良いので電氣機械は表面を黑色に塗つてゐる。

廻轉機械では廻轉を利用して周圍の空氣の一定運動を起し新たに入つて來た冷き空氣をして機體の熱

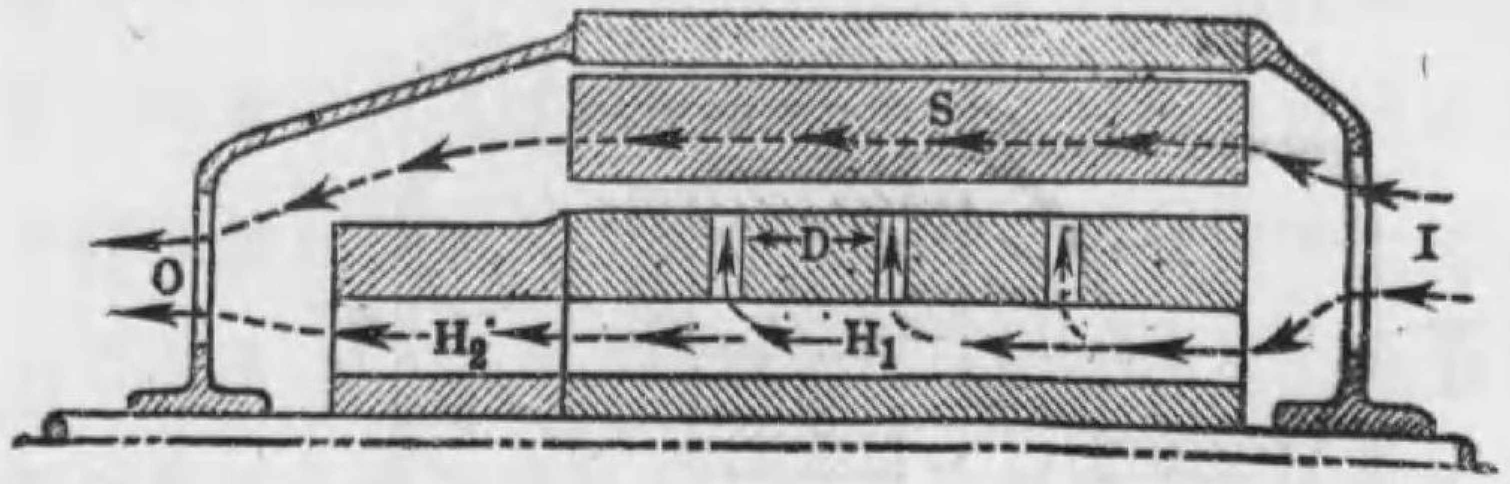
を吸收せしめ,次に之を外部に排出して機體の溫度を有効に下げてゐる。此空氣の流動が循還する樣なことがあれば,折角外部に排出された熱は再び機體內部に復つて冷却の效果を甚だしく減殺する。そこで通風に關しては氣流の循還は絕體に無くせねばならぬ。

又機體の內部に於て空氣が或一隅に停滯して之が旋回を行つてゐる樣な箇所があれば,此部分の溫度は著しく高まる。之に就ては充分に檢査して斯る部分を改めねばならぬ。從つて靜止部と廻轉部との相互の形狀には特に硏究を要するのである。

【97】開放型電機の通風

直流電機に於ては多くの場合に通風は電機子の一側より起される。而して此時の通風は整流子の反對側より起されるものと整流子側より起されるものとの二樣がある。之は電機子捲線の加熱が特に甚だしいか或は之と反對に整流子の加熱が特に甚だしいかによることも大であるが,之と同時に外部の空氣が整流子の活動面に及ぼす影響に就ても亦大いに考慮されねばならぬ。之に就ては第 103 項に述べる事にする。

第九十八圖は此一例を示したものであつて,電機子捲線の端接續をして扇風作用を司らしめ整流子と反對側の入口 I より空氣を吸入せしめる。吸込まれた空氣の一部分は電機子捲線の外周を進んで之を外部

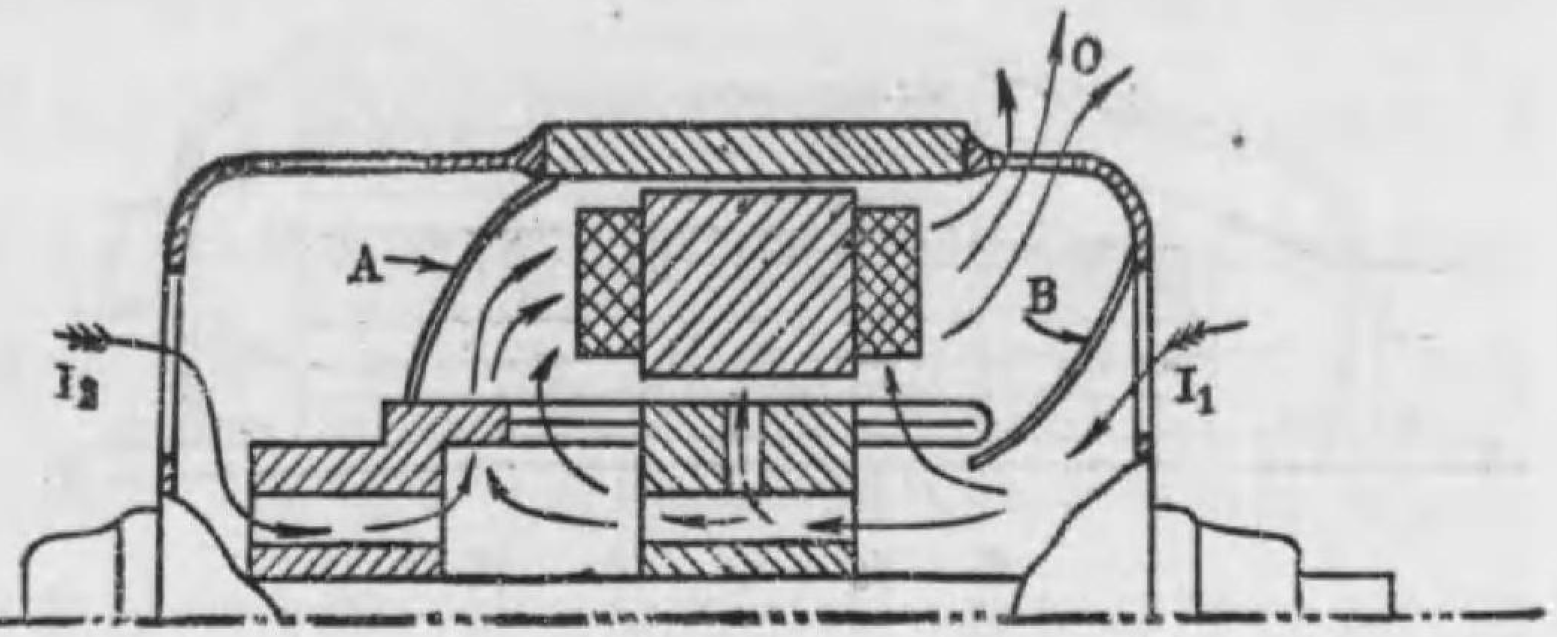


第九十八圖

より冷却すると共に界磁捲線をも冷却する。他の一部分は鐵心の內部に穿たれたる通風孔 (Ventilating hole) H_1中に進入する。此通風孔に入つた空氣の一部分は鐵心の直徑方向に穿たれたる通風溝 (Ventilating duct) D を通つて電機子の表面に放出され,殘りの部分は孔H_1より整流子の內孔H_2に進む。而して是等のものゝ全體が一所になつて出口 O より機體の外部に排出されるのである。

通風樣式の他の一例は機械の兩側より空氣を吸入せしめ,廻轉部の遠心力を利用して相當の壓力を以つて之を內方に向つて送風する。吸入されたる空氣の一部分をして電機子の外周を進ましめ,他の一部分をして電機子內部の通風溝に進入せしめる。而して兩者の合體したものを機械の中央部に設けられたる開口を經て外部に排出するのである。

此一例を示せば第九十九圖である。A 及び B は通風に對する隔離壁である。之によりて入口I_1及びI_2



第九十九圖

より吸入されたる空氣は矢の如き通路をとつて出口Oより排出される。Hは電機子の軸方向に穿たれたる通風孔であつてDは直徑方向の通風溝である。

此構造に於ては空氣は整流子側よりも吸入されるけれども,之は直接に整流子の活動表面や刷子に觸れぬので此部分に塵埃を沈澱して短絡を生ずるが如きことはない。而して電機子捲線,鐵心及び整流子の冷却は共に充分に行はれる。然し缺點としては,界磁捲線を冷却すべき空氣は既に電機子によりて加熱されたる後なるを以つて此部分の冷却が不充分になる。

軸長の小なる機械に對しては廻轉部の遠心力のみによりて充分なる通風が得られる。然し軸長が相當に大になれば,空氣通路の抵抗を增して通風が困難になるを以つて機械の一側或ひは兩側に扇風裝置を取付ける。

【98】通風孔及び通風溝の効果

鐵心の兩側及び端接續は充分なる空氣量に接觸す

ることが出來るので此部分の溫度上昇は比較的に低い。然し電機子の中央部に於ては鐵心及び捲線は充分なる空氣量に接觸することが出來ぬので溫度上昇が高くなり易い。そこで電機子の内部には軸方向に通風孔を設け,此内に送風して電機子を内部からも冷却する。

軸長の短い電機子が實際に於て利することの多い一つの原因は,内孔への空氣の進入が容易であることゝ,側方よりの冷却が内部にまでも比較的効果よく達せられることゝによるのである。

電機子には其有効長を割いてまでも直徑方向に通風溝を作つてゐる。溝の隔離片 (Distance piece) には扇風作用をも兼ねしめ,電機子の内部に進んだ空氣を此溝を通して盛に電機子の外周に放出する樣に設計せねばならぬ。之によつて電機子は軸長の中途からも冷却されるのである。

此溝の効果として考へねばならぬことは溝の表面が左程冷却に有効でないことである。鐵心を作る葉鐵は其表面の酸化層や絕緣ヴァーニッシュ等によりて相互に絕緣されてゐる爲めに鐵心の軸方向に於ける傳熱率は直徑方向の夫れに比して極めて僅小に過ぎぬ。そこで通風溝の効能の大部分は溝を通して冷き空氣を電機子の外表面に送り此表面で直徑方向の

高い傳熱率を利用して有効なる冷却作用を行はしめるにある。

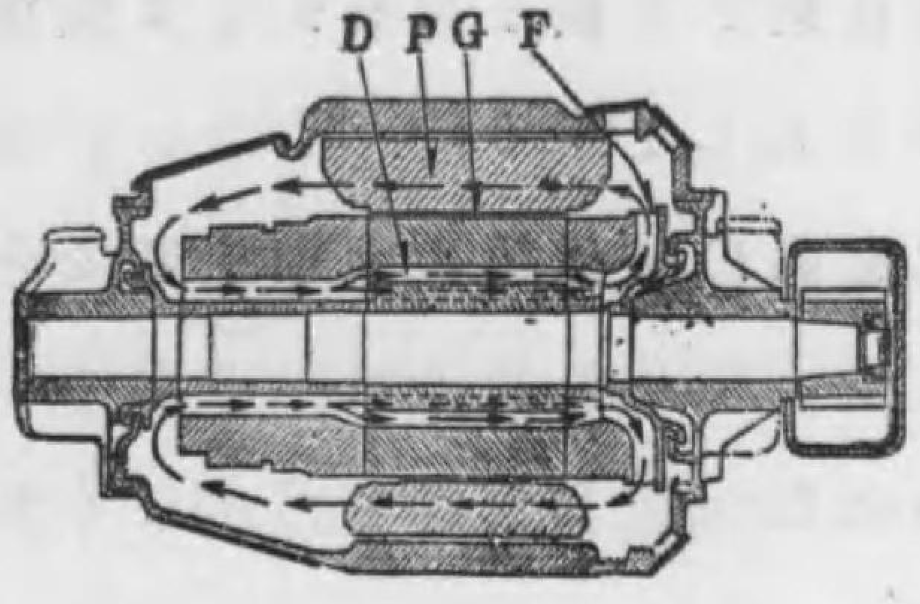
電機子の內部に通風孔を作るのも其目的の一つは通風溝に放出すべき空氣を取入れるにあるけれども,其大なる効果は直徑方向の高い傳熱率を利用して有効なる冷却表面を電機子の內部にも作つて之を內部からも强く冷却するにある。そこで通風孔中に入る空氣量に就ては充分に吟味せねばならぬ。

尙ほ注意すべきことは,溝を通る空氣の量を一定とすれば,溝の幅を狹くして空氣の速度を增した方が冷却の効果が高いことである。そこで隔離片の扇風作用や側方の扇の働きが充分であつて內孔に充分なる空氣量を送ることが出來るとすれば,一定の電機子有効長に對して狹い溝を數多く作る方が得策である。

【99】密閉型電機の通風

密閉型電機に於て第一に考へねばならぬことは,此種のもの丶冷却表面は全然フレームの外表面に限られてゐることである。そこで斯るものに對しては,フレームの內部に於て空氣の循環を極力盛にして各部分の溫度を一樣にし,フレームを通して內部の發生熱を出來る丈け多量に外氣中に放散せしめねばならぬ。

密閉型電機の通風で普通行はれる方法は第百圖の如く電機子中に軸方向に充分なる通風孔を作り,整流



第 百 圖

子と反對側に有効なる扇を取付け,整流子側より電機子の內孔に向つて空氣を吸入し,扇を通つて之を電機子の外周に放出して盛なる氣流の循環を營ましめるのである。

此場合には直徑方向の通風溝を設けぬのが普通である。之は溝の爲めに空氣は複雜なる局部通路を作つて扇の扇風作用を阻害すること丶,斯る溝が電機子の軸長を長くするに比して冷却の効果が乏しいこと丶による。

此種のものは多くは電機子の外周と內孔とを直列に通じ氣流をして直列循還を行はしめる。

密閉型電機の最初の目的は濕氣の侵入や塵埃の吸入を阻止するにあつた。然し之には種々の得失があつて,半密閉型のものが作られる樣になつた。之に就ては第 104 項に於て詳しく述べるが,其目的の一つは連續格定(Continuous rating) を增すにある。

【100】半密閉型電機の通風

半密閉型電機に於てはフレームの側方に塵埃や水沫が侵入し難い樣に作られたる空氣の入口と出口とを設け,電機子には强力なる扇を取付けて通風を强行

する。半密閉型に於ては扇は電機子に直接して整流子と反對側に取付けるを良しとする。

半密閉型の通風は之を次の三種類に大別することが出來る。

(1)直列通風(Series ventilation)

(2)並列通風(Parallel ventilation)

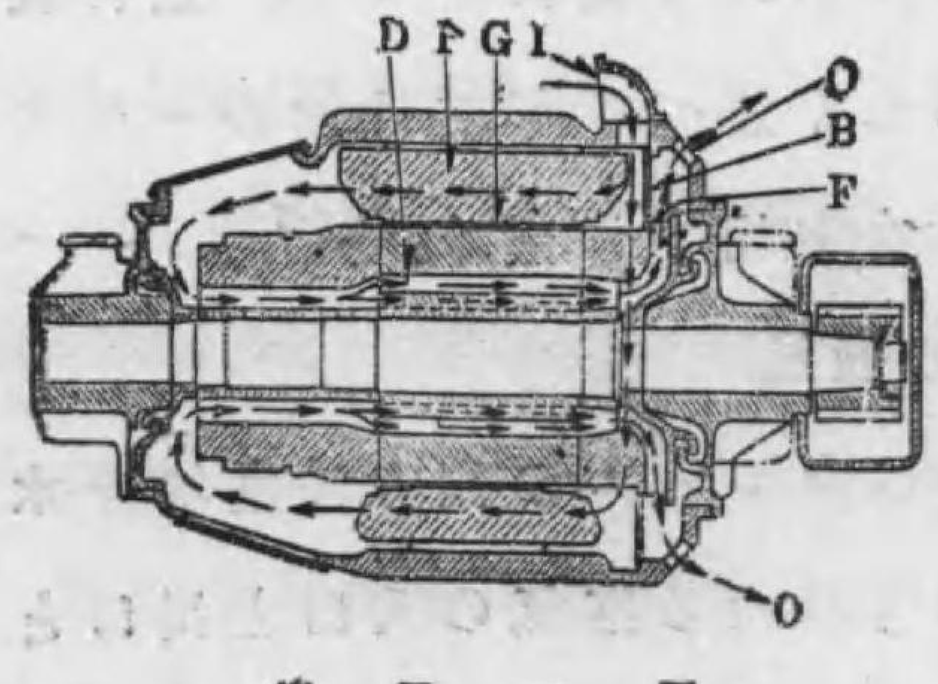
(3)直並列通風(Series-parallel or Compound ventilation)

直列通風とは電機子の內孔と其外周とを氣流に對する二つの通路と見て,空氣をして兩者を直列に進ましめたるものである。並列通風は空氣をして此二つの通路を並列に通過せしめたるものである。直並列通風は此兩者を兼ねしめたるものである。

次に一例を取つて此の三者に就て簡單に說明する。

【101】 直列通風

半密閉型に於ける直列通風の一例を示せば第百一圖である。圖に於て空氣は整流子と反對側に設けられたる入口Iより吸込まれ,隔離壁Bによりて空氣は先づ電機子の外周と界磁捲線とに觸れつゝ電機子の外周を進み次に電機子の內孔に進入し

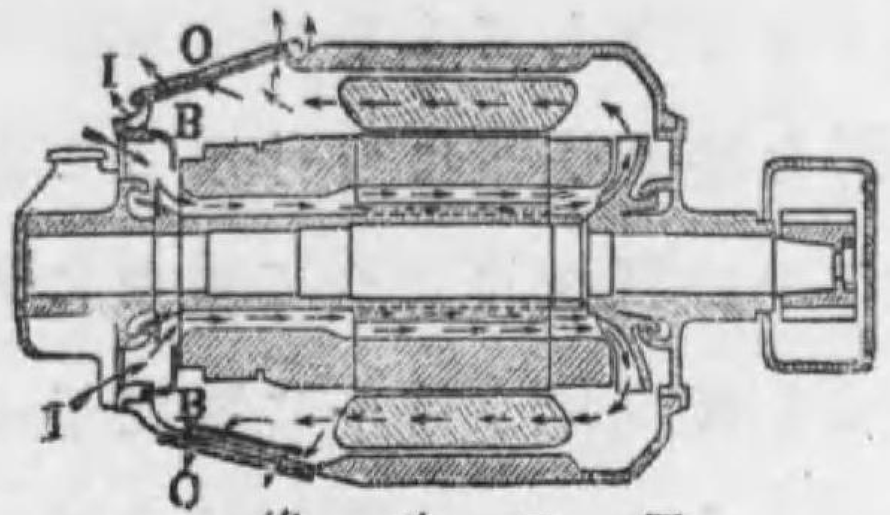


第百一圖

最後に扇Fの吸入作用によりて出口Oより外氣中に排出される。

此通風の缺點としては整流子に觸れる空氣は電機子と界磁捲線とによりて既に加熱されて居る故に整流子の冷却が鈍くなる。

此點を考へて,第百二圖の如く整流子側より電機子の內孔中に吸氣し之を通つて後に電機子の外周に放出すれば,整流子の冷却は充分に行はれるが界磁捲線の加熱が特に甚だしくなる。

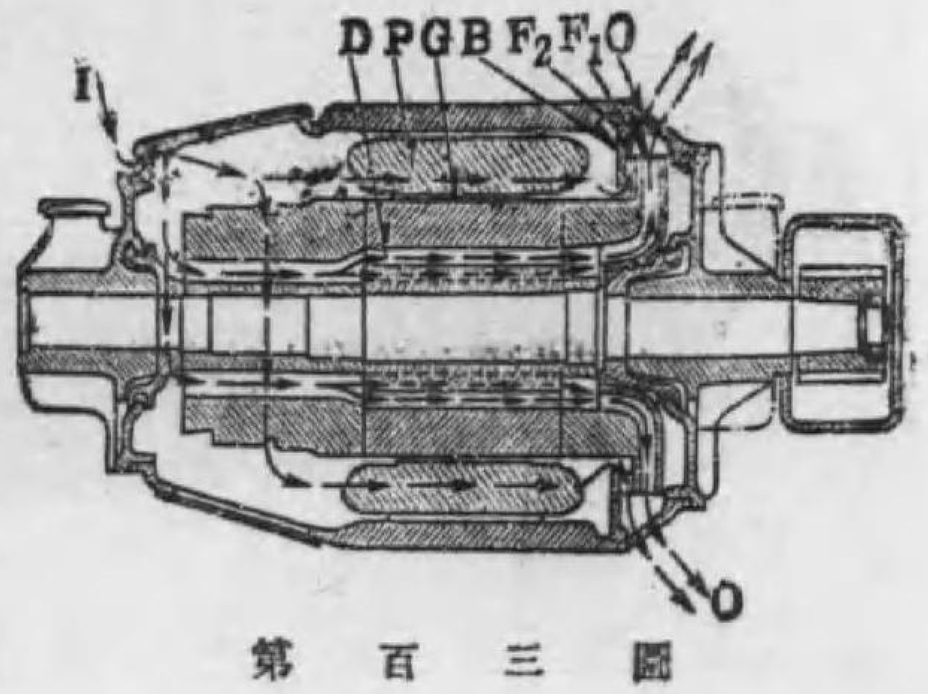


第百二圖

此種の通風に於ては何れにしても界磁捲線か整流子かの何れか一方の冷却が鈍くなる缺點を避けられぬ。

【102】並列通風

並列通流の一例は第百三圖である。之に於ては整流子の反對側に二重扇F_1及びF_2を取付け,入口Iより吸込まれたる空氣の一部分は先づ整流子の外周を進み電機子と界磁捲線とを冷却した

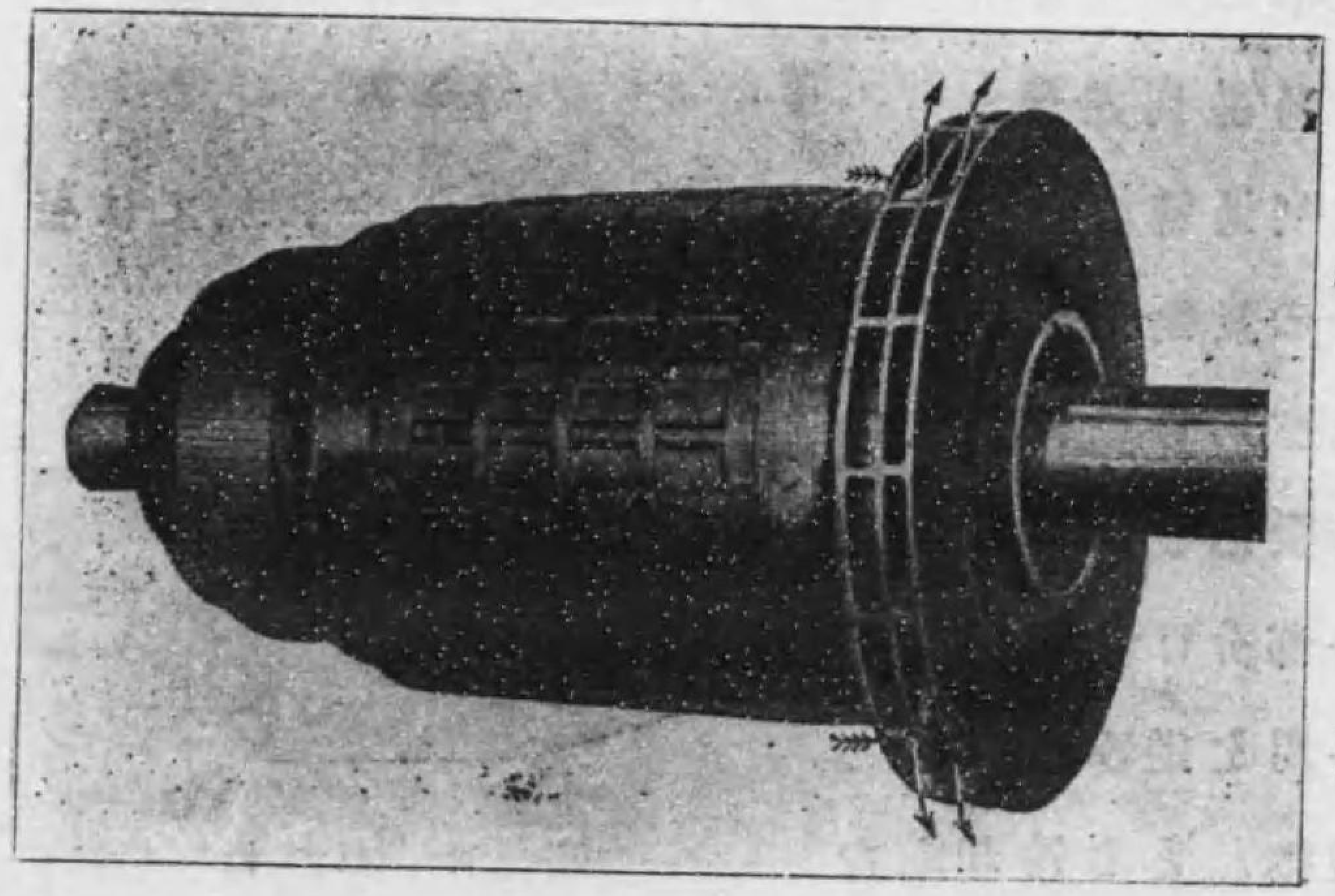


第百三圖

後扇F_2によりて出口Oより排出される。他の一部分は整流子側より電機子の內孔に吸込まれ扇F_1を通つて後出口Oより排出される。

此構造ては各部分の冷却は總て充分に行ふことが出來る。然し扇をして吸入作用に働かしめた方がよいことゝ半密閉型に於てはどうしても塵埃や水沫の侵入が避けられぬので扇を整流子側に取付けることが危險であることゝの二つの理由によつて新たに入つて來る空氣はどうしても圖の如く第一に整流子の活動表面に觸れしめねばならぬ。之は第103項に述べる樣な缺點がある。

尙ほ此種のものゝ缺點としては扇をして電機子の外周を進むべき空氣をも吸入せしめねばならぬ爲めに扇は第百四圖の如く電機子の直徑よりも遙かに大にせねばならぬ。之は半密閉型の最も多く採用され

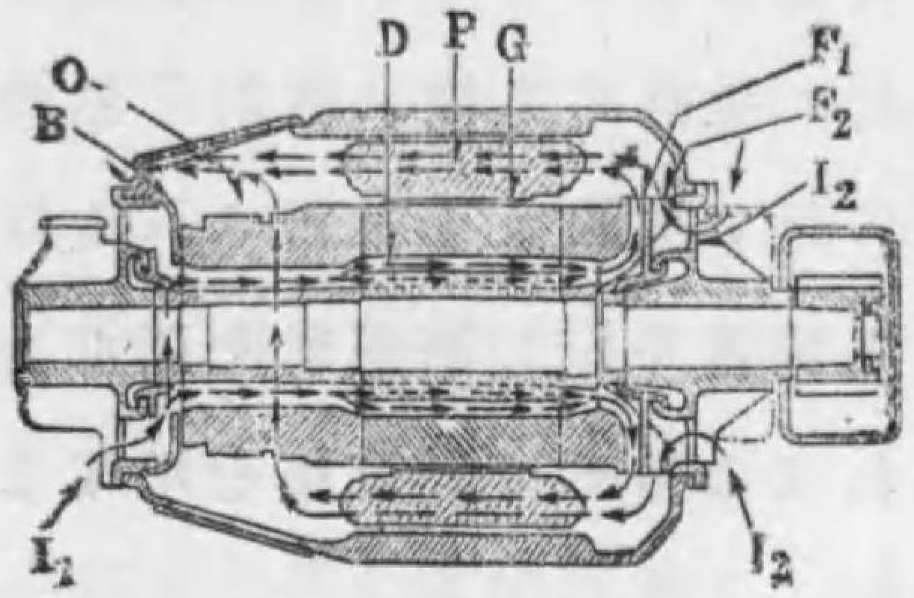


第百四圖

る電車用電動機に於て場所を多く取つて機械の形體を厖大にする缺點を招くことになる。

【103】直並列通風

此種の通風の一例を示したものが第百五圖である。二重扇F_1及びF_2を用ゐ先づ整流子側の入口I_1より入る空氣は整流子及び鐵心中の內孔を通過して扇F_1に吸込まれ次に電機子の外周に放出された後出口Oより排出される。此通風は整流子を內部より最も強く冷却する。尙ほ鐵心に對する冷却も有效であるが界磁捲線に對する冷却が劣つてゐる。



第百五圖

次に整流子と反對側に設けられたる入口I_2より扇F_2によつて吸込まれる空氣によつて電機子と界磁捲線とを冷却する。而して此空氣は前者と合體して壓力を以つて出口Oより排出される。

總て半密閉型通風に於て常に考へねばならぬことは出來得るならば新たに入つて來る冷かなる空氣をして界磁捲線電機子捲線及び整流子の三者に觸れしむべきことである。

然し新たに入つた空氣をして直ちに整流子の活動

表面に觸れしめると,空氣中に含まれたる濕氣や塵埃等が整流子の表面や刷子に附着して絕緣を害し或は直接に短絡を起す虞れがある。又塵埃が整流子や刷子の接觸面に積つて此部の磨滅を迅速にする。

是等を斟酌して最も秀でたるものが直並列通風である。之に於ては入口I_1及びI_2より入りたる空氣は電機子の內孔や其の外周を通過する間に塵埃を沈澱する。又空氣は整流子に近い開口より放出される故に運轉中に生ぜられたる炭素や銅の磨滅粉を運び去る。又扇は二重に作られてゐるので其直徑を增すことなく强力なる扇風を行ふことが出來る。

〔104〕電車用電動機としての密閉型と半密閉型との得失

電車用電動機は殆ど總て密閉型或は半密閉型に出來てゐる。而して是等は總て間歇負荷を受けてゐる。斯る使用狀態に於ける密閉型と半密閉型との得失に就て研究せんとする。

密閉型電動機は其起源に於て,絕緣が濕氣や塵埃等によりて犯さるべきを豫期して,是等のものゝ侵入を阻止する爲めに作られた。然し之を絕對に保證することは殆ど不可能である。加ふるに密閉型に於ては內部に生ぜられたる磨滅粉は脫するに途なく內部に飛散して遲かれ早かれ絕緣を破壞すべきものである。

更に密閉型に於ては內部に含有されてゐる濕氣は加熱に遭つては蒸發して捲線全體を濕潤せしめ冷却に遭つては之が一部に凝結する。そこで全體を考へて密閉型は絕緣に對して優れたるものと斷ずることが出來ぬ。

半密閉型に於ては內部に生じたる是等の有害物は通風に從つて外部に排除される特點を持つ。而して時々フレームを開放して內部に沈澱せる塵埃等を除去するの勞を惜まざれば,半密閉型電動機は殆ど支障なき程度に運轉を繼續することが出來る。然し連日の晴天に遭つては紅塵の上騰特に甚だしく,連雨に遭つては泥濘の飛沫縱橫避け難きが如き惡軌道を走るものに對しては半密閉型は危險である。そこで斯る地に使用される半密閉型は,必要に應じて之を密閉型に改める事が出來る樣に,豫め開口に掩蓋を設けをくを要す。普通電車軌道に於て敷石を列べたる目的の一は玆に存するのである。

半密閉型電動機の主なる利點は勿論其連續格定を增すにある。然し通風の良否は,間歇使用に於ては,之が溫度上昇を決定する全部ではない。

間歇使用をされる電機の第一に有すべき條件は機械の構造を龐大にして熱容量を增すにある。斯くして運轉時に發生されたる熱量を多量に機體內部に吸

收せしめて,各部に顯れる溫度の上昇を遞減するのである。然し之は冷却に對しては不都合であるが,運轉時と停止時との重みは常に運轉時の方が勝つてゐる。そこて電車用の如き間歇負荷を受くべきものは全體の構造を尨大にするを有利とされてゐる。此の事實は市內電車の如く運轉時間の短きに反して停車時間の長きものに對して特に重要である。之に就ては大正十年十二月十日電氣學會雜誌第四百一號掲載拙著"特殊の使用狀態に於ける電氣機械の溫度上昇に就て"を參照せられたい。

密閉型電機と半密閉型電機とを同一の間歇使用狀態に於て同一の溫度上昇にあるが如く設計する時は,半密閉型に於ては通風による冷却の効果顯著なるが爲めに機體の構造を矮小にすることが許される。之が常に半密閉型の長所であると共に其短所である。

車體に取付けられたる電動機の冷却は車體の進行時に之が外氣と盛に接觸する影響を考へねばならぬ。密閉型電機の唯一の冷却はフレームと外氣との接觸にある。そこて此種のものに對しては車體の進行は冷却に特に顯著なる效果を與へる。之は車體の進行の前方に取付けられたる電動機と後方に取付けられたるものとの溫度上昇を比較して常に顯れてゐる事實である。然るに半密閉型に於ては冷却に對して外

氣と機體內部との通風交換を勘定に入れてゐることが甚だ輕くない。車體の進行につれて電動機のフレームが外氣に觸れる爲めの冷却效果は前者と相異せぬ。然し半密閉型のものは其冷却に於て之が唯一の手段に非ずして前述せるが如く通風の效果を强く豫期してゐる。然るに車體の進行に伴ふて空氣の壓力は入口或は出口に於て通風を甚だしく困難ならしめる場合が少くない。加ふるに機體內部の通風路の一部が塵埃の蓄積によりて其面積を狹縮さるゝが如きことあれば其影響する所は決して輕きに止まらぬ。

尙ほ考ふべきことは市內電車に於けるが如く停車時間が甚だ長く或は運轉時の大部分を低速度て進行するが如き場合には,通風による效果は甚だ劣等である。そこて實際の運轉に於ては半密閉型に設計されたる電動機は其使用狀態によりては著しく格定を遞下する場合が甚だ少くない。

更に進んて,同一使用狀態を豫定して設計されたる密閉型と半密閉型との體格は前述せるが如く前者の方が偉大である。之が密閉型の一の大なる長所である。今短時間電動機が急峻なる過負荷を受くることありとすれば,機體の重量の大なるものは之によつて急激なる溫度の上昇を抑制し得る能力が大である。そこて密閉型に於いては運轉中時々加はる急峻なる